



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DAS CIÊNCIAS
NÍVEL DOUTORADO

ÉNERY GISLAYNE DE SOUSA MELO

A NATUREZA DA CIÊNCIA NA FORMAÇÃO INICIAL DE
PROFESSORES DE FÍSICA: contribuições do teatro científico-experimental

Recife
2016

Énery Gislayne de Sousa Melo

**A NATUREZA DA CIÊNCIA NA FORMAÇÃO INICIAL DE PROFESSORES DE
FÍSICA: contribuições do teatro científico-experimental**

Tese apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor, pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino das Ciências da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE.

Orientadora: Prof^a Dr^a Heloisa Flora Brasil
Nóbrega Bastos

Cotutor: Prof. Dr. Manuel Bächtold

Recife

2016

Ficha Catalográfica

M528n Melo, Énery Gislayne de Sousa
A natureza da ciência na formação inicial de professores de física:
contribuições do teatro científico-experimental / Énery Gislayne de
Sousa Melo; orientadora Heloisa Flora Brasil Nóbrega Bastos. -- Recife,
2016.
178 f.: il

Tese (Doutorado em Ensino das Ciências) – Universidade
Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Educação, Recife,
2016.

Inclui referências e apêndice(s).

1. Ciclo da experiência 2. História e filosofia da ciência 3. Natureza
da ciência 4. Formação inicial de professores de física 5. Teatro
6. George Kelly 7. Bertold Brecht I. Bastos, Heloisa Flora Brasil
Nóbrega, orientadora II. Título

CDD 507

Énery Gislayne de Sousa Melo

**A NATUREZA DA CIÊNCIA NA FORMAÇÃO INICIAL DE PROFESSORES DE
FÍSICA: contribuições do teatro científico-experimental**

Tese apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor, pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino das Ciências da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE.

Recife, em 04 de agosto de 2016

BANCA EXAMINADORA

Presidente: _____

Profª Drª Heloisa Flora Brasil Nóbrega Bastos - (UFRPE)

1º Examinador: _____

Profª Drª Ana Paula Bispo da Silva - (UEPB)

2º Examinador: _____

Prof. Dr. Antônio Carlos da Siva Miranda - (UAEDTec/UFRPE)

3º Examinador: _____

Prof. Dr. Alexandro Cardoso Tenório - (UFRPE)

4º Examinador: _____

Profª Drª Zélia Maria Soares Jófili - (UFRPE)

Dedico esta obra a minha família e amigos,
que são os extratos de minha essência.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por minha vida e saúde que me permitiram alcançar essa obra.

Este trabalho dedico em especial a minha família, que tanto amo. Agradeço por compreender as minhas ausências e incentivar minha caminhada. Obrigada Dulcinéa (mãe), Sonny (irmão), Sheila e Shirlei (irmãs), Dário e Lilian (sobrinho e sobrinha) e Dario (cunhado).

Estando distante dos meus familiares, meus amigos e amigas os substituem. Da mesma forma, é preciso agradecer os momentos de amor, carinho, alegria e acalanto. Obrigada Jeane, Zenilde, Lidiane, Gisele, Maga, Danylla, Gilza, Mayra, Cancion, Kleber, Carmen, Fabiana, Maité, Júlia, Patrícia, Bento, Edilene, Irís, Graça e Adelmo.

Agradeço aos meus professores/amigos que compartilharam sua sabedoria sobre Ciência, mas também, momentos culturais, sociais e políticos. Obrigada Aduino, Jairo, Cícero (Celso), Edênia, Alexandro, Miranda, André Ferrer e Juanma Arteaga.

Um reconhecimento e agradecimento especial à Professora Heloisa Flora Bastos, minha orientadora. Seu amor ao Ensino e à Física, a sua dedicação e humanidade serviram de referência na minha formação pessoal e profissional. Esses elementos foram essenciais na minha trajetória.

Aos amigos e colegas do Programa Ensino das Ciências (do mestrado e doutorado) que vibraram comigo diante da evolução da pesquisa e a cada capítulo escrito. Nossa convivência contribuiu, não apenas, para o desenvolvimento deste trabalho, mas sobretudo, para a pessoa que sou hoje.

Além do Atlântico descobri a generosidade e carinho. Nessa trajetória, fui privilegiada por fazer intercâmbio na França e conhecer pessoas formidáveis. Na minha chegada a Montpellier, encontrei o sorriso e generosidade do professor/amigo Manuel Bächtold e professora/amiga Luz Martinez. Pelo incentivo e compenheirismo, agradeço aos gentis amigos e amigas: Cláudia, Matthieu, Eleonora e Renaud.

Aproveito a oportunidade para agradecer à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Governo Federal do Brasil por financiar este projeto e o intercâmbio realizado.

Realizar uma pesquisa de doutorado e trabalhar ao mesmo tempo não é fácil. A realização dessa conquista só pode ser alcançada com o apoio da UFRPE. Um agradecimento especial à amiga, Professora Maria José de Sena, e ao amigo (tio de coração), Professor Romildo Morant. Bem como, a todos e todas da Pró-Reitoria de Ensino de Graduação, da Pró-Reitoria de Planejamento e Desenvolvimento Institucional e demais órgãos da Universidade que me ajudaram nesse empreendimento.

Agradeço ainda ao setor de Cooperação Internacional da UFRPE, em especial, ao professor Anísio pelo incentivo e apoio.

O mesmo sentimento me remete carinhosamente aos amigos e amigas com que dividi o ambiente de trabalho e as jarras de café. Destaco o meu reconhecimento e gratidão pelo incentivo e apoio a Flávia, João, Saimol, Renata, Eliete, Heloisa, Maíra, Rafael, Ricardo, Rodolfo, Luiza e Taciana.

Agradeço à coordenação do curso de Licenciatura em Física pelo apoio. Em especial à professora Sara.

Meu muito obrigada aos estudantes/amigos que participaram de corpo, alma e coração desta pesquisa.

Agradeço a todos e todas pela fundamentação contribuição nesse desafio criativo!

o início é
somente
o voo
para uma
eterna
mudança.
saber-se incompleto
é o salto
para um novo
ciclo –
retorno a
si mesmo.

Julia Larré (2012)

Figura 1 – Representação do Tema da Pesquisa



Fonte: Bruno Leão

RESUMO

A inclusão da Natureza da Ciência (NdC) nos cursos de licenciatura vem sendo indicada para uma formação de professores mais reflexiva sobre a Ciência e suas aplicações. Nesse contexto, são discutidas quais abordagens poderiam propiciar um trabalho mais efetivo nas salas de aulas. Esta pesquisa apresenta uma proposta de abordagem aos aspectos da Natureza da Ciência, articulados aos conteúdos da Física Quântica, o Princípio da Incerteza e o Princípio da Complementaridade, a partir de um novo tipo de teatro, o Teatro Científico-Experimental (TCE). Esse tipo de teatro foi constituído, baseando-se nas concepções de ensino-aprendizagem de George Kelly, a Teoria dos Construtos Pessoais e nas características do teatro de Bertolt Brecht. Participaram do estudo oito estudantes do curso de Licenciatura em Física. A análise dos resultados evidenciaram quatro aspectos da NdC que emergiram, de forma mais explícita, das discussões dos estudantes: Subjetividade Científica; Modelo/Representação; Papel do Questionamento no Desenvolvimento da Ciência e Conhecimento Científico Socialmente e Culturalmente Incorporado. Além disso, o TCE promoveu uma maior interação entre os estudantes, motivando-os e despertando seu interesse pela atividade.

Palavras-Chave: Ciclo da Experiência. História e Filosofia da Ciência. Natureza da Ciência. Formação Inicial de Professores de Física. Teatro. George Kelly. Bertolt Brecht.

RÉSUMÉ

La introduction de la Nature de la Science dans les cours a été souligné pour une formation des enseignants plus réfléchissant sur la science et ses applications. Dans ce contexte, ils sont discutées les approches qui pourraient fournir un travail plus efficace dans la salle de classe. Cette recherche présente une proposée pour approche des aspects de la nature de la science, liée au contenu Physique Quantique, le Principe d'Incertitude et le Principe de la Complémentarité, a partir d'un nouveau genre de théâtre, le Théâtre Scientifique et Expérimentale (TSE). Ce type de théâtre a été basée sur les conceptions de l'enseignement et l'apprentissage de George Kelly, la Théorie des Construits Personnelles et les caractéristiques du théâtre de Bertolt Brecht. Huit étudiantes ont participé à cette étude. Nous pouvons identifié, a partir de las discussions des étudiantes quatre aspects de la Nature de la Science : subjectivité scientifique; modèle / représentation; le rôle du interrogatoire pour le développement de la science ; la connaissance scientifique est socialement et culturellement intégré. En outre, le TSE promu une plus grande interaction entre les étudiantes et suscité l'intérêt.

Mots Clés : Cycle de l'Expérience. Histoire et Philosophie des Sciences. Nature de la Science. Formation des Enseigners de la Physique. Théâtre. George Kelly. Bertold Brecht.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Representação do Tema da Pesquisa	8
Figura 2	Esquema que Representa as Cinco Fases do Corolário da Experiência Kellyana	61
Figura 3	Pesquisadora Registrando Observações	71
Figura 4	Primeiro Encontro	83
Figura 5	Estudantes Discutem o Texto da Peça	84
Figura 6	Estudantes Ensaiam a Peça	85
Figura 7	Ensaio Final da Peça	85
Figura 8	Fechamento do Teatro	134

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Esquema das etapas desenvolvidas na pesquisa	67
Quadro 2	Esquema da estrutura do Teatro Científico-Experimental pré-curso	74
Quadro 3	Organização da peça “Copenhague” à estrutura do Teatro Científico-Experimental	76
Quadro 4	Elementos que direcionaram a análise dos dados	82
Quadro 5	Quadro demonstrativo dos objetivos e critérios de análise	115

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. A NATUREZA DA CIÊNCIA NO ENSINO DE CIÊNCIAS	21
3. PRINCÍPIO DA INCERTEZA E PRINCÍPIO DA COMPLEMENTARIDADE À LUZ DA NATUREZA DA CIÊNCIA	34
3.1 ESTUDOS EPISTEMOLÓGICOS DE TRECHOS DA PEÇA COPENHAGUE	42
4. CARACTERÍSTICAS DO TEATRO DE BERTOLT BRECHT	48
5. PRESSUPOSTOS DA TEORIA DOS CONSTRUTOS PESSOAIS	55
6. METODOLOGIA	64
6.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	64
6.1.1 Lócus, participantes e instrumentos de coleta de dados	69
6.2 ADAPTAÇÃO DO TEATRO CIENTÍFICO-EXPERIMENTAL	72
6.3 ADAPTAÇÃO DA PEÇA AO TEATRO CIENTÍFICO-EXPERIMENTAL	75
6.4 APLICAÇÃO DO TEATRO CIENTÍFICO-EXPERIMENTAL	78
7 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS	81
7.1 ANÁLISE DE DADOS	81
7.1.1 Análise geral sobre o desenvolvimento do curso	83
7.1.2 Análise do Questionário de Sondagem das ideias prévias	86
7.1.3 Análise dos Questionários de pré e pós-Teatro Científico-Experimental	92
7.1.4 Análise das transcrições dos debates desenvolvidos no curso	99
7.2 DISCUSSÃO DOS DADOS E RESULTADOS	114
7.2.1 Aspectos da NdC	116
7.2.2 Contribuições do Teatro Científico-Experimental	120
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	126
REFERÊNCIAS	135
APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DE SONDAAGEM	145
APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DE PRÉ E PÓS TEATRO	146
APÊNDICE C – ROTEIRO DA PEÇA	147
APÊNDICE D – DOCUMENTO ORIENTADOR	152
APÊNDICE E – TEXTO RESUMO	160

1 INTRODUÇÃO



Fonte: WWW.RIO2016.COM

A tecnologia da informação tem realizado significativas mudanças na organização e funcionamento da sociedade, em seus diferentes aspectos e contextos. A democratização do acesso à informação tem favorecido debates formais e informais sobre os mais variados temas, requerendo dos cidadãos maior grau de posicionamento diante de diferentes questões, como por exemplo, sobre o uso de recursos naturais e a preservação do meio ambiente (DOMINGUES *et al.*, 2000). No sentido de adaptar o Ensino de Ciências às novas demandas do mundo da tecnologia, tem havido uma reavaliação mundial dos objetivos desse ensino, em que se tem perguntado qual o papel que cabe à Educação de Ciências (BARROS, 1998).

No Brasil, um exemplo de proposta de reformulação do Ensino de Ciências foi apresentado através das Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN), que são normas emitidas para cada etapa da Educação Básica (Educação Infantil, Ensino Fundamental e Ensino Médio). O processo de construção desse documento contou com a participação de diversas

esferas da sociedade, como por exemplo, o Conselho Nacional dos Secretários Estaduais de Educação (CONSED), a União Nacional dos Dirigentes Municipais de Educação (UNDIME), a Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Educação (ANPED), além de docentes, dirigentes municipais e estaduais de ensino, pesquisadores e representantes de escolas privadas.

Esse documento destaca, dentre as funções estabelecidas para esse ensino: formar especialistas (cientistas, técnicos, tecnólogos e educadores); oferecer aos jovens perspectivas culturais; promover uma compreensão dos assuntos relacionados às Ciências e às suas aplicações; estimular a autonomia intelectual (BRASIL, 2002).

Para atingir essas finalidades, várias são as abordagens propostas. Algumas baseiam-se na discussão da Ciência de um ponto de vista mais contemporâneo, na qual a mesma seja reconhecida como um empreendimento humano, em que pesem em suas práticas, as relações com o meio social, político e econômico. Alguns estudiosos (VANNUCCHI, 1996; ZANETIC, 1989; MATTHEWS, 1995; MARTINS, 2007) apontam que, para se alcançar uma formação científica adequada a essa nova realidade, é necessário, além de compreender os conteúdos de Ciências, discutir suas aplicações na sociedade.

Nesse sentido, a discussão nos diversos níveis do Ensino de Ciências, inclusive na formação de professores, sobre a Natureza da Ciência (NdC), pode contribuir para compreender a prática científica, demonstrar a influência de setores externos nas pesquisas, bem como, discutir as consequências de seus produtos (PUMFREY, 1991; LEDERMAN, 1992; MATTHEWS, 1995; MCCOMAS *et al.*, 1998; HARRES, 1999; PRAIA *et al.*, 2007; CLOUGH; OLSON, 2008; LEDERMAN, 2012).

Nesse contexto, a NdC vem sendo largamente pesquisada (MOURA, 2014). No contexto nacional, destacam-se as revisões realizadas por Lederman (1992; 2012). Tais estudos compreendem, principalmente, as análises das concepções de docentes e estudantes sobre a Ciência e suas formas de Ensino. Além disso, os investigadores têm buscado compreender a inclusão desse tema nos programas de ensino e nos livros didáticos, bem como, as estratégias de ensino propostas e implementadas. Um importante resultado apresentado por essas pesquisas é que a presença desse tema nos cursos de formação inicial de professores não tem resultado diretamente na alteração das práticas educativas dos

docentes. Por outro lado, os resultados evidenciam que professores, assim como seus alunos, possuem visões distorcidas sobre Ciências.

Pensando dessa forma, nesta pesquisa não nos atemos a analisar o nível de aprendizado dos estudantes sobre aspectos da Natureza da Ciência, mas a trazer ao ambiente de sala de aula, especificamente à formação de professores, a discussão de alguns desses aspectos articulados aos conteúdos da Física Quântica, que são os princípios da Complementaridade (Niels Bohr) e da Incerteza (Werner Heisenberg). Esses dois princípios são alicerces da Física Quântica e exigem alto grau de abstração, bem como, uma discussão do ponto de vista epistemológico.

No ciclo profissional de cursos de Licenciatura em Física (OSTERMANN; RICCI, 2005), os fenômenos e os cálculos, envolvidos com esses princípios, são trabalhados, geralmente, na disciplina Física Moderna. Entretanto, não há uma contextualização sobre a construção histórica e epistemológica desses conteúdos, suas consequências e implicações. Alguns pesquisadores da área de Ensino de Física têm enfatizado as dificuldades de compreensão dos princípios da Complementaridade e da Incerteza, pelos estudantes. De acordo com esses autores, um dos motivos que dificultam a aprendizagem dessa disciplina é que a Física Quântica é apresentada de forma extremamente matematizada, não havendo uma análise dos conceitos (PINTO; ZANETIC, 2009).

Nesse sentido, os princípios que fundamentam a Interpretação de Copenhague, protagonizada por Heisenberg e Bohr, potencialmente, têm favorecido uma abordagem conceitual à Física Quântica (SILVEIRA *et al.*, 2009a). Tais autores trabalharam os princípios da Incerteza e da Complementaridade, do ponto de vista histórico e epistemológico, através da peça Copenhague, de Michael Frayn, com o objetivo de promover a divulgação científica. O uso do teatro é citado como uma poderosa ferramenta para uma abordagem da NdC (FERNANDES, 2012).

Nesse sentido, uma abordagem à Natureza da Ciência combinada com outras estratégias didáticas (experimentos, debates, teatro, simulações etc.) é recomendada. Entretanto, Martins (2012) ressalta que para um melhor resultado, em que as estratégias se aproximem da complexidade da sala de aula e do processo de ensino-aprendizagem, é necessário haver uma aproximação entre diversas áreas (Educação, Ensino de Ciências,

História e Filosofia da Ciência, entre outras). Por exemplo, atrelando-se uma fundamentação sobre o processo de ensino-aprendizagem.

Compartilhamos essa hipótese, uma vez que, o objetivo intrínseco à pesquisa, na área de Educação, é a aprendizagem. Consideramos que o ambiente de cada sala de aula é único, assim como os personagens que compõem essa peça, pois carregam em si mesmos, crenças, concepções e idiossincrasias. A abordagem a estes sujeitos deve ser pautada na diversidade de estratégias, que possam favorecer a aprendizagem, a partir das diferentes expectativas dos estudantes. Nessa mesma perspectiva, a Teoria dos Construtos Pessoais – TCP (KELLY, 1963), que é uma teoria da Personalidade, tem uma fundamentação epistemológica, em que o indivíduo desempenha um papel central e decisivo, sendo por isso, que a elegemos como a teoria da aprendizagem que alicerça esta pesquisa.

A aprendizagem, para George Kelly, ocorre a partir de uma sucessão de eventos, que permitem ao sujeito rever e/ou expandir suas ideias sobre algo. Kelly propôs um modelo para esse conjunto de eventos, denominado Ciclo da Experiência, constituído por cinco etapas sucessivas: a Antecipação, o Investimento, o Encontro, a Confirmação/Não-confirmação e a Revisão Construtiva (BARROS; BASTOS, 2007).

Nesta pesquisa, aplicamos o Ciclo da Experiência Kellyana (CEK) no desenho metodológico de uma intervenção didática, apresentada por meio de teatro. Assim, propusemos o uso de um tipo de teatro diferente, elaborado pela professora Dra. Heloisa Flora Brasil Nóbrega Bastos, orientadora desta tese. A sua versão de teatro, denominado Teatro Kellyano, foi aplicada a estudantes do ensino fundamental e se fundamentou, exclusivamente, na concepção de ensino-aprendizagem constituída pela Teoria dos Construtos Pessoais de George Kelly. Nesta tese, adaptamos sua versão, inserindo elementos do teatro de Bertolt Brecht (1978) e aplicamos a estudantes do curso de Licenciatura em Física. Denominamos esse tipo de teatro de Teatro Científico-Experimental¹ (TCE).

Ou seja, no nosso estudo, propomos explorar, de forma mais explícita, os aspectos epistemológicos sobre a Natureza da Ciência, da peça Copenhague, articulados aos conceitos do Princípio da Incerteza e da Complementaridade, à luz de uma concepção de

¹ No material adotado com os estudantes, nos apêndices, consta o nome Teatro Kellyano. Uma vez que, o nome do tipo de teatro foi alterado, após fase de escrita da tese.

ensino-aprendizagem. Dessa forma, os estudantes, futuros professores, terão a oportunidade de vivenciar uma proposta de ensino inovadora, diferente do modelo puramente matemático, habitual do ensino de Física Quântica. Parte desta pesquisa foi desenvolvida na França, na Universidade de Montpellier, através do programa de Doutorado Sanduíche da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Durante três meses, sob supervisão do professor Manuel Bächtold, foi possível contextualizar a pesquisa aos procedimentos e resultados internacionais. O referido professor integra o grupo de pesquisa interdisciplinar de abordagem à Natureza da Ciência nas escolas e na formação de professores. Resultados de suas investigações são destacados ao longo deste documento, demonstrando relações com o nosso estudo.

Diante de todo o panorama apresentado anteriormente, propomos o problema de pesquisa, o objetivo geral e os objetivos específicos desta tese, a partir dos quais, esperamos contribuir para as discussões acerca da Natureza da Ciência, potencializando a reflexão crítica na formação inicial dos professores sobre os objetivos da Ciência e de suas aplicações.

Como introduzir aspectos da Natureza da Ciência, a partir da discussão dos Princípios da Incerteza e da Complementaridade, na formação inicial de professores de Física?

Ao responder a esse questionamento, pretendemos trazer elementos para subsidiar as discussões sobre as reformulações dos currículos das licenciaturas e das práticas adotadas no ambiente da sala de aula (professor-aluno), tendo como ponto de vista a abordagem da Natureza da Ciência no Ensino de Ciências, a partir da vivência de uma prática de ensino reflexiva.

Dessa forma, promovemos uma aproximação das questões práticas e teóricas que favorecem o fortalecimento do profissional.

Diante do problema de pesquisa apresentado anteriormente, definimos nosso objetivo geral da seguinte forma:

Analisar a contribuição do Teatro Científico-Experimental para o desenvolvimento de noções de aspectos da Natureza da Ciência, introduzidos a partir da discussão dos Princípios da Incerteza e da Complementaridade.

Objetivos específicos:

- *Identificar aspectos da Natureza da Ciência que emergem da discussão dos Princípios da Incerteza e da Complementaridade;*
- *Identificar de que forma o Teatro Científico-Experimental pode favorecer a discussão de aspectos da Natureza da Ciência, articulados aos Princípios da Incerteza e da Complementaridade.*

Nesse sentido, para um delineamento metodológico, tomamos como fundamentação epistemológica as ideias de Paul Feyerabend, o qual era contrário à universalização dos métodos científicos e a favor de uma flexibilização, em que múltiplas estratégias possam ser empregadas na investigação dos diferentes objetos de investigação (LEAL, 2011). Tal ponto de vista converge com as ideias de George Kelly, o qual defende que cada sujeito é responsável pelos seus processos de construção e que a aprendizagem é individual, ou seja, cada indivíduo desenvolve estratégias pessoais de aprendizagem. Pensando dessa forma, a pesquisa em torno do processo de aprendizagem dos indivíduos requer um processo metodológico flexível, que dê conta do contexto e das características do grupo. Assim, justificamos a articulação dessas teorias.

A metodologia empregada é discutida em seção específica. Por hora, é necessário antecipar que os dados principais foram coletados a partir de vídeo e as falas dos estudantes foram transcritas, analisadas e categorizadas através da Análise de Conteúdo de Bardin (1979). Os resultados são apresentados nas sessões de análise de dados e resultados.

Para fins de compreensão desta pesquisa, este documento está organizado por este capítulo introdutório, seguido de capítulos, nos quais apresentamos os principais aspectos teóricos que fundamentam esta pesquisa. Delimitamos a nossa abordagem ao que compreende a Natureza da Ciência, tendo como parâmetro principal, a forma como ela vem

sendo trabalhada no Ensino de Ciências. Discutimos os princípios da Incerteza e da Complementaridade, inclusive, do ponto de vista epistemológico. No sentido de constituir uma fundamentação teórica para a construção do modelo do Teatro Científico-Experimental (TCE), foi realizado estudo sobre a Teoria dos Construtos Pessoais e sobre o Ciclo da Experiência, assim como, sobre elementos e conceitos empregados no teatro de Bertolt Brecht.

O capítulo, denominado Metodologia, discute as teorias que fundamentam a metodologia utilizada, apresenta os sujeitos investigados, a relação entre os instrumentos utilizados e os objetivos específicos desta pesquisa. Em seguida, apresenta o percurso seguido na construção da pesquisa, o modelo proposto para o TCE, a descrição do processo de adaptação de trechos da peça Copenhague, bem como, os aspectos teóricos da Natureza da Ciência, resultados desse processo.

O sexto capítulo discute os dados coletados. A análise dos dados, capítulo sete, é apresentada de forma detalhada em subcapítulos e, cada um deles corresponde a um objetivo específico. Ao final do capítulo, é feita uma síntese para atingir o objetivo geral. Nas Considerações Finais, é respondida a pergunta de pesquisa e são apresentadas propostas de novas investigações. Pensamos que essa construção permite ao leitor entender o processo como esta pesquisa se desenvolveu e compreender os resultados obtidos.

2 A NATUREZA DA CIÊNCIA NO ENSINO DE CIÊNCIAS



Fonte: WWW.CIENCIAETECNOLOGIAS.COM

O que seria a Natureza da Ciência?

A Natureza da Ciência (NdC) constitui um olhar sobre a Ciência, com o objetivo de entender o que é a prática científica e o que distingue o conhecimento científico de outras formas de conhecimento. Escrever um conceito formal para este tema é um pouco difícil. De acordo com Moura (2014, p. 32) “Responder a esta pergunta não é tarefa trivial”. Diante disso, apresentamos o conceito de NdC empregado nesta investigação, os motivos de sua inserção no Ensino de Ciências e as formas propostas para tal.

Revisões históricas sobre a evolução desse conceito demonstram uma tendência de consenso (LEDERMAN, 1992; LEDERMAN *et al.*, 1998; ABD-EL-KHALICK; LEDERMAN, 2000; TEIXEIRA *et al.*, 2009; TIAGO, 2011). Tiago (2011) verificou que a forma como a História, a Sociologia e a Filosofia descrevem a Ciência influencia no conceito de NdC, atribuído pela Educação em Ciências. Esse autor afirma que, após a

publicação do trabalho de Thomas Kuhn, em 1969, “A Estrutura das Revoluções Científicas”, no qual os fatores externos à prática científica são evidenciados, a definição de NdC sofreu sensíveis alterações.

No período de 1900 até 1960, a concepção predominante acerca da NdC consistia em entender o “método científico”; a partir dessa época, a definição passa a enfatizar as habilidades de investigação e dos processos científicos (por exemplo, observar, formular hipóteses etc.); na década de 1970, por influência do trabalho de Kuhn (1978), o conhecimento científico passa a ser descrito como provisório, histórico e humanístico, entre outras características; na década seguinte, surgem elementos psicológicos (influência da teoria e criatividade na observação) e sociológicos (as instituições científicas); em 1990, a definição de NdC compreende a natureza histórica, experimental, empírica, lógica e bem fundamentada das afirmações científicas, e também, a interação entre as crenças pessoais, sociais e culturais na produção do conhecimento científico (TIAGO, 2011).

A Natureza da Ciência também pode ser entendida,

[...] como um conjunto de elementos que tratam da construção, estabelecimento e organização do conhecimento científico. Isto pode abranger desde questões internas, tais como método científico e relação entre experimento e teoria, até outras externas, como a influência de elementos sociais, culturais, religiosos e políticos na aceitação ou rejeição de ideias científicas (MOURA, 2014, p. 32).

Essa visão foi adotada no desenvolvimento desta pesquisa, uma vez que, está alinhada com a perspectiva, levantada pela discussão epistemológica e histórica, dos conteúdos da Física adotados nesta pesquisa, os princípios da Incerteza e da Complementaridade. Assim, baseando-nos nas ideias de Moura (2014), podemos resumir a nossa compreensão para a NdC da seguinte forma:

A Natureza da Ciência compreende elementos internos referentes ao fazer científico, mas, sem perder de vista, o entedimento do cientista como um sujeito participante de uma sociedade e comunidade científica, constituída por crenças pessoais e ideias políticos.

Vários autores têm defendido a abordagem da NdC nas salas de aulas, nos diversos níveis, inclusive na formação de professores (PUMFREY, 1991; LEDERMAN, 1992; MATTHEWS, 1995; MCCOMAS *et al.*, 1998; HARRES, 1999; PRAIA *et al.*, 2007; CLOUGH; OLSON, 2008; LEDERMAN, 2012; MARTINS, 2006). Uma compreensão sobre a Natureza da Ciência pode favorecer na constituição de cidadãos mais críticos, indivíduos aptos a pensarem e participarem das decisões que afetam a sociedade. No caso específico desta pesquisa, o debate sobre Física Quântica no contexto da Segunda Guerra Mundial, por exemplo, pode propiciar aos estudantes alcançarem discussões de caráter ético da prática científica e das consequências para a sociedade do desenvolvimento científico, com seus benefícios e riscos associados.

Uma aproximação da História, Filosofia e Didática das Ciências pode minimizar os problemas decorrentes do ensino pautado em modelos e paradigmas de ciência superados, permitindo ao professor visualizar a evolução real das ciências e da natureza (TORRES; BADILLO, 2007). Nesse sentido, a introdução da NdC no Ensino de Ciências vem sendo proposta nas reformas para o Ensino de Ciências, nos âmbitos internacional e nacional. Internacionalmente, podem-se citar as proposições de reformulação do Ensino de Ciências dos Estados Unidos promovidas pela *American Association for the Advancement of Science* (AAAS), em 1989, e na Grã-Bretanha pelo *National Curriculum Council* (NCC), em 1993 (KAPITANGO-A-SAMBA, 2011).

No Brasil, as orientações são trazidas nos “Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio”. Tal documento, ao dispor sobre as competências que se espera desenvolver nos estudantes, elege um grupo de aspectos a serem trabalhados, referentes à Natureza da Ciência. Como por exemplo, “compreender o conhecimento científico e o tecnológico como resultados de uma construção humana, inseridos em um processo histórico e social” (BRASIL, 2002, p. 64).

A NdC, no ensino, constitui uma área bastante pesquisada (PUMFREY, 1991; LEDERMAN, 1992; LEDERMAN *et al.*, 1998; LEDERMAN, 2007; LEDERMAN, 2012; MATTHEWS, 1995; MCCOMAS *et al.*, 1998; MCCOMAS, 2008; HARRES, 1999; GIL-PÉREZ *et al.*, 2001; PRAIA *et al.*, 2007; CLOUGH; OLSON, 2008; ABD-EL-KHALICK; LEDERMAN, 2000; TIAGO, 2011; MOURA, 2014). Entre tais estudos, destaca-se o trabalho de Lederman (1992), no qual o autor distingue quatro linhas de pesquisa sobre esse

tema: a) avaliação das concepções dos estudantes sobre a NdC; b) desenvolvimento, utilização e avaliação de currículos projetados para "melhorar" as concepções dos estudantes sobre a NdC; c) avaliação de, e tentativas de melhorar, concepções sobre a NdC dos professores; e d) identificação da relação entre concepções de professores, suas práticas de ensino, e as concepções dos estudantes.

Entre os principais resultados alcançados, Lederman (1992, p. 333) destacou que os estudantes, bem como seus professores, possuem “visões inadequadas” sobre a Natureza da Ciência, como por exemplo, eles acreditam “that scientific knowledge is absolute and that scientists’ primary objective is to uncover natural laws and truths”. Ou seja, que o conhecimento é absoluto e que o objeto primário dos cientistas é descobrir leis naturais e verdades.

Nesse mesmo sentido, outros estudos corroboram as ideias de Lederman. Harres (1999, p. 2) destaca algumas concepções inadequadas sobre Ciência, como sendo:

[...] a consideração do conhecimento científico absoluto; a ideia de que o principal objetivo dos cientistas é descobrir leis naturais e verdades; lacunas para entender o papel da criatividade na produção do conhecimento; lacunas para entender o papel das teorias e sua relação com a pesquisa; incompreensão da relação entre experiências, modelos e teorias (HARRES, 1999, p. 2).

Aprofundando essa discussão, Lederman (1999) evidenciou que uma promoção da evolução das concepções de estudantes para visões “adequadas” era alcançada, não pela alteração dos currículos dos cursos, mas pela desenvoltura dos docentes em sala de aula. Contudo, também mostrou que os professores imbuídos de concepções “adequadas” sobre a Ciência não implicavam, necessariamente, na definição de práticas coerentes com tais visões.

Além disso, importantes estudos de área têm demonstrado que professores conhecem pouco, ou mesmo possuem concepções ditas “inadequadas” sobre a Natureza da Ciência (LEDERMAN, 1992; HARRES, 1999; GIL-PÉREZ *et al.*, 2001; ABD-EL-KHALICK; LEDERMAN, 2000).

Nesse sentido, muitos outros autores (BÄCHTOLD; GUEDJ, 2012; GIL-PÉREZ, 1993; PEDUZZI, 2001; EL-HANI, 2006) têm defendido a presença da HFC nos currículos e nas salas de aulas. Contudo, a conclusão de pesquisas sobre o tema revela que uma in-

clusão da HFC nos currículos, como disciplina, não garante a alteração da prática docente. É necessário incorporá-la também, como estratégia de ensino, em que o professor possa contextualizar o conhecimento com os fatores que concorreram para a sua produção (MARTINS, 2005; BRINCKMANN; DELIZOICOV, 2009; MARTINS, 2007, CAMARGO; NARDI, 2005).

Dessa forma, entendemos que é preciso preparar os futuros professores para lidarem com esse tema nas salas de aulas. Assim, reforça-se o argumento da relevância de investigações sobre propostas da discussão da NdC na formação docente, tema central desta pesquisa. Para se trabalhar em sala de aula a NdC, são propostos conjuntos de aspectos sobre uma visão “adequada” da Ciência (LEDERMAN, 1992; 1999; MCCOMAS, 2008). Esses aspectos da Natureza da Ciência enfatizam a discussão de diferentes elementos da prática científica; envolvendo discussões históricas, filosóficas e epistemológicas, bem como, sobre a influência de aspectos mais externos à prática científica no seu desenvolvimento, como por exemplo, o contexto social e econômico.

Nos estudos sobre a NdC, entre os diferentes aspectos propostos, destacam-se os discutidos exaustivamente por McComas (2008), Lederman (1992; 1998; 1999; 2007; 2012) e Matthews (1995; 2012). Após bastante debate entre tais autores, foi possível chegar a um consenso sobre um grupo de aspectos a serem incluídos no currículo de Ensino de Ciências, conhecido como K-12, pelo US *National Science Education Standard*, ainda em 1998. Entretanto, adotar uma lista de concepções para o ensino da Natureza da Ciência não tem sido uma decisão simples, pois muitas são as listas difundidas.

Uma das listas propostas por McComas (2008) sobre aspectos da NdC consiste em nove ideias-chave:

- 1) A Ciência demanda e requer uma evidência empírica – uma característica marcante da Ciência é a exigência de dados que possam ser sujeitos à verificação por pares de especialistas. Contudo, McComas (2008) ressalta que, nem sempre, uma prova é adquirida por meios experimentais. Muitos cientistas usam uma combinação de evidências, resultado de observações.

- 2) A produção do conhecimento científico inclui muitas características e processos mentais comuns. No entanto, apesar de tais semelhanças não há nenhum método científico passo-a-passo único, pelo qual toda a Ciência é feita – não existe um conjunto universal de passos (definição do problema, formatação de uma hipótese, teste da hipótese etc.), como é divulgado nos manuais. O trabalho dos cientistas envolve processos específicos para a aproximação ao objeto pesquisado. Isso implica dizer que um mesmo fenômeno pode ser estudado e compreendido de modos distintos, todos podendo ser coerentes dentro dos limites da validade dos métodos e concepções empregados para estudá-los.

- 3) O conhecimento científico é uma tentativa, mas é durável – essa concepção se refere ao problema da indução. A indução é o processo de geração de conhecimento, através do qual as observações realizadas para diversos casos são levadas a uma conclusão generalizada, a qual é submetida a uma predição e dedução, para sua validação. Contudo, Popper (2003) previu no Falseacionismo que basta uma única observação contrária para negar a conclusão enunciada. Não há uma maneira simples de saber se foram acumulados todos os dados relevantes para uma generalização, uma verdade absoluta.

- 4) Leis e teorias possuem relação, mas são tipos de conhecimentos distintos – um dos grandes equívocos sobre a Ciência é que leis são teorias maduras que existe uma hierarquia entre esses dois conhecimentos. As leis e teorias desempenham papéis importantes e distintos na Ciência. As leis são generalizações ou padrões observados dos fenômenos, enquanto que as teorias são explicações dos fenômenos.

- 5) A Ciência é um empreendimento altamente criativo – o processo científico (observar, organizar dados e interpretar) exige bastante criatividade dos cientistas. Alguns observadores podem perceber um padrão nesses dados e propor uma lei em resposta, mas não existe um método lógico ou processual pelo qual o padrão é sugerido. Com uma teoria, a questão é a mesma coisa. Só a

criatividade do cientista permite a descoberta de leis e a invenção de teorias. Em uma situação, em que haja um único método científico e dois indivíduos com a mesma perícia observem os mesmos fatos, provavelmente, chegariam à mesma conclusão. Mas, não há garantias para isso porque a aplicação da criatividade é um atributo pessoal (MCCOMAS, 1998).

- 6) A Ciência tem um elemento subjetivo – a Ciência é um empreendimento humano e assim, dispõe de um componente subjetivo. Esse elemento é descrito pelo elemento psicológico ou pelas ideias prévias e fundamentação teórica que carrega o cientista. McComas (2008) explica que, quando dois cientistas olham um mesmo fenômeno, podem “ver” coisas diferentes devido às suas experiências anteriores e expectativas.
- 7) A Ciência sofre influências dos contextos histórico, cultural e social - a Ciência é um empreendimento que se encontra dentro de um contexto social. McComas (2008) chama a atenção para as pressões que existem dentro das instituições de pesquisa. Os órgãos de fomento e as comunidades científicas orientam, favorecem e desencorajam certas pesquisas.
- 8) Ciência e Tecnologia impactam entre si, mas não são a mesma coisa – a Ciência e a Tecnologia são, muitas vezes, confundidas. A Ciência tem como objetivo a compreensão básica da natureza fundamental da realidade, “conhecimento pelo conhecimento”. A tecnologia está relacionada com a solução de problemas. Para isso, manipula ou transforma o conhecimento científico para produzir soluções.
- 9) Ciência e seus métodos não podem responder a todas as questões – a Ciência é limitada, não pode alcançar todos os problemas. McComas (2008) explica que existem questões que não podem ser compreendidas dentro do domínio científico e que, portanto, são discutidas por outros, como por exemplo, a moralidade ou fé que são discussões da religião. McComas (1998) apresenta este aspecto, sob outro ponto de vista, baseado na concepção Falseacionista de

Popper, segundo a qual, nem todo tipo de conhecimento pode ser submetido a uma investigação científica, é necessário satisfazer certas condições.

A tais aspectos, Lederman (2006), que trabalhou com McComas, acrescenta dois aspectos importantes sobre a NdC:

- 1) Observações e inferência são diferentes – de acordo com Lederman (2002), observações são afirmações descritivas sobre fenômenos naturais que são diretamente acessíveis aos sentidos (ou extensões dos sentidos) e sobre os quais, os observadores podem chegar a um consenso com relativa facilidade. Por exemplo, objetos lançados acima do nível do solo tendem a cair no chão. Por outro lado, as inferências são declarações sobre os fenômenos que não são diretamente acessíveis aos sentidos. Por exemplo, os objetos tendem a cair no chão por causa da gravidade. A noção de gravidade é inferencial, uma vez que, ela não pode ser acessada diretamente pelo sentido, mas apenas pela identificação de seus efeitos, tais como as perturbações em órbitas planetárias previstas devido às atrações interplanetárias e à curvatura da luz, vinda das estrelas, como se os raios atravessassem o campo gravitacional do sol.
- 2) Leis e teorias científicas são diferentes – as leis são afirmações descritivas de relações entre fenômenos observáveis. Por exemplo, a lei de Boyle, que relaciona a pressão de um gás ao seu volume a uma temperatura constante. As teorias científicas, por outro lado, são explicações para fenômenos observáveis inferidos. Por exemplo, a teoria cinética molecular serve para explicar a lei de Boyle (LEDERMAN, 2002). Na maioria das vezes, os estudantes relacionam e hierarquizam esses dois tipos de conhecimentos. Eles acreditam que as teorias se tornam leis, dependendo da quantidade de provas apresentadas; e, acredita que as leis estão acima das teorias, em uma escala de status científico. Ambas noções são inadequadas

Muitos pesquisadores têm se orientado por tais listas em suas pesquisas no Ensino de Ciências. Contudo, o próprio Lederman (2006, p. 833) alerta que:

[...] Há outros aspectos que alguns pesquisadores incluem ou descartam (Osborne, Collins, Ratcliffe, Millar & Smith, 1999). E quaisquer dessas listas que consideram o que alunos podem aprender, além de uma consideração das características do conhecimento científico, são de igual validade.

À revelia dessa recomendação, Matthews (2012) identificou que esta lista tem funcionado na educação científica como um *check-list* sobre NdC. O autor destaca que a forma como ela vem sendo utilizada recai em um ensino tradicional, sendo mais um conteúdo a ser aprendido pelos estudantes. Os professores não realizam uma análise crítica de cada um desses elementos, confrontando os diferentes pontos de vista sobre o assunto. Uma prática contrária ao que se propõe para o Ensino sobre Ciência, oposta aos motivos da inclusão da NdC e HFC nas salas de aulas. Matthews defende o resgate do ensino crítico e reflexivo sobre Ciências. Nesse sentido, Matthews (2012) analisa sete aspectos dos listados acima, considerados mais relevantes, tentando demonstrar a importância de uma reflexão crítica do ponto de vista da História e Filosofia da Ciência para o ensino.

Apoiamo-nos nesse último argumento para o desenvolvimento desta investigação. Concordamos com a ideia de que, os futuros docentes precisam ser estimulados a pensar sobre a Ciência, suas práticas e consequências.

Nesta pesquisa, os aspectos sobre a NdC recomendados por McComas (2008) para serem trabalhados no Ensino de Ciências serviram de base para a discussão com os futuros docentes. Seguindo as recomendações de Matthews (2012), nosso objetivo não priorizou o aprendizado de tais aspectos, mas estimular a reflexão crítica sobre a Ciência.

Em relação à forma de abordagem a esses aspectos no Ensino de Ciências, Teixeira *et al.* (2000, p. 532), baseados nos trabalhos de Lederman (1992) e Abd-el-Khalick e Lederman (2000), afirmam que existe “uma diversidade de propostas metodológicas para a instrução sobre a Natureza da Ciência que foi desenvolvida e testada em diferentes

contextos”. Tais propostas são agrupadas em dois tipos: abordagens “implícitas” são aquelas que fazem uso de atividades práticas em que o estudante é conduzido a vivenciar um processo científico; e, abordagens “explícitas” nas quais são evocados e trabalhados conteúdos epistemológicos ou da História e Filosofia da Ciência (HFC). De acordo com esses trabalhos, as abordagens explícitas têm alcançado melhores resultados, do que as abordagens implícitas, no desenvolvimento de concepções mais “adequadas” de professores sobre a Natureza da Ciência.

Ainda sobre a abordagem explícita, McComas (2008) explica que devido à natureza sofisticada e abstrata do conteúdo a ser tratado sobre a NdC, recomenda-se a utilização de ilustrações que possam torná-lo mais concreto. Uma aproximação da HFC à NdC é dita como extremamente importante e, vem sendo largamente pesquisada (MARTINS, 2006).

A História da Ciência pode contribuir trazendo fatos para uma abordagem contextualizada, como afirmam Clough e Olson (2008, p. 144), “[...] no ensino de NdC em qualquer nível, exemplos da História da Ciência são úteis para gerar discussões sobre NdC e compreender sua natureza contextual”. Além disso, há indícios de que os estudantes não aprendem a partir de exemplos ou quando seus professores simplesmente fazem referência a elementos da NdC (LEDERMAN, 2007). Melhores resultados são observados quando os docentes promovem, em sala de aula, uma discussão explícita (MCCOMAS, 2008).

Um importante grupo de pesquisadores na França, em Montpellier, o grupo LIRDEF (Laboratório Interdisciplinar de Pesquisa em Didática, Educação e Formação), constitui uma referência nos estudos relacionados ao ensino de epistemologia e história de conteúdos; as condições e os processos de aprendizagem; as práticas de ensino e os contextos de ensino, entre outras.

Uma das pesquisas desse grupo consiste no desenvolvimento de uma proposta de ensino do conceito de energia, a partir da HFC. Na primeira etapa, os pesquisadores realizaram estudo histórico e epistemológico do conceito. Em seguida, elaboraram uma abordagem construtivista de ensino desse conceito combinando aspectos históricos e epistemológicos, como por exemplo, o papel do modelo científico. Além de trabalhar com os estudantes, o projeto envolve os docentes. Dessa forma, eles são formados no modelo desenhado, ao mesmo tempo em que o avaliam (BÄCHTOLD, 2012).

Bächtold (2015) enfatiza que a discussão sobre a construção do conhecimento pode ajudar a mostrar que a verdade científica tem um estatuto particular. Baseando-se nos trabalhos de Lederman, Bächtold trabalha nas suas pesquisas com algumas questões específicas, tais como: o papel do modelo e sua distinção da realidade empírica e a Ciência como um processo de tentativas e erros.

Tais pesquisadores destacam a importância da HFC no ensino de conteúdo da Física. Através de seus resultados entendem que não é que o aluno aprenda o conceito e depois possa ampliá-lo com a HFC, mas pelo contrário, a HFC tem um papel fundamental no ensino do conteúdo, especialmente, na formação de professor (BÄCHTOLD; GUEDJ, 2014). Contudo, trabalhar a HFC e a NdC nas salas de aulas, esbarra em diversas dificuldades, entre elas, falta de material didático especializado e a formação ineficiente, na qual não se contemplam as possíveis formas de ensino dentro de uma abordagem histórica e filosófica (MARTINS, 2006; MARTINS, 2005; CAMARGO; NARDI, 2005; MARTINS, 2007; BRINCKMANN; DELIZOICOV, 2009; HOTTECKE; SILVA, 2011; FORATO, MARTINS; PIETROCOLA, 2011; MARTINS, 2012; SIMÕES, 1994; SOUZA, 2008).

Dessa forma, esta pesquisa pretende contribuir para uma formação do professor de Física mais reflexivo sobre os aspectos referentes à Natureza da Ciência, tanto do ponto de vista das questões mais intrínsecas do fazer científico ou da construção do conhecimento, como também, sobre a influência exercida pelo contexto externo. Especificamente, pretende-se trazer à discussão aspectos da NdC, a partir da abordagem aos conceitos da Física Quântica (FQ) e da utilização de uma representação histórica. Entendemos que, os conteúdos da FQ (o Princípio da Incerteza de Heisenberg e o Princípio da Complementaridade de Bohr) são extremamente ricos para o desenvolvimento de uma discussão sobre a NdC.

Esses conteúdos da Física são de difícil acesso no cotidiano da prática educativa. Geralmente, são apresentados nas licenciaturas, essencialmente, na forma matemática, contudo os conceitos dos mesmos se fundamentam em um profundo debate epistemológico e em meio a controvérsias históricas. Do ponto de vista epistemológico, por exemplo, a discussão sobre o comportamento do elétron (dualidade onda-partícula) e o processo de medida está relacionado com questões como o papel da subjetividade na prática científica ou a criação de modelos para representar a realidade.

Além disso, o contexto histórico do desenvolvimento dos princípios da Incerteza e da Complementaridade corresponde ao período da Segunda Guerra e da construção da bomba atômica, o que favorece o debate de questões éticas do processo científico (SILVEIRA *et al.*, 2009a). Na Metodologia, apresentaremos o material utilizado para trabalhar esses conteúdos nesta pesquisa.

É importante reforçar que, nesta investigação, tomamos como base um conceito mais abrangente de NdC, no qual discutir a Ciência compreende dois pontos de vista. Um ponto de vista dos aspectos internos à Ciência (método científico, por exemplo) e outro ponto de vista das questões externas (influência do contexto social, cultural etc) (MOURA, 2014).

Assim, diante de todos os pontos discutidos neste capítulo, podemos afirmar que entendemos que as concepções apresentadas por McComas (2008) ou Lederman (1992; 1998; 1999; 2006; 2007; 2012) constituem orientações de temas a serem discutidos no Ensino de Ciências. Contudo, conforme descreveu Lederman (2006), esta lista não é fechada. Dessa forma, cabe ao professor e, no nosso caso, ao pesquisador, identificar quais aspectos são mais relevantes e oportunos. Matthews (2012) sugere outros temas a serem discutidos em relação à Ciência, como a experimentação, a idealização e os modelos. Tendo em vista essa ideia, analisamos as concepções consensuais a partir do estudo dos temas da Física, a serem abordados (Princípios da Incerteza e da Complementaridade) e do material a ser empregado (texto teatro “Copenhague”) na intervenção junto aos estudantes.

Nesta pesquisa, exploramos a discussão referente aos aspectos da Natureza da Ciência que mais se aproximam dos princípios da Incerteza e da Complementaridade. Procuramos identificar os aspectos que surgem do debate epistemológico de tais conteúdos, durante a preparação do material empregado na pesquisa ou na aplicação com os estudantes. Estes aspectos são apresentados na seção seguinte que introduz o leitor à área da Natureza da Ciência, ajudando-o na compreensão do desenvolvimento desta investigação.

Para facilitar a compreensão do trabalho de correlação dos aspectos da Natureza da Ciência aos temas da Física - os princípios da Incerteza e da Complementaridade - é necessário realizar uma breve discussão sobre tais temas. A seguir, apresentamos uma discussão do ponto de vista histórico e epistemológico acerca dos Princípios da Incerteza e

da Complementaridade. Identificamos os aspectos que se correlacionam mais fortemente com os conteúdos da Física Quântica (os princípios da Incerteza e da Complementaridade), trabalhados a partir do texto teatral “Copenhague” de Michael Frayn.

3 PRINCÍPIO DA INCERTEZA E PRINCÍPIO DA COMPLEMENTARIDADE À LUZ DA NATUREZA DA CIÊNCIA



Fonte: <http://www.cbpf.br>

No desenvolvimento desta pesquisa, foi necessário realizar vários estudos dos princípios da Incerteza e da Complementaridade, a partir de diferentes visões. Foi realizado um estudo mais teórico e formal, um estudo histórico e uma abordagem epistemológica. Um processo de vai-e-vem para a compreensão de forma mais contextualizada e, ao mesmo tempo de aprofundamento desses temas da Mecânica Quântica. Por isso, esta seção apresenta uma descrição histórica dos principais eventos que concorreram para sua elaboração e, em seguida, uma discussão em que introduzimos uma análise do ponto de vista dos aspectos epistemológicos subjacentes a tais ideias.

O estudo dos princípios da Incerteza (Werner Heisenberg) e o da Complementaridade (Niels Bohr) permite a reflexão sobre diferentes aspectos relativos à Natureza da Ciência. A abordagem desses temas permite explorar questões, como por exemplo, referentes à construção do conhecimento. Alteramos o objeto ao tentar nos aproximar dele? O quanto de subjetividade existe no processo de observação? Além dessas questões, o estudo da Física Quântica, e em particular desses princípios, evidencia os

elementos históricos que contribuíram para a sua formalização. A proximidade do desenvolvimento dessas ideias com o período da Segunda Guerra Mundial, bem como a participação de Heisenberg e de outros cientistas na construção da bomba nuclear alemã, fazem surgir a discussão sobre a finalidade do conhecimento científico.

Os princípios da Incerteza e Complementaridade são considerados conceitos-chave da Mecânica Quântica. Uma das consequências da Física Quântica e da interpretação desses princípios é o rompimento com a realidade e com as noções de causa e efeito da Física Clássica. Não se pode dizer simultaneamente e com precisão, através de uma medida, onde o elétron se encontra e sua velocidade, por exemplo. O que é o elétron? Não se pode dizer ao certo, usando os óculos da Física Clássica, apenas descrevemos seu comportamento. A “realidade” do universo quântico é constituída por leis ou regularidades estatísticas (ARA, 2006).

De forma bastante resumida, podemos descrever o cenário da Física que fomentou a construção dos princípios da Incerteza e da Complementaridade, partindo dos experimentos de espalhamento com raios X, de Arthur H. Compton (1892-1962). Esse cientista observou que, quando os raios X eram de baixo poder de penetração, seu comportamento podia ser explicado pela teoria clássica. Contudo, utilizando raios X mais penetrantes ou raios gama, surgiam efeitos diferentes, não previstos pela teoria clássica, como por exemplo, o comprimento de onda da radiação espalhada era sempre maior nesses casos. Em 1921, Compton passou a examinar esse fenômeno, a partir da hipótese dos quanta. A princípio, sua hipótese consistia em que o elétron absorvia a energia do quantum, sofria um recuo e emitia uma nova radiação de comprimento de onda diferente. Em 1922, passou a adotar outra explicação, o elétron em colisão elástica emitiria quantum, com determinada energia e momentum (MARTINS; ROSA, 2014; MARTINS, 2011).

Nessa época, havia experimentos que corroboravam as visões ondulatória e corpuscular da luz (interferência e difração para o caráter ondulatório e efeitos fotoelétrico e Compton para o caráter corpuscular). De Broglie passa, então, a estudar a existência de uma correspondência simétrica para a dualidade: se ondas se comportam como partículas, partículas talvez se comportem como ondas (BROCKINGTON, 2005).

Baseado nas ideias de Einstein e de Planck, de Broglie enuncia uma relação fundamental, envolvendo o momento de uma partícula e o comprimento de onda a ela

associada. Assim, introduz a ideia da “dualidade onda-partícula”, em que para qualquer corpo existiria uma onda associada, tornando indissociável a propagação da onda do movimento do corpo (JAMMER, 1996). Dessa forma, Louis de Broglie (1892-1897), em 1924, introduz sua teoria que consistia em que a natureza dual onda-partícula da radiação teria uma correspondência em uma natureza, também dual, partícula-onda da matéria. As partículas poderiam descrever, em determinadas circunstâncias, propriedades ondulatórias.

Comprovações foram observadas, a partir do experimento de difração de elétrons (GASIOROWICZ, 1979). Para explicar o caráter corpuscular da matéria, De Broglie introduz a ideia de “pacotes de onda” (JAMMER, 1996). O trabalho de De Broglie atraiu grande atenção, inclusive de Einstein, Shrödinger, Heisenberg e Bohr. Da discussão entre esses cientistas, nasceram os princípios da Incerteza e da Complementaridade. Esses princípios foram apresentados em 1927, no Congresso de Solvay, em Bruxelas e no Congresso Geral de Física na cidade de Como, na Itália.

Nesse período, Heisenberg e Bohr trabalhavam juntos em Copenhague. Heisenberg (1996, p. 95) descreve que, durante certa madrugada, enquanto pensava no problema, lembrou-se do que Einstein havia dito a ele, em 1925, “É a teoria que decide o que podemos observar”. A partir dessa ideia, entendeu que a trajetória do elétron não era passível de observação, o que se percebiam eram os seus rastros, uma série de pontos distintos por onde havia passado. Assim, Heisenberg teve a clareza de que não era possível ter certeza da trajetória ou localização do elétron, a Mecânica Quântica poderia apenas estimar, com certo grau de aproximação, uma posição e velocidade para o elétron.

Dessas ideias, Heisenberg (1996, p. 96) desenvolveu uma representação matemática, com as aproximações regidas pelo chamado princípio da Incerteza da Mecânica Quântica, assim enunciado: “o produto das Incertezas dos valores medidos da posição e do momento (isto é, o produto da massa pela velocidade) não pode ser inferior à constante de Planck, ou um *quantum* de ação”.

As Relações de Incerteza de Heisenberg afirmavam que, ao se tentar construir um pacote de ondas altamente localizado no espaço, é impossível associar a esse pacote um momento bem definido, e vice-versa, contrariando o que se admite na Física Clássica. Dessa forma, a posição e o momento na Física Quântica, assim como o comportamento corpuscular e o ondulatório, constituem propriedades complementares entre si, não se

admitindo uma possibilidade de experiência, na qual ambas as propriedades sejam determinadas simultaneamente (GASIOROWICZ, 1979).

O Princípio da Incerteza destacava a impossibilidade do uso de conceitos clássicos aos objetos do mundo quântico. As previsões teóricas de Heisenberg faziam surgir uma controvérsia: não era possível determinar com precisão a posição de um elétron, apenas uma probabilidade estatística de encontrá-lo. Ou seja, não se pode conhecer a natureza em sua essência, ela passa a ser representada por uma possibilidade estatística.

Nessa mesma época, Niels Bohr, nos seus estudos sobre a dualidade onda-partícula, formulou o conceito de Complementaridade, que descreve uma situação em que um determinado fenômeno não pode ser compreendido em sua totalidade, por meio de uma única abordagem, requerendo abordagens diferentes e complementares entre si. Assim, refere-se ao fenômeno da natureza da luz, que pode ser observado como onda ou como partícula, a partir de processos distintos (HEISENBERG, 1996). No desenvolvimento do princípio da Complementaridade, Bohr partiu do postulado quântico de Planck, e dos resultados de experiências envolvendo fótons e elétrons, nos quais o observador sempre causa interferência nos fenômenos, direcionando o comportamento desenvolvido (PESSOA Jr., 2006).

Explicando de outra forma, Niels Bohr (1928) entende que as propriedades ondulatórias e corpusculares são aspectos complementares de um objeto quântico e, dessa forma, não podem ser observados ao mesmo tempo. Um sistema quântico pode exibir comportamento corpuscular ou ondulatório, dependendo do arranjo experimental, mas nunca os dois ao mesmo tempo (BASTOS FILHO, 2003; BOHR, 1935; MENESES, 2008; PESSOA Jr., 2008).

O Princípio da Complementaridade enfatiza a influência do observador nos resultados dos experimentos, no conhecimento do objeto. É a partir da decisão do observador e montagem experimental, que a natureza se revela de uma forma ou de outra. Dessa forma, o observador passa a ter um papel fundamental na determinação da natureza dos objetos quânticos, em contradição à exigência da física clássica e causalística, que segrega o sujeito do objeto. Este viés repercute em uma discussão epistemológica e ontológica (NETTO *et al.*, 2015).

Após divulgação desses princípios, os debates mais acentuados foram protagonizados entre Einstein e Bohr. De acordo com Heisenberg (1996, p. 98), nesses debates era comum Einstein repetir a frase “Deus não joga dados”. As críticas mais importantes partiram de Einstein. Ele não aceitava que um fenômeno natural fosse representado, inteiramente, por representações matemáticas e probabilísticas, de forma parcial e aproximada. A natureza da luz ainda requeria uma descrição.

Os problemas e os objetos da Mecânica Quântica resultam no debate ontológico (de ser) e epistemológico (da construção do conhecimento) da realidade.

[...] Estaríamos então obrigados a rever nossas expectativas intelectuais em relação à Ciência, esperando apenas que ela nos forneça ficções úteis ou instrumentais adequados e confiáveis para exclusivamente manipular ou predizer o comportamento do mundo, sem nunca nos assegurar nada sobre a sua real estrutura ou as leis que de fato regulam seu funcionamento? (BARRA, 1998, p. 15).

É este viés que exploramos no estudo dos Princípios da Incerteza e da Complementaridade, nesta pesquisa.

De acordo com Osvaldo Pessoa Junior (2006), Heisenberg e Bohr entendiam o fazer científico como um empreendimento no qual a observação é regida pelas leis. O que não pode ser observado é desconsiderado, tendo como desdobramento a realização de previsões. Esse ponto de vista é reproduzido nos argumentos travados em um diálogo entre Heisenberg e Einstein, ocorrido em 1925, em Berlim. Na ocasião, Heisenberg havia desconsiderado elementos de definição das órbitas dos átomos em sua solução matemática, usando o argumento de que estas eram variáveis não observáveis. A seguir são apresentados trechos do referido diálogo (HEISENBERG, 1996, p. 78-84).

EINSTEIN: O senhor presume a existência dos elétrons no átomo, e é provável que tenha razão em fazê-lo. Mas recusa-se a considerar suas órbitas, embora possamos observar os rastros dos elétrons numa câmara de nuvens. Eu gostaria de ouvir mais sobre suas razões para fazer essas estranhas suposições.

HEISENBERG: Não podemos observar as órbitas dos elétrons no átomo, mas a radiação que um átomo emite durante as descargas permite-nos deduzir as frequências de oscilação de seus elétrons e as amplitudes correspondentes. Afinal, até na física antiga os números de onda e amplitudes podiam ser considerados substitutos das órbitas dos elétrons. Ora, como **uma boa teoria deve basear-se em grandezas diretamente observáveis**, achei mais apropriado restringir-me a estas, tratando-as, por assim dizer, como representantes das órbitas dos elétrons (*grifo nosso*).

EINSTEIN: Mas, em princípio, é um grande erro tentar fundamentar uma teoria apenas nas grandezas observáveis. Na realidade, dá-se exatamente o inverso. **É a teoria que decide o que podemos observar**. O senhor deve perceber que a observação é um processo muito complicado. O fenômeno observado produz certos eventos em nossos instrumentos de medida. Como resultado ocorrem certos processos no aparelho, os quais, por vias complexas, acabam produzindo impressões sensoriais que nos ajudam a fixar os efeitos em nossa consciência. Devemos ser capazes de dizer como a natureza funciona ao longo de todo esse trajeto, desde o fenômeno até sua fixação em nossa consciência; devemos conhecer as leis naturais, ao menos em termos práticos, para podermos afirmar que observamos algo. Somente a teoria, ou seja, o conhecimento das leis naturais nos permite que, partindo de nossas impressões sensoriais, possamos deduzir os fenômenos subjacentes (*grifo nosso*).

A partir de duas frases destacadas nos diálogos desses cientistas, pode-se inferir seus posicionamentos quanto ao papel da observação e da razão na construção do conhecimento. De acordo com Heisenberg, o cientista deve-se ater aos fatos observáveis, ou seja, aos aspectos exibidos pelo fenômeno; é um pensamento característico das visões que dão ênfase ao objeto na determinação da teoria. Einstein, pelo contrário, afirma que é a teoria que decide o que é observado, ou seja, a razão direciona o olhar sobre os fenômenos da natureza; dessa forma, prevalecem os aspectos subjetivos nessa visão epistemológica.

Heisenberg (1996, p. 90) descreve uma conversa travada, em 1926, entre Schrödinger e Bohr. Nessa oportunidade, pode-se analisar o ponto de vista de Bohr sobre as questões epistemológicas da observação:

BOHR: O que o senhor está dizendo é correto. Mas não prova que não existam saltos quânticos. Prova apenas que não conseguimos imaginá-los, que os conceitos intuitivos com que descrevemos os acontecimentos da vida cotidiana e os experimentos da Física Clássica são inadequados, quando se trata de descrever saltos quânticos. Tampouco devemos surpreender-nos ao constatar isso, pois os processos envolvidos não são objeto da experiência direta. **Não os percebemos diretamente; assim, nossos conceitos não são adaptáveis a esses processos.**

Além dessa fala, Heisenberg (1996, p. 108) apresenta outras colocações de Niels Bohr sobre a Natureza da Ciência, no que refere à objetividade da observação.

BOHR: Considero uma grande liberdade do pensamento, esses avanços que a Física obteve nas últimas décadas. Eles mostraram quão problemáticos são conceitos como “objetivo” e “subjetivo”. Tudo começou com a Teoria da Relatividade. No passado, a afirmação de que dois eventos eram simultâneos era considerada uma asserção objetiva, passível de ser comunicada de forma inequívoca e passível de verificação por qualquer observador. Hoje, sabemos que “simultaneidade” contém um elemento subjetivo, pois dois eventos que parecem simultâneos a um observador em repouso não são necessariamente simultâneos para um observador em movimento. Contudo, a descrição relativística também é objetiva, na medida em que cada observador pode deduzir, através de cálculos, o que o outro observador perceberá ou percebeu. Mesmo assim, distanciamo-nos do ideal das descrições objetivas da antiga Física Clássica.

BOHR: Na Mecânica Quântica, o afastamento desse ideal foi ainda mais radical. Ainda podemos usar a linguagem objetivadora da Física Clássica para fazer animações sobre fatos observáveis. Por exemplo, podemos dizer que uma chapa fotográfica foi escurecida, ou que se formaram gotículas de água. Mas nada podemos dizer sobre os átomos em si. E as conclusões que baseamos nessas descobertas dependem da maneira como formulamos nossa pergunta experimental. Nesse ponto, o observador tem liberdade de escolha. Naturalmente, continua a não fazer diferença se o observador é um homem, um animal ou um aparelho, mas já não é possível fazer previsões sem fazer referência ao observador ou aos meios de observação. **Dessa maneira, pode-se dizer que, na Ciência atual, todo processo físico tem aspectos objetivos e subjetivos.** O mundo objetivo da Ciência do século XIX era, como sabemos hoje, um conceito ideal e restritivo, e não a realidade. É certo que, mesmo em nossos futuros contatos com a realidade, teremos que distinguir entre o aspecto objetivo e o subjetivo, estabelecer uma separação entre os dois. Mas a localização exata dessa separação, talvez dependa da maneira como as coisas são encaradas; em certa medida, pode-se escolhê-la à vontade.

Das passagens acima, entende-se a visão de Bohr para a Ciência como algo limitado, uma limitação, tanto do ponto de vista da teoria quanto da experiência, em uma aproximação ao mundo quântico. Por um lado, os fenômenos não são diretamente observáveis e, por outro, as ideias existentes da Física Clássica limitam uma construção mental sobre os saltos quânticos. Dessa forma, o papel da subjetividade se destaca no fazer científico, requerendo maior clareza dos cientistas. A partir dessas ideias, Niels Bohr e Heisenberg chegaram aos enunciados dos princípios da Incerteza e da Complementaridade. Mas, para isso, um vasto caminho de contradições e ambiguidades científicas foi percorrido, não por limitação dos cientistas, mas porque a Natureza não se apresenta explicitamente ou por limitações do conhecimento científico? Pode-se fazer um recorte e dizer que, na época do desenvolvimento desses princípios, as limitações da Física esbarravam na natureza singular dos elétrons e da luz.

Como se pode perceber, os princípios da Incerteza e o da Complementaridade constituem um palco rico para exemplificar o papel das concepções epistemológicas dos cientistas no seu fazer. Em relação à fundação de tais conteúdos, destacamos duas discussões. O papel da razão e da experiência na construção do conhecimento e, a subjetividade na Ciência. Em que medida, a razão orienta a prática científica e a construção do conhecimento? Os conhecimentos são resultados, essencialmente, da experiência? Até que ponto, o observador interfere nos resultados dos experimentos? Não é intenção, desta pesquisa, responder a tais perguntas. Muito pelo contrário, intenta-se potencializar tais inquietações nos estudantes investigados.

Do ponto de vista histórico, esses conteúdos da Física estão relacionados à construção da bomba nuclear. Heisenberg, em 1939, foi incumbido do projeto de criação da bomba da Alemanha, junto à Divisão de Armas do Exército alemão (BODANIS, 2001). Em 1941, Heisenberg realizou uma visita a Niels Bohr, em Copenhague. O conteúdo tratado nessa visita não é conhecido na íntegra (HEISENBERG, 1996).

Esse encontro é retratado, de forma fictícia, na peça “Copenhague” de Michael Frayn e foi trabalhado por um grupo de pesquisadores da área de educação (SILVEIRA *et al.*, 2009a; 2009b; SILVEIRA, 2011), com o objetivo de promover a divulgação científica. Tal estudo serviu de referência para a construção da intervenção pedagógica e metodologia deste projeto. Formatamos um modelo de teatro, tendo como tema essa peça e nos elementos do estilo de teatro de Bertolt Brecht (1978). Também foi realizado o estudo, do ponto de vista da NdC, de trechos da peça, acessados a partir desses trabalhos. O resultado desse estudo produziu o texto da peça abordada com os estudantes nesta pesquisa. Na seção seguinte, apresentamos tal estudo.

3.1 ESTUDO EPISTEMOLÓGICO DE TRECHOS DA PEÇA COPENHAGUE

A peça “Copenhague” foi trabalhada a partir dos textos publicados pelos professores, da área de Ensino de Física, Silveira *et al.* (2009a). Tais autores realizaram estudo teórico e montagem dessa peça, com o objetivo de investigar o uso do teatro como instrumento de comunicação, reflexão e de aspectos relacionados ao potencial didático. Em suas conclusões, destacaram que a encenação da peça trouxe à tona o contexto social no

campo da Ciência e o poder de comunicação científica do teatro. Além disso, os autores fizeram uma análise dos diálogos sobre os princípios da Incerteza e da Complementaridade do ponto de vista da epistemologia da Ciência.

Partindo do estudo dos trechos da peça apresentados por tais autores, fizemos um estudo, à luz da NdC, e adaptação das falas em que os personagens, Niels Bohr e Werner Heisenberg, discutiram os princípios da Incerteza e o da Complementaridade.

O processo de adaptação consistiu em dois momentos, um primeiro de reformulação das falas dos personagens, tendo em vista que foi realizado recorte de trechos da peça. Assim, o objetivo dessa etapa foi de preservar a coerência e continuidade lógica dos argumentos e organização da peça em três atos e um segundo, buscando relações entre os assuntos abordados na peça com aspectos da Natureza da Ciência.

No primeiro ato, os cientistas discutem pressupostos epistemológicos que fundamentam a Interpretação de Copenhague e introduzem a discussão sobre o Princípio da Incerteza; no segundo ato, os cientistas tentam explicar o Princípio da Complementaridade; no terceiro continua o debate sobre esse princípio, contudo com exemplos de contexto social e político.

Descrevemos a seguir alguns pontos principais da peça, em relação à Natureza da Ciência, do ponto de vista da pesquisadora.

O primeiro ato tem início com os dois personagens explicando que os Princípios da Incerteza e da Complementaridade foram idealizados no período de 1924 a 1927 e, em seguida, surge uma discussão entre Bohr e Heisenberg sobre o objeto de estudo da Ciência.

- Heisenberg diz:

De repente, percebi que nós tínhamos que limitá-la àquilo que pudéssemos de fato observar.... Nós não podemos ver os elétrons dentro do átomo.... Tudo que nós podemos ver são os efeitos que os elétrons produzem, através da luz que eles refletem...

Destacamos, acima, as falas de Heisenberg, que afirmam que a Ciência deveria investigar somente aquilo que é passível de observação. Ele quer dizer, que não se pode observar os elétrons, mas sim sua perturbação. Essa fala remete a um dos aspectos mais

polêmicos da Interpretação de Copenhague e que geraram embates entre Bohr, Einstein e Heisenberg.

O trecho destacado pode conduzir à reflexão sobre o aspecto da Natureza da Ciência, listado por Lederman (1992), que trata da dependência do conhecimento científico à comprovação empírica, que resulta na disputa entre realismo e antirrealismo. A existência ou não de uma realidade e a possibilidade de acessá-la, que é o cerne dos debates entre realistas e antirrealistas. Havendo uma realidade e sendo possível acessá-la, qual seria a fonte do conhecimento: a experiência ou a razão? (HESSSEN, 2003).

Dando prosseguimento à análise das ideias de Heisenberg, que deram origem ao Princípio da Incerteza, percebe-se que o mesmo chegou à conclusão que não se pode ter certeza da trajetória ou localização do elétron, pode-se apenas estimar com certo grau de aproximação, uma posição e velocidade. Para representar essa natureza probabilística do universo quântico, Heisenberg elaborou o Princípio da Incerteza e desenvolveu todo um aparato matemático (GASIOROWICZ, 1979). No texto da peça, essa faceta é introduzida pela seguinte fala de Heisenberg.

- Heisenberg diz:

Seu significado é representado por uma equação matemática.

Ou seja, Heisenberg defendia que os fenômenos do mundo quântico, de dimensões mínimas e de difícil representação mental, deveriam ser explicados por modelos matemáticos. Contudo, Bohr defendia que, independente dos modelos, deveria existir uma explicação conceitual, de modo que um público mais amplo pudesse compreender. Essa é outra questão bastante atual trabalhada pela peça. O ensino de Física é extremamente matemático, os alunos de todos os níveis aprendem a aplicar as equações, sem compreender de fato, o significado das mesmas e dos fenômenos envolvidos (PINTO; ZANETIC, 2009). Para uma evolução da Ciência, é necessária uma formação mais sólida dos estudantes, em que os mesmos tenham condições de interpretar a realidade e os diversos problemas do mundo atual, a partir desses conhecimentos.

A discussão entre esses dois personagens tem suas bases na discussão sobre a o formalismo matemático do Princípio da Incerteza de Heisenberg. Bohr não gostava da

representação unicamente matemática dos fenômenos quânticos. Para Bohr, a explicação física precede o formalismo matemático, enquanto que para Heisenberg o formalismo matemático é que descreve o que ainda será observado. Essa controvérsia é bastante significativa para a formação de professores, que é o contexto desta pesquisa.

Nesse mesmo ato, Heisenberg explica o Princípio da Incerteza e introduz, através de um exemplo, a dificuldade de se medir a luz. Ele demonstra que, ao se tentar localizar o elétron, o processo de medida altera o resultado. Na peça, reforçamos essa discussão por meio de um questionamento, introduzido ao final do primeiro ato. O narrador questiona o público sobre a possibilidade de alterarmos um objeto ao tentar medi-lo.

- Heisenberg diz:

Só há uma maneira de te achar, quando eu colido com você.... Olha, você ficou mais lento, você se desviou.

- Questionamento introduzido no final do primeiro ato:

Alteramos o objeto ao tentar nos aproximar dele?

Trazendo ao campo da discussão da Natureza da Ciência, esse problema pode ser analisado do ponto de vista da subjetividade intrínseca do processo de investigação. Entre os aspectos da Natureza da Ciência, citados por McComas (2008), tem-se “a Ciência tem um elemento subjetivo”, que destaca a influência humana no empreendimento científico, através das ideias prévias, da fundamentação teórica, expectativas e experiências anteriores dos cientistas.

A subjetividade, na Ciência, é um tema bastante controverso e requer um certo cuidado na sua abordagem. Por exemplo, Lederman (1992) utiliza o termo *Theory-Laden* para expressar tal aspecto, representando o papel da teoria na condução das práticas científicas. Contudo, Matthews (2012) alerta para o sentido ambíguo, empregado por Lederman, ao se referir a tal subjetividade. Seria uma subjetividade psicológica? Ou filosófica? Ou científica? Na seção seguinte, apresentaremos as diferentes concepções de subjetividade e como elas são trabalhadas nas pesquisas em Ensino de Ciências.

O segundo ato, também, aborda a natureza subjetiva da Ciência, ao explicar o Princípio da Complementaridade. Bohr explica que, para se tentar estudar a luz, é preciso escolher uma forma de olhar, e que esse processo definirá o resultado. Dessa forma, pode-se associar o comportamento da luz, ao problema da medida e ao Princípio da Complementaridade. A luz admite dois comportamentos possíveis. Contudo, são impossíveis de serem vistos, ao mesmo tempo, através de um único processo de medida. Dependendo da forma como o observador se aproxima do objeto quântico, causa interferência nos fenômenos, direcionando o seu comportamento (PESSOA Jr., 2006).

A seguir, apresentamos uma fala de Bohr, em que ele se refere à tal questão.

- Bohr diz:

Ou são partículas ou são ondas. Não podem ser as duas coisas ao mesmo tempo. Nós temos que escolher uma forma ou outra de olharmos para elas...

Para enfatizar esse debate, ao final do segundo ato, introduzimos um questionamento que recai, novamente, sobre a subjetividade.

- Questionamento introduzido no final do segundo ato:

Quanto de subjetividade existe no processo de observação?

No terceiro ato, a discussão extrapola o ambiente científico para um contexto mais social e político. Heisenberg explica para Bohr, que ele desempenha vários papéis: inimigo, amigo, perigo para a humanidade, cidadão e membro de uma família. E que, pelo princípio da Complementaridade, ele seria todas essas coisas, em contextos distintos.

- Heisenberg diz:

Eu sou seu inimigo; mas eu sou também seu amigo. Eu sou um perigo para a humanidade; mas também sou seu convidado. Eu sou uma partícula; mas também uma onda. Nós temos uma série de obrigações para com o mundo em

geral; e nós temos outras obrigações, que nunca podem ser conciliadas com as outras.

Pode-se estabelecer relação dessa passagem do texto com o seguinte aspecto da Natureza da Ciência: o conhecimento científico é socialmente e culturalmente incorporado (MCCOMAS, 2008). Ou seja, a Ciência é produzida por indivíduos que são influenciados por diversos contextos, como o cultural, econômico, político e social.

A partir do estudo dos principais aspectos da Natureza da Ciência, tratados pela área de Ensino de Ciências, conforme exposto em capítulo específico, bem como da leitura crítica das falas dos personagens da peça Copenhague, foi possível identificar aspectos que, potencialmente, poderiam emergir da discussão sobre os princípios da Incerteza e da Complementaridade, entre os alunos, durante a investigação. Tais aspectos orientaram a elaboração do material didático e a condução desta pesquisa. O leitor pode acessar o roteiro da nossa peça, inspirada nesses trechos da peça Copenhague, a partir do Apêndice C.

A seguir, apresentamos uma discussão sobre o teatro de Bertolt Brecht, que subsidiou a formatação do modelo de teatro empregado nesta investigação.

4 CARACTERÍSTICAS DO TEATRO DE BERTOLT BRECHT



Fonte: <http://educarparacrescer.abril.com.br/>

Na construção desta seção, buscamos compreender como se dá o uso do teatro no Ensino de Ciências. Entender os benefícios que pode promover no processo de ensino-aprendizagem e na formação do estudante. Especificamente, em relação ao uso do teatro atrelado à abordagem histórico-filosófica da Ciência, seus objetivos e características. Nesse processo, destacamos o estilo de teatro de Bertolt Brecht, o qual prioriza a função didática. Dessa forma, buscamos identificar elementos desse estilo de teatro que possam embasar a construção do nosso estilo de teatro, proposto por esta pesquisa. Todos estes aspectos são abordados nos parágrafos seguintes.

A relação do teatro e de outras artes com a Ciência e o Ensino de Ciências não constitui um evento dos tempos mais recentes. É possível encontrar na literatura vários textos e peças teatrais que tratam sobre eventos científicos ou importantes personagens da Ciência. Entre essas obras, destacam-se: “Os Físicos” de Durrenmatt (1996); “Copenhague”

de Michael Frayn (1987); “O Caso Oppenheimer” de Kipparadt (1966); “Vida de Galileu” de Bertolt Brecht (1991) (OLIVEIRA; ZANETIC, 2004).

No Ensino de Ciências, a importância do uso do teatro como ferramenta didática é destacada pelos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio – PCNEM (BRASIL, 2002). Os PCNEM recomendam que, além das formas habituais do Ensino de Física, por meio de resolução de problemas e da linguagem matemática, é preciso incorporar novas formas de expressão a esse ensino, incluindo a linguagem corporal e artística. Dessa forma, seria possível construir novos conhecimentos e, apresentar a Física como cultura e fruto das relações humanas e sociais, principalmente, a partir do enfoque nos aspectos históricos.

No que concerne ao uso do teatro no Ensino de Ciências, atrelado à presença da História e Filosofia da Ciência, é recomendado por inúmeros autores (REIS; GUERRA; BRAGA, 2005; ZANETIC, 2006; MASSARANI; ALMEIDA, 2006). De modo geral, esses pesquisadores afirmam que o Ensino de Ciências, pautado na abordagem Histórico-Filosófica e no uso do teatro como estratégia didática, pode permitir ao aluno fazer relações entre conteúdos e questões sociais. Além disso, o uso do teatro, como ferramenta didática, pode contribuir para minimizar as dificuldades da introdução da abordagem Histórica, Filosófica no Ensino de Ciências, auxiliando na construção do diálogo entre aspectos relacionados à Natureza da Ciência (MARTINS, 2006).

Zanetic (1989) esclarece que não se trata da substituição do ensino tradicional pela abordagem teatral e, nem que esta seja generalizada a todas as Ciências. O palco e os textos complementarizam o ensino, favorecendo a integração dos alunos e motivando sua aprendizagem. Esse autor recomenda o uso de textos que tratem da evolução conceitual e metodológica da Ciência, assim como da relação com outras áreas do conhecimento. Desse modo, os estudantes teriam a oportunidade de entender o conhecimento como algo inacabado, desmistificando a Ciência (MEDINA; BRAGA, 2010).

O uso do teatro, também, tem o objetivo de ajudar na divulgação de fatos científicos para um público mais abrangente, levando o conhecimento para ambientes fora da sala de aula. É visto como ponto de partida para despertar o interesse pela Ciência, servindo para divulgar informações e popularizar de forma lúdica o conhecimento das Ciências, contribuindo para diminuição do analfabetismo científico (OLIVEIRA; ZANETIC, 2004;

MEDINA; BRAGA, 2009; SILVEIRA *et al.*, 2009a; MEDINA; BRAGA, 2010; VESTENA, PRETTO, 2012).

Analisando a estruturação de algumas dessas pesquisas, percebe-se que os textos mais usados, no Brasil, são “A Vida de Galileu” de Bertolt Brecht (MEDINA; BRAGA, 2009) e “Einstein” de Emanuel (OLIVEIRA; ZANETIC, 2004). Esses últimos pesquisadores também estruturam sua intervenção na teoria dos Jogos Teatrais de Viola Spolin, os quais se organizam em torno de problemas a serem resolvidos e que orientam os objetivos e desenvolvimento da peça. Ao final do jogo, é realizada uma avaliação, com os jogadores e observadores, para descobrir o que foi aprendido.

A participação e interação com os observadores nas peças de teatro, também são estimuladas em outros trabalhos. Silveira *et al.* (2009a) construíram seu projeto didático teatral na perspectiva dialógica com o público. Os personagens, ao longo da peça, interagem com a plateia, lançando perguntas sobre o tema abordado. Essa forma de construção do teatro, a qual promove a interação do público com os personagens, é o teatro desenvolvido por Bertolt Brecht.

Bertolt Brecht (1898 – 1956), por volta de 1920, configurou o estilo de teatro didático em defesa a uma forma alternativa de teatro, servindo não somente para lazer, mas como forma de divulgação de conhecimentos. Brecht encarava a educação formal como um processo orquestrado pelo mercado de trabalho, da economia e da configuração de classes sociais. De acordo com Brecht (1978, p. 48) “trata-se, na realidade, de uma compra. A instituição é mera mercadoria, adquirida com objetivo de revenda”. Somado a esse fato, também considerava penoso e desagradável o ambiente escolar. Em oposição a essa realidade, defendia o uso do teatro como uma possibilidade de aprendizagem divertida.

Esse novo tipo de função do teatro serviria de base para a constituição do seu teatro. Brecht (1978) apresenta seu novo estilo de teatro, a partir de uma explicação sobre a aparente contradição entre a forma épica e a forma dramática. Brecht considera que esses dois estilos não são tão incompatíveis. Brecht exemplifica a reação esperada dos espectadores desses dois estilos de dramaturgia. A plateia, submetida a uma peça do estilo dramático, enfatizaria, em seus comentários, questões referentes às impressões sentidas, subjetivas, do comportamento dos personagens e das emoções. O espectador, de uma obra

épica, destacaria as questões de pensamento, dos fatos e dos motivos que contribuíram para o acontecimento dos mesmos.

Para achar um meio termo, um estilo de teatro que articulasse os dois efeitos, Bertolt Brecht fundamentou o seu modelo de teatro na estratégia do *distanciamento* ou *estranhamento*. Ele se baseava na necessidade de se estabelecer um distanciamento entre o ator e seu personagem, entre o público e a peça. Brecht acreditava que o espectador não deveria ser distraído pela emoção da atuação, a sua permanência em um estado consciente o permitiria entender os diversos aspectos e conceitos transmitidos pela peça. O Teatro Épico tinha as seguintes características: comentários inseridos na ação, feitos por um narrador; título de “capítulos” em grandes cartazes; máscaras e imagens projetadas (BERTHOLD, 2010; GIMENEZ, 2013).

Claramente, as peças de Brecht não enfatizam a finalidade do entretenimento, têm como objetivo o aprendizado. Para facilitar esse processo, introduziu nas suas peças falas com recomendações ou explicações sobre a forma como a peça deveria ser assistida ou sobre os temas e conceitos abordados. Os textos utilizados eram constituídos em um discurso direto ao público, pelo diretor, locutor, narrador ou coro (CUNHA, 2013).

Brecht descreve seu teatro da seguinte forma:

[...] Assim como Piscator (...) eu utilizava novos princípios de construção para cada obra e modificava também a maneira de interpretação dos atores. Trabalhávamos com alunos e com atores em escolas e com alunos em teatros. Trabalhávamos (nas peças didáticas) sem plateia; os atuantes atuavam para si mesmos. Formávamos *ensembles* com operários, que nunca haviam pisado num palco e artistas altamente qualificados, e diante de toda diversidade de estilos, nenhum elemento da plateia podia contestar a unidade do que era apresentado (...). O único princípio que nunca ferimos foi o de submeter todos os princípios à tarefa social, que tínhamos por objetivo cumprir em toda obra (BRECHT *apud* KOUDELA; SANTANA, 2005, p. 09).

Com o objetivo de alimentar o distanciamento nas suas peças, Brecht utilizava recursos que auxiliavam na interpretação do ator e do contexto do tema a ser transmitido. Um elemento de alegoria era a música, canções interrompendo a ação na peça, marcando uma pausa, que às vezes também era anunciada por um gongo. A montagem da peça utilizava tecnologia (efeitos luminosos, filmes, fotos), com a finalidade de favorecer a intervenção da plateia com comentários e críticas. No teatro de Brecht, a interação do

público poderia implicar, eventualmente, em mudanças nos rumos da peça (BERTHOLD, 2010).

A técnica de distanciamento, apresentada por Brecht, tem como condição mínima, que o ambiente de exibição da peça e a atuação dos atores não transmitam nenhuma atmosfera de magia e envolvimento. Dessa forma, o público não se colocará em um nível de predisposição a um envolvimento emocional. “Não se aspirava, em suma, pôr o público em transe e dar-lhe a ilusão de estar assistindo a um acontecimento natural, não ensaiado” (BRECHT, 1978, p. 79).

São propostos vários elementos de favorecimento do distanciamento. O ator deve realizar ensaios, em maior número, como leitor que lê para si mesmo à mesa de estudo, captando não somente a motivação dos fatos descritos no texto, mas o comportamento de seu personagem. O decorar o texto consiste em um ato crítico e reflexivo, sobre a razão das suas reações na leitura do texto. O ator em cena, não deverá se transformar integralmente no personagem. Seu papel é sugerir e revelar, através de suas ações, uma alternativa dos acontecimentos, cabendo ao público imaginar outras hipóteses.

Em seu livro, o dramaturgo enumera três recursos facilitadores do distanciamento: apresentação do texto na terceira pessoa; construção das falas no passado; interrupção da peça para explicações sobre a encenação e de comentários. Brecht (1978, p. 82) apresenta algumas passagens (falas) que ilustram esses recursos, entre elas a seguinte: “Ele levantou-se e disse, mal-humorado, pois não tinha comido nada...”. A descrição verbal e a quebra da entonação dessa fala, além do uso da terceira pessoa e do passado, reforçam o efeito do distanciamento.

Outros aspectos são descritos para o alcance do distanciamento: quanto à dicção do ator, pode-se variar, adequando ao grau de importância atribuída às passagens da fala; o ator pode dialogar com o público sobre a peça; atribuição de títulos para as cenas teria a função de facilitar a compreensão da mensagem trabalhada pela peça e também se pode recorrer à descrição histórica das cenas (BRECHT, 1978).

Na construção deste trabalho, realizamos estudo sobre os elementos do teatro Brechtiano que mais se adequam aos objetivos e dinâmica da nossa proposta de teatro. A nossa proposta se apoia no pressuposto de que todos os sujeitos envolvidos na peça, seja ator ou plateia, desempenham uma função central, assim como propõe Brecht. Além disso,

entendemos que o teatro, com uma função didática, deve pautar-se em uma concepção de ensino-aprendizagem.

Nesse contexto, compreendemos que a aprendizagem é um processo individual. Cada sujeito elabora seus conhecimentos a partir de um caminho peculiar. Nesse sentido, Bertolt Brecht apresentou um teatro, no qual enfatizava a participação de todos, de uma forma singular (1978). Na nossa proposta de teatro, convergindo com as ideias desse dramaturgo, fundamentamos a partir da concepção de aprendizagem apresentada por George Kelly (1963), através da Teoria dos Construtos Pessoais e do Ciclo da Experiência, que descreveremos com detalhes na seção seguinte.

Contudo, é necessário permitir ao leitor entender o processo de articulação realizado entre as características do teatro de Bertolt Brecht e das ideias de George Kelly, na construção da nossa proposta de teatro, denominado de Teatro Científico-Experimental. Tal estilo de teatro consiste em uma adaptação do Teatro Kellyano elaborado pela Professora Doutora Heloisa Bastos, o qual foi aplicado a estudantes do ensino fundamental. Neste trabalho, adaptamos tal estilo, inserindo elementos do teatro Brechtiano e aplicando aos estudantes do curso de licenciatura em Física. Para isso, selecionamos algumas das características do teatro de Bertolt Brecht, as quais se articulam mais diretamente aos pressupostos subjacentes à concepção de aprendizagem de Kelly.

As seguintes características utilizadas, nesta pesquisa, do estilo de teatro Brechtiano:

- ✓ Ensaios em maior número na forma de leituras e estudos sobre o texto;
- ✓ Utilização da terceira pessoa e do tempo passado na construção das falas;
- ✓ Interação com o público, podendo implicar em mudanças nos rumos da peça;
- ✓ Interrupção da peça para questionamentos;
- ✓ Descrição histórica das cenas;

Na seção da Metodologia, explicamos os motivos pelos quais cada uma foi selecionada, bem como, apontamos em que medida as mesmas se articulam com à teoria de George Kelly.

Diante de tudo que foi apresentado nesta seção, propomo-nos a introduzir o leitor às formas como o teatro vem sendo introduzido no Ensino de Ciências. Especificamente, através de uma abordagem Histórica e Filosófica da Ciência, na qual se destaca a construção do teatro, a partir das ideias de estilo teatro concebido por Bertolt Brecht, no qual o espectador, bem como os atores, são os elementos mais importantes. Além disso, a função principal do teatro desloca-se do entretenimento para o aprendizado, que converge com esta proposta de pesquisa. Assim, estudamos as características desse estilo de teatro, as quais apontam no mesmo sentido da concepção de aprendizagem de George Kelly.

Nesse contexto, a seção seguinte tem como objetivo, apresentar os principais pressupostos da Teoria dos Construtos Pessoais de George Kelly, além de indicar os elementos dessa teoria que conduziram o desenvolvimento desta pesquisa, especificamente, a adaptação do Teatro Kellyano, de Heloisa Bastos, para o Teatro Científico-Experimental.

5 PRESSUPOSTOS DA TEORIA DOS CONSTRUTOS PESSOAIS



Fonte: www.larabrenner.com.br

Nesta seção, detalhamos as ideias principais que alicerçam a teoria de George Kelly, em relação ao processo de aprendizagem. A sua teoria tem um pressuposto epistemológico complexo, o qual discute a existência de uma realidade independente do sujeito e de um mundo concebido pelo mesmo. Contudo, uma das contribuições mais efetivas e inovadoras de sua teoria consiste no olhar do sujeito no processo de compreensão dessa realidade e da sua aprendizagem. Kelly afirma que, os indivíduos não estão presos ao passado, os mesmos são motivados pelo futuro, por suas antecipações. Esta é a base da sua concepção de aprendizagem, a qual descrevemos nos parágrafos seguintes.

Antes disso, é necessário apresentar George Alexander Kelly (1905-1967). Ele nasceu em Perth, no Estado do Kansas, nos Estados Unidos. Formou-se em Física e Matemática, em 1926, pelo *Park College*, no Missouri; em Bacharel em Educação, em 1929, pela Universidade de Edimburgo, na Escócia e obteve o título de Doutor em Psicologia pela Universidade de Iowa, em 1931. A partir desse ano, até meados de 1942,

atuou como docente na Universidade Estatal *Fort Hays, Kansas State College*, mas também, como pesquisador na área clínica. Nesse período, formatou e aplicou um programa, a Clínica Itinerante, de atendimento clínico e de testes diagnósticos itinerantes para pessoas com situação economicamente desfavorável (FEIST, J; FEIST, G.; 2008).

A Teoria dos Construtos Pessoais teve origem durante a atuação de Kelly no período da Segunda Grande Guerra, quando atendia pacientes com traumas de guerra. Contudo, percebeu a necessidade de uma nova abordagem que possibilitasse a superação desses traumas. A partir de então, teve início o processo de elaboração da sua teoria da personalidade, fruto também, de estudos desenvolvidos na clínica itinerante (BEZERRA, 2005).

Alguns resultados das observações e experiências desenvolvidas por Kelly foram publicados na forma de artigo, no período de 1935 a 1940. Um dos principais trabalhos foi publicado em 1936, intitulado *The Autobiography of the Theory*. Nesse trabalho, Kelly apresenta como chegou a sua teoria da personalidade, denominada na época de Psicologia do Próprio Homem. Outra obra que se destacou no meio acadêmico, foi publicada no ano de 1955, *The Psychology of Personal Constructs*, na qual descreve a Teoria dos Construtos Pessoais (TCP), desenvolvida por ele (HALL *et al.*, 2000).

A TCP consiste em uma teoria da personalidade alicerçada em uma fundamentação epistemológica e organizada em um Postulado e onze Corolários. O seu enfoque epistemológico é apresentado por meio do conceito de “Alternativismo Construtivo”. Para compreender esse conceito, faz-se necessário previamente, entender o universo concebido por Kelly. O universo seria algo real, em movimento e em constante transformação. Uma entidade formada por diversas partes inter-relacionadas, as quais vão se mantendo em contato e se relacionando ao longo do tempo (SILVA, 2015).

O primeiro pressuposto expressa uma base epistêmica empírica, uma vez que prevê a existência de uma realidade, independente da consciência do sujeito (FEIST, G.; FEIST, J., 2008). Porém, ao mesmo tempo, percebe-se o trabalho cognoscente em destaque, na tentativa de compreender essa realidade. O universo, por ser integrado por partes, seria incapaz de ser compreendido em sua totalidade em um único esforço. O homem não conseguiria observar todas as partes simultaneamente. No máximo, seria possível alcançar uma interpretação instantânea do universo, tal como uma fotografia. Dessa forma, pode-se

conceber um universo Kellyano como algo real e objetivo, limitado à capacidade de compreensão da sua totalidade pelo sujeito (SILVA, 2015).

Analisando as ideias de Kelly, à luz da epistemologia (HESSEN, 2003), podemos inferir que existe uma predominância de uma posição Subjetiva/Relativa quanto à possibilidade de o sujeito apreender o conhecimento. Ou seja, existe uma verdade, um objeto real possível de ser apreendido parcialmente pelo sujeito, seja por condições subjetivas, relacionado às limitações próprias do sujeito, ou por condições relativas, condicionadas às variações de fatores externos. Essa é uma posição intermediária entre o dogmatismo, o qual afirma a certeza da possibilidade de apreensão da realidade pelo sujeito; e o ceticismo, que declara improvável a compreensão do objeto pelo indivíduo.

Nesse contexto, pode-se dizer que cada sujeito faz suas interpretações pessoais do universo, baseado no seu ponto de vista. Sendo possível refazer essa interpretação em um instante seguinte; o universo mudou, o sujeito mudou com ele e suas interpretações dele também. Dessas possibilidades de construção de diferentes interpretações do universo, Kelly construiu o conceito de Alternativismo Construtivo. Esse surge das várias possibilidades de o homem interpretar o seu mundo, fazendo tentativas para adaptá-la aos resultados de suas experiências. O homem é um agente determinante da sua realidade e do seu futuro, não sendo vítima de seu passado ou de sua história, podendo modificar o mundo, a partir da elaboração de uma nova construção (BASTOS, 1992).

De acordo com Bezerra (2005), a possibilidade de superação do homem de sua condição é o que difere a teoria da personalidade de Kelly de outras teorias, como a de Freud e Skinner, nas quais o sujeito está preso a um destino. Para Kelly, o sucesso e a falha ao lidar com a realidade são consequências das escolhas do homem, que podem ser revistas, corrigidas, adaptadas, de acordo com a forma com que se espera que a realidade reaja.

De acordo com Kelly, (1963, p. 43) *apud* Bastos (2013),

[...] O universo é real; está sempre acontecendo; é integral; e está aberto a interpretações parte por parte, gradativamente. Diferentes indivíduos o constroem de maneiras diferentes. Como ele não deve obediência prévia a qualquer uma das construções humanas, ele está sempre aberto à reconstrução. Algumas das construções alternativas se adaptam melhor às finalidades do homem do que outras. Logo, o homem entende seu mundo através de uma série infinita de aproximações sucessivas. Como o homem está sempre frente a construções alternativas, que ele pode explorar se quiser, ele não precisa ser indefinidamente, vítima nem de seu passado nem das presentes circunstâncias. A vida é

caracterizada não meramente por sua abstratibilidade ao longo da linha do tempo, mas, particularmente, pela capacidade da criatura viva de representar seu meio. Isso é especialmente verdadeiro para o homem, que elabora sistemas de construção através dos quais vê o mundo real. Estes sistemas também são reais apesar de que podem estar enviesados.

Para ilustrar o seu ponto de vista epistemológico, Kelly apresenta na TCP a metáfora do “homem-cientista”. O homem, tal qual um cientista, elaboraria hipóteses a partir de suas teorias, tentando prever os eventos, testar-las e as modificaria de acordo com os resultados obtidos (NEVES, 2006). Assim, estariam mais voltados para o futuro, na tentativa de prever e controlar os acontecimentos, do que para o passado. É a partir dessa metáfora que Kelly explica o comportamento do indivíduo frente às diversas situações de sua vida, independente da área, inclusive à aprendizagem. O aluno para aprender também antecipa eventos, elabora modelos e testa suas validades.

Mas, para além dessa visão simplista de ciência, o processo apresentado por Kelly destaca a efetiva participação do sujeito no seu aprendizado, sendo o principal agente de seu desenvolvimento intelectual ou cognitivo. Assim, dá ênfase na subjetividade desse processo e do conhecimento construído.

Como o universo está em constante transformação, toda teoria é transitória. Os modelos são testados, reavaliados e modificados constantemente pelos indivíduos. George Kelly introduz o conceito de “construtos” que são características específicas de situações vividas. Esses construtos servirão de base para a construção de modelos para tais situações (BASTOS, 1992).

Dessas ideias de Kelly, surgiu a sua teoria, uma teoria da personalidade, a Teoria dos Construtos Pessoais, constituída por um postulado fundamental e onze corolários, os quais são: da Construção; da Individualidade; da Organização; da Dicotomia; da Escolha; da Faixa; da Experiência; da Modulação; da Fragmentação; da Comunalidade e da Sociabilidade.

O Postulado Fundamental consiste em explicar a hipótese básica de como os indivíduos formatam psicologicamente os seus modelos.

- Postulado Fundamental: *"Os processos de uma pessoa são canalizados psicologicamente pelas maneiras por meio das quais ela antecipa eventos"*.

Através do Postulado Fundamental, Kelly apresenta o sujeito como principal agente de suas ações e, também, da sua aprendizagem. De acordo com Bastos (1992), levando para o ensino, esse postulado reflete a necessidade de se considerar múltiplas estratégias de apresentação dos conteúdos aos estudantes, pois, dependendo das ideias prévias de cada um e de suas experiências, uma mesma atividade pode ser percebida de forma diferente, levando a conclusões diversas.

A seguir, descrevemos, resumidamente, cada um dos corolários. Em seguida, nos debruçaremos sobre o corolário da Experiência, o qual fundamentará o processo de ensino-aprendizagem utilizado nesta pesquisa.

Postulado 1º - Da Construção: *"Uma pessoa antecipa eventos construindo suas réplicas"*.

Postulado 2º - Da Individualidade: *"Pessoas diferem entre si em suas construções de eventos"*.

Postulado 3º - Da Organização: *"Cada pessoa caracteristicamente desenvolve, para sua conveniência em antecipar eventos, um sistema de construção que contém relações ordinais entre construtos"*.

Postulado 4º - Da Dicotomia: *"O sistema de construção de uma pessoa é composto por um número finito de construtos dicotômicos"*.

Postulado 5º - Da Escolha: *"Uma pessoa escolhe para ela aquela alternativa em um construto dicotomizado através do qual ela antecipa a maior possibilidade para a elaboração de seu sistema"*.

Postulado 6º - Da Faixa: *“Um construto é conveniente para a antecipação de apenas uma faixa finita de eventos”*.

Postulado 7º - Da Experiência: *“O sistema de construção de uma pessoa muda quando ela sucessivamente constrói a réplica dos eventos”*.

Postulado 8º - Da Modulação: *“A variação no sistema de construção de uma pessoa é limitada pela permeabilidade dos construtos em cujas faixas de conveniência as variantes se encontram”*.

Postulado 9º - Da Fragmentação: *“Uma pessoa pode sucessivamente empregar uma variedade de subsistemas de construção que são inferencialmente incompatíveis entre si”*.

Postulado 10º - Da Comunalidade: *“Na medida em que uma pessoa emprega uma construção de experiência que é similar àquela empregada por outra, seus processos são psicologicamente similares àqueles da outra pessoa”*.

Postulado 11º - Da Sociabilidade: *“Na medida em que uma pessoa constrói o processo de construção de outra, ela pode exercer um papel em um processo social envolvendo a outra pessoa”*.

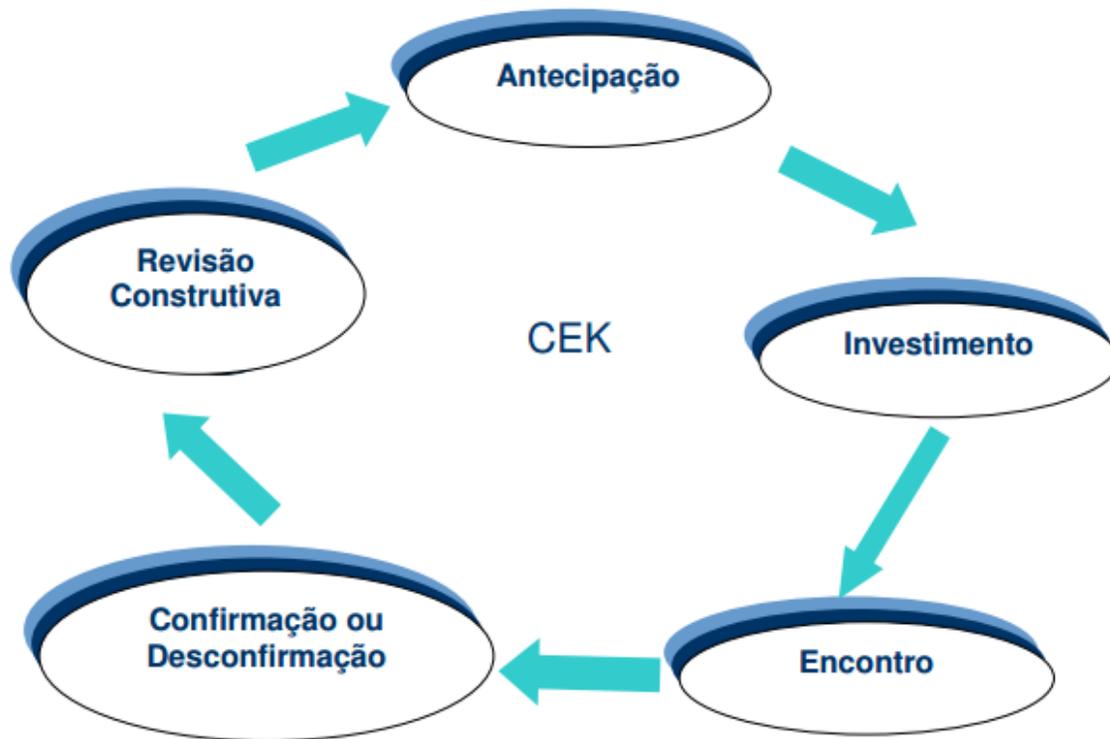
A Teoria dos Construtos Pessoais emprega uma visão epistemológica sobre como os indivíduos interpretam os objetos. Essas interpretações se constituem por meio dos seus construtos pessoais, antecipando e testando eventos em que eles participam, avaliando, modificando e adaptando seus construtos. Para Kelly, um estudante alcançaria a aprendizagem ao mudar sua estrutura cognitiva e seus processos, adaptando suas teorias às experiências, assim como um cientista (BARROS; BASTOS, 2007).

O grande desafio consiste em que cada sujeito possui construtos e sistema de construção próprio. Logo, a aprendizagem varia de indivíduo para indivíduo. Dessa forma, por exemplo, em uma sala de aula com apenas cinco estudantes, cada um desenvolverá um

sistema próprio de construção de conhecimento sobre o conteúdo abordado e trabalhado. Cabe ao docente facilitar aos alunos os caminhos e meios, os quais os conduzirão para um aprendizado mais consciente e, portanto, mais significativo.

Esse corolário estabelece que o encontro sucessivo do indivíduo com o evento, colabora para a revisão dos construtos, o que resulta no seu desenvolvimento e aprimoramento. Esse processo é ilustrado por meio do Ciclo da Experiência, que foi denominado, a partir de Rocha (2005), de Ciclo da Experiência Kellyana, constituído por cinco etapas bem definidas: Antecipação; Investimento; Encontro; Confirmação/Desconfirmação e Revisão Construtiva.

Figura 2. Esquema que Representa as Cinco Fases do Corolário da Experiência Kellyana



Fonte: Cloninger, 1999 *apud* Rocha, 2005, p. 33.

- Antecipação: a pessoa antecipa o evento, selecionando os construtos disponíveis no seu sistema de construção. Nessa fase, tenta prever o evento, elabora hipóteses, de acordo com seus construtos. Exemplo: O professor avisa aos estudantes que irão participar de um evento para discutir o Princípio da Incerteza. Imediatamente, um dos

estudantes, João, tenta lembrar o que sabe sobre o tema “é algo relacionado à Mecânica Quântica, saber algo relacionado à posição de uma partícula...”

- Investimento: o indivíduo se prepara para o evento, tanto psicologicamente como materialmente. Exemplo: João pesquisa na internet o tema, ele evolui seu conhecimento para o seguinte enunciado “o Princípio da Incerteza de Heisenberg afirma que não se pode determinar ao mesmo tempo a posição e a velocidade de uma partícula no mundo da Mecânica Quântica”.
- Encontro: é a realização do evento, a fase em que o indivíduo experimenta suas teorias. Exemplo: No evento anunciado, João observa que a discussão sobre o Princípio da Incerteza é diferente do que conhecia. O tema é abordado do ponto de vista da Epistemologia da Ciência. João se sente meio inquieto por essa nova perspectiva e acha tudo muito diferente.
- Confirmação/Desconfirmação: o sujeito verifica a validade de suas teorias, se foram ou não confirmadas. Exemplo: João pensa sobre o tema, reconsiderando o que sabia antes, com base nas novas informações. Fica cheio de dúvidas. Por exemplo, em relação à interferência do sujeito na medição: “*Será que como observador eu alterei o resultado quando tinha uma teoria na minha cabeça?*”.
- Revisão Construtiva: após as considerações realizadas pela confirmação/desconfirmação a pessoa revisa suas teorias, corrigindo-as ou aprimorando-as, podendo chegar até mesmo à elaboração de novas teorias. Exemplo: Agora, João sabe que há outras abordagens ao Princípio da Incerteza diferentes das que são encontradas, mais facilmente, na internet ou trabalhadas nos livros e sala de aula. Sobre o principal problema do Princípio da Incerteza, João disse: “*é isso que Schrödinger tentou ao fazer com o gato.... Por exemplo, se... alterar a natureza daquilo que você está observando. Vamos pensar um gato dentro de uma caixa e tem um dispositivo radioativo. Até você abrir, o gato está vivo e*

morto ao mesmo tempo. Quando você abre, você descobre... aí você descobre se está vivo ou morto. Mas aí, você força a natureza a tomar uma decisão. E é isso que Schrödinger fala com relação a isso.... Até que ponto a gente altera o experimento. Esse é o problema da quântica”.

A partir das etapas ilustradas acima, pode-se perceber que o sujeito está vinculado às suas experiências anteriores, contudo, o mesmo é motivado por suas antecipações. Além disso, como já foi dito, cada um irá elaborar uma construção única, própria. Dessa forma, a formatação de um teatro que permita ao estudante interagir com seus pares, expor suas ideias, construir e testar suas hipóteses, pode permitir o desenvolvimento de uma aprendizagem mais efetiva e autônoma.

Pensando dessa forma, adotamos o Ciclo da Experiência Kellyana, apresentado acima, para a formatação do Teatro Científico-Experimental. A cada uma dessas etapas foi atribuída uma função, atrelada à peça trabalhada. Detalhes da peça e do processo de adaptação da nossa proposta de teatro são apresentados no capítulo seguinte, denominado Metodologia.

6 METODOLOGIA

Neste capítulo, descrevemos os pressupostos epistemológicos da pesquisa, suas características e procedimentos metodológicos empregados.

6.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Toda prática científica requer uma reflexão sobre o objeto de estudo e as possíveis formas de aproximar-se do mesmo. A escolha do cientista entre um ou outro tipo de aproximação, ou seja, entre uma ou outra abordagem epistemológica, implicará no delineamento das diversas etapas de sua investigação.

Pensando dessa forma, introduzimos este capítulo, apresentando uma breve introdução, acerca do ponto de vista da epistemologia do conhecimento, que subsidiou a construção da metodologia empregada nesta investigação, o Anarquismo Epistemológico de Paul Feyerabend (1924 - 1994).

Tal filósofo gerou muita polêmica ao publicar seu livro “Contra o Método”, em 1975, no qual criticou a proposição positivista de um modelo científico único para todas as diferentes áreas do conhecimento. Feyerabend, na sua visão de Ciência, defendia que o cientista não precisava seguir qualquer norma rígida, pois as metodologias da ciência propostas ao longo da história não foram bem-sucedidas em orientar as atividades dos cientistas (BORGES, 1996). Ele afirmava que todas as metodologias têm suas limitações e que, por isso, a Ciência deveria adotar uma abordagem plurimetodológica (LEAL, 2011).

Paul Feyerabend, contemporâneo de Popper, Kuhn e Lakatos, propôs uma visão de Ciência em que outras formas de conhecimento não eram tratadas como de segunda ordem. Ele se baseava no pluralismo metodológico como aspecto fundamental para o desenvolvimento histórico da Ciência. Na sua visão, destacava a influência de aspectos históricos e filosóficos nas observações e na construção do conhecimento científico. Não haveria fatos puros e neutros, os fatos seriam observados por sujeitos carregados de concepções, as quais direcionariam os modelos pré-existentes (MARTINS, 2011).

Tendo em vista que esta pesquisa foi realizada no contexto da sala de aula e se refere aos processos desenvolvidos por estudantes, os quais apresentam uma natureza intrinsecamente complexa, consideramos impossível desenvolver uma observação do ponto

de vista de uma metodologia simplificada e rígida. Com base nisso, justificamos a escolha do ponto de vista do Anarquismo Epistemológico para a orientação da construção dos caminhos metodológicos.

Dessa forma, os caminhos metodológicos desta investigação fundamentaram-se em uma abordagem plurimetodológica, a qual pode contribuir para uma aproximação mais coerente com as diversas variáveis do ambiente de pesquisa. Não perdendo de vista o problema de pesquisa, objetivos e os sujeitos investigados, e tendo como base as ideias do Anarquismo Epistemológico, foram definidos alguns pressupostos básicos para este estudo.

São eles:

1. Pluralismo metodológico: na investigação foram utilizadas diferentes estratégias metodológicas para dar conta da diversidade de objetivos e do universo amostral;
2. Foco no processo: o processo de construção e desenvolvimento da pesquisa foi objeto de análise;
3. O indivíduo como principal agente de sua aprendizagem e da pesquisa: destacamos as concepções dos sujeitos sobre o objeto de pesquisa. Para isso, utilizamos entrevistas para validar as inferências realizadas na análise dos dados e diário de campo e gravação em vídeo, como instrumentos de apoio. Além disso, os sujeitos foram os principais protagonistas desta pesquisa, uma vez que construíram junto à pesquisadora o roteiro da peça e o formato do Teatro Científico-Experimental.
4. Aprender a ensinar: esta pesquisa se caracteriza por uma oportunidade de conduzir o licenciando a aprender uma nova possibilidade de explorar o ensino.

Assim, compreendemos que esta pesquisa se configura essencialmente como do tipo qualitativa, tendo em vista que foi desenvolvida na sala de aula, a partir de um processo dinâmico e dialético em que se observou a interação entre os alunos e o conhecimento. Nesse contexto, percebe-se a pesquisa qualitativa como aquela em que se destaca a relação entre sujeito e objeto, a participação do investigador e dos sujeitos da pesquisa em relação

objetiva com o objeto, sem descartar a subjetividade inerente a esse processo (CHIZZOTTI, 2006).

De acordo com Bogdan e Biklen (1994), essa modalidade de pesquisa se constitui por cinco características: o ambiente natural é a fonte de informação; o investigador é o instrumento principal; trata-se de uma investigação descritiva; o foco central dos investigadores encontra-se nos processos e não nos resultados; comumente os dados são analisados de forma indutiva e o significado assume importância principal.

Dessa forma, o pesquisador deve estar atento ao contexto da pesquisa, aos sujeitos e às suas manifestações. O ambiente natural onde se desenvolvem os fenômenos estudados é tido como essencial para o entendimento desses fenômenos, uma vez que o meio atribui significado às ações (TRIVIÑOS, 1987).

Para a coleta de dados, foram utilizados diversos recursos (vídeos, entrevistas, fotos etc.) complementares. Dessa forma, foi possível desenhar o objeto investigado em toda sua riqueza, tendo-se como foco o processo, em detrimento ao produto. Ou seja, o investigador preocupou-se em descrever o problema nas suas atividades, procedimentos, interações cotidianas e em como os indivíduos perceberam as mudanças ou permanências (CAMPOS, 2004).

Nesse mesmo sentido, os dados coletados tiveram como foco o significado atribuído a eles pelos sujeitos investigados. A análise dos dados deve seguir um processo de inferência dos aspectos da Natureza da Ciência nas falas dos estudantes, a partir da análise do contexto de suas considerações. Dos vários aspectos citados, alcançamos um resultado para os objetivos elencados neste trabalho. Contudo, é importante destacar que, esta pesquisa é de natureza exploratória. Assim, nossas discussões não pretendem esgotar o tema, mas, apenas indicar uma possibilidade.

Seguindo as características descritas anteriormente e à luz do problema de pesquisa e objetivos desta investigação, foram definidos os caminhos metodológicos, os quais compreendem etapas de naturezas teórica exploratória e empírica.

Antes de explicar cada uma das etapas, é importante rerepresentar os elementos essenciais desta pesquisa. O problema se concentrou na forma como introduzir aspectos da Natureza da Ciência na formação inicial de professores de Física, a partir da discussão de conteúdos da Física Quântica. Propusemos analisar uma forma específica, a qual consiste

na utilização de um tipo de teatro novo, o Teatro Kellyano, desenvolvido pela Professora Doutora Heloisa Bastos e aplicado anteriormente com estudantes do ensino fundamental. Nesta investigação, adaptamos esse tipo de teatro para o ensino de Graduação, incluímos características do Teatro de Bertolt Brecht e o denominamos de Teatro Científico-Experimental.

De acordo com Alves-Mazzotti (2004), a objetividade científica está relacionada com a prática do cientista em formular hipóteses e publicar resultados passíveis de serem testados experimentalmente por seus pares, com o objetivo de diminuir a influência de fatores subjetivos na avaliação de hipóteses e teorias. Dessa forma, detalhamos neste capítulo todas as etapas do processo de desenvolvimento da pesquisa.

Após tais esclarecimentos, prosseguimos explicando que a primeira etapa de nossa investigação compreendeu uma pesquisa teórica-exploratória, que fundamentou a adaptação e constituição do modelo do Teatro Científico-Experimental. A fase seguinte, a fase empírica, caracterizou-se, essencialmente, pela experimentação desse modelo de teatro, a partir de um curso, elaborado para tal fim.

No Quadro 1, apresentamos cada uma das etapas desenvolvidas nesta investigação, as quais são detalhadas nos parágrafos seguintes.

Quadro 1. Esquema das etapas desenvolvidas na pesquisa

Etapas	Atividades	Situação
a	Adaptação do modelo de Teatro Científico-Experimental	Realizada em outubro de 2014
b	Adaptação do texto da peça à estrutura do Teatro Científico-Experimental	Realizada em novembro de 2014
c	Elaboração de um curso para desenvolvimento do Teatro Científico-Experimental	Realizada em novembro e dezembro de 2014
d	Realização do curso	Realizada em janeiro de 2015
e	Revisão da proposta do Teatro Científico-Experimental	Realizada em fevereiro de 2015
f	Análise de dados da pesquisa (questionários e filmes)	Realizada de junho de 2015 a janeiro de 2016

Fonte: Desenvolvido pela pesquisadora

a) Adaptação do modelo de Teatro Científico-Experimental: Essa etapa baseou-se no estilo didático Brechtiano e no Ciclo da Experiência Kellyana (CEK) de George Kelly, como fundamentação do processo ensino-aprendizagem. O formato de peça foi elaborado seguindo as cinco etapas previstas no CE: Antecipação; Investimento; Encontro; Confirmação/Desconfirmação e Revisão Construtiva.

A esse formato foram introduzidos elementos descritos no estilo do teatro didático de Bertolt Brecht, como: ensaios em maior número na forma de leituras e estudos sobre o texto; utilização da terceira pessoa e do tempo passado na construção das falas; interação com o público, podendo implicar em mudanças nos rumos da peça; interrupção da peça para questionamentos; descrição histórica das cenas e explicações sobre a peça através de um narrador. Nas sessões seguintes, descrevemos em mais detalhes a articulação entre os diversos elementos, apresentados aqui.

b) Adaptação da peça “Copenhague” de Michael Frayn ao estilo do TCE: O texto escolhido para ser trabalhado nesta investigação foi “Copenhague” de Michael Frayn. Esse texto trata de um encontro entre Niels Bohr e Werner Heisenberg ocorrido em 1941. Devido à proximidade da época da segunda guerra e ao envolvimento de Heisenberg no projeto de construção da bomba nuclear alemã, esse texto apresenta uma riqueza em aspectos históricos a ser explorada. Além disso, o conteúdo da discussão entre os dois físicos versa sobre os princípios da Complementaridade e da Incerteza, que conforme já debatido neste documento, consiste em uma fonte para discussão de aspectos da Natureza da Ciência.

A versão de trechos da peça foi acessada por meio dos trabalhos de Silveira *et al.* (2009a; 2009b) e Silveira (2011). Os autores fizeram um estudo teórico, principalmente em relação aos elementos do texto com potencial para facilitar a aprendizagem dos alunos acerca de História da Mecânica Quântica, em particular as ideias referentes aos princípios da Complementaridade e da Incerteza, discutidas pelos personagens. Tais pesquisadores utilizaram o teatro como um instrumento de divulgação científica, entendendo que através do elo entre a Ciência e a Arte é possível uma melhoria no Ensino de Ciências e sobre Ciências. Compartilhamos desta crença, contudo, nesta investigação o nosso objetivo maior

é trazer à tona a discussão, entre estudantes, futuros professores de Física, sobre os aspectos da Natureza da Ciência, a partir do referido texto.

c) Elaboração de curso para aplicação do Teatro Científico-Experimental: Para a experimentação do teatro, foi formatado um curso de 6 horas. Todo o curso também foi desenhado a partir das cinco etapas do Ciclo da Experiência. O curso completo (6 horas) foi concebido como um grande ciclo; cada um dos três dias de aplicação do curso também foi constituído a partir desse ciclo.

d) Realização do curso: Durante o curso, foram realizados pelos alunos, uma revisão do texto, ensaios, discussão sobre o modelo do teatro e apresentação da peça. Ao longo desses três dias, os estudantes avaliaram o formato do TCE, os textos propostos para as falas e o material instrucional. Assim, puderam adequar a peça, em seu formato e roteiro, para uma proposta que lhe fosse mais significativa. Todas essas etapas foram registradas em diário de campo e através de filmagens.

e) Revisão do modelo de Teatro Científico-Experimental: Por meio das observações dos ensaios da peça e das falas dos estudantes envolvidos na pesquisa, foram verificadas possíveis mudanças a serem feitas no modelo inicialmente proposto para o Teatro Científico-Experimental. O objetivo de tais alterações foi tentar alcançar um modelo final, que favorecesse mais fortemente o surgimento de discussões e de interação no grupo, entre outros aspectos. Dessa forma, em utilizações futuras, o modelo melhorado pode ser usado, promovendo resultados mais eficientes.

f) Análise de dados: Os dados foram coletados por meio de questionários, filmagens e diário de campo e foram analisados a partir da Análise de Conteúdo de Bardin (1979). Os resultados de tais análises são apresentados no capítulo “Análise de Dados”.

6.1.1 Lócus, participantes e instrumentos de coleta de dados

A pesquisa foi realizada no início do ano de 2015, com 8 alunos do segundo período do curso de Licenciatura em Física de uma Universidade de tradição na formação de professores. A instituição investigada é uma universidade centenária de Pernambuco. A origem desse curso está relacionada à criação do curso de Licenciatura em Ciências, com habilitação em Física, Matemática, Química e Biologia, em 1975. Em 1988, houve o desmembramento de cada uma das habilitações em cursos. Assim surgiu o curso de

Licenciatura em Física. Desde 2012, esse curso passa por um processo de discussão de seu currículo. Dessa forma, entendemos que tal pesquisa constitui uma oportunidade de reflexão sobre o ensino dos conteúdos da Física Quântica e a utilização de estratégias de ensino mais inovadoras e originais, como o Teatro Científico-Experimental.

A pesquisa foi aplicada a partir do Teatro Científico-Experimental, formatado em um curso. Devido à abordagem singular da proposta de pesquisa (teatro) foi realizada uma seleção da amostra que faria parte da investigação. Os principais critérios para seleção desses estudantes consistiram no grau de disposição para se envolver com as atividades propostas e se o estudante percebia a importância do teatro como ferramenta pedagógica.

É importante registrar que os estudantes desempenharam um papel central nesta pesquisa, uma vez que, contribuíram diretamente no formato do teatro e no roteiro da peça. Uma primeira proposta de modelo de teatro e de roteiro de peça foi disponibilizada aos mesmos. Ao longo da investigação, estudaram, experimentaram e propuseram alterações. Por isso que, o requisito primordial dos participantes consistia no desejo de contribuir com o projeto.

A inscrição no projeto foi realizada por meio de um formulário disponibilizado *online*, o qual também teve como função levantar o perfil desses estudantes e seus conhecimentos prévios sobre os conteúdos abordados. Além desse formulário, foram utilizados os seguintes instrumentos de coleta de dados:

- a) Diário de campo: recurso adotado pelo investigador com o objetivo de registrar todas as análises dos fatos e impressões observadas durante a aplicação da pesquisa, considerações sobre a postura dos sujeitos envolvidos com a investigação, registros de aulas assistidas e de conversas com professores do curso, registros históricos sobre o processo de investigação, entre outros dados, que contribuíram para uma visão mais ampla dos dados construídos por meio dos outros instrumentos.

Figura 3- Pesquisadora Registrando Observações



Fonte: Foto da autora

- b) Questionário: aplicação de questionário na fase inicial e final da pesquisa sobre elementos epistemológicos relacionados ao conteúdo trabalhado. Um questionário foi aplicado aos estudantes no momento da inscrição, com o objetivo de investigar suas ideias prévias sobre os temas abordados na pesquisa (aspectos da Natureza da Ciência e os princípios da Incerteza e da Complementaridade), bem como, para coletar informações sobre a experiência deles com o ensino.

- c) Filmagens: o curso em que foi experimentado o Teatro Científico-Experimental foi registrado, através de filmagem. Tais filmagens foram transcritas por um sujeito externo ao ambiente da pesquisa e analisadas a partir da Análise de Conteúdo.

Após o detalhamento acima, descrevemos na seção seguinte, os detalhes do processo de adaptação do Teatro Científico-Experimental, que consistiu na primeira etapa empírica desta pesquisa.

6.2 ADAPTAÇÃO DO TEATRO CIENTÍFICO-EXPERIMENTAL

Na reelaboração do Teatro Científico-Experimental, estudamos a articulação dos elementos do teatro de Brecht com as ideias relacionadas ao processo de aprendizagem de George Kelly. Nesta seção, resgatamos as características principais do teatro de Bertolt Brecht, enfatizando os elementos selecionados para a construção do nosso teatro. Em seguida, explicamos a estrutura do teatro, a partir do Ciclo da Experiência. Por fim, apresentamos o modelo do Teatro Científico-Experimental, no qual destacamos a função articulada das etapas do ciclo aos elementos do teatro Brechtiano.

Assim, o modelo do Teatro Científico-Experimental foi idealizado tendo como estrutura o Ciclo da Experiência Kellyana (CEK) e reunindo elementos característicos do teatro de Bertolt Brecht. O teatro de Brecht se destacava por sua função didática de privilegiar a compreensão da peça em detrimento à função de distrair e emocionar o público. O público não deveria perder o foco sobre o contexto objetivo da peça nas suas apelações emocionais. Para facilitar a função didática das peças, foram introduzidas falas explicativas, narrações e muitos outros recursos que auxiliavam na compreensão geral do que se pretendia apresentar.

Como já foi citado, em momento anterior, no nosso modelo de teatro foram analisados os recursos que melhor se adaptariam às características da estrutura do CEK e que poderiam contribuir para a construção de debates sobre os assuntos da peça. Não apenas no momento da encenação, mas principalmente nos ensaios. Pensando dessa forma, adotamos os seguintes recursos do teatro Brechtiano:

- ✓ Ensaios em maior número na forma de leituras e estudos sobre o texto;
- ✓ Utilização da terceira pessoa e do tempo passado na construção das falas;
- ✓ Interação com o público, podendo implicar em mudanças nos rumos da peça;
- ✓ Interrupção da peça para questionamentos;
- ✓ Descrição histórica das cenas;
- ✓ Explicações sobre a peça através de um narrador.

Em relação ao uso do ciclo Kellyano na construção da peça de teatro, foram consideradas as cinco etapas previstas para o Ciclo da Experiência Kellyana:

- ✓ **Antecipação:** essa fase consiste na etapa em que o indivíduo tenta prever o evento, de acordo com os seus sistemas de construção, seus construtos. Dessa forma, propõe-se que essa fase no Teatro Científico-Experimental corresponda ao seguinte elemento do teatro de Brecht: uma fala inicial apresentada por um narrador que fará explicações gerais sobre a peça;
- ✓ **Investimento:** etapa na qual a pessoa se prepara para o evento. Na peça, o investimento seria estimulado pela apresentação pelo professor de aspectos básicos teóricos preparatórios para o conteúdo e tema que serão abordados;
- ✓ **Encontro:** compreende a etapa em que o indivíduo experimenta suas teorias, será representada pelo desenvolvimento do enredo da peça, da leitura e interpretação das falas dos personagens;
- ✓ **Confirmação/Desconfirmação:** momento em que o sujeito verifica a validade de suas teorias, se foram confirmadas ou não. Na peça, essa fase será facilitada por interrupções, previstas pelo estilo Brechtiano, nas quais o narrador ou os próprios atores farão questionamentos que levem à discussão sobre aspectos epistemológicos vinculados aos conceitos discutidos na peça;
- ✓ **Revisão Construtiva:** consiste no momento em que a pessoa revisa suas teorias, corrigindo-as ou aprimorando-as. Será fomentada pelo fechamento da peça realizada pelo narrador, o qual corresponde a um dos elementos do teatro de Brecht. No fechamento, o narrador sintetizará os principais pontos levantados a partir dos questionamentos propostos, destacando os aspectos similares e contraditórios.

No Quadro 2, ilustramos a proposta de modelo do Teatro Científico-Experimental com a indicação dos tempos propostos (antes da intervenção). Na primeira coluna, indicamos a fase correspondente do Ciclo da Experiência Kellyana; na segunda coluna, apresentamos as iniciativas para a peça.

Quadro 2. Esquema da estrutura do Teatro Científico-Experimental pré-curso

Estrutura do Teatro Científico-Experimental		
Fase	Iniciativas	Tempo
Antecipação	Narrador fala sobre a peça	5 min
Investimento	Professor chama atenção aos pré-requisitos necessários para assistir à peça	5 min
Encontro	Peça (apresentação das falas dos personagens)	30 min
Confirmação/ Desconfirmação	Duas paradas durante a peça. O ator faz perguntas e media pequena discussão. Identifica concordâncias e divergências.	4 min (2 min cada)
Revisão Construtiva	Fechamento realizado pelo narrador, sintetizando os pontos levantados, os elementos comuns e divergentes citados nas falas.	10 min

Fonte: Elaborado pela pesquisadora

Para cada fase foi proposto um tempo, o qual entendíamos ser suficiente para o seu cumprimento. Contudo, após a aplicação do modelo, verificamos ser necessária a alteração desses tempos. Na seção de análise dos dados, apresentamos a estrutura revisada do Teatro Científico-Experimental. É importante destacar que tais alterações foram sugeridas pelos próprios estudantes.

Este processo consistiu na análise do texto da peça, das falas em que os dois personagens discutiam sobre os princípios da Incerteza e da Complementaridade. Na nossa análise, destacamos os discursos referentes aos elementos epistemológicos da Ciência. Analisamos tais discursos, identificando possíveis articulações com aspectos da Natureza da Ciência. Tais articulações foram apresentadas na seção “Estudo de trechos da peça

Copenhague à luz da NdC”. O leitor pode acessar o texto inspirado em trechos da peça Copenhague, a partir do Apêndice C.

6.3 ADAPTAÇÃO DA PEÇA AO TEATRO CIENTÍFICO-EXPERIMENTAL

O processo de adaptação da peça consistiu na escolha da peça, no estudo epistemológico do texto, seleção e adaptação das falas. Tais etapas foram descritas em seção anterior (“Estudo de trechos da peça Copenhague à luz da NdC”). O resultado foi um novo texto, o qual foi organizado em atos, atrelados à estrutura do Teatro Científico-Experimental, apresentada na seção anterior.

É importante esclarecer que, tendo em vista as cinco etapas do CEK (Antecipação, Investimento, Experiência, Confirmação/Não-Confirmação e Revisão Construtiva), a peça foi organizada obedecendo à função de cada uma, conforme apresentamos a seguir no Quadro 3.

Quadro 3. Organização da peça “Copenhague” à estrutura do Teatro Científico-Experimental

Etapa do Ciclo da Experiência Kellyana (CEK)	Iniciativas	Texto trabalhado
(1 ^a) Antecipação	Narrador 1 fala sobre a peça	<i>Sobre a Peça</i> – texto explicativo sobre a peça
(2 ^a) Investimento	Narrador 2 chama atenção aos pré-requisitos necessários para assistir à peça	<i>Aspectos históricos, epistemológicos e teóricos</i> – pequenos textos que apresentam conteúdos-chaves para a compreensão do que será debatido
(3 ^a) Encontro	Peça (leitura das falas dos personagens)	<i>Falas dos personagens</i> – diálogo entre Heisenberg e Bohr
(4 ^a) Confirmação/ Não-confirmação	Duas paradas durante a peça, Narrador 2 faz perguntas e media pequena discussão. Identifica concordâncias e divergências.	<i>Paradas</i> – são lançadas perguntas sobre os aspectos da natureza da ciência introduzidas pelas falas dos personagens
(5 ^a) Revisão construtiva	Narrador 1 sintetiza pontos levantados, elementos comuns e divergentes citados nas falas.	<i>Fechamento</i> – os participantes da peça elaboram uma síntese dos principais pontos da peça e questões, que são apresentadas à plateia.

Fonte: Elaborado pela pesquisadora

Da forma descrita no quadro acima, entendemos que cada fase do CEK foi atendida em sua função, a partir da estratégia e elementos utilizados. Assim, a fase de:

- **Antecipação:** aquela em que a pessoa antecipa o evento, seleciona os construtos disponíveis no seu sistema de construção, tenta prever o evento e elabora hipóteses, de acordo com seus construtos, foi introduzido a partir do texto *Sobre a Peça*, um pequeno resumo sobre a peça.

- **Investimento:** momento em que o indivíduo se prepara para o evento, tanto psicologicamente como materialmente, foi incentivado a partir da abordagem de assuntos do ponto de vista histórico, epistemológico e teórico.
- **Encontro:** consiste na realização do evento e o indivíduo experimenta suas teorias. Essa etapa compreendeu a interpretação das falas dos personagens.
- **Confirmação/Não-Confirmação:** o sujeito verifica a validade de suas teorias, se foram ou não confirmadas. Foi introduzida por questionamentos lançados nos momentos de interrupção (*paradas*).
- **Revisão Construtiva:** momento posterior às considerações realizadas pela confirmação/não-confirmação, no qual a pessoa revisa suas teorias, corrigindo-as ou aprimorando-as, podendo levar até mesmo à elaboração de novas teorias. Na peça, essa fase foi promovida pela apresentação de uma síntese e questões sobre a peça e dos assuntos debatidos nos momentos de interrupção (*paradas*). A síntese e as questões foram elaboradas pelos estudantes que participaram da peça e apresentadas aos demais estudantes que assistiam à peça.

A peça foi organizada em três atos, cada um priorizando a discussão de um tema específico. Ao final de cada ato, um questionamento era lançado, referente ao aspecto da Natureza da Ciência tratado. No final do terceiro ato, final da peça, os alunos deveriam propor perguntas à plateia e apresentar uma síntese sobre a peça. A seguir, descrevemos a aplicação desse modelo de teatro, a partir da qual foi possível identificar aspectos da NdC que emergiram das discussões dos estudantes.

6.4 APLICAÇÃO DO TEATRO CIENTÍFICO-EXPERIMENTAL

A princípio, tentou-se aplicar a proposta durante as aulas de uma disciplina do curso de licenciatura em Física: Estrutura da Matéria, Física Moderna ou Evolução das Ideias da Física. A última disciplina se mostrou mais compatível com a abordagem e conteúdos propostos. Contudo, o plano de ensino organizado pelo professor e os prazos previstos para aplicação desta pesquisa, inviabilizaram a experiência durante o semestre. Dessa forma, a experimentação do Teatro Científico-Experimental foi realizada através de um minicurso organizado pela pesquisadora, especialmente para esta finalidade. Neste capítulo, descreveremos de forma resumida, cada uma das etapas de aplicação do modelo de teatro e outras atividades da pesquisa envolvidas no processo.

❖ A turma

De uma conversa com a turma, notou-se seu interesse por questões sobre a Natureza da Ciência e pelo teatro. Além disso, os alunos ainda não haviam cursado disciplinas que abordassem temas da Física Quântica na Graduação. Assim, seria possível perceber, mais facilmente, evolução dos discursos dos estudantes em relação a tais conteúdos. Por tais motivos, a pesquisa foi aplicada com esses estudantes: alunos do segundo período do curso de Licenciatura em Física.

❖ O convite e a inscrição

O convite aos participantes foi realizado no dia 28 de novembro de 2014, durante a aula de Psicologia Geral. Nesse encontro, foram explicados vários aspectos do curso (objetivo, proposta de funcionamento e vinculação com projeto de pesquisa de doutorado) e negociados com os presentes os dias e horários de realização do mesmo.

A inscrição do minicurso ocorreu via preenchimento de formulário de inscrição *online*, etapa em que os alunos responderam ao Questionário de Sondagem (Apêndice A). Esse instrumento teve como objetivo identificar a experiência dos alunos com o ensino, mapear suas impressões acerca da importância e dificuldades no uso da História e Filosofia

da Ciência e suas ideias prévias sobre o Princípio da Incerteza de Heisenberg e o Princípio da Complementaridade de Bohr.

❖ Resumo sobre a realização do curso:

O curso foi desenvolvido tendo os seguintes objetivos: 1. Desenvolver proposta de ensino sobre tópicos de Física Quântica e de aspectos da Natureza da Ciência, a partir da utilização de um teatro fundamentado na Teoria dos Construtos Pessoais de George Kelly, em relação ao processo de ensino-aprendizagem; 2. Propiciar, aos licenciandos em Física, vivência com estratégias de ensino, apoiadas em abordagem histórico-filosófica e na teoria de George Kelly; 3. Identificar e favorecer a discussão sobre aspectos da Natureza da Ciência, articulados aos conceitos da Física Quântica. Este último objetivo corresponde a um dos objetivos específicos desta tese de pesquisa e, portanto, lançaremos um olhar mais aguçado sobre ele.

A estrutura do curso foi ancorada no Ciclo da Experiência de George Kelly. Dessa forma, foi desenhado tendo quatro ciclos Kellyanos e três encontros (de duas horas cada): um ciclo geral, que compreendeu o próprio projeto do curso do início ao fim, compreendendo os três encontros e três outros ciclos. Cada ciclo correspondente a um encontro. O ciclo geral constitui o mais relevante para compreensão dos dados coletados, por isso, é apresentado em detalhes a seguir.

Descrição das etapas do Ciclo Geral (curso):

1ª Etapa - Antecipação: consistiu no 1º encontro com a turma, no qual foi realizada uma breve apresentação dos objetivos e funcionamento do curso, explicação geral dos temas abordados e dos instrumentos utilizados na pesquisa;

2ª Etapa - Investimento: os alunos realizaram estudo do documento orientador (Apêndice D), de um texto resumo (Apêndice E) e pesquisa em internet, durante o encontro e em horários extraclasse, possibilitando a articulação dos conteúdos

apresentados com os seus conhecimentos prévios, resultando na construção de hipóteses;

3ª Etapa - Encontro: consistiu no 2º encontro com a turma. Através de um debate com os mesmos, sobre o documento apresentado, foram levantadas as impressões sobre o material entregue, em termos de estrutura e conteúdo. As informações compartilhadas pelos alunos serviram de base para revisão do material apresentado. Em seguida, os estudantes fizeram estudo coletivo e ensaio da peça elaborada, a partir da adaptação de trechos da peça “Copenhague”, acessados nos trabalhos de Silveira *et al.* (2009a, 2011). Ao longo desse encontro, foi estimulada a discussão acerca dos conteúdos da Física, e dos aspectos sobre a Natureza da Ciência. Dessa forma, conduzimos os alunos à 4ª etapa do Ciclo da Experiência, a Confirmação/Desconfirmação;

4ª Etapa - Confirmação/Desconfirmação: introduzida no 2º e 3º encontros, descritos anteriormente, consistiu na discussão realizada pela turma durante os estudos e ensaios da peça.

5ª Etapa - Revisão Construtiva: esta fase do ciclo foi realizada no 3º encontro com a turma, no qual ocorreu a encenação geral da peça, baseada no roteiro final proposto pelos alunos e um pequeno debate acerca das impressões dos estudantes sobre a intervenção, suas potencialidades e deficiências.

O curso foi realizado na época de provas semestrais, o que gerou, no início, um pouco de preocupação por parte dos estudantes. Contudo, à medida que foram conhecendo a proposta, percebemos um aumento da dedicação e entusiasmo, por parte dos mesmos. Além disso, todo o processo teve como característica principal a participação ativa. Ou seja, os alunos puderam opinar e alterar documentos e a estrutura do curso. Dessa forma, destacamos tal fato, como ponto positivo possibilitado pelo Teatro Científico-Experimental.

No capítulo seguinte, detalhamos os dados coletados em cada etapa e instrumento da pesquisa, ao mesmo tempo em que realizamos a discussão dos mesmos.

7 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS

Iniciamos este capítulo, descrevendo o processo de desenvolvimento do curso, no qual foi aplicado o modelo proposto para o Teatro Científico-Experimental, bem como algumas fases desta investigação, as análises e discussão dos dados. Nas sessões seguintes serão descritas as impressões gerais dessa etapa, bem como das análises dos questionários e das falas dos alunos mais relevantes, considerando os objetivos propostos para esta tese. Na discussão dos dados, demonstraremos as evidências favoráveis ou contrárias às proposições do projeto.

7.1 ANÁLISE DE DADOS

Devido à pluralidade de etapas e instrumentos adotados nesta pesquisa, a seção de Análise de Dados foi organizada em subseções. Em um primeiro momento da análise de dados, discutimos, em subseções, os resultados obtidos, a partir de cada um dos instrumentos ou etapa dessa investigação.

Assim, a primeira subseção corresponde à análise geral sobre o desenvolvimento do curso, por meio do qual experimentamos o Teatro Científico-Experimental. Em seguida, analisamos as respostas apresentadas pelos sujeitos da pesquisa ao questionário de sondagem das ideias prévias.

Na subseção seguinte, apresentamos as impressões obtidas em relação ao questionário aplicado antes e após a experimentação do Teatro Científico-Experimental. E, por fim, analisamos os debates desenvolvidos ao longo do curso.

Para uma melhor compreensão do leitor, no Quadro 4, a seguir, descrevemos as subseções e suas características principais na investigação.

Quadro 4 – Elementos que direcionaram a análise dos dados

Item	Subseção	Características
1	Análise geral sobre o desenvolvimento do curso	Neste item, apresentamos uma análise sobre os principais aspectos desta etapa, tendo em vista os objetivos propostos da pesquisa.
2	Análise do questionário de sondagem das ideias prévias	Esse instrumento teve como objetivo, perceber o nível de experiência dos estudantes com o ensino e, especificamente, fazendo uso da abordagem Histórica e Filosófica da Ciência. Além disso, o questionário se propunha a identificar as suas ideias prévias sobre os princípios da Incerteza e da Complementaridade. Os dados coletados, através desse instrumento, subsidiaram a adaptação da peça “Copenhague” e a organização do curso.
3	Análise do Questionário de Pré e Pós Teatro Científico-Experimental	Tal questionário teve como função, estimular os estudantes a refletirem sobre os conteúdos abordados. O mesmo era constituído por afirmações referentes aos conceitos da Física Quântica e a alguns aspectos da Natureza da Ciência. Dessa forma, desenvolvendo as etapas de Confirmação/Desconfirmação e de Revisão Construtiva.
4	Análise das transcrições dos debates desenvolvidos no curso	As análises desta subseção têm como objetivo identificar nas falas dos estudantes aspectos da Natureza da Ciência, os quais surgem da reflexão dos conteúdos da Física Quântica, os princípios da Incerteza e da Complementaridade.

Fonte: Elaborado pela pesquisadora

Dessa forma, apresentamos os principais dados oriundos desta pesquisa. Na subseção seguinte, fazemos uma discussão sobre o desenvolvimento do curso, no qual testamos o Teatro Científico-Experimental. A construção da análise segue uma linha cronológica de organização dos acontecimentos. Descrevemos e discutimos os principais fatos que destacaram-se ao longo de cada dia dia de realização do curso.

7.1.1 Análise geral sobre o desenvolvimento do curso

No primeiro dia do curso (07/01/2015), os estudantes responderam a um questionário Pré-Teatro (Figura 4), com o objetivo de promover o processo de antecipação do Ciclo da Experiência Kellyana e também, identificar o conhecimento prévio dos estudantes sobre os conteúdos abordados. Em seguida, foi realizada uma apresentação do Texto Resumo (Apêndice E) sobre os principais temas abordados no curso: um panorama sobre a abordagem Histórica e Filosófica da Ciência no Ensino de Ciências; teatro no Ensino de Física; Princípio da Incerteza e Princípio da Complementaridade e Teoria dos Construtos Pessoais. Esse texto foi entregue aos alunos para que pudesse servir de referência teórica para aprofundamento dos conhecimentos (etapa do Investimento do Ciclo da Experiência Kellyana). Durante a apresentação, foram realizados questionamentos aos alunos sobre o assunto e criadas situações de debate entre os pontos de vista antagônicos.

Figura 4 – Primeiro Encontro



Fonte: Foto da autora

Ao final desse encontro, os alunos foram questionados sobre os motivos que os levaram a participar do curso. Entre os motivos apontados, destacam-se: devido à proposta ser “inovadora”, fugindo do ensino tradicional e; o conteúdo abordado também era muito interessante e atual. Nas discussões, alguns alunos defenderam a importância do “questionamento” para a evolução da Ciência, contudo ressaltaram que o ensino atual de Física é “dogmático”, “dissociado do cotidiano” e “engessado” pelo “sistema de ensino”.

Dessa forma, o teatro poderia contribuir para a apresentação do conteúdo de forma mais “suave e palpável” e de “provocar o senso crítico”. Das discussões desse dia, destacamos que alguns alunos não entendiam como poderia se questionar se a Ciência era subjetiva. Para os mesmos, era óbvio que a Ciência era objetiva e que, por isso, não fazia sentido tal proposição.

O curso foi aplicado durante o período de provas dos alunos. Mesmo assim, os alunos fizeram leituras complementares sobre os temas e estudaram o material da peça, fazendo adaptações e resumos. Desse modo, no segundo dia do curso (08 de janeiro de 2015) os alunos se dividiram em dois grupos, de quatro indivíduos cada (Grupo 1 e Grupo 2). Eles dividiram os papéis (Narrador 1, Narrador 2, Bohr e Heisenberg), estudaram as falas coletivamente (Figura 5) e realizaram alguns ensaios (Figura 6). Durante esse processo, percebeu-se uma dificuldade: não ficou clara para os alunos a função dos narradores na peça. Foi alcançado um entendimento, somente após breve explicação, em que a estrutura da peça foi comparada com um formato de aula mais tradicional.

Figura 5 – Estudantes Discutem o Texto da Peça



Fonte: Foto da autora

Figura 6 – Estudantes Ensaiam a Peça



Fonte: Foto da autora

As discussões desse dia envolveram questões epistemológicas, como por exemplo, a construção do conhecimento seria direcionada pela experiência ou pela razão? Ao final do dia, um aluno inferiu que a Ciência não é algo objetivo, que o contexto e critérios pessoais e teóricos podem direcionar a experimentação. O aluno chegou a questionar a própria origem da peça, percebeu que o autor fez um recorte a partir de suas convicções pessoais e outros critérios. Registramos tal fato como bastante relevante para os objetivos da proposta de pesquisa.

Figura 7 – Ensaio Final da Peça



Fonte: Foto da autora

No terceiro dia (09/01/2015), foi realizado um ensaio geral (Figura 7) da peça pelos dois grupos. De modo geral, o Grupo 1 se manteve mais preso ao material disponibilizado, enquanto que o Grupo 2 desenvolveu a peça de forma mais livre, apresentando uma versão personalizada pelo grupo. Ao final da peça, o Grupo 1 destacou o aspecto social trazido à tona pela peça, que os dois personagens mantinham, ao mesmo tempo, ideias convergentes e divergentes, mas que o respeito na relação se mantinha. O Grupo 2 enfatizou elementos epistemológicos, levantou os seguintes questionamentos aos presentes: “Se a gente estuda e vai para o experimento? ”; “A teoria muda a experiência? ” e “O que é a realidade?”.

7.1.2 Análise do Questionário de Sondagem das ideias prévias

Esse instrumento (Apêndice B) foi idealizado com o objetivo de perceber o quanto os estudantes já tinham experiência com o ensino e, especificamente, fazendo uso da abordagem Histórica e Filosófica da Ciência. Além disso, o questionário se propunha a identificar as ideias prévias sobre os conteúdos de Física, tratados na peça. As impressões coletadas por esse instrumento serviram de orientação para a construção do Teatro Científico-Experimental e para a organização do curso. Uma breve discussão sobre todos esses aspectos e os dados coletados é apresentada a seguir. Para fins de preservar a identidade dos alunos, referir-nos-emos aos mesmos com os códigos: A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7 e A8.

O instrumento era constituído pelas seguintes questões:

- a) Tem experiência com ensino? Já usou ou usa elementos de História e Filosofia da Ciência (HFC) na sala de aula?;
- b) Considera importante o uso de elementos de História e Filosofia da Ciência no Ensino de Física?;

- c) No seu ponto de vista ou de sua experiência, existe (m) dificuldade (s) para o uso da HFC no ensino? Qual(is) estratégia(s) o docente poderia usar para facilitar o uso da abordagem HFC?;
- d) Você já teve contato com alguma disciplina que abordou os temas: Princípio da Incerteza e Princípio da Complementaridade? O que sabe sobre o Princípio da Incerteza e o da Complementaridade?

A seguir, apresentamos uma discussão sobre as respostas dos estudantes para cada uma das questões acima. Oito alunos fizeram a inscrição e participaram do curso. Mas, há perguntas que não foram respondidas por todos esses estudantes. Dessa forma, tais respostas foram analisadas, tendo como universo um número diferente de oito participantes.

- a) Tem experiência com ensino? Já usou ou usa elementos de História e Filosofia da Ciência (HFC) na sala de aula?

Dos oitos estudantes, quatro (A1, A3, A4 e A7) responderam ter experiência com ensino, os demais (A2, A5, A6 e A8) responderam que não. Todos esses estudantes são jovens com idades na faixa que compreende os 20 a 25 anos, exceto um deles, que tinha 39 anos. Os estudantes, que responderam não ter experiência com ensino, atuavam nas seguintes atividades: técnico em edificações; funcionário em supermercado; agente do corpo de bombeiro e não desempenhava atividade nenhuma.

Os estudantes que responderam ter ensinado Física, citaram as seguintes experiências: aulas particulares para ensino médio, em bancas de estudo, em reforços escolares ou preparatório pré-enem.

Todos afirmaram ter usado. Alguns, como forma de contextualizar as descobertas relacionadas com o conteúdo trabalhado, ou com o objetivo de demonstrar que o “conhecimento gerado pela humanidade nas diversas disciplinas se dá de maneira gradativa” (Aluno A7). Normalmente, trabalham com os conteúdos da Mecânica ou da Astronomia. Por exemplo, o aluno A3 afirma que sempre procurou “falar um pouco da História da Física, como o surgimento das escalas termométricas e como o lançamento oblíquo foi utilizado nas guerras”.

Como era esperado de uma turma de segundo período, a experiência com o ensino é muito limitada, praticamente, à atividade de ensino de reforço escolar. A abordagem ao conteúdo, mesmo quando compreende elementos históricos, também limita-se a descrever o contexto histórico da descoberta ou desenvolvimento do conhecimento científico, como ilustrado em alguns livros didáticos. Tal inferência foi alcançada por meio das respostas dos questionários e das entrevistas com os estudantes.

b) Considera importante o uso de elementos de História e Filosofia da Ciência no Ensino de Física?

Todos os oito estudantes sujeitos da pesquisa foram questionados sobre a importância do uso da HFC no ensino. Em suas respostas, três alunos (A1, A5 e A8) informaram considerar a HFC um importante instrumento para tornar as aulas mais “atrativas” e “proveitosas”. Os sujeitos entendem que o ensino de conceitos da Física, a partir da contextualização histórica das descobertas pode tornar as aulas mais “atrativas”, no sentido de ajudar os alunos a se interessarem em participar mais das aulas. Dessa forma, podem expor suas dúvidas e construir um aprendizado mais sólido. Ao que denominaram de “proveitosas”.

Essas afirmações parecem indicar que, os sujeitos e futuros professores de Física do curso de licenciatura em Física percebem a importância da contextualização histórica dos conteúdos para incentivar os estudantes a desenvolverem formulações, a interagirem em sala de aula, verbalizando suas ideias.

Esse modo de pensar o ensino se relaciona diretamente ao processo descrito por George Kelly para a aprendizagem. No sentido de que, o estudante aprende quando consegue testar suas teorias durante as experiências vivenciadas (BARROS; BASTOS, 2007). Na sala de aula, os estudantes podem desenvolver esse processo quando, de alguma forma, expõem suas ideias, discutem com outras pessoas, formulam questionamentos e alcançam outras hipóteses.

Outro grupo de alunos afirmou que, a HFC pode contribuir para a compreensão da Física, como disciplina, do seu estágio atual de desenvolvimento e das suas descobertas (A2, A3, A4, A6 e A7). O aluno A4 respondeu que a HFC pode mostrar que “o

conhecimento é algo construído ao longo do tempo”. Esses estudantes acreditam que o uso da História, no ensino, pode conduzir à promoção de um entendimento da evolução dos conhecimentos e da Ciência. Na prática, os professores, ao adotarem exemplos históricos de descobertas, possibilitariam aos seus estudantes compreenderem o caminho percorrido por uma ideia até a formulação de uma lei ou teoria. Ou mesmo, a evolução dos conceitos científicos.

c) No seu ponto de vista ou de sua experiência, existe (m) dificuldade (s) para o uso da HFC no ensino? Qual (is) estratégia (s) o docente poderia usar para facilitar o uso da abordagem HFC?

Todos os estudantes responderam a pergunta acima, referente à existência de dificuldades para o uso da HFC na sala de aula. Dois alunos (A3 e A5) responderam que não enxergavam dificuldades. Os demais alunos responderam que há dificuldades para o uso da HFC, entre elas: tempo muito curto para cumprir o programa escolar (A4, A6 e A7); falta de preparo dos professores (A8) e resistência da escola, dos alunos e também dos professores para sair do ensino tradicional (A1 e A2).

Até esse momento, não havia sido discutido como seria a proposta de abordagem HFC ao Ensino de Física. Por meio da discussão teórica apresentada neste documento, pode-se perceber que o abordagem proposta não consiste na mera introdução de conteúdos da História ou da Filosofia da Ciência atrelados ao Ensino da Física. Trata-se de um ensino reflexivo, o qual permita ao estudante entender que o conhecimento é construído a partir de rupturas, erros e questionamentos. Das respostas obtidas dos estudantes, até esse momento, a compreensão dos mesmos do ensino por meio da HFC indicava consistir em uma aula ainda tradicional e expositiva.

Nesse contexto, foram questionados sobre possibilidades de estratégias facilitadoras do uso da HFC. O aluno A2 sugeriu o uso de vídeos e documentários que apresentassem a história do conteúdo de Física a ser abordado. Os alunos A3 e A4 destacaram a utilização de “artifícios lúdicos”, nos quais entendemos se encaixar o teatro. Quatro alunos (A1, A5, A6 e A8) sugeriram que o docente deve tentar associar o assunto de Física, ministrado com elementos de HFC. Enquanto esses sete alunos apresentaram formas de abordar a HFC

como estratégia de ensino ou conteúdo auxiliar, outro aluno (A7), sugeriu que a HFC seja trabalhada em disciplina específica nos cursos de Graduação e em aulas extras (fora do cronograma) no ensino médio.

Nas respostas dos estudantes, eles sugerem o uso de estratégia lúdica, que poderia ser o teatro, no Ensino de Física. Dessa forma, entendemos que, ao contrário do senso comum que permeia o mundo acadêmico, os licenciandos em Física parecem abertos a outras possibilidades de ensino, mais inovadoras.

d) Você já teve contato com alguma disciplina que abordou os temas: Princípio da Incerteza e Princípio da Complementaridade? O que sabe sobre o Princípio da Incerteza e o da Complementaridade?

Acerca dos conteúdos da Física, o Princípio da Incerteza e o Princípio da Complementaridade, apenas um aluno do grupo (A8) declarou já ter tido contato com esses conteúdos e quatro registraram não ter nenhum conhecimento prévio do assunto. Mesmo assim, quatro apresentaram uma breve descrição sobre tais assuntos.

Sobre o Princípio da Incerteza, os alunos A1, A2, A4 e A7, de modo geral, responderam que é “algo relacionado à Mecânica Quântica, que não se pode determinar ao mesmo tempo a posição e a velocidade”. Sobre o Princípio da Complementaridade, apenas o aluno A7 expressou alguma ideia, “foi desenvolvido por Bohr, disserta que a natureza dual da luz como o comportamento corpuscular ou ondulatório, não são contraditórios, mas sim, complementares”.

As respostas apresentadas pelos sujeitos correspondem aos enunciados descritos nos livros didáticos. Não percebemos nenhuma resposta que sinalizasse para uma compreensão efetiva dos estudantes sobre o tema. Esse resultado era esperado, tendo em vista que, tais conceitos, normalmente, não são trabalhados no ensino médio e na fase inicial do curso de licenciatura em Física.

Quanto aos conteúdos da Física Quântica, os conhecimentos externados pelos alunos são representações ou cópias de conceitos largamente difundidos. Tal fato sugeriu aos pesquisadores que, os estudantes não conheciam muito sobre esses conceitos, uma vez

que não demonstraram um conhecimento original. Tal presunção irá subsidiar as atividades pedagógicas durante a experimentação do Teatro Científico-Experimental.

Das análises realizadas das respostas acima, identificamos que, apesar da pouca experiência com o ensino apresentada pelo grupo, eles demonstram ter ideias coerentes em relação às possíveis contribuições e aos problemas envolvendo o Ensino de Física, a partir da abordagem HFC. Na literatura, entre as possíveis vantagens da HFC ao ensino são citadas: pode humanizar a Ciência, motivar os estudantes, promover uma melhor compreensão dos conceitos científicos e desmistificar a Natureza da Ciência (MATTHEWS, 1995). Os estudantes sujeitos citaram bastante, em suas respostas, a possibilidade de motivação de seus alunos e de uma melhor aprendizagem dos conceitos da Física.

Em relação às dificuldades que podem interferir na efetiva implementação da HFC e NdC, em sala de aula, Höttecke e Silva (2011, p. 295) realizaram um estudo, no qual identificaram algumas dificuldades. Entre elas:

[...] A cultura didática dos docentes constituída por suas habilidades, atitudes e crenças sobre o Ensino de Física e Epistemologia; o quadro institucional de Ensino de Ciências com foco especial para o desenvolvimento do currículo; a ausência de conteúdos adequados sobre HFC nos livros didáticos.

Nos seus discursos, os estudantes compreenderam que a obrigatoriedade de se pausar em um programa de disciplina, tendo como limitação um calendário apertado, restringe a capacidade de o professor inovar, em sala de aula. E mesmo quando tenta ousar, encontra uma barreira que é sua formação limitada e na questão cultural de um Ensino de Física, excessivamente matematizado. Tais fatos parecem corroborar a pesquisa de Höttecke e Silva (2011), citada anteriormente.

Sobre a forma como a História e a Filosofia da Ciência podem ser adotadas em sala de aula, chamamos a atenção ao fato, de que nenhum deles, em suas respostas, citou o papel específico da Filosofia no Ensino de Física. Eles mencionaram, apenas, a introdução dos elementos históricos, que contextualizaram a construção dos conceitos.

Contudo, ainda em relação a possíveis estratégias de um Ensino de Física a partir da História e Filosofia da Ciência, enfatizamos as seguintes recomendações citadas pelos

sujeitos: “artifícios lúdicos e uma construção coletiva do assunto” (Aluno A3); “além de excelente domínio do conteúdo a ser abordado o ponto chave é ser criativo” (Aluno A6). Os estudantes trouxeram à tona, a ideia de construção coletiva e de criatividade. A construção coletiva indica a posição de ator principal do aluno no processo de ensino-aprendizagem, como defende Kelly (1963). A criatividade, por sua vez, é um aspecto da Natureza da Ciência. Os cientistas precisam ser criativos para construir suas hipóteses, imaginar soluções para os problemas anunciados (MCCOMAS, 1998).

Nesse contexto, desde já podemos dizer que tais resultados indicam uma riqueza de ideias que permeiam o universo do ambiente da sala de aula de um curso de licenciatura em Física. E que, muitas vezes, não desponta nas aulas tradicionais, que tem o estudante como uma tábula rasa, um mero espectador atento para captar a maior quantidade de informações propagadas. Na contramão desse cenário, este projeto indica possibilidades de um ensino com maior qualidade na construção individual e coletivo pelos estudantes.

Ou ainda, durante uma entrevista com os estudantes, os mesmos foram questionados se concordariam se um professor de Estrutura da Matéria, por exemplo, abordasse aspectos históricos e filosóficos da construção de algum conceito. Um deles, alegou que tais conhecimentos poderiam ser abordados em uma disciplina específica. Os demais não souberam se posicionar. Tal fato ressalta a relevância deste tema de pesquisa, especialmente, por se tratar do curso de licenciatura, na formação inicial dos docentes.

Nesse sentido, as ideias sobre aprendizagem e o papel da HFC no ensino conduziram o investigador desta pesquisa na elaboração dos demais instrumentos empregados na pesquisa. Especificamente, na construção dos seguintes textos: *Sobre a Peça* (texto explicativo sobre a peça); *Aspectos históricos, epistemológicos e teóricos* (pequenos textos que apresentam conteúdos chaves para a compreensão do que será debatido na peça); *Peça Copenhague* (texto adaptado da peça Copenhague entre aos estudantes).

7.1.3 Análise dos Questionários de pré e pós-Teatro Científico-Experimental

Os questionários de pré e pós-teatro (Apêndice B) tinham como função conduzir os estudantes a pensar sobre os assuntos que seriam abordados. Os instrumentos eram compostos de afirmações referentes aos conceitos dos Princípios da Incerteza e da

Complementaridade e a alguns aspectos da Natureza da Ciência. Em relação à Natureza da Ciência, as questões versavam sobre a influência da razão e da experiência na produção do conhecimento científico.

Tendo em vista a dificuldade dos temas abordados, optou-se por questionários do tipo enquete. O primeiro desses instrumentos promoveria um momento para os alunos anteciparem a discussão que iria permear o ambiente em grupo, funcionando como uma etapa de antecipação para os momentos do curso, conforme descreve o Ciclo da Experiência Kellyana. O segundo funcionaria como uma etapa de confirmação/desconfirmação do Ciclo da Experiência, quando aplicado após o Teatro Científico-Experimental. No momento de responder ao questionário, os alunos refletiriam sobre todos os conhecimentos articulados durante a pesquisa.

Após responderem ao primeiro questionário, os alunos se reuniram e foi realizada uma entrevista coletiva. Assim, foi possível promover uma discussão mais elaborada, o pesquisador tirar dúvidas sobre as impressões dos estudantes em relação ao Teatro Científico-Experimental e ter uma ideia mais aproximada das noções elaboradas por eles sobre os aspectos da Natureza da Ciência abordados, bem como, dos conteúdos da Física Quântica. As análises desses resultados são apresentadas na subseção seguinte, intitulada, “Análise das transcrições dos debates desenvolvidos no curso”.

Em relação, aos questionários pré e pós Teatro Científico-Experimental, os instrumentos foram constituídos por afirmações específicas referentes: aos Princípios da Incerteza e da Complementaridade (**a**, **b** e **c**) e em relação à Natureza da Ciência (**d**, **e**, **f** e **g**).

- a) Ao se medir com precisão uma grandeza observável não se tem a possibilidade de medir a outra com precisão, simultaneamente;
- b) A natureza da luz pode ser observada como onda ou como partícula, a partir de processos distintos de observação;
- c) Determinados fenômenos não podem ser compreendidos em sua totalidade, por meio de uma única abordagem;
- d) A natureza se apresenta como ela é, e então somos capazes de compreendê-la;

- e) A Ciência se destaca pela objetividade dos seus processos de medição. Na interação entre observador e o que é observado não há subjetividade;
- f) O processo de medição é conduzido pela teoria que orienta o observador;
- g) O processo de medição é orientado pelos fenômenos diretamente observáveis.

As afirmações **a** e **b** do questionário correspondiam aos enunciados clássicos dos Princípios da Incerteza e da Complementaridade. A afirmação **c** tem referência ao Princípio da Complementaridade. Contudo, ela também permite uma análise do ponto vista da epistemologia da Ciência. Dessa forma, intencionava-se que os estudantes fossem preparados para as afirmações de caráter mais epistemológico, apresentadas em seguida. Eis a questão **c**: “Determinados fenômenos não podem ser compreendidos em sua totalidade, por meio de uma única abordagem”.

A questão seguinte, letra **d**, compreendia “A natureza se apresenta como ela é, e então somos capazes de compreendê-la”. Por essa afirmação, aproximamo-nos da discussão sobre a utilização de modelos na construção científica. Muitos estudantes e professores, inclusive, esquecem que a Ciência elabora modelos para explicar os fenômenos, como por exemplo, para a explicação da constituição do átomo. E que, esses modelos evoluem ao longo da história, quando confrontados com evidências contrárias. Contudo, esse processo não é simples, pois sofre influência da comunidade científica, das instituições científicas e de outros contextos externos ao ambiente de produção do conhecimento.

Na letra **e** afirmava-se “A ciência se destaca pela objetividade dos seus processos de medição. Na interação entre observador e o que é observado não há subjetividade”. Nesse item, um dos aspectos da Ciência era posto em evidência, a Subjetividade do processo de medição. Os alunos eram levados a pensar se o processo de medição era “contaminado” por aspectos subjetivos do investigador. Esse debate, entre os filósofos da Ciência, não é tranquilo. Discute-se, por exemplo, o que seria a subjetividade. De acordo com Matthews (2012), confunde-se a subjetividade psicológica, com a subjetividade científica, que compreende a fundamentação teórica que carrega o cientista, por exemplo. Essas discussões foram levantadas durante o curso e são apresentadas na análise das discussões dos estudantes.

As duas afirmações seguintes, letras **f** e **g**, tinham a intenção de levar o aluno a refletir sobre o que seria predominante no processo científico, a teoria do observador ou os dados observados dos fenômenos. Tal questionamento está relacionado ao primeiro aspecto da Natureza da Ciência, o critério da comprovação empírica na Ciência.

O trecho destacado pode conduzir à reflexão sobre o aspecto da Natureza da Ciência, listado por Lederman (1992), que trata da dependência do conhecimento científico à comprovação empírica. A existência ou não de uma realidade e a possibilidade de acessá-la, que é o cerne dos debates entre realistas e antirrealistas. Havendo uma realidade e sendo possível acessá-la, qual seria a fonte do conhecimento: a experiência ou a razão? (HESSEN, 2003).

Na afirmação **f**, “O processo de medição é conduzido pela teoria que orienta o observador”. Analisando do ponto de vista de Hessen (2003), a fonte do conhecimento seria a razão. Para essa visão, a razão e as ideias indicariam os caminhos a serem percorridos pelo cientista e o permitiria enxergar e compreender os fenômenos.

Do lado oposto, a letra **g** afirma que “O processo de medição é orientado pelos fenômenos diretamente observáveis”. Uma ideia mais próxima do Empirismo, para o qual, a única fonte do conhecimento humano é a experiência, e que o espírito humano é vazio de conteúdos a priori (HESSEN, 2003).

Há visões de ciências menos extremistas para as duas opções acima, por exemplo, o Intelectualismo e o Apriorismo, os quais consideram que ambas, razão e experiência, participam na construção do conhecimento. O Intelectualismo se aproxima mais do Empirismo, pois percebe a preponderância dos elementos frutos da experiência para a determinação do conhecimento. O Apriorismo, por sua vez, mais próximo do Racionalismo, afirma que existem fatores apriorísticos que provêm da experiência guiada pela razão, ou seja, a razão orienta a construção do conhecimento e a observação (HESSEN, 2003).

A seguir, apresentaremos uma síntese quantitativa das respostas dos alunos para cada uma das afirmações. Contudo, enfatizamos que esta pesquisa é qualitativa. Dessa forma, essas respostas serviram apenas como um indicador para o desenvolvimento das discussões e demais etapas da pesquisa.

a) Ao se medir com precisão uma grandeza observável não se tem a possibilidade de medir a outra com precisão, simultaneamente.

O enunciado acima se refere ao Princípio da Incerteza. Apenas um estudante declarou já ter tido contato com esse conteúdo. Mesmo assim, quatro dos sujeitos, apresentaram algum tipo de explicação para esse conceito, no questionário de sondagem, instrumento aplicado no momento de inscrição no mini-curso,

As respostas ao questionário de pré e pós-Teatro Científico-Experimental configuraram o seguinte cenário: antes da intervenção (pré-Teatro), dois estudantes responderam ser “falsa” a afirmação acima; após a intervenção (pós-Teatro), um aluno continuou respondendo “falso” para a afirmação. Esse aluno (A6) interagiu muito pouco com os demais estudantes, durante a execução das atividades.

Além disso, ele não formalizou muitos questionamentos ou emitiu suas opiniões no grupo. O referido aluno tem 39 anos e trabalha no corpo de bombeiros. Talvez a diferença de idade e de experiência de vida, tenha provocado uma certa inibição na turma. Contudo, vale ressaltar que o projeto teve adesão voluntária, o que indica que essa atividade pode representar, também, uma possibilidade de atrair indivíduos com diferentes perfis.

Em relação, aos que acertaram na resposta para tal afirmação, não é possível inferir o grau de aprendizagem do conceito. Mesmo porque, esse não representa o objetivo do minicurso ou deste projeto. Ressaltamos que o objetivo era conduzir os estudantes a um contexto diferenciado de ensino-aprendizagem, mais participativo e colaborativo, no qual pudessem ter contato com aspectos da Natureza da Ciência, relacionados a conteúdos da Física Quântica, os princípios da Incerteza e da Complementaridade.

b) A natureza da luz pode ser observada como onda ou como partícula, a partir de processos distintos de observação.

Todos os sujeitos indicaram “verdadeiro” para essa afirmação, no pré e no pós-Teatro Científico-Experimental. Entendemos que, sendo um assunto explorado no ensino médio, os mesmos indicaram sua resposta de modo mais seguro.

c) Determinados fenômenos não podem ser compreendidos em sua totalidade, por meio de uma única abordagem.

Essa afirmação se relacionava ao Princípio da Complementaridade. No questionário de sondagem, analisado na subseção anterior, a maioria dos estudantes informaram não saber desse assunto. Somente um, o Aluno A8, redigiu alguma explicação para a Complementaridade.

No questionário de pré e pós-Teatro, todos os sujeitos indicaram verdadeiro para essa afirmação. Em um momento posterior, quando questionados se haviam compreendido essa afirmação, todos responderam que não haviam entendido antes do Teatro Científico-Experimental. Após o Teatro, seis deles, informaram ter respondido de forma consciente.

d) A natureza se apresenta como ela é, e então somos capazes de compreendê-la.

Quanto a esta afirmação, metade dos alunos respondeu verdade. Para essa questão não foram detectadas mudanças de opinião, após a interlocução, Teatro Científico-Experimental. A formulação das afirmações relacionadas aos aspectos da Natureza da Ciência teve por objetivo criar um ambiente de dúvida para os estudantes. Dessa forma, a validade das respostas “verdadeiro” ou “falso” fica em segundo plano, o foco seria despertar dúvidas, fazer os estudantes refletirem, desconstruir ideias estabelecidas, tentar elaborar hipóteses, promover o processo de aprendizagem, descrito por Kelly.

Essa afirmação poderia conduzir os estudantes a análises diferentes. Percebemos, a partir das entrevistas, que os mesmos compreenderam que existe uma limitação da Ciência, tanto do ponto de vista teórico como de tecnologia, o que pode implicar em uma compreensão parcial dos fenômenos e da “realidade”, como enfatizaram em seus discursos. As ideias dos sujeitos sobre tal afirmação são discutidas com mais profundidade na subseção seguinte.

e) A ciência se destaca pela objetividade dos seus processos de medição. Na interação entre observador e o que é observado não há subjetividade.

Para essa questão, antes do Teatro Científico-Experimental, seis alunos entendiam como “falsa”. Após a intervenção, todos os estudantes assinalaram “falso”. Percebemos que esta afirmação gerou bastante desconforto nos estudantes. No primeiro momento, assumiram uma postura de defensores da objetividade científica, como sendo um status inabalável da Ciência. A partir das discussões em grupos, os próprios estudantes apresentaram elementos que fizeram questionar o absolutismo da objetividade científica.

Por exemplo, um estudante (A5) falou um pouco de fenômenos que chamou de “sobrenaturais”. O fato desses fenômenos não serem tratados de forma mais central pela Ciência, segundo o estudante, denota um tipo de Subjetividade. Ele defende a hipótese de que a limitação teórica e de instrumentos impede um estudo mais amplo desses fenômenos no âmbito da Ciência.

Uma preocupação também foi lançada no grupo: que os conhecimentos científicos são válidos. Um estudante reforçou que, mesmo havendo a Subjetividade, o Ensino de Ciências não pode relativizar o conhecimento científico ou rebaixá-lo a um tipo de conhecimento comum.

Destacamos a riqueza de ideias desse momento. Compreendemos que o nível desse debate foi alcançado pelo ambiente de horizontalidade, em relação aos conteúdos, desenhado por esta pesquisa. Entendemos que, por ser dito que não pretendíamos atingir uma compreensão do que seria certo ou errado, todos os estudantes se sentiram no mesmo nível, aptos para interagirem entre si sobre o assunto. Dessa forma, sentiram-se à vontade para manifestar suas opiniões, em detrimento de possíveis preconceitos.

f) O processo de medição é conduzido pela teoria que orienta o observador

Em relação à relevância da teoria na orientação das pesquisas científicas. Antes da experimentação do Teatro Científico-Experimental, quatro estudantes compreendiam como sendo “falsa” a afirmação e quatro consideravam “verdadeira”. Após, o teatro, um estudante mudou de ideia, resultando em um total de três considerações “falsas” e cinco como “verdadeira”. Ou seja, após o Teatro Científico-Experimental, a maioria dos sujeitos entendeu que a teoria é responsável pela orientação da prática científica.

g) O processo de medição é orientado pelos fenômenos diretamente observáveis.

Contudo, analisando o enunciado de caráter mais próximo da visão empirista da Ciência, o qual aponta para os fenômenos como sendo os grandes responsáveis pelo desenvolvimento científico, obtivemos o seguinte cenário. Antes do teatro, apenas um estudante considerava essa afirmativa “falsa” e sete indicaram ser “verdade”. Após o Teatro Científico-Experimental, três estudantes responderam “falso” para tal enunciado e cinco, continuaram a indicar “verdade”.

Analisando comparativamente, as afirmações **f** e **g**, percebemos que dois estudantes (A3 e A5) entenderam que, tanto a teoria como os fenômenos são primordiais na condução da prática científica. Por isso, nos resultados do pós-Teatro Científico-Experimental tivemos a seguinte situação: cinco estudantes consideravam que a teoria orienta a prática científica e sete disseram ser os fenômenos. Ou seja, após o Teatro Científico-Experimental, os estudantes, em sua maioria, continuavam enxergando nos fenômenos a verdadeira fonte do conhecimento.

Uma análise das principais explicações ou questionamentos dos estudantes observados durante todo o processo de experimentação do Teatro Científico-Experimental é apresentada na subseção seguinte. Esses resultados serviram para apoiar as inferências realizadas neste trabalho e alcançar os objetivos.

7.1.4 Análise das transcrições dos debates desenvolvidos no curso

Tendo em vista a complexidade da presente pesquisa e dos recursos de coleta de dados, foi necessário empregar diversas técnicas. Contudo, a teoria que nos apoiou na interpretação da maior parte dos dados foi a Análise de Conteúdo de Bardin. Esta teoria tem sua origem nas Ciências Sociais, nas décadas de 20 e 30 do século XX (SANCHES, 2006).

A Análise de Conteúdo consiste em um:

[...] conjunto de técnicas de análise de comunicação visando obter, por procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens, indicadores (quantitativos ou não) que permitam a influência de conhecimentos relativos às condições de produção/recepção destas mensagens (BARDIN, 1979, p. 42).

Essa teoria entende que qualquer comunicação, escrita ou falada, pode ser decifrada pelas técnicas de Análise de Conteúdo. Exceto, apenas os conteúdos considerados não linguísticos, como por exemplo, fotografias (BARDIN, 1977). Entendemos que uma das características mais marcantes da Análise de Conteúdo é o papel da inferência. O investigador considera vários elementos para extrapolar as intenções dos investigados. A Análise de Conteúdo “torna possível analisar as entrelinhas das opiniões das pessoas, não se restringindo unicamente às palavras expressas diretamente, mas também àquelas que estão subentendidas no discurso, fala ou resposta de um respondente” (PERRIEN; CHÉRON; ZINS, 2000 *apud* SANCHES, 2006, p. 37).

Operacionalmente, essa técnica consiste em três etapas cronologicamente organizadas: a pré-análise; os procedimentos de tratamento e a inferência/síntese dos resultados. Partindo-se de uma leitura em primeiro plano (superficial) até se atingir níveis mais aprofundados de leitura, nos quais se desvelem os significados das mensagens. Com isso, são agrupadas palavras, em categorias, que implícita ou explicitamente expressem o mesmo sentido ou sentimento. Sanches (2006) apresenta esse processo tendo como base as seguintes etapas: organização do material, definição das unidades de registro e categorização.

A organização do material de trabalho seria a fase em que o investigador seleciona o que será alvo de estudo. Por meio de uma pré-análise definiria as respostas de questionários, partes de entrevistas e outros materiais ricos de informação para os objetivos da pesquisa. A segunda fase compreende a definição das unidades de registro. As unidades de registro são entendidas como podendo ser palavra ou conjunto de palavras, que guiam o pesquisador às intenções do texto. De acordo com Bardin (1997, p. 104) uma unidade de registro é

[...] a unidade de significação a codificar e corresponde ao segmento do conteúdo a considerar como unidade de base, visando a categorização e a contagem frequencial. A unidade de registro pode ser de natureza e de dimensões muito variáveis. Reina uma certa ambiguidade no concernente aos critérios de distinção das unidades de registro.

Nesse contexto, os aspectos empíricos identificados na experimentação do Teatro Científico-Experimental foram:

1. *Subjetividade;*
2. *Modelo/Representação;*
3. *Papel do Questionamento no Desenvolvimento da Ciência;*
4. *Conhecimento científico é socialmente e culturalmente incorporado.*

A fase seguinte, a categorização, consiste na transformação do texto em categorias. Essa fase é essencial no processo de análise porque relaciona os objetivos aos resultados da pesquisa (FREITAS; JANESSIK, 2000 *apud* SANCHES, 2006). Nesse processo, o investigador classifica os elementos de um conjunto, agrupando os similares de acordo com critérios específicos. Assim, as categorias são classes formadas por unidades de registro identificadas com um título. De acordo com Bardin (1977), os critérios para categorização podem ser: a) semântico: categorias temáticas; b) sintático: os verbos, os adjetivos; c) léxico: classificação das palavras segundo o seu sentido e d) expressivo: categorias que classificam as diversas perturbações da linguagem.

Nesta pesquisa, a Análise de Conteúdo foi utilizada na interpretação das transcrições das filmagens. Os resultados são apresentados ainda nesta seção. Contudo, antes disso, é importante esclarecer que a etapa de estudo teórico da peça Copenhague (adaptação) à luz dos trabalhos de Lederman, conduziu-nos a identificar alguns aspectos sobre a Natureza da Ciência que, potencialmente, poderiam ser trabalhados com os estudantes na sala de aula. Contudo, através da experiência e observação das discussões desenvolvidas em sala de aula, foi possível identificar outros aspectos, que emergiram das falas dos próprios estudantes. A esses chamaremos de aspectos empíricos da Natureza da Ciência.

A seguir, apresentamos uma discussão sobre cada uma das categorias empíricas, em que tentamos articular as ideias concebidas pelos estudantes com as difundidas pela literatura.

1. *Subjetividade*

Um dos temas mais controversos na Natureza da Ciência é a Subjetividade. Lederman (2002) apresenta a Subjetividade a partir do termo *Theory-Laden*, em que pretende dizer que a natureza do conhecimento científico é carregada de teoria, em que se localizam os compromissos científicos teóricos, as crenças, os conhecimentos prévios, o treinamento e as experiências que influenciam o trabalho do cientista.

Todos esses fatores formam as ideias que afetam os problemas científicos investigados e a condução das investigações, o que observamos (e não observamos), e como eles interpretam as suas observações. Essa mentalidade individual (ou coletiva) representa o papel da teoria na produção do conhecimento científico.

Além disso, esse autor, concordando com as ideias de Popper (1902 – 1994), destaca que a Ciência nunca se inicia com observações neutras. As observações são sempre guiadas e provocadas por dúvidas ou problemas derivados de certas perspectivas teóricas.

McComas (1998) discute a questão da Subjetividade dentro da Ciência, em oposição ao mito da Objetividade extrema dos cientistas. Ele afirma que a Objetividade plena não é possível. Nesse mesmo sentido, McComas (1998) explica a ideia de observação-cega, uma noção psicológica que afirma que os cientistas, como todos os observadores, mantêm conjuntos de preconceitos sobre a forma como o mundo funciona. Essas noções, elaboradas no subconsciente, afetariam a capacidade dos indivíduos de fazer observações de forma plenamente objetiva, não sendo possível coletar e interpretar os fatos sem qualquer ideia preconcebida.

Outro argumento, apresentado por McComas (1998), consiste em que as observações são baseadas em teorias, reportando-se ao conceito de paradigma de Thomas Kuhn. Esse historiador, através de sua análise histórica, sugere que os cientistas trabalham dentro de uma tradição de pesquisa compartilhada pelas disciplinas, a qual fornece pistas das perguntas dignas de investigação, prescreve testes e técnicas de estudos etc. Contudo, o paradigma pode também limitar a investigação, uma vez que as ideias novas podem ser rejeitadas pela comunidade científica. Este argumento parece introduzir a ideia de uma Subjetividade atrelada não ao indivíduo, mas sim, ao grupo de cientistas que trabalham dentro de um paradigma.

Alguns pesquisadores brasileiros (TEIXEIRA *et al.*, 2009), em suas pesquisas, alertaram que o sentido empregado de Subjetividade difere do utilizado pelo grupo de Lederman (1992). Tais autores enfatizam que existe uma diferença entre reconhecer o envolvimento dos sujeitos e afirmar que o conhecimento é subjetivo por natureza. Nessa visão, o conhecimento científico é dito Objetivo, devido ao seu caráter público e à imparcialidade dos métodos e procedimentos adotados na pesquisa, definidos pela comunidade científica.

Um exemplo de procedimento adotado pela comunidade para garantir a objetividade científica consiste na existência de pareceristas de trabalhos científicos em revistas, periódicos e eventos científicos. Esses sujeitos, cientistas da área de pesquisa, debruçar-se-iam criticamente sobre a publicação, a partir de um olhar externo ao ambiente do desenvolvimento de tais conhecimentos.

Matthews (2012) apresenta em seu trabalho uma crítica à forma como Lederman (2002) lida com o conceito de Subjetividade ou *Theory-Laden*. De acordo com esse autor, o sentido utilizado é, por vezes, ambíguo. Inicialmente, afirma que a alegação de que alguma coisa carregada de teoria não é equivalente a dizer que é subjetiva, no sentido psicológico do termo, que cada indivíduo possa chegar a um resultado diferente a partir de suas próprias impressões.

Nesse sentido, o autor ilustra que a Ciência Moderna tem empreendido esforços para gerar estruturas e estratégias que minimizem esse tipo de Subjetividade, como por exemplo, as unidades de medidas e definição de procedimentos. Por outro lado, o termo *Theory-Laden*, que é diferente de Subjetividade Psicológica, não representaria o simples fato da influência teórica sobre as práticas dos cientistas. A Ciência compreende um processo muito mais rico, no qual o cientista imagina formas de explicar o funcionamento do fenômeno, a partir de representações que não correspondem exatamente à realidade (MATTHEWS, 1994).

Na Física Quântica, o problema da Subjetividade está relacionado com o grau de interação do observador em relação ao objeto que está sendo observado. Um dos primeiros a apresentar o problema da Subjetividade foi Heisenberg, ao destacar o distúrbio provocado pelo observador no sistema observado. Bohr afirmou que o tal problema estaria relacionado à dificuldade de compreensão dos conceitos “observação”, “medição” e “aparelho” e na

impossibilidade de uma clara delimitação da fronteira entre o objeto e o sujeito, a qual viria a ser chamada de “problema de medição” (PESSOA Jr., 1992).

Dessa forma, o cientista precisaria ser treinado para enxergar e interpretar os fenômenos. Essa discussão tem vários outros pontos de vista relacionados. Contudo, tendo em vista os objetivos desta pesquisa e o público alvo, alunos iniciantes do curso de licenciatura em Física, propusemo-nos a perceber como a discussão do problema da Subjetividade é abordada pelos estudantes, se de um ponto de vista do Subjetivismo Psicológico, da *theory-laden*, ou se entendem que não há problema de Subjetividade no processo científico.

Em relação às discussões dos estudantes, é importante reforçar que existe um nível de dificuldade de compreensão desse aspecto da Natureza da Ciência, mesmo entre pesquisadores da área. Entretanto, o objetivo da proposta é levantar a discussão, levar os alunos a entenderem que, por trás do formalismo matemático da Física Quântica, há fundamentos epistemológicos complexos, que geraram e geram grandes debates entre os cientistas. Conduzir os alunos a uma reflexão sobre aspectos da Natureza da Ciência, articulados à discussão de conhecimentos científicos, como defende Matthews (2012). Em relação ao conceito, guiar-nos-emos no entendimento de subjetividade, do ponto de vista que, cientistas têm seu olhar investigativo orientado por um corpo teórico e, também, por suas crenças e experiências (LEDERMANN, 1992).

Em relação a esse aspecto da Natureza da Ciência, durante os momentos iniciais no curso, os alunos, em sua maioria, haviam registrado que haveria subjetividade na Ciência. Apenas dois estudantes indicaram que não existia subjetividade na Ciência. Contudo, notou-se que os alunos não compreendiam exatamente o que se pretendia dizer com Subjetividade na Ciência. No segundo dia do curso, durante o estudo do material instrucional da peça, dois alunos (A2 e A5) perguntaram o que seria Subjetividade. Nesse mesmo dia, no momento de discussão em grupo, um aluno (A6) afirmou que não entendia o motivo de discutir a Objetividade da Ciência. Em sua visão, estava claro que a objetividade científica era um status inquestionável.

Nos dias seguintes, durante a experimentação do Teatro Científico-Experimental, percebeu-se que os alunos começaram a desconstruir a imagem da Ciência inquestionável, como foi expresso pelo aluno A6. Um dos alunos (A7), percebeu que a Subjetividade está

relacionada com a carga teórica que o pesquisador carrega e orienta suas atividades. Ele usou uma analogia para exemplificar seu entendimento, que apresentamos adaptada.

- Fala do aluno A7:

Então, a peça (refere-se ao texto da peça Copenhague) que temos acesso, na verdade é um ponto de vista do autor? Outro autor poderia ter escrito de outra forma.

O aluno extrapolou o conceito discutido para outro conteúdo mais fácil de tratar. É evidente que o texto se trata de uma versão do encontro ocorrido entre Heisenberg e Bohr. Contudo, a arte de modo geral, não tem função de buscar explicar fenômenos. Por isso, consideramos uma extrapolação um tanto simplista. Mas, serviu para contextualizar o papel da objetividade dentro da História. Ao que se alcançou outro aspecto da Natureza da Ciência, a influência de outros contextos (social, cultural, econômico, político etc.) no desenvolvimento da prática científica. Os alunos que já têm experiência de ensino (A1, A3, A4 e A7) exemplificaram a influência dos exames seletivos de ingresso nas universidades na condução das atividades de ensino dos docentes.

No terceiro e último dia do minicurso, durante a discussão de fechamento, percebeu-se uma evolução na riqueza das argumentações dos alunos, em relação à Subjetividade científica. Pode-se perceber que a compreensão da maioria dos estudantes desenvolveu-se em torno do papel da teoria que carrega o investigador, no momento da investigação, que consiste no conceito de *Theory-Laden*. Ilustramos o ponto de vista acima, a partir das falas seguintes do aluno A4.

- Fala do aluno A4:

Será que como observador eu alterei o resultado quando tinha uma teoria na minha cabeça?

Um dos alunos (A1) reforça os questionamentos levantados por A4.

- Fala do aluno A1:

A partir do que aconteceu (da experiência), (o investigador) tira uma conclusão? Ou.... já se espera alguma coisa dali (experiência)? (fala adaptada)

Os demais alunos demonstraram concordar com essa perspectiva, e entenderam que é um dos problemas principais da Física Quântica. O debate entre os estudantes seguiu com o aluno A7, que utilizou a experiência mental do Gato de Schrödinger para ilustrar o problema da incerteza da Mecânica Quântica.

- Fala do aluno A7:

É isso que Schrödinger tentou ao fazer com o gato.... Por exemplo, se.... alterar a natureza daquilo que você está observando. Vamos pensar um gato dentro de uma caixa que tem um dispositivo radioativo. Até você abrir, o gato está vivo e morto ao mesmo tempo. Quando você abre, você descobre... aí você descobre se está vivo ou morto. Mas aí, você força a natureza a tomar uma decisão. E é isso que Schrödinger fala com relação a isso.... Até que ponto a gente altera o experimento. Esse é o problema da quântica.

Outro aluno A8 reforça.

- Fala do aluno A8:

Essa é a principal pergunta do Princípio da Incerteza.

As falas acima parecem evidenciar que o aluno A7 conseguiu articular a discussão sobre aspectos da Natureza da Ciência com os conteúdos trabalhados pela peça, a partir de um exemplo que não constava no material instrucional. O que parece indicar que realizaram pesquisas para desenvolver melhor a atividade, que compreende a fase de Investimento, proposto pelo Ciclo da Experiência Kellyana.

Das discussões apresentadas pelos estudantes, pode-se inferir que o minicurso possibilitou duas compreensões ou indagações sobre a questão da Subjetividade na Ciência: a teoria orienta a observação ou a observação dos fenômenos é isenta de qualquer

orientação? Até que ponto essa Subjetividade pode interferir no processo científico? Essa segunda compreensão recai no famoso problema da medida da Física Quântica, que é conhecida também como o problema do Gato de Schrödinger, como foi referido pelos estudantes.

Percebeu-se que, os ensaios da peça, especificamente na cena em que Heisenberg colide com Bohr para simular o processo de medição do elétron, os alunos parecem compreender que houve deslocamento e alteração na velocidade das duas entidades, resultando no entendimento que o processo de medição provocou alteração no sistema.

2. *Modelo/Representação*

Outro debate bastante evidente nas falas dos estudantes pode ser categorizado no aspecto Modelo/Representação, que está associado também ao papel da teoria na observação científica e na construção do conhecimento. Uma vez que, o investigador idealiza representações teóricas para explicar o fenômeno, pode sugerir que a realidade não é alcançável por meio da Ciência. A realidade quântica depende de forma mais acentuada do uso de representações para explicar os fenômenos. Heisenberg (1996) relata uma de suas primeiras discussões sobre o mundo das partículas, em que diverge da imagem representativa do átomo descrita no seu manual de Física.

[...] Para explicar por que, precisamente, um átomo de carbono e dois de oxigênio se combinavam para formar uma molécula de dióxido de carbono, o artista dotara os átomos de ganchos e colchetes, mediante os quais eles podiam prender-se uns aos outros (HEISENBERG, 1996, p. 10).

Heisenberg discordava totalmente dessa abordagem ao átomo. Defendia que a Ciência deveria ter como ponto de partida a Natureza, e não a especulação filosófica. Heisenberg (1996, p.11) afirmava que “a experiência é tudo o que temos para nos orientar, desde que a preparemos com o devido cuidado”. Ele utilizou essa sua visão para alicerçar a Interpretação de Copenhague. A ideia de que o cientista deveria se ater ao que é observável, levou-o a construir um mundo quântico, representado por uma matemática sofisticada de

difícil compreensão. Essa é uma das controvérsias da Mecânica Quântica, como já foi exposto em momento anterior.

Mas, então, a Natureza se apresenta como ela é, e os cientistas a observam ou apenas os fenômenos? Essa discussão foi evidenciada na fala dos alunos, a título de demonstração, apresentamos a fala do aluno A7:

- Fala do aluno A7:

A “realidade” a gente molda em função do experimento

Outro aluno, A1, tenta explicar de outra forma.

- Fala do aluno A1:

A partir do que aconteceu (na experiência), (a gente) tira uma conclusão

O que os dois alunos tentam explicar é que a realidade é um produto das observações dos cientistas, a partir das experiências. Isso parece, de certa forma, condizer com a visão de Heisenberg: é a experiência que determina o que seria a “verdade” científica.

Contudo, outro estudante (A4), questiona se o que é observado na experiência é consequência da teoria estudada anteriormente pelo cientista, e dessa forma, recai no papel da teoria orientando o olhar sobre a experiência e na construção dessa “verdade” ou a “realidade”, como os alunos costumavam mencionar.

- Fala do aluno A4:

A verdade, a realidade seria quando tenho uma teoria e já penso que vai acontecer alguma coisa ou quando eu não espero nada... (e apenas observo o fenômeno)?

3. *Papel do Questionamento no Desenvolvimento da Ciência*

Esse aspecto da Natureza da Ciência, não foi trabalhado explicitamente na peça de teatro. Na lista de Lederman, ela pode ser percebida nas bases do aspecto: “o conhecimento científico é provisório, mas durável”. Com isso, destaca que o conhecimento não é absoluto, está sujeito a mudanças. Para isso acontecer, o questionamento é o elemento essencial. Somente o espírito questionador do cientista, tanto do ponto de vista teórico como empírico, poderá promover uma (re)evolução dos conhecimentos científicos. Contudo, não se pode caminhar para um descrédito da Ciência. McComas (2008) alerta que o processo de geração do conhecimento lógico ainda é rigoroso, submete-se ao consenso da comunidade científica, produzindo conhecimentos duradouros.

Um dos alunos (A7) apresenta esse aspecto a partir da seguinte fala.

- Fala do aluno A7:

O que eu acho importante é que faz surgir mais perguntas. E é isso que acho que faz a ciência progredir, né? Acho que a ciência se faz assim. A gente faz perguntas e descobre outras coisas.

Esse mesmo aluno (A7) ainda consegue levar esse entendimento para o contexto da aprendizagem.

- Fala do aluno A7:

Quanto mais perguntas você tem, mais você vai procurar buscar e ter conhecimento. Até ter a apreensão de algumas coisas. Mas também, surgem outras perguntas. E aí, com certeza, vou correr atrás de entender.

Essa evidência não nos permite extrapolar e afirmar que a visão de Ciência que esse aluno tenha está associada de forma direta ou indireta à visão de Ensino de Ciências. Mesmo porque não é objeto desta investigação. Mas, pode-se perceber o nível das discussões oportunizadas pelo Teatro Científico-Experimental.

4. *Conhecimento científico é socialmente e culturalmente incorporado*

A discussão sobre a interferência de contextos externos à prática científica foi introduzida, de forma mais elaborada, por Ludwick Fleck (1896-1961), em 1935, a partir da publicação de sua tese intitulada “Gênese e Desenvolvimento de um Fato Científico”. No seu estudo sobre a evolução histórica da Sífilis, demonstrou que o conceito dessa doença sofreu influência de diversos setores da sociedade (FONSECA, 2008). Fleck (2010) propõe uma visão acerca da produção do conhecimento, que enfatiza a não neutralidade dos sujeitos e a influência de fatores sociais, antropológicos, históricos e culturais.

As ideias de Fleck foram resgatadas décadas depois por Thomas Kuhn (1922-1996), através de seu livro “A Estrutura das Revoluções Científicas”, publicado em 1962, no qual enfatizou que a Ciência é uma construção humana coletiva, fortemente influenciada por fatores sociológicos, históricos e culturais. Um dos destaques de sua obra é o que chamou de período de Ciência Normal, quando os cientistas trabalhavam a partir de problemas, técnicas e soluções definidos e assegurados pela comunidade científica. Pode-se inferir que tal comunidade é representada pelos grupos de pesquisas, órgãos de fomento, corpos editoriais, entre outros, os quais, de certo modo, julgam e opinam sobre as práticas científicas desenvolvidas.

No Ensino de Ciências, destacamos o ponto de vista de Lederman (2002) sobre esse aspecto. Tal pesquisador entende o conhecimento científico como resultado de um empreendimento humano, praticado em um contexto cultural e social. A Ciência afetaria e seria afetada por vários elementos da cultura em que está inserida, podendo se referir ao tecido social, às estruturas de poder político, a fatores socioeconômicos, filosofia e religião.

Matthews (2012), sobre esse aspecto da NdC, critica a forma como é sugerida a abordagem aos professores. De acordo com esse autor, é dito apenas que, além da Ciência ocidental, existem outras Ciências em outras partes do mundo; e sugere-se aos professores que devem identificar os valores e crenças inerentes ao conhecimento científico e seu desenvolvimento. Contudo, esse autor ressalta que seria importante que os professores, além de evidenciar a existência dessa influência, discutissem os seus impactos benéficos

e adversos, e o que há de comum e de diferente entre tipos de Ciências culturalmente distintos, como por exemplo, entre a Ciência ocidental e a indígena.

Ainda sobre esse aspecto, outros pesquisadores (PRAIA *et al.*, 2007) enfatizam que é necessário compreender o caráter social do desenvolvimento científico, fato evidente quando se percebe que o paradigma teórico vigente e as instituições influenciam as investigações científicas (MATTHEWS, 1994; KUHN, 1978). Os autores (PRAIA *et al.*, 2007) ilustram que os trabalhos são orientados pelas linhas de investigação e pelos grupos de pesquisa. Além disso, o trabalho científico é desenvolvido dentro de um contexto social, e por ele é influenciado, em relação aos problemas e circunstâncias históricas. Da mesma forma, que a Ciência também influencia a sociedade e outros setores.

Este aspecto demonstra a não neutralidade inerente à prática científica. Sobre isso, afirma Moura (2014, p. 34)

[...] A Ciência é influenciada pelo contexto social, cultural, político etc., no qual ela é construída. Este aspecto evidencia a não neutralidade da Ciência e do pensamento científico, isto é, nenhuma ideia científica ou cientista está envolta numa redoma intransponível; pelo contrário, suas concepções, as questões da época, o local em que vivem e as influências que sofrem podem desempenhar um papel importante na aceitação, rejeição e desenvolvimento das ideias da Ciência.

Tiago (2011), em seus estudos, percebeu que a construção do conhecimento científico enquanto construção social, pode se realizar na esfera pessoal, na esfera institucional e na esfera da sociedade como um todo. Assim, organizou esse processo da Ciência nos seguintes temas:

- a) A Ciência é uma atividade social complexa – nesse sentido, ele entende que a pesquisa científica não é feita de forma isolada, envolve muitos indivíduos, de gêneros diferentes, etnias e nacionalidades.

- b) A Ciência é organizada em disciplinas e é realizada em várias instituições – a especialização resultou na organização disciplinar do conhecimento, em áreas. As disciplinas se diferem umas das outras por seu objeto de estudo, pelas técnicas empregadas, pela linguagem utilizada, entre outras características. Contudo,

ressalte-se que cada uma delas também está vinculada a um conjunto de entidades de financiamento e de influência de suas práticas.

c) Princípios éticos são geralmente aceitos na condução científica – a Ciência demanda uma ética particular. Os processos inerentes, como, de coleta de dados, divulgação dos resultados, revisão por pares, entre outras, demandam uma ética própria.

d) Os cientistas participam nos assuntos públicos, quer como especialistas, quer como cidadãos – muitas vezes, os cientistas são convidados para se pronunciar sobre questões públicas, em relação às suas possíveis causas, consequências etc. Contudo, alerta Tiago (2011), é quase impossível para um cientista se manter isento de seus interesses e ideias preconcebidas.

Em relação aos estudos sobre a Natureza da Ciência, alguns evidenciaram a mudança na concepção de Ciência de estudantes e professores, em que reconhecem a relação de fatores sociais, econômicos e culturais na prática científica. Por exemplo, Chinelli, Ferreira e Aguiar (2010), identificaram em seus resultados que grande parte dos professores investigados sobre a visão de Ciências, entendem a Ciência como uma atividade em que deve haver controle ético e político.

Bächtold e Guedj (2014) chamam atenção para o papel social da Ciência e que o professor, ao contextualizar a Ciência em sala de aula, ajuda a desenvolver o pensamento crítico, repensar o papel do erro e sobre a diversidade de métodos empregados na prática científica. Contudo, em relação ao apego às questões sociais no desenvolvimento do trabalho científico, quase metade dos professores concordam com tal afirmativa, e uma fração dos docentes não percebem tal influência.

Uma outra pesquisa, Oleques, Boer e Bartholomei-Santos (2013, p. 119), de um universo de 100 estudantes do curso de Ciências Biológicas, sujeitos sobre a Natureza da Ciência, somente 13% compreendem o papel de outros contextos no desenvolvimento científico. Menos ainda, 4% percebem que o papel do cientista é ser ético em suas pesquisas, sendo responsável pela veracidade dos dados e resultados e honesto ao realizar seus experimentos e ao publicar seus resultados.

Diante de todo contexto, entendemos que a afirmação o *Conhecimento científico é socialmente e culturalmente incorporado* enfatiza a influência de fatores sociais, antropológicos, históricos e culturais à prática científica. Através desse aspecto se espera que os estudantes percebam que o conhecimento científico é resultado de um empreendimento humano, e dessa forma, seria afetado por vários elementos culturais, sociais, políticos, etc., como sugere Lederman (2002).

Nesse sentido, apresentamos algumas falas dos estudantes em que se infere uma preocupação com questões como, por exemplo, comportamento do cientista ao defender sua teoria, comunicação e argumentação científica, apresentação do conhecimento de outras formas, além do formalismo matemático.

Sobre o comportamento do cientista, o aluno falou.

- Fala do aluno A7:

O que é importante no discurso deles (Bohr e Heisenberg) é que ainda que eles possuam visões teóricas diferentes se respeitam muito.

A fala acima se refere à situação em que os personagens discordavam em relação a alguns pontos das suas teorias científicas e, mesmo assim, conseguiam conversar e debater as posições divergentes. O aluno esclarece que isto somente é possível ao se admitir uma postura de debate objetivo, em que se escute criticamente o outro, refletindo do ponto de vista dos argumentos científicos. É importante destacar na fala abaixo, que o aluno reconhece que o cientista tem ideias preconcebidas, contudo o mesmo não pode ficar preso às mesmas.

- Fala do aluno A7:

Isso faz com que eles saibam, sobretudo, ouvir ao outro sem estarem presos a nenhum preconceito.

Mesmo porque os resultados desse debate deverão ser repassados para o meio acadêmico. Ou seja, o conhecimento científico não é algo privativo de um sujeito ou grupo; deve ser submetido ao meio acadêmico, que também avaliará a coerência científica do

ponto de vista da comunidade científica. E, sendo aceito, poderá ser divulgado amplamente e repassado, em uma outra linguagem, para os estudantes que serão iniciados nesse novo conhecimento.

- Fala do aluno A7:

Além disso, mostra um pouco da preocupação que eles têm em passar esse conhecimento para o meio acadêmico.

A forma de apresentação dos conhecimentos científicos também é uma preocupação dos estudantes.

- Fala do aluno A7:

E outra coisa bem importante é que a preocupação, por exemplo, de Bohr em relação a Heisenberg com o formalismo matemático. Ou seja, ...tentar fazer uma análise diferente além da matemática.

Heisenberg acreditava que o formalismo matemático seria suficiente para expressar suas ideias. Em oposição, Bohr entendia que seria necessária uma explicação em nível mais conceitual, de forma que pessoas sem a formação matemática tivessem condições de conhecer tais ideias. Bächtold (2008), nos seus estudos sobre a Física Quântica, afirma que Bohr preocupava-se com a forma como os resultados de medição seriam interpretados e descritos.

Após apresentação dos resultados por instrumento de coleta, na seção seguinte, aprofundaremos as análises, correlacionando todos esses dados aos objetivos elencados para esta investigação. Para isso, a próxima seção está organizada em subseções, relacionadas a cada um dos objetivos específicos definidos neste projeto.

7.2 DISCUSSÃO DOS DADOS E RESULTADOS

A título de ilustração e melhor compreensão do leitor, apresentamos um resumo (Quadro 5) dos elementos que serviram de orientação para a apresentação dos resultados.

Nas colunas, rerepresentamos o problema de pesquisa proposto, o objetivo geral e objetivos específicos que nortearam o desenvolvimento desta investigação.

Quadro 5 – Quadro demonstrativo dos objetivos e critérios de análise

Problema	Como introduzir aspectos da Natureza da Ciência a partir da discussão de conteúdos da Física Quântica (Princípios da Incerteza e da Complementaridade) na formação inicial de professores de física?		
Objetivo Geral	Analisar a contribuição do Teatro Científico-Experimental para o desenvolvimento de noções sobre a Natureza da Ciência, introduzidos a partir da discussão dos Princípios da Incerteza e da Complementaridade.		
Objetivos Específicos		CrITÉRIOS de Análise	
1.	Identificar aspectos da Natureza da Ciência que emergem da discussão dos Princípios da Incerteza e da Complementaridade	Identificação de Aspectos Teóricos oriundos do estudo do material bibliográfico e da peça	Identificação de Aspectos Empíricos oriundos das discussões dos estudantes durante a experiência
2.	Identificar de que forma o TCE pode favorecer a discussão de aspectos da NdC articulados aos conceitos da Física Quântica, Princípios da Incerteza e da Complementaridade	Análise da contribuição de cada uma das etapas do ciclo Kellyano para o surgimento da discussão em que foram articulados os conteúdos da física com os aspectos da Natureza da Ciência	Análise da contribuição para formação mais geral do estudante de acordo com os objetivos propostos pelo curso para a formação do licenciado em Física

Fonte: Elaborado pela pesquisadora

Para atingir o primeiro objetivo específico, o qual pode ser retratado como, identificar aspectos da Natureza da Ciência que emergem da discussão dos Princípios da Incerteza e da Complementaridade, analisamos os dados a partir de duas categorias de análise. Na primeira, identificamos alguns aspectos da Natureza da Ciência, que emergiram do estudo do material utilizado na pesquisa, à luz da fundamentação teórica apresentada neste documento.

Tais aspectos foram denominados de Aspectos Teóricos e são específicos, uma vez que foram constituídos pela articulação das bases epistemológicas dos conceitos do

Princípio da Incerteza e do Princípio da Complementaridade com noções de aspectos da Natureza da Ciência empregadas no Ensino de Ciências. Ou seja, os Aspectos Teóricos surgiram do estudo dos conceitos desses dois princípios, à luz dos aspectos da Natureza da Ciência e que, potencialmente, poderiam surgir nas discussões dos estudantes durante a fase experimental da investigação.

Dessa forma, além dos Aspectos Teóricos, após a experiência do modelo de teatro, partiu-se para a fase de identificação dos aspectos da Natureza da Ciência que emergiram das falas dos estudantes. Tais aspectos foram denominados de Empíricos. Assim, a nossa segunda categoria de análise dos dados compreendeu, inicialmente, identificar os elementos do Teatro Científico-Experimental que favoreceram a promoção da discussão sobre o tema e identificar os Aspectos Empíricos que surgiram durante a experimentação do teatro.

Discutiremos os dados referentes a cada uma dessas categorias, nos parágrafos que se seguem. Em um primeiro momento, analisaremos os Aspectos Teóricos e Empíricos identificados, que correspondem ao primeiro objetivo específico desta investigação. Em seguida, discutiremos de que forma a estrutura do Teatro Científico-Experimental favorece as discussões sobre os aspectos da Natureza da Ciência, nosso segundo objetivo específico.

7.2.1 Aspectos da NdC

A partir desta investigação, podemos identificar dois grupos de aspectos da Natureza da Ciência. Um grupo denominado Aspectos Teóricos, oriundo do estudo do texto Copenhague e que, potencialmente, poderiam vir à tona durante a interação com os sujeitos da pesquisa. O outro grupo, denominado de Aspectos Empíricos, surgiu da análise das falas proferidas pelos estudantes, durante as discussões acerca dos princípios da Incerteza e da Complementaridade. A seguir discutiremos tais Aspectos Teóricos e Empíricos.

a) Aspectos Teóricos

❖ *Subjetividade (Theory-Laden)*

O problema da subjetividade na Física Quântica está relacionado com o grau de interação entre o observador e o objeto observado. Contudo, há várias formas de se entender essa interação. Há um entendimento da subjetividade que compreende o termo *Theory-Laden*, que indica a influência da teoria sobre a natureza do conhecimento científico, dos compromissos científicos teóricos e disciplinares, as crenças, os conhecimentos prévios etc (LEDERMAN, 2002). Todos esses fatores orientariam as práticas científicas, as observações, as análises etc.

Entretanto, mesmo se compreendendo a existência dessa interação, pode-se defender uma objetividade, estabelecida pela imparcialidade dos métodos e procedimentos adotados na pesquisa e definidos pela comunidade científica, como por exemplo, a existência dos pareceristas de trabalhos científicos. Na atualidade, Matthews (2012) apresentou uma crítica à forma como Lederman (2002) lida com o conceito de subjetividade, abordando-o de forma ambígua. Portanto, como se percebe, a questão da subjetividade não é uma discussão trivial dentro da Ciência. Por isso, neste trabalho, optamos por introduzir o debate e estimular os alunos a construírem suas ideias sobre o que seria a subjetividade dentro da Ciência, sem nos atermos a analisar uma evolução do conceito.

❖ *Conhecimento científico é socialmente e culturalmente incorporado*

A peça Copenhague tem como pano de fundo o período da Segunda Guerra Mundial, a construção da bomba nuclear e o encontro dos dois físicos, amigos, mas de ideias aparentemente contrárias, em relação ao cenário político. Assim, uma discussão mais ampla, envolvendo o papel do contexto social e cultural no desenvolvimento científico, bem como, de questões como a ética e as relações interpessoais entre opositores, veio à tona. Dessa forma, percebemos a potencialidade do aspecto “conhecimento científico é socialmente e culturalmente incorporado” como fonte de debate entre os estudantes. Tal aspecto reconhece o conhecimento científico como resultado de um empreendimento humano, forjado em um contexto cultural e social. A Ciência não se desenvolveria de forma isenta, é influenciada por todos esses fatores. Essa premissa foi percebida pelos estudantes.

Os aspectos apresentados acima, destacaram-se, de forma mais evidente, no estudo do texto da peça. Tais aspectos subsidiaram a preparação do material utilizado (textos de apoio, adaptação da peça e questionários) na intervenção junto aos estudantes. Da mesma forma, a observação da experimentação do Teatro Científico-Experimental, também foi fundamentada por tais aspectos. Os resultados dessa etapa, Aspectos Empíricos, estão descritos a seguir.

b) Aspectos Empíricos

❖ *Subjetividade*

No primeiro dia da intervenção, os estudantes não entendiam o motivo de se discutir a objetividade da Ciência, uma vez que constituiria um status inquestionável pelos estudantes. A dificuldade de pensar a subjetividade na Física, levou os sujeitos a indagarem a presença da subjetividade em outras ciências, como por exemplo, a História. Um dos estudantes elaborou a seguinte ideia: um historiador recorta um fato e interpreta a partir de um ponto de vista específico, de um paradigma. Assim, a discussão foi encaminhada para a influência dos contextos social, cultural, entre outros, no desenvolvimento da prática científica.

Apesar de todos esses elementos da discussão sobre a subjetividade, pode-se perceber que a maioria dos estudantes relacionou esse aspecto ao papel da teoria, que orienta o investigador, no momento da investigação. Ou seja, o pesquisador teria seu olhar direcionado para ver aquilo que sua fundamentação teórica permitiria.

❖ *Modelo/Representação*

Esse aspecto surgiu dos debates entre os estudantes sobre o que é observado nas experiências científicas. Não estava claro para os mesmos que a Ciência elabora uma representação, um modelo, dos fenômenos para estudá-los e fazer previsões. O universo quântico minúsculo, de difícil representação, no qual o pensamento newtoniano da casualidade não permite uma interpretação, parece ter deixado os estudantes confusos. A

Ciência não representaria a realidade, a verdade? A realidade seria um produto das observações dos cientistas? Tais observações seriam orientadas pela teoria, pela razão? Os estudantes não chegaram a um consenso, mas podemos identificar a marcante preocupação com o papel da teoria na construção das experiências e no que é observado, como foi exemplificado por um dos estudantes, através da experiência do Gato de Schrödinger.

Eis a fala do aluno:

- É isso que Schrödinger tentou ao fazer com o gato.... Por exemplo, se.... alterar a natureza daquilo que você está observando. Vamos pensar um gato dentro de uma caixa e tem um dispositivo radioativo. Até você abrir o gato está vivo e morto ao mesmo tempo. Quando você abre, você descobre... aí você descobre se está vivo ou morto. Mas aí, você força a natureza a tomar uma decisão. E é isso que Schrödinger fala com relação a isso.... Até que ponto a gente altera o experimento. Esse é o problema da quântica.

❖ *Papel do Questionamento no Desenvolvimento da Ciência*

Esse aspecto emergiu da discussão dos estudantes sobre a estrutura do Teatro Científico-Experimental e o papel do questionamento nas interrupções ao final de cada ato. Eles perceberam que essa estratégia permitia que fosse aprofundando o nível de conhecimento deles.

Um dos alunos levou esse pensamento para a Ciência e compreendeu que ela funciona da mesma forma.

Eis a fala do aluno:

- O que eu acho importante é que faz surgir mais perguntas. E é isso que acho que faz a Ciência progredir, né? Acho que a Ciência se faz assim. A gente faz perguntas e descobre outras coisas.

Em relação à Natureza da Ciência, o questionamento denota o caráter provisório do conhecimento. Sobre tal fato, os estudantes continuaram a defender que, o conhecimento

científico é sólido e com alto poder preditivo e explicativo dos fenômenos, não perdendo seu status. Mas também, entenderam que esses conhecimentos estão sujeitos a mudanças e respondem os problemas dentro de um limite bem definido.

❖ *Conhecimento científico é socialmente e culturalmente incorporado*

Os estudantes perceberam que a Ciência não é feita de forma isolada por um gênio. O debate científico entre os pares e o processo de argumentação entre cientistas, com ideias antagônicas, também fazem parte desse cenário. E que, para isso, o debate precisa ser em tom respeitoso, objetivo e pautado em argumentos.

No contexto dos conteúdos abordados da Física Quântica, os sujeitos entenderam a importância da compreensão dos conhecimentos, a partir dos conceitos e não somente a partir do formalismo matemático, como preconizada por Heisenberg. Tal elemento reforça a necessidade de abordagens mais construtivistas dos assuntos da Física, de modo geral e, especificamente, da Física Quântica. Não basta ser um ensino expositivo de informações, apresentação de textos, mas um ensino que permita aos estudantes construir suas ideias e que fomente o debate entre visões antagônicas, como é favorecido pela intervenção a partir do Teatro Científico-Experimental.

7.2.2 Contribuição do Teatro Científico-Experimental

Os dados observados da intervenção nos indicam que a proposta do Teatro Científico-Experimental compreende uma ferramenta importante para os cursos de formação de professores, uma vez que se baseia em uma concepção de ensino-aprendizagem, na qual o estudante é o principal responsável pelo seu aprendizado e pela construção ou revisão dos seus conhecimentos. Esse processo ocorre de maneira dialética. O aluno tem várias oportunidades para rever seus conhecimentos, de forma autônoma e, a partir de contextos mais amplos, sendo incentivado a não se restringir aos livros didáticos e ao material instrucional disponibilizado pelo professor. Tais preceitos parecem ser os almejados pelo curso investigado.

Esse curso, através do seu projeto pedagógico, entende que o conhecimento científico desempenha um papel significativo no desenvolvimento humano, cultural e tecnológico. E que, portanto, faz-se necessária a adoção de processos e metodologias inovadoras de ensino-aprendizagem, que permitam aos estudantes enfrentarem os novos desafios da sociedade atual (NDE, 2009)

Nesse contexto, o aprendizado pode ocorrer em vários ambientes informacionais (jornais, internet, família, grupos sociais etc.), não se restringindo ao espaço escolar. O professor deixa de ser o detentor do saber, e o conhecimento é compreendido como uma representação da realidade, construída sócio, histórica e culturalmente. “Essa postura para com o conhecimento científico nos demanda (professores) o uso de práticas pedagógicas modernas e participativas e o uso de linguagens e tecnologias de apoio à aprendizagem” (NDE, 2009).

Do parágrafo acima, destacamos alguns elementos da concepção do curso investigado sobre o conhecimento na sociedade atual e o seu ensino: o aprendizado ocorre em vários ambientes informacionais; o professor deixa de ser o detentor do saber; o conhecimento é compreendido como uma representação da realidade; o conhecimento é uma construção sócio, histórica e cultural; enfoque no uso de práticas pedagógicas modernas e participativas. Todos esses elementos podem ser observados no Teatro Científico-Experimental e pela abordagem histórica e filosófica da peça Copenhague. Ou seja, a abordagem aos conteúdos da Física, a partir do Teatro Científico-Experimental, está coerente com a perspectiva da construção do conhecimento discutida pelo curso.

Nesse contexto, prosseguimos, analisando a contribuição de cada elemento da estrutura do Teatro Científico-Experimental, que compreende as cinco fases (antecipação, investimento, encontro, confirmação/desconfirmação e revisão construtiva), para a promoção do debate mais amplo sobre a construção do conhecimento e dos aspectos da Natureza da Ciência.

Assim, em relação às etapas do Teatro Científico-Experimental, identificamos que:

1. Investimento – a partir da recomendação dada durante o minicurso, os alunos realizaram pesquisas sobre o assunto, fato que ficou evidente quando o aluno A7 apresentou o exemplo do Gato de Schrödinger. Esse conteúdo não foi discutido na sala de

aula, e nem havia referências no material entregue. Além disso, no primeiro dia da investigação/intervenção, o aluno não se referiu a esse exemplo. O mesmo também não foi detectado nos instrumentos de sondagem e de pré-intervenção. Também consideramos um momento de investimento, as discussões extraclasse sobre o assunto, travadas entre os sujeitos. A fala do aluno A4 parece indicar tal conclusão:

- Eu estava discutindo com duas pessoas ontem. A verdade do experimento seria o que a gente, tipo, a gente estudou antes e a gente faz o experimento?

Nessa fase, percebeu-se que os estudantes não se limitaram ao material instrucional disponibilizado no minicurso. Realizaram outras pesquisas e discutiram em momentos extraclasse. Tal fato nos leva a inferir que, o aprendizado ocorreu devido à interação de estudantes com outros ambientes informacionais, como preconiza o curso investigado.

2. Confirmação/Desconfirmação – essa etapa do ciclo Kellyano foi promovida dentro do teatro pelas interrupções, quando os estudantes faziam perguntas à plateia (entre eles). Essa estratégia conduziu os estudantes a mobilizarem a sua estrutura cognitiva, para entenderem o conteúdo da peça a partir do ponto de vista da Natureza da Ciência, especialmente os conteúdos abordados da Física Quântica. Desse processo, pode ter resultado na relação entre o exemplo da medição, ilustrada na peça com o problema da medição do ponto de vista epistemológico, em que se pergunta qual o nível de interferência do observador no sistema observado.

3. Revisão Construtiva – destacamos dois momentos, em que essa etapa do ciclo Kellyano foi mais significativa dentro do processo. Um deles foi o momento final da peça, quando os alunos deveriam elaborar uma questão sobre o tema abordado na peça e uma pequena síntese sobre toda a peça. Essa estratégia promoveu a organização das ideias dos alunos, em relação ao tema estudado, articulando os conhecimentos prévios com os novos conhecimentos, que permearam a experiência.

As três fases ilustradas anteriormente demonstram que o professor não é o detentor de todo saber, como é defendido pelo curso investigado. O conhecimento é uma construção

pessoal, cada um tem um caminho para a construção do conhecimento. O papel do professor é apontar as possibilidades de caminhos, esclarecer os diferentes trechos percorridos, mas o caminhar é de cada um. Além disso, pode-se dizer que o Teatro Científico-Experimental constitui uma ferramenta didática moderna, inovadora e participativa, que promove uma maior interação dos estudantes, seja na fase de estudo da peça ou nos momentos em que precisam propor questionamentos e rebater os questionamentos propostos. Nesse processo, o estudante precisa argumentar, a partir de fatos científicos e do conhecimento dos assuntos abordados. Dessa forma a estrutura cognitiva é estimulada e ocorre o processo de ensino-aprendizagem.

Todos esses elementos do Teatro Científico-Experimental favoreceram a discussão dos aspectos da Natureza da Ciência, levantadas pela peça Copenhague. Os cortes inseridos na peça e a proposição de questionamentos parecem ter estimulado os estudantes a debaterem o conteúdo da peça, a questionarem o que seria a subjetividade científica ou como se desenvolvem as relações sociais e pessoais em ambientes de embates científicos. Além disso, os estudantes tiveram liberdade para trazer outros elementos para a discussão em sala. Dessa forma, percebemos que a estrutura do tipo de teatro proposto não só promoveu momentos de debates, interação entre os estudantes, pesquisa extraclasse, como também, favoreceu uma discussão de melhor qualidade, com argumentos cunhados pelos próprios estudantes, a partir de suas pesquisas.

A título de ilustração do que foi exposto acima, relatamos o caso do grupo 1. Esses estudantes alteraram o texto do início da peça, contextualizando o momento da peça com o momento científico, tecnológico e político. Os fatos apresentados foram escolhidos pelos estudantes. Eles informaram que:

- Boa noite... vai ter agora a apresentação de uma peça que... foi... escrita por Michael Frayn em 1987. Que na verdade é uma adaptação que vai contextualizar... o encontro que aconteceu entre Niels Bohr e Werner Heisenberg em 1941. Então, vou primeiro contextualizar, no caso vou situar o contexto histórico, o período em que eles se encontram. Vamos lá! 1940, estamos no auge da 2ª Guerra Mundial. Estavam sendo produzidos computadores mais potentes com intuito sobretudo militar. Houve diversas

revoluções tecnológicas... a revolução que por sua vez foi trazida pelo Einstein com o efeito fotoelétrico e com a relatividade.

Dessa forma, a metodologia de ensino vivenciada nesta tese contribui para uma formação em que os professores sejam estimulados a não apresentarem respostas prontas, mas que auxiliem os estudantes a formularem perguntas; ou mesmo que os estudantes sejam corresponsáveis pela produção do conhecimento, como preconizam as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (DCNEM), e os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (BRASIL, 2000).

Acima analisamos os aspectos do Teatro Científico-Experimental que favorecem a discussão dos aspectos da Natureza da Ciência. Além dessa contribuição, o teatro promoveu outros ganhos aos alunos, como:

1. Desenvolvimento humano - vale a pena ressaltar que, o assunto sendo tratado através de uma peça deixou os alunos mais à vontade para questionar e discutir os conteúdos de forma mais leve. Todos os alunos emitiram algum ponto de vista, uns mais que outros e de forma mais clara. Além disso, sob a ótica do desenvolvimento humano, a peça favoreceu a inter-relação entre os estudantes dentro e fora do contexto de sala de aula. Um dos grupos expressa, na síntese elaborada sobre a peça, que um dos aspectos trazidos pela mesma é que, mesmo os cientistas tendo ideias divergentes, eles se respeitam e conseguem debater tais ideias de forma respeitosa. Isso demonstra um acréscimo na formação humana nesses alunos, possibilitada pelo conteúdo da peça.

Eis a fala do aluno A7:

- O que é importante no discurso deles é que ainda que, eles possuam visões teóricas diferentes, se respeitam muito... Ainda que são visões bem distintas, ainda assim, quer dizer não necessariamente tão distintas, mas eles se respeitam muito. Isso faz com que eles saibam, sobretudo, ouvir um ao outro sem estarem presos a nenhum preconceito.

2. Formação cultural – o ensino de Física, por vezes, é distanciado da cultura. A utilização do teatro no Ensino de Ciências tem como um dos argumentos incentivar uma formação cultural mais ampla dos alunos. Nesse aspecto, a experiência parece ter despertado o interesse pelo teatro. Alguns alunos (A1 e A5) demonstraram interesse em apresentar a peça para um público maior. O aluno A5 solicitou as filmagens em que aparece encenando, ele gostaria de ver sua atuação. Outros alunos de Física, que não estavam matriculados no curso, solicitaram permissão para assistir aos ensaios gerais e demonstraram o desejo de ter participado da peça.

O teatro também contribuiu para uma formação diferencial desses estudantes. Para um entendimento de que o professor de Física não tem sua atuação restrita apenas ao domínio do conhecimento e à transmissão de informações e conteúdos, mas também, precisa buscar uma educação científica, que permita não apenas a compreensão dos fenômenos naturais, mas inclusive das consequências e dos efeitos da tecnologia com seus impactos na sociedade (NDE, 2009).

Além disso, pode-se perceber que a estratégia abordada a partir do Teatro Científico-Experimental, o qual uniu elementos do teatro de Bertolt Brecht com aspectos da Teoria dos Construtos Pessoais, promoveu um direcionamento dos estudantes para o desenvolvimento de um ensino visando à aprendizagem do aluno, para uma articulação dos conhecimentos históricos e filosóficos da ciência com os conhecimentos científicos, de modo a permitir que o Ensino de Física contribua para a formação cultural e cidadã e para uma investigação da própria prática pedagógica, uma vez que os estudantes tiveram oportunidade de refletir sobre a peça como um empreendimento pedagógico, conforme defende o projeto pedagógico do curso investigado.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Antes de comentar os resultados obtidos da estrutura organizada na pesquisa, é fundamental fazer uma revisão geral das novidades teóricas introduzidas nesta tese, especialmente por promover uma abordagem ao Ensino de Física que amplia a visão conteudista, inserindo uma percepção sobre a Natureza da Ciência.

Para fins de resgatar os principais aspectos e dificuldades desta pesquisa, apresentamos, neste capítulo, os pontos mais relevantes em relação: à revisão teórica, à proposta, à metodologia e aos resultados. Ao final, elencamos possibilidades de caminhos para a continuidade e aprofundamento deste estudo.

Do ponto de vista do corpo teórico, destacamos como contribuição a realização do estudo histórico e epistemológico dos conteúdos da Física Quântica, o Princípio da Incerteza e o Princípio da Complementaridade. Tais conteúdos demonstraram grande acessibilidade para esse tipo de abordagem.

O momento histórico, da Segunda Guerra, propiciou uma discussão da Ciência, a partir de questões como, a ética, as finalidades dos conhecimentos científicos e o patrocínio da Ciência. Os estudantes puderam refletir sobre os interesses por trás do desenvolvimento do conhecimento e das discussões científicas.

Tal fato corrobora o que vem sendo destacado por vários pesquisadores da área (PUMFREY, 1991; LEDERMAN, 1992; MATTHEWS, 1995; MCCOMAS *et al.*, 1998; HARRES, 1999; LEDERMAN, 2006; PRAIA *et al.*, 2007; CLOUGH; OLSON, 2008; LEDERMAN, 2012). A discussão sobre a NdC contribui para uma compreensão mais ampla da prática científica, evidenciando a influência de setores externos.

Uma outra contribuição desta pesquisa se caracteriza pelo estudo realizado sobre a Natureza da Ciência, através do qual, buscamos apresentar os diversos aspectos abordados no Ensino de Ciências e as principais discussões da área protagonizadas, principalmente, por Moura (2014), McComas (2008), Matthews (2012) e Lederman (1992; 1998; 1999; 2006; 2007; 2012). Tais autores destacam que, o mais importante não é adotar um grupo de aspectos a serem ensinados em sala de aula, como se fosse mais um conteúdo (Matthews, 2012). Mas, é necessário propiciar a reflexão sobre tais aspectos pelos estudantes, de modo que os mesmos possam refletir sobre a Ciência.

Além disso, através desta pesquisa, identificamos que existe uma diversidade de propostas metodológicas, quanto à forma de abordagem a esses aspectos no Ensino de Ciências. Tais propostas são agrupadas em abordagens “implícitas” e “explícitas”. São chamadas de implícitas, as atividades práticas que têm como objetivo, propiciar ao aluno a vivência de um processo científico. As abordagens explícitas são aquelas, nas quais são trabalhados os conteúdos epistemológicos ou da História e Filosofia da Ciência. As pesquisas têm demonstrado que as abordagens explícitas promovem um melhor resultado, em relação, ao desenvolvimento das concepções dos estudantes sobre a Natureza da Ciência (TEIXEIRA *et al.*, 2009; LEDERMAN, 1992; ABD-EL-KHALIC; LEDERMAN, 2000).

Dessa forma, nesta investigação, adotamos esse tipo de abordagem para a estruturação da intervenção pedagógica. Aproximamos os estudantes da discussão explícita sobre a Natureza da Ciência, a partir do estudo dos conteúdos da Física. A nossa proposta adotou, como ferramenta, um modelo de teatro diferenciado, adaptado para tal fim, fundamentado em uma teoria de ensino-aprendizagem, a Teoria dos Construtos Pessoais (KELLY, 1963) e nas características do teatro de Bertolt Brecht (1987).

As ideias subjacentes às teorias de George Kelly e de Bertolt Brecht foram adotadas, pelo grau de compatibilidade com os demais elementos desta investigação. A teoria de George Kelly fundamenta-se na ideia de que o estudante tem uma papel central e decisivo na sua aprendizagem. Cada indivíduo aprende, a partir de um processo particular de confronto de suas hipóteses com as suas experiências, assim como um cientista. Dessa forma, o ensino precisaria considerar múltiplas estratégias, através das quais os estudantes pudessem desenvolver seus processos (BASTOS, 1992).

Nesse mesmo sentido, o estilo de teatro, proposto por Brecht (1978) prioriza a função didática, em relação à função de divertimento. Para isso, ele propõe alguns recursos com o intuito de promover o envolvimento de todos (atores, plateia etc.) na peça. No mesmo sentido da Teoria dos Construtos Pessoais de George Kelly, no teatro Brechtiano, todos os indivíduos têm uma função central na peça, podendo interagir, questionar e, até mesmo, mudar os rumos da peça.

Tendo em vista, a confluência dessas duas teorias, na adaptação do Teatro Científico-Experimental, optamos por adotar as cinco etapas do Ciclo da Experiência

Kellyana (Antecipação, Investimento, Experiência, Confirmação/Não-Confirmação e Revisão Construtiva) para atribuir função aos atos e passagens da peça e, os seguintes elementos do teatro de Brecht: ensaios em maior número na forma de leituras e estudos sobre o texto; utilização da terceira pessoa e do tempo passado na construção das falas; interação com o público, podendo implicar em mudanças nos rumos da peça; interrupção da peça para questionamentos; descrição histórica das cenas; explicações sobre a peça através de um narrador.

O modelo de teatro e o texto da peça foram elaborados e apresentados aos estudantes, os quais puderam opinar e modificar. Tal fato contribuiu para o envolvimento dos estudantes no processo de experimentação. Na reunião final do teatro, esses alunos demonstraram interesse em apresentar a peça para um público maior.

Antes de destacarmos os resultados mais marcantes deste trabalho, é necessário fazer menção aos alicerces metodológicos. Do ponto de vista do Anarquismo Epistemológico de Paul Feyerabend, o qual defende o emprego de um pluralismo metodológico para dar conta do contexto de pesquisa e objeto de estudo (LEAL, 2011), definimos alguns critérios para a definição da metodologia adotada. Tais critérios foram: pluralismo metodológico; foco no processo; o indivíduo como principal agente de sua aprendizagem e da pesquisa e, aprender a ensinar.

Esses critérios serviram de aporte para a adaptação e montagem de um novo estilo de teatro, baseado no criado pela professora Dra. Heloisa Flora Brasil Nóbrega Bastos - o Teatro Kellyano - utilizado com crianças do ensino fundamental. Nesta investigação, adaptamos o Teatro Kellyano para o nível da Graduação, articulando às características do teatro Brechtiano. A esse novo estilo de teatro denominamos de Teatro Científico-Experimental.

Tendo o processo como foco, a construção do modelo de teatro e a adaptação da peça foram frutos de análise. Uma das principais dificuldades, encontrada no desenvolvimento desta pesquisa, foi elaborar o novo modelo do Teatro Científico-Experimental que, por se tratar de uma proposta inovadora, demandou bastante tempo de pesquisa. Teve como base, os critérios metodológicos e as ideias de Kelly e de Brecht, que os envolvidos (estudantes e sujeitos da pesquisa) são elementos centrais do processo e podem interagir no mesmo, promovendo alterações. Alguns modelos foram elaborados e

discutidos previamente com a aluna monitora. A aluna pode dar sua opinião e promover ajustes.

É importante destacar que o curso de Licenciatura em Física, de modo geral, tem o ensino com ênfase no treinamento referente à aplicação das fórmulas. A cultura do ensino matematizado, em detrimento do ensino de conceitos, poderia representar um obstáculo para a adoção de estratégias pedagógicas diferenciadas, como a proposta por esta pesquisa.

Além disso, o período de aplicação da investigação coincidiu com o período de provas dos discentes, o que também poderia ter constituído uma dificuldade. Contudo, não detectamos obstáculos reais. No início, os estudantes se mostraram preocupados por terem de ler o material de apoio entregue. Contudo, à medida em que foram lendo e debatendo, entregaram-se às atividades propostas.

Por esses motivos, ressaltamos como um importante resultado desta pesquisa, a participação integral dos estudantes, indo além do esperado. Por exemplo, mesmo com pouco tempo, os participantes realizaram pesquisas e debates que extrapolaram o horário do curso. Além disso, trouxeram exemplos para os debates, frutos dessas pesquisas. A fim de ilustração, destacamos um dos exemplos trazidos pelo estudante (A7), que foi o caso do Gato de Shróendiger ou ainda, a fala do Aluno A4, no segundo dia do curso de experimentação: “Eu até tava discutindo com duas pessoas ontem... A verdade do experimento...”. Consideramos que tal envolvimento e desprendimento foram alcançados devido à estratégia diferenciada adotada do Teatro Científico-Experimental.

Ou seja, o Teatro Científico-Experimental demonstra possuir uma capacidade de atrair e envolver verdadeiramente os estudantes. A estrutura proposta por esse tipo de teatro enfatiza o papel ativo dos participantes na construção da peça e em todos os momentos do curso e, com isso, os incentiva a realizar alterações nos textos e compartilhar na sala de aula as suas dúvidas e ideias. De acordo com o Ciclo da Experiência de George Kelly, os participantes são levados, em vários momentos, a confrontar as suas hipóteses com as novas informações. Dessa forma, decorre o processo ensino-aprendizagem.

É importante destacar que a estratégia adotada possibilitou que os investigados participassem na condição de alunos do curso, mas também, que tivessem espaço para refletir, na condição de futuros professores, sobre a ferramenta proposta. Assim, o teatro

mostrou diversos elementos favoráveis para sua adoção, seja para fins de divulgação científica ou didáticos, podendo ser empregado por docentes em sala de aula.

Nesse sentido, um estudante falou ao final da encenação da peça que “é interessante a forma como são abordados os conteúdos no Teatro Científico-Experimental. Trazer a questão didática dos conteúdos, que não são sempre simples de se entender”. Assim, mesmo o tempo de curso tendo sido curto, a investigação conseguiu proporcionar aos envolvidos uma oportunidade de aprender a ensinar.

O tempo reduzido não permitiu uma discussão mais profunda da Teoria dos Construtos Pessoais. Contudo, parece ter sido suficiente para despertar a compreensão de que a dúvida dos alunos representa um importante fator do processo de ensino-aprendizagem. Disse um dos envolvidos na pesquisa: “O que acho importante é que fez surgir mais perguntas. E é isso que acho que faz ter conhecimento”. Esse entendimento foi alcançado através da introdução de questionamentos ao final de cada ato na peça e na dinâmica de toda a intervenção, alicerçada na Teoria de George Kelly.

A concepção de uma peça de teatro dentro de uma concepção de ensino-aprendizagem Kellyana permitiu que o estudante confrontasse suas ideias prévias com o conteúdo discutido, de forma mais transparente para o professor e para si próprio. O teatro oportunizou que os participantes expressassem livremente suas dúvidas e a síntese de seus pensamentos. O fato de os alunos terem total liberdade para alterar o texto, a estrutura proposta e outros aspectos, durante o curso, parece ter contribuído para a quebra do distanciamento entre os elementos do tripé: conhecimento – professor – aluno.

Ao final da intervenção, os estudantes disseram que gostariam de ter tido mais tempo para explorar outros aspectos do teatro. Eles manifestaram a intenção de realizar mais ensaios e apresentarem a um público maior. Dessa forma, recomendamos que um tempo maior para uma otimização das performances possa ser considerada em aplicações futuras do Teatro Científico-Experimental.

Em relação ao interesse dos alunos em apresentar a peça, em outro momento, a um público maior e aberto, bem como, a curiosidade em analisar as suas performances, através das gravações, parecem denotar que, o teatro também contribui para uma formação mais ampla; o desenvolvimento de habilidades de comunicação e cooperação e a utilização da linguagem científica na expressão de conceitos físicos.

Um fator que limitou esta investigação foram os questionários tipo enquete. Originalmente, os mesmos foram elaborados com a finalidade de promover um processo de antecipação do CEK nos sujeitos. Contudo, ao longo do processo, percebemos que poderiam ter sido empregados questionários do tipo aberto. Assim, teríamos à disposição outros dados para substanciar as análises.

Em relação aos resultados alcançados referentes ao objetivo específico, o qual consistiu em identificar aspectos da Natureza da Ciência, destacamos aqueles que emergiram das reflexões dos sujeitos da pesquisa, os quais foram: *Subjetividade Científica; Modelo/Representação; Papel do Questionamento no Desenvolvimento da Ciência e Conhecimento Científico é Socialmente e Culturalmente Incorporado.*

Sobre a forma como o Teatro Científico-Experimental favorece a discussão de aspectos da NdC, articulados aos princípios da Incerteza e da Complementaridade, identificamos alguns pontos determinantes:

- Todos os envolvidos desempenhavam um papel ativo na construção do teatro. O teatro foi apresentado como uma proposta a ser avaliada e testada;
- Estratégia diferente do ensino tradicional. Todos os participantes se sentiram nas mesmas condições para apresentar suas dúvidas e pontos de vista;
- Poder de atração de indivíduos com perfis diferenciados. Alunos de várias faixas etárias e com experiências de vida diversas;
- A estrutura facilitou a construção de debates, em grupos, e no coletivo. Especificamente, pela introdução de questionamentos ao longo dos ensaios e ao final de cada ato da peça.

É importante analisar a contribuição do Teatro Científico-Experimental para o desenvolvimento de noções de aspectos da Natureza da Ciência, introduzidos a partir da discussão dos Princípios da Incerteza e da Complementaridade, nosso objetivo geral. Nesse sentido, apresentamos uma análise sobre as concepções dos aspectos da NdC que emergiram durante a experiência.

Em relação a *Subjetividade*, podemos dizer que esta foi entendida pelos estudantes como sendo o poder de orientação das várias etapas da pesquisa científica exercida pela carga teórica do pesquisador. Os estudantes não conseguiram chegar a um consenso sobre o aspecto *Modelo/Representação*. As discussões tinham como mote central o papel da teoria

na orientação da construção das experiências e das observações. Assim, a realidade seria fruto de um processo caracteristicamente racional.

O aspecto *Papel do Questionamento no Desenvolvimento da Ciência* foi proposto pelos estudantes a partir da experimentação da estrutura do Teatro Científico-Experimental, em que se incentivou a construção do conhecimento por meio de questionamentos e debates. A partir do estudo do texto da peça, os estudantes compreenderam que a Ciência não é feita por um sujeito isolado. Os cientistas interagem e discutem seus pontos de vista baseados em proposições objetivas, mas também, estão imersos em um caldo cultural e social que repercute de várias formas nas suas ações e ideias. Pensando assim, emergiu o aspecto da Natureza da Ciência entendido como: o *Conhecimento científico é socialmente e culturalmente incorporado*.

Esses aspectos foram os que emergiram, de modo mais enfático, nos discursos dos estudantes. Contudo, é possível estabelecer outras leituras e identificar outros aspectos. Tendo em vista que, esta pesquisa teve como foco, avaliar uma tentativa de introdução do estudo de aspectos da NdC no curso de licenciatura em Física, não temos a intenção de explorar ao máximo todas as possibilidades. Essas possibilidades ficam à disposição para um possível aprofundamento desta investigação, em ocasiões futuras.

Nesse momento, é necessário analisar os resultados alcançados em relação ao problema de pesquisa proposto: *“Como introduzir aspectos da Natureza da Ciência, a partir da discussão dos Princípios da Incerteza e da Complementaridade, na formação inicial de professores de Física?”*.

A introdução da NdC na formação inicial de professores, por si só, constituiu um desafio. Por outro lado, a abordagem dos princípios da Incerteza e da Complementaridade também. Sobre esses conteúdos, alguns estudiosos (OSTERMANN; RICCI, 2005) afirmam que as dificuldades de compreensão dos mesmos pelos estudantes decorrem do forma de apresentação extremamente matematizada, não havendo espaço para o estudo dos conceitos.

Durante a investigação, percebemos que tais conceitos foram construídos sobre uma base epistemológica, que contribuiu para o surgimento da discussão de aspectos da Natureza da Ciência. Dessa forma, a introdução da discussão sobre a Ciência, a partir do estudo de conteúdos da Física Quântica se mostrou bastante eficaz.

Por outro lado, a utilização do Teatro Científico-Experimental promoveu a constituição de um espaço, no qual todos os envolvidos se sentiram em igualdade de condições para interagir, questionando, apresentando seus pontos de vista e propondo alterações no material da peça e, até mesmo, no seu formato. Esse estilo de teatro construiu um ambiente formativo reflexivo e democrático.

Destacamos que os aspectos da Natureza da Ciência, identificados durante a experimentação do Teatro Científico-Experimental, foram explorados do ponto de vista reflexivo. Não houve uma preocupação na correspondência entre as ideias apresentadas pelos estudantes e seu nível de acertividade, em relação à literatura. Contudo, priorizamos perceber o nível de aprofundamento dessas ideias. Nesse sentido, os vários momentos de discussão promovidos pela proposta de teatro, possibilitaram um ajuste mais fino das colocações dos sujeitos.

No cenário internacional, Bächtold e Guedj (2014) destacam a importância da HFC no ensino de conteúdos da Física, para o processo ensino-aprendizagem desenvolvido pelo estudante. Mas, sobretudo, na formação de professores.

O grupo Liderf, do qual esses pesquisadores fazem parte, investigam propostas de ensino construtivistas de conceitos, a partir da HFC. Levando em consideração não apenas os estudantes, mas também, seus professores, os quais são formados no modelo desenhado, ao mesmo tempo em que o avaliam (BÄCHTOLD, 2012).

O ensino de Ciências tem como foco, o processo de construção do conhecimento, trabalhando o papel do modelo e a sua distinção da realidade empírica e a Ciência como um processo de tentativas e erros (BÄCHTOLD, 2015).

Assim, esta tese demonstra estar situada no contexto das pesquisas internacionais. A discussão sobre a NdC no curso de licenciatura, pode contribuir para uma formação de professores mais crítica. Como sugere Moura (2014, p 32) “ a compreensão da natureza da ciência é considerada um dos preceitos fundamentais para a formação de alunos e professores mais críticos e integrados com o mundo e a realidade em que vivem”.

A discussão sobre a introdução da NdC de forma articulada a conteúdos da Física pode servir de referência para subsidiar as reformulações curriculares. A estratégia, apresentada neste documento, pode contribuir para a formação de professores, do ponto de

vista dos conteúdos da Física e da Natureza da Ciência, mas também, do ponto de vista da formação humana e geral.

Entendemos que esta investigação alcançou o que se propôs. Neste documento, tentamos resumir de forma organizada, os percursos e estratégias adotadas, bem como, os principais resultados. Contudo, vale a pena registrar que, uma outra possível contribuição desta tese para os cursos de formação de professores, seja no nível inicial ou continuada, é o legado teórico. O corpo teórico dos estudos sobre os Princípios da Incerteza e da Complementaridade articulados à Natureza da Ciência pode servir de material instrucional.

Além disso, a proposta de Teatro Científico Experimental atraiu o interesse genuíno dos estudantes, superando as expectativas de engajamento em um projeto de teatro no curso de Licenciatura em Física. Tal fato demonstra o poder de envolvimento da Arte e, por isso, devendo ser explorada em várias circunstâncias, formas e espaços. Sobretudo, quando é desenvolvida, tendo por pressuposto o diálogo, a colaboração e a liberdade de expressão e idealização.

Diante dos resultados alcançados por esta pesquisa, têm origem perspectivas de fomento da aproximação da Ciência, Arte e Educação na Universidade, uma vez que surgiram proposições de organização de eventos específicos sobre o tema, com a demonstração do teatro pelos estudantes. Um sinal de mudança que consiste na grande contribuição deste trabalho, resumido na Figura 8, abaixo.

Figura 8 – Fechamento do Teatro



Fonte: Foto da autora

REFERÊNCIAS

ABD-EL-KHALICK, Fouad; LEDERMAN, Norman G. Improving science teachers' conceptions of nature of science: a critical review of the literature. **International Journal of Science Education**, v. 22, n. 7, p 665-701, 2000.

ARA, Amilton Braio. **O ensino de estatística e a busca do equilíbrio entre os aspectos determinísticos e aleatórios da realidade**. 2006. 114 f. Tese (Doutorado em Educação) – Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade de São Paulo – USP, SP, 2006.

ALVES-MAZZOTTI, Alda Judith; GEWANDSZNAJDER, Fernando. **O método nas ciências naturais e sociais: pesquisa quantitativa e qualitativa**. São Paulo: Thompson, 2004.

BÄCHTOLD, Manuel. Are all measurement outcomes “classical”? **Studies in History and Philosophy of Modern Physics**, v. 39, n. 3, p. 620-633, set., 2008.

BÄCHTOLD, Manuel. Les fondements constructivistes de l’enseignement des sciences basé sur l’investigation. **Tréma**, v. 38, p. 6-39, 2012.

BÄCHTOLD, Manuel; GUEDJ, Muriel. Teaching energy based on history and epistemology of the concept. **International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching**, p. 211-243, 2014.

BÄCHTOLD, Manuel. Teacher’s view of science assessment: breaking the border between NoS and scientific inquiry. In : 11th CONFERENCE OF THE EUROPEAN SCIENCE EDUCATION RESEARCH ASSOCIATION. V., 2015, Helsinki, Finlândia. **Anais eletrônico...** Finlândia: University of Helsinki, 2015. Disponível em: < <http://www.esera2015.org/programme/>>. Acesso em: 01 fev. 2016.

BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 1977.

_____, Laurence. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 1979.

_____, Laurence. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 1997.

BARRA, Eduardo Oliveira. A realidade no mundo da ciência: um desafio para a história, filosofia e a educação científica. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 5, n. 1, p. 15-26, 1998.

BARROS, Suzana de Souza. Educação formal versus informal: desafios da alfabetização científica. In: ALMEIDA, Maria José P. M; SILVA, Henrique César (Org.). **Linguagens, leituras e ensino de ciência**. São Paulo: Mercado de letras, 1998 (Coleção leituras do Brasil). p. 69-86.

BARROS, Marcos Antonio; BASTOS, Heloisa Flora Brasil Nóbrega. Investigando o uso do ciclo da experiência kellyana na compreensão do conceito de difração de elétrons. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 24, n. 1, p. 26-49, abril, 2007.

BASTOS, Heloisa Flora Brasil Nóbrega. **Changing teachers' practice: towards a constructivist methodology of physics teaching**. 1992. 438 f. Tese (Doutorado em Ensino de Física). University of Surrey, Inglaterra, 1992.

_____, Heloisa Flora Brasil Nóbrega. A teoria dos construtos pessoais. In: Oliveira, Maria Marly (Org.). **Sequência didática interativa no processo de formação de professores**. Rio de Janeiro: Vozes, 2013. cap. 3, pp. 95-108.

BASTOS FILHO, Jener Barbosa. Os problemas epistemológicos da realidade, da compreensibilidade e da causalidade na teoria quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 125-147, jun. 2003.

BERTHOLD, Margot. **História mundial do teatro**. 4 ed. São Paulo: Perspectiva, 2010.

BEZERRA, Geni Barbosa. **Investigando o desenvolvimento da concepção de interdependência entre os elementos da biosfera com alunos do ensino fundamental I**. 2005. 99 f. Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Ensino das Ciências, Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Recife, PE, 2005.

BODANIS, David. **E=mc²: uma biografia da equação que mudou o mundo e o que ela significa**. Rio de Janeiro: Ediouro, 2001.

BOGDAN, R.; BIKLEN, S. Características da investigação qualitativa. In: **Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos**. Porto: Porto Editora, 1994. p.47- 51.

BOHR, Niels. Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete? *Physical Review*, v. 48, p. 696-702, oct. 1935. Tradução para o português: A descrição da realidade Física fornecida pela Mecânica Quântica pode ser considerada completa? Tradução C.W. Abramo. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, Campinas, v. 2, p. 97-106, 1981.

BORGES, Regina Maria Ribeiro. **Em debate: cientificidade e educação em ciências**. Porto Alegre: SE/CECIRS, 1996.

BRASIL. Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. **Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional**. Disponível em:
<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9394.htm>. Acesso em: 15 jan. 2013.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino Médio)**. Brasília: MEC, 2000.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais + (PCN+) - Ciências da Natureza e suas Tecnologias**. Brasília: MEC, 2002.

BRECHT, Bertolt. **Estudos sobre teatro**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1978.

BRINCKMANN, Cátia; DELIZOICOV Nadir Castillo. Formação de professores de física e a história da ciência. In: IX CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO E III ENCONTRO SUL BRASILEIRO DE PSICOPEDAGOGIA, V., 2009, Paraná. **Anais eletrônico...** Paraná: Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2009. Disponível em: <http://www.pucpr.br/eventos/educere/educere2009/anais/pdf/3644_2003.pdf>. Acesso em: 1 fev. 2013.

BROCKINGTON, Guilherme. **A realidade escondida: a dualidade onda-partícula para estudantes do ensino médio**. 2005. 268 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) -- Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, SP, 2005.

CAMARGO, Sérgio; NARDI, Roberto. Formação inicial de professores de física: interpretando as marcas de referenciais teóricos nos discursos de licenciandos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 16., 2005, Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos...** Rio de Janeiro: Universidade Estadual do Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/ix/sys/resumos/T0173-1.pdf>>. Acesso em: 12 fev. 2012.

CAMPOS, Claudinei José Gomes. Metodologia Qualitativa e Método Clínico Qualitativo: um panorama geral de seus conceitos e fundamentos. In: II Seminário Internacional de Pesquisa e Estudos Qualitativos, 2004, Bauru. **Anais eletrônicos...** São Paulo: Universidade do Sagrado Coração, 2004. Disponível em: <www.sepq.org.br/iisipeq/anais/pdf/poster1/05.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2012.

CHINELLI, Maura Ventura; FERREIRA, Marcus Vinícius da Silva; AGUIAR, Luiz Edmundo Vagas de. Epistemologia em Sala de Aula: a natureza da ciência e da atividade científica na prática profissional de professores de ciências. **Science & Education**, v. 16, n. 1, p. 17-35, 2010.

CHIZZOTTI, Antonio. **Pesquisa em ciências humanas e sociais**. São Paulo: Cortez, 2006.

CLONINGER, C. Susan. **Teorias da personalidade**. São Paulo: Martins Fontes, 1999.

CLOUGH, Michael; OLSON James. Teaching and assessing the nature of science; an introduction. **Science & Education**, v. 17, n. 2, p. 143-145, 2008.

CUNHA, Vasco Soares de Oliveira. Bertolt Brecht (1898-1956): vida e obra. **Revista Millenium**, Viseu v. 45, p. 169-179, jun./set. 2013.

DOMINGUES, J. J.; TOSCHI, N. S., OLIVEIRA, J. F. A reforma do ensino médio: a nova

formulação curricular e a realidade da escola pública. **Educação & Sociedade**, Campinas, n. 70, p. 63-79, abr. 2000.

EL-HANI, Charbel Niño. Notas sobre o ensino de história e filosofia da ciência na educação científica de nível superior. In: SILVA, Cibele Celestino (Org.). **Estudos de história e filosofia das ciências**: subsídios para aplicação no ensino. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006. p. 3-21.

FEIST, Jess; FEIST J. Gregory. **Teorias da personalidade**. 6. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2008.

FERNANDES, Hermann Schiffer. **Narrativas históricas**: discutindo a natureza da ciência através de uma abordagem histórica e filosófica. 2012. 133 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia e Educação) -- Programa de Pós-graduação em Ciência, Tecnologia e Educação, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, RJ, 2012.

FLECK, Ludwik. **Gênese e desenvolvimento de um fato científico**. Belo Horizonte: Fabrefactum, 2010.

FONSECA, Dirce Mendes da. A pedagogia científica de Bachelard: uma reflexão a favor da qualidade da prática e da pesquisa docente. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, v. 34, n. 2, p. 361-370, mai./ago. 2008.

FORATO, Thais Cyrino de Mello; MARTINS, Roberto de Andrade; PIETROCOLA, Maurício. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 28, n. 27, p. 27-59, abr. 2011.

GASIOROWICZ, Stephen. **Física quântica**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1979.

GIL-PÉREZ, Daniel. Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 11, n. 2, p. 197-212, 1993.

GIL-PÉREZ, Daniel; MONTORO, Isabel Fernandes; ALÍS, Jaime Carrascosa; CACHA-PUZ, António; PRAIA, João. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.

GIMENEZ, Hercules. **Teatro científico**: uma ferramenta didática para o ensino de física. 2013. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais, Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT, Cuiabá, MT, 2013.

HALL. Calvin S., LINDZEY Gardner; CAMPBELL, John B. **Teorias da Personalidade**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2000.

HARRES, João Batista Siqueira. Uma revisão de pesquisas nas concepções de professores sobre a natureza da ciência e suas implicações para o ensino. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 4, n. 3, p. 197-211, 1999.

HEISENBERG, Werner. **A parte e o todo**: encontros e conversas sobre física, filosofia, religião e política. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

HESSEN, Johannes. **Teoria do conhecimento**. São Paulo: Martins Fontes, 2003.

HOTTECKE, Dietmar; SILVA, Cibele Celestino. Why Implementing History and Philosophy in School Science Education is a Challenge: an analysis of obstacles. **Science & Education**, v. 20, p. 293-316, 2011.

JAMMER, M. **The philosophical development of quantum mechanics**. New York: McGraw-Hill, 1966.

JÚNIOR, Osvaldo Pessoa. Introdução histórica à teoria quântica, aos seus problemas de fundamento e às suas interpretações. **Caderno de Física da UFES**, Feira de Santana, v. 04, n. 01 e 02, p.89-114, 2006.

KAPITANGO-A-SAMBA, Kilwangy Kya. **História e filosofia de ciência no ensino de ciências naturais**: o consenso e as perspectivas a partir de documentos oficiais, pesquisas e visões dos formadores. 2011. 385 f. Tese (Doutorado em Educação) -- Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, SP, 2011.

KELLY, George. **A theory of personality**: the psychology of personal constructs. New York: Norton, 1963.

KOUDELA, Ingrid Dormien; SANTANA, Arão Paranaguá. Abordagens metodológicas do teatro na educação. **Ciências Humanas em Revista**, São Luís, v. 3, n. 2, , p. 145-154, dez. 2005.

KUHN, Thomas Samuel. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 1978.

LEAL, Halina Macedo. **Paul Feyerabend e as possibilidades racionais da ciência**. Curitiba: CRV, 2011.

LEDERMAN, Norman G. Students' and teachers' 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.

LEDERMAN, Norman G.; WADE, Philip D.; BELL, Randy L. Assessing the nature of science: what is the nature of our assessments? **Science and Education**, Dordrecht, v. 7, n. 6, p. 595-615, 1998.

LEDERMAN, Norman G. Teachers' understanding of the nature of science and classroom practice: Factors that facilitate or impede the relationship. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 36, n. 8, p. 916-929, 1999.

LEDERMAN, Norman G.; ABD-EL-KHALICK, Fouad; BELL, Randy L.; SCHWARTZ, René E. S. Views of Nature of Science Questionnaire: Toward Valid and Meaningful Assessment of Learners' Conceptions of Nature of Science. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 39, n. 6, p. 497-521, 2002.

LEDERMAN, Norman G. Research on Nature of Science: reflections on the past, anticipations of the future. **Asia-Pacif Forum on Science Learning and Teaching**. v. 7, n. 1, p. 2, jun., 2006.

LEDERMAN, Norman G. Nature of Science: past, present and future. In: ABEL, S. K. and LEDERMAN, N. (Org.). **Handbook of Research on Science Education**, p. 831-880, 2007.

LEDERMAN, Norman G. Nature of Scientific Knowledge and Scientific Inquiry: building instructional capacity through professional development. In: FRASER, Barry J.; TOBIN, Kenneth J.; McRobbie, Campbell. **Second International Handbook of Science Education**. v. 1, p. 335-360, 2012.

MACHADO, Daniel Iria; NARDI, Roberto. Construção de conceitos de física moderna e sobre a natureza da ciência com o suporte da hipermídia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 473-485, 2006.

MACHADO, Daniel Iria. **Construção de conceitos de física moderna e sobre a natureza da ciência com o suporte da hipermídia**. 2006. 300 f. Tese (Doutorado em educação para a ciência) -- Programa de Pós-graduação em Educação para a Ciência, Universidade Estadual de São Paulo – UESP, Bauru, SP, 2006.

MARTINS, André Ferrer Pinto. Ensino de ciências: desafios à formação de professores. **Revista Educação em Questão**, Natal, v. 23, n. 9, mai. 2005.

MARTINS, André Ferrer Pinto. História e filosofia da ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho... **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 24, n. 1, p.112-131, abr. 2007.

MARTINS, Andre Ferrer Pinto. História, filosofia e ensino de ciências e formação de professores: desafios, obstáculos e possibilidades. **Educação: Teoria e Prática**, Rio Claro, v. 22, n. 40, p. 5-25, mai.-ago. 2012.

MARTINS, Roberto de Andrade. De Louis de Broglie a Erwin Schrodinger: uma comparação. In: **Teoria quântica: estudos históricos e implicações culturais**. Campina Grande: EDUEPB/ Livraria da Física, 2011. cap. IV, p. 395-411.

MARTINS, Roberto de Andrade. Introdução: a história das ciências e seus usos na Educação. In: SILVA, C. Celestino (Org.). **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006. pp. xxi-xxiv.

MARTINS, Roberto de Andrade; ROSA, Pedro Sérgio. **História da teoria quântica e dualidade onda-partícula de Einstein a De Broglie**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014.

MASSARANI, Luisa; ALMEIDA, Carla. Arte e ciência. **Revista História Ciência e Saúde**, Manguinhos, v. 13, p. 233-246, out. 2006.

MATTHEWS, Michael Richard. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.12, n.3, p. 164-214, dez.1995.

MATTHEWS, Michael. Changing the focus: from nature of science to features of science. In: KHINE, M. S. (Org.). **Advances in nature of science research**. Editora: Springer, Dordrecht, 2012. p. 3-26.

MCCOMAS, W. F; ALMAZROA, H.; CLOUGH, M. P. The nature of science in science education: an introduction. **Science & Education**, Dordrecht, v. 7, n. 6, p. 511-532, 1998

MCCOMAS, W. F. Seeking historical examples to illustrate key aspects of the nature of Science. **Science & Education**, Dordrecht, v. 17, n. 2-3, p. 249-263, 2008.

MEDINA, Márcio Nasser; BRAGA, Marco. Frankenstein: a aproximação das ciências com alunos de ensino médio através do teatro. In: VII ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS, 7., 2009, Florianópolis. **Anais eletrônicos...** Belo Horizonte: Universidade de Minas Gerais, 2009. Disponível em:<<http://www.posgrad.fae.ufmg.br/posgrad/viiienpec/pdfs/932.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2012.

MEDINA, Márcio Nasser; BRAGA, Marco. O teatro como ferramenta de aprendizagem da física e de problematização da natureza da ciência. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 27, n. 2, p. 313-333, agosto 2010.

MENESES, R. D. B. de. A causalidade e as causalidades segundo Schlick: pelo significado do Círculo de Viena. **Eikasia - Revista de Filosofia**, Oviedo, ano 3, n. 18, p. 33-57, mai. 2008.

MOURA, Breno Ansioli. O que é natureza da ciência e qual sua relação com a história e filosofia da ciência? **Revista Brasileira da História da Ciência**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p. 32-46, 2014.

NEVES, Ricardo Ferreira das. **A interação do ciclo da experiência de Kelly com o círculo hermenêutico-dialético para a construção de conceitos de Biologia**. 2006. 110 f.

Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências) -- Programa de Pós-Graduação em Ensino das Ciências, Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Recife, PE, 2006.

NETTO, Jader da Silva; CAVALCANTI, Cláudio José de Holanda; ORSTERMANN, Fernanda. Estratégias discursivas adotadas por professores em formação na compreensão do fenômeno da complementaridade em atividades didáticas mediadas pela experiência do interferômetro virtual de March-Zehnder. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 2, n. 15, p. 293-320, 2015.

NDE - NÚCLEO DOCENTE ESTRUTURANTE. **Projeto Político Pedagógico de Curso de Licenciatura em Física**. Documento não publicado, Departamento de Física, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, 2009.

OLEQUES, Luciene Carvalho; BOER, Noemi; BARTHOLOMEI-SANTOS, Marlise Ladvoat. Reflexões acerca das diferentes visões sobre a natureza da ciência e crenças de alunos de um curso de ciências biológicas. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 12, n. 1, p. 110-124, 2013.

OLIVEIRA, Neusa Raquel de; ZANETIC, João. A presença do teatro no ensino de física. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 9., 2004, Joticatucas. **Anais eletrônico...** Minas Gerais: SBF, 2004.

Disponível

em:<http://www.ciencia.iao.usp.br/dados/ard/_apresencadoteatronoensinodefisicaneusaraqueldeoli.arquivo.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2014.

OSTERMANN, Fernanda; RICCI, Trieste F. 2005. Conceitos de física quântica na formação de professores: relato de uma experiência didática centrada no uso de experimentos virtuais. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 22, n.1: p. 9-35, abr. 2005.

PEDUZZI, Luiz. O. Q. Sobre a utilização didática da História da Ciência. In: PIETROCOLA, Maurício. **Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2001. cap. 7, p. 151-170.

PESSOA JR., Osvaldo. Introdução histórica à teoria quântica, aos seus problemas de fundamento e às suas interpretações. **Caderno de Física da UFES**, v. 04, n. 01, p. 89-114, 2006.

PESSOA JR., Osvaldo. O problema da medição em mecânica quântica: um exame atualizado. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, v. 02, n. 02, p. 177-217, jul.-dez. 1992.

PESSOA JR., Osvaldo. As interpretações da Mecânica Quântica. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 42, n. 250, p. 32- 37, jul. 2008.

PINTO, Alexandre Custódio; ZANETIC, João. É possível levar a Física Quântica para o Ensino Médio? **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 16, n. 1, p. 7-34. 2009.

POPPER, Karl R. **A lógica da pesquisa científica**. São Paulo: Cultrix, 2003.

PRAIA, João; GIL-PÉREZ, Daniel; VILCHES, Amparo. O papel da natureza da ciência na educação para a cidadania. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 2, n. 13, p. 141-156, 2007.

PUMFREY, Stephen. History of science in the national science curriculum: a critical review of resources and their aims. **British Journal for the History of Science**, v. 24, n. 1, p. 61-78, 1991.

REIS, José Cláudio; GUERRA, Andreia; BRAGA, Marco. Física e arte: a construção do mundo com tintas, palavras e equações. **Revista Ciência e Cultura**, Campinas, v. 57, n. 3, p: 29-32, 2005.

ROCHA, Laurentino Gonçalves da. **A revisão construtiva na concepção de movimento retilíneo uniforme, da Aristotélica para a Galilaica**. 2005, 166 f. Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências -- Programa de Pós-Graduação em Ensino das Ciências) – Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Recife, PE, 2005.

SANCHES, Mônica Bordim. **A física moderna e contemporânea no ensino médio: qual sua presença em sala de aula?** 2006. 112 f. (Mestrado em Educação para a Ciência e o Ensino de Matemática) -- Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e o Ensino de Matemática, Universidade Estadual de Maringá – UEM, Curitiba, PR, 2006.

SILVA, Ana Paula Teixeira Bruno. **Uma proposta metodológica para o estágio curricular supervisionado V, na educação a distância, baseada no ciclo da experiência kellyana**. 2015. 242 f. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências) -- Programa de Pós-Graduação em Ensino das Ciências, Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Recife, PE, 2015.

SILVEIRA, Alessandro Frederico da; ATAÍDE, Ana Raquel Pereira de; FREIRE, Morgana Lígia de Farias. Atividades lúdicas no ensino de ciências: uma adaptação metodológica através do teatro para comunicar a ciência a todos. **Educar**, Curitiba, n.34, p. 251-262, 2009a.

SILVEIRA, Alessandro Frederico; da SILVA, Ana Paula Bispo; FILHO, Aurino Ribeiro. A divulgação da ciência através do teatro: um escudo em Copenhague de Michael Frayn. IN: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS, 7., 2009b, Florianópolis.

SILVEIRA, Alessandro Frederico da Silveira. **O teatro como instrumento de humanização e divulgação: um estudo do texto ao ato da obra Copenhague de Michael Frayn**. 2011. 147 f. Tese (Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) --

Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Universidade Federal da Bahia - UFBA, Feira de Santana, BA, 2011.

SIMÕES, Armando Amorim. **A concepção dialética do conhecimento e o ensino de física**. 1994. 125 f. Dissertação (Mestrado em Educação) -- Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 1994.

SOUZA, José de Arimatéa. **Uma Abordagem Histórica para o Ensino do Princípio da Inércia**. 2008. 176 f. Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências Naturais e Matemática) -- Programa de Pós-Graduação Ensino das Ciências Naturais e Matemática, Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Natal, RN, 2008.

TEIXEIRA, Elder Sales; FREIRE Jr., Olival; EL-HANI, Charbel Niño. A influência de uma abordagem contextual sobre as concepções acerca da natureza da ciência de estudantes de física. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 15, n. 3, p. 529-556, 2009.

TIAGO, Marcelo Franco de São. **A ‘Natureza da Ciência’ através do exemplo do Desenvolvimento das Ideias que levaram à Gravitação Universal**. 2011. 152 f. (Mestrado em Ensino de Física) -- Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2011.

TRIVIÑOS, Augusto Nivaldo Silva. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 1987.

TORRES, Adriana Patrícia Gallego; BADILLO, Gallego. Rómulo. Historia, epistemología y didáctica de las ciencias: unas relaciones necesarias. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 13, n. 1, p. 85-98, 2007.

VANNUCCHI, Andréa Infantsi. **História e Filosofia da Ciência: da teoria para a sala de aula**. 1996. 131 f. Dissertação (Mestrado em Educação Científica) -- Programa de Pós-Graduação em Educação Científica, Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, SP, 1996.

VESTENA, Rosemar de Fátima; PRETTO, Valdir. O Teatro no ensino de ciências: uma alternativa metodológica na formação docente para os anos iniciais. **Revista Vidya**, Santa Maria, v.32, n.2, p. 9-20, jul./dez., 2012.

ZANETIC, João. **Física também é cultura**. 1989. 160 f. Tese (Doutorado em Educação) -- Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, SP, 1989.

ZANETIC, João. Física e arte: uma ponte entre duas culturas. **Pro-Posições**, Campinas, v. 17, n.1, jan./abr. 2006.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DE SONDAAGEM

Este formulário desempenha duas funções: solicitação de inscrição e diagnóstico dos participantes da pesquisa sobre o uso do teatro Kellyano na superação de dificuldades no ensino de tópicos de Física a partir da abordagem Histórica e Filosófica da Ciência. Informamos que a identificação das pessoas que prestaram respostas não será divulgada.

1. Nome:

2. CPF:

3. Ano/Semestre de ingresso:

4. Contatos (e-mail e telefone):

5. Você já teve contato com alguma disciplina que abordou os temas: Princípio da Incerteza e Princípio da Complementaridade? () Sim ou () Não

6. O que sabe sobre o Princípio da Incerteza e o da Complementaridade?

7. Tem experiência com ensino? () Sim ou () Não

7.1 Fale um pouco sobre sua experiência com o ensino: tempo, nível de ensino e outras informações que considerar pertinentes.

7.2. Já usou ou usa elementos de História e Filosofia da Ciência na sala de aula? Detalhe.

8. Considera importante o uso de elementos de história e filosofia da ciência no ensino de Física? Detalhe.

9. No seu ponto de vista ou de sua experiência, existe(m) dificuldade(s) para o uso da HFC no ensino? Se sim: qual (is)?

10. Em sua opinião, qual (is) estratégia(s) o docente poderia usar para facilitar o uso da abordagem HFC?

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DE PRÉ E PÓS TEATRO KELLYANO

Este instrumento faz parte do projeto de pesquisa de doutoramento. Informamos que, de nenhuma forma, a identificação das pessoas que prestarem respostas será divulgada. Obrigada pela participação!

1. O Princípio de Incerteza, fisicamente, apresenta-se nas restrições às medidas de posição e velocidade das partículas, resultantes do processo de medição, da relação entre o observador e o que é observado. O Princípio da Complementaridade se refere à impossibilidade do conhecimento total das coisas; fisicamente, é representado pelo entendimento da natureza dual da luz na sua interação com a matéria, em que desenvolve o comportamento corpuscular ou ondulatório. Nesse contexto, julgue as alternativas abaixo, atribuindo a situação V (verdadeiro) ou F (falso):

- a) a ciência se destaca pela objetividade dos seus processos de medição. Na interação entre observador e o que é observado não há subjetividade;
- b) ao se medir com precisão uma grandeza observável não se tem a possibilidade de medir a outra com precisão;
- c) o processo de medição é orientado pela teoria que carrega o observador;
- d) o processo de medição é orientado pelos fenômenos diretamente observáveis;
- e) determinados fenômenos não podem ser compreendidos em sua totalidade, por meio de uma única abordagem;
- f) a natureza da luz pode ser observada como onda ou como partícula, a partir de processos distintos de observação;
- g) a natureza se apresenta como ela é, e então somos capazes de compreendê-la.

APÊNDICE C – ROTEIRO DA PEÇA

Este documento consiste em um texto introdutório sobre vários elementos da peça (históricos, epistemológicos e sobre a peça Copenhague) e o roteiro das falas, organizado em três atos. O roteiro da peça foi inspirado em trechos da peça Copenhague.

INTRODUÇÃO SOBRE A PEÇA

Sobre a peça Copenhague: Essa peça foi escrita em 1987 por Michael Frayn. A peça original retrata um encontro real ocorrido em 1941, entre Niels Bohr, Werner Heisenberg e Margrethe Norlunge (esposa de Niels Bohr), em Copenhague, Dinamarca, na casa de Bohr. Os temas abordados durante a conversa entre os três consistiram nos princípios da Incerteza e da Complementaridade. Nessa adaptação apresentamos essa discussão a partir dos dois personagens principais: Niels Bohr e Werner Heisenberg. A discussão entre esses dois personagens tem origem nas bases conceituais e no formalismo matemático do princípio da Incerteza de Heisenberg que não agradavam a Bohr, apesar de ele concordar com as conclusões a que Heisenberg, que chegava na sua formulação. Para Bohr, a explicação física precede o formalismo matemático, enquanto que para Heisenberg o formalismo matemático é que descreve o que ainda será observado.

Aspectos históricos: na época do encontro, em 1941, Heisenberg era professor de Física Teórica na Universidade de Leipzig e liderava o programa alemão para investigar a possibilidade de fabricação de uma bomba atômica. Nesse período, a Alemanha nazista já havia ocupado a Polônia, Bélgica, Holanda, Noruega, parte da França e a Dinamarca, onde Bohr se encontrava, isolado em sua casa. Durante os anos de 1925 a 1927, Niels Bohr (1885-1962) e Werner Heisenberg (1901-1976) haviam trabalhado juntos em Copenhague, desenvolvendo dois dos princípios fundamentais formadores da chamada Interpretação de Copenhague, que negava a possibilidade de descrições causais microscópicas, semelhantes

às da Física Clássica, para os fenômenos quânticos, o princípio de Incerteza e o da Complementaridade (MARTINS, 2006).

Aspectos epistemológicos: os princípios da Incerteza e da Complementaridade são alicerces da Física Quântica, exigem certo grau de abstração e a discussão sobre questões da abordagem epistemológica, ou seja, quanto ao papel da experiência e da razão na construção do conhecimento científico. O Princípio da Incerteza se refere ao problema da medida, ao fato de que sempre existe uma interação não determinável entre o observador e o que é observado e, nessa interação, resulta uma alteração na medida. O Princípio da Complementaridade de Bohr vem sugerir que nunca se podem conhecer totalmente as coisas. O objeto se apresenta de diferentes formas (formas complementares) dependendo da abordagem feita ao mesmo. Do ponto de vista epistemológico, pode-se questionar: 1 - O sujeito é realmente capaz de apreender o objeto? 2 - Qual a origem do conhecimento? A experiência ou a razão? 3 - O fator determinante do conhecimento está no sujeito ou no objeto? (HESSEN, 2003).

Aspectos teóricos: em 1925, Heisenberg entendeu que a trajetória do elétron não era passível de observação, o que se percebia eram seus rastros, uma série de pontos distintos por onde havia passado. Assim, Heisenberg teve a clareza de que não era possível ter certeza da trajetória ou localização do elétron. A Mecânica Quântica poderia apenas estimar, com certo grau de aproximação, uma posição e velocidade para o elétron. Dessas ideias, Heisenberg desenvolveu uma representação matemática, com as aproximações regidas pelo chamado princípio da Incerteza da Mecânica Quântica.

As Relações de Incerteza de Heisenberg afirmavam que, ao se tentar construir um pacote de ondas altamente localizado no espaço, é impossível associar a esse pacote um momento bem definido, e vice-versa, contrariando o que se admite na Física Clássica. Dessa forma, a posição e o momento na Física Quântica, assim como o comportamento corpuscular e o ondulatório, constituem propriedades complementares entre si, não se admitindo uma possibilidade de experiência, na qual ambas as propriedades sejam determinadas simultaneamente (GASIOROWICZ, 1979).

Nesse mesmo sentido, Niels Bohr, nos seus estudos sobre a dualidade onda-partícula, formulou o conceito de Complementaridade, que descreve uma situação em que um determinado fenômeno não pode ser compreendido em sua totalidade, por meio de uma única abordagem, requerendo abordagens diferentes e complementares entre si. Assim, refere-se ao fenômeno da natureza da luz, que pode ser observado como onda ou como partícula, a partir de processos distintos (HEISENBERG, 1996). No desenvolvimento do Princípio da Complementaridade, Bohr partiu do postulado quântico de Planck, e dos resultados de experiências envolvendo fótons e elétrons, nos quais o observador sempre causa interferência nos fenômenos, direcionando o comportamento desenvolvido (PESSOA JUNIOR, 2006).

Os princípios da Incerteza e o da Complementaridade foram apresentados em 1927, no Congresso Geral de Física, na cidade de Como, na Itália, e no Congresso de Solvay, em Bruxelas. Os debates de maior impacto foram protagonizados por Einstein e Bohr. Einstein não aceitava que um fenômeno natural fosse representado, inteiramente, por representações matemáticas e probabilísticas, de forma parcial e aproximada. A natureza da luz ainda requeria uma descrição. De acordo com Heisenberg (1996, p. 98), nesses debates era comum Einstein repetir a frase “Deus não joga dados”.

Roteiro:

1º Ato:

- Os dois personagens caminham juntos...

Bohr: de 1924 a 1927.

Heisenberg: nós tínhamos a complementaridade.

Bohr: e no final nós tínhamos a Mecânica Quântica, nós tínhamos a Teoria da Incerteza.

Heisenberg: minha cabeça começou a clarear e eu tive uma imagem clara de como a Física do átomo deveria se parecer. De repente, percebi que nós tínhamos que limitá-la àquilo que pudéssemos de fato observar. Nós não podemos ver os elétrons dentro do átomo... Tudo que nós podemos ver são os efeitos que os elétrons produzem, através da luz que eles refletem... Seu significado é representado por uma equação matemática.

- *Bohr responde um pouco contrariado:*

Bohr: você acha que contanto que a Matemática funcione, o sentido não tem importância.

Heisenberg: o significado de uma coisa é o que ela significa em Matemática.

Bohr: mas no final, lembre-se que a gente sempre tem que ser capaz de explicar tudo para as outras pessoas!

- *Heisenberg tenta construir uma nova explicação:*

Heisenberg: Hummm... Então vamos tentar explicar a Incerteza da seguinte forma. Façamos de conta que Copenhague é um átomo e você um elétron.

Bohr: sim, sim...

Heisenberg: você está passeando pela cidade em algum lugar da escuridão, ninguém sabe aonde (*nesse momento o personagem de Bohr começa a se movimentar pelo palco sozinho, conforme orientação do personagem de Heisenberg*) você está aqui, está lá, está em todo lugar e em lugar algum. Eu sou um fóton. Um quantum de luz. Eu sou mandado para a escuridão para te achar. Só há uma maneira de te achar, quando eu colido com você... (*nesse instante, o personagem de Heisenberg se choca a Bohr fazendo-o se deslocar*) mas o que foi que aconteceu? Olha, você ficou mais lento, você se desviou. Você não está mais andando enlouquecidamente como estava antes.

1ª Parada: Alteramos o objeto ao tentar nos aproximar dele?

(4ª Fase do Ciclo: Confirmação/desconfirmação) – tempo previsto: 2 min.

Narrador 2: lança a pergunta à plateia

2º Ato:

Bohr: Mas, Heisenberg, você também foi desviado! Se as pessoas podem ver por onde você caminhou até me encontrar, então elas podem descobrir por onde eu devo ter caminhado! O problema é saber o que aconteceu com você! Porque para entender como as pessoas te veem, a gente tem que te tratar não como uma partícula, mas como uma onda.

Heisenberg: eu sei - eu coloquei isso num *post-scriptum* no meu artigo.

(*esta cena pode ser atribuída a certo momento de humor*)

Bohr: todos lembram do artigo - ninguém se lembra do *post-scriptum*. Mas a questão é fundamental. Partículas são coisas, completas em si mesmas. Ondas são perturbações em outra coisa.

Heisenberg: Eu sei. Complementaridade. Esta lá no *post-scriptum*.

Bohr: elas são uma coisa ou a outra. Ou são partículas ou são ondas. Não podem ser as duas coisas ao mesmo tempo. Nós temos que escolher uma forma ou outra de olharmos para elas. Mas na medida em que escolhemos, já não podemos saber tudo sobre elas.

2ª Parada: Quanto de subjetividade existe no processo de observação?

(4ª Fase do Ciclo: Confirmação/desconfirmação) – tempo previsto: 2 min.

Narrador 2: lança a pergunta à plateia

3º Ato:

Heisenberg: Sei, sei, complementaridade... É claro que o lugar pra onde você vai quando passeia é determinado pelas várias forças físicas agindo em você. Mas também é determinado pelo impenetrável capricho de um momento para o outro. Assim, nós não podemos compreender completamente seu comportamento, sem olhar pra você das duas maneiras ao mesmo tempo.

Bohr: você nunca aceitou total e absolutamente a complementaridade, aceitou?

Heisenberg: em absoluto - funciona. É o que importa. Funciona, funciona, funciona!

Bohr: meu caro Heisenberg...

- Heisenberg interrompe a fala do amigo com outro exemplo sobre a complementaridade

Heisenberg: complementaridade, outro exemplo. Eu sou seu inimigo; mas eu sou também seu amigo. Eu sou um perigo para a humanidade; mas também sou seu convidado. Eu sou uma partícula; mas também uma onda. Nós temos uma série de obrigações para com o mundo em geral; e nós temos outras obrigações, que nunca podem ser conciliadas com as outras, com nossos conterrâneos, nossos vizinhos, nossos amigos, nossa família, nossos filhos. Tudo que podemos fazer é olhar depois e ver o que aconteceu.

E) Fechamento (5ª Fase do Ciclo: Revisão Construtiva):

Narrador 1: para ser construído com os alunos – tempo previsto: 10 min.

APÊNDICE D – DOCUMENTO ORIENTADOR

Este documento consiste em uma proposta de formatação do Teatro Kellyano (teatro didático). A proposta prevê as cinco etapas do ciclo da experiência de George Kelly e elementos de teatro do estilo Brechtiano. Essa atividade consiste no estudo desse material, sua reformulação e aplicação. É importante destacar que o público da peça pode ser composto de alunos de Física ou de pessoas sem interesse específico no assunto. O cenário e outros detalhes técnicos deverão ser propostos.

A) Estrutura proposta para o teatro Kellyano:

Etapa	Iniciativas	Tempo	Material
Antecipação (1ª)	<i>Narrador 1</i> fala sobre a peça	5 min	Sobre a Obra
Investimento (2ª)	<i>Narrador 2</i> chama atenção aos pré-requisitos necessários para assistir à peça	5 min (três aspectos de 1,5 min cada).	Aspectos históricos, epistemológicos e teóricos.
Encontro (3ª)	Peça	30 min	Falas
Confirmação/ Desconfirmação (4ª)	Duas paradas durante a peça, <i>Narrador 2</i> faz perguntas e media pequena discussão. Identifica concordâncias e divergências.	4 min (2 min para cada parada)	Paradas
Revisão construtiva (5ª)	<i>Narrador 1</i> sintetiza pontos levantados, elementos comuns e divergentes citados nas falas.	10 min	Fechamento

B) Antecipação - sobre a peça (1ª Etapa do Ciclo) – tempo previsto: 5 min.

Narrador 1: resumo do texto seguinte

Esta peça é uma adaptação da obra Copenhague, escrita em 1987 por Michael Frayn. A peça original retrata um encontro real ocorrido em 1941, entre Niels Bohr, Werner Heisenberg e Margrethe Norlunge (esposa de Niels Bohr), em Copenhague, Dinamarca na casa de Bohr. Os temas abordados durante a conversa entre os três consistiram nos princípios da Incerteza e da Complementaridade. Nessa adaptação apresentamos essa discussão a partir dos dois personagens principais: Niels Bohr e Werner Heisenberg. A discussão entre esses dois personagens tem origem nas bases conceituais e do formalismo matemático do princípio da Incerteza de Heisenberg que não agradavam a Bohr, apesar de ele concordar com as conclusões a que Heisenberg chegava na sua formulação. Para Bohr, a explicação física precede o formalismo matemático, enquanto que para Heisenberg o formalismo matemático é que descreve o que ainda será observado.

B) Investimento (2ª Fase do Ciclo) – tempo previsto: 5 min.

Narrador 2: resumo dos pontos do texto seguinte

B.1) Aspectos históricos:

Na época do encontro, em 1941, Heisenberg era professor de Física Teórica na Universidade de Leipzig e liderava o programa alemão para investigar a possibilidade de fabricação de uma bomba atômica. Nesse período, a Alemanha nazista já havia ocupado a Polônia, Bélgica, Holanda, Noruega, parte da França e a Dinamarca, onde Bohr se encontrava, isolado em sua casa. Durante os anos de 1925 a 1927, Niels Bohr (1885-1962) e Werner Heisenberg (1901-1976) haviam trabalhado juntos em Copenhague, desenvolvendo dois dos princípios fundamentais formadores da chamada Interpretação de Copenhague, que negava a possibilidade de descrições causais microscópicas, semelhantes às da Física Clássica, para os fenômenos quânticos, o princípio de Incerteza e o da Complementaridade (MARTINS, 2006).

B.2) Aspectos epistemológicos:

Os princípios da Incerteza e da Complementaridade são alicerces da Física Quântica, exigem certo grau de abstração e a discussão sobre questões da abordagem epistemológica, ou seja, quanto ao papel da experiência e da razão na construção do conhecimento científico. O Princípio da Incerteza se refere ao problema da medida, ao fato de que sempre existe uma interação não determinável entre o observador e o que é observado e, nessa interação, resulta uma alteração na medida. O Princípio da Complementaridade de Bohr vem sugerir que nunca se podem conhecer totalmente as coisas elas. O objeto se apresenta de diferentes formas (formas complementares) dependendo da abordagem feita ao mesmo. Do ponto de vista epistemológico, pode-se questionar: 1-O sujeito é realmente capaz de apreender o objeto? 2-Qual a origem do conhecimento? A experiência ou a razão? 3-O fator determinante do conhecimento está no sujeito ou no objeto? (HESSEN, 2003).

B.2) Aspectos teóricos:

Em 1925, Heisenberg entendeu que a trajetória do elétron não era passível de observação, o que se percebia eram seus rastros, uma série de pontos distintos por onde havia passado. Assim, Heisenberg teve a clareza de que não era possível ter certeza da trajetória ou localização do elétron, a Mecânica Quântica poderia apenas estimar, com certo grau de aproximação, uma posição e velocidade para o elétron. Dessas ideias Heisenberg desenvolveu uma representação matemática, com as aproximações regidas pelo chamado princípio da Incerteza da Mecânica Quântica.

As Relações de Incerteza de Heisenberg afirmavam que, ao se tentar construir um pacote de ondas altamente localizado no espaço, é impossível associar a esse pacote um momento bem definido, e vice-versa, contrariando o que se admite na Física Clássica. Dessa forma, a posição e o momento na Física Quântica, assim como o comportamento corpuscular e o ondulatório, constituem propriedades complementares entre si, não se admitindo uma possibilidade de experiência, na qual ambas as propriedades sejam determinadas simultaneamente (GASIOROWICZ, 1979).

Nesse mesmo sentido, Niels Bohr nos seus estudos sobre a dualidade onda-partícula, formulou o conceito de Complementaridade que descreve uma situação em que um determinado fenômeno não pode ser compreendido em sua totalidade, por meio de uma única abordagem, requerendo abordagens diferentes e complementares entre si. Assim, se refere ao fenômeno da natureza da luz, que pode ser observado como onda ou como partícula, a partir de processos distintos (HEISENBERG, 1996). No desenvolvimento do princípio da Complementaridade Bohr partiu do postulado quântico de Planck, e aos resultados de experiências envolvendo fótons e elétrons, nos quais o observador sempre causa interferência nos fenômenos, direcionando o comportamento desenvolvido (PESSOA JUNIOR, 2006).

Os princípios da Incerteza e o da Complementaridade foram apresentados em 1927, no Congresso Geral de Física na cidade de Como, na Itália, e no Congresso de Solvay, em Bruxelas. Os debates de maior impacto foram protagonizados por Einstein e Bohr. Einstein não aceitava que um fenômeno natural fosse representado, inteiramente, por representações matemáticas e probabilísticas, de forma parcial e aproximada, a natureza da luz ainda requeria uma descrição. De acordo com Heisenberg (1996, p. 98), nesses debates era comum Einstein repetir a frase “Deus não joga dados”.

C) Evento (peça) (3ª Fase do Ciclo) - tempo previsto: 30 min.

1º Ato:

- Os dois personagens caminham juntos...

Bohr: de 1924 a 1927.

Heisenberg: nós tínhamos a complementaridade.

Bohr: e no final nós tínhamos a Mecânica Quântica, nós tínhamos a Teoria da Incerteza.

Heisenberg: minha cabeça começou a clarear e eu tive uma imagem clara de como a Física do átomo deveria se parecer. De repente, percebi que nós tínhamos que limitá-la àquilo que pudéssemos de fato observar. Nós não podemos ver os elétrons dentro do átomo... Tudo que nós podemos ver são os efeitos que os elétrons produzem, através da luz que eles refletem... Seu significado é representado por uma equação matemática.

- *Bohr responde um pouco contrariado:*

Bohr: você acha que contanto que a Matemática funcione, o sentido não tem importância.

Heisenberg: o significado de uma coisa é o que ela significa em Matemática.

Bohr: mas no final, lembre-se que a gente sempre tem que ser capaz de explicar tudo para as outras pessoas!

- *Heisenberg tenta construir uma nova explicação:*

Heisenberg: Hummm... Então vamos tentar explicar a incerteza da seguinte forma. Fazamos de conta que Copenhague é um átomo e você um elétron.

Bohr: sim, sim...

Heisenberg: você está passeando pela cidade em algum lugar da escuridão, ninguém sabe aonde (*nesse momento o personagem de Bohr começa a se movimentar pelo palco sozinho, confirme orientação do personagem de Heisenberg*) você está aqui, está lá, está em todo lugar e em lugar algum. Eu sou um fóton. Um quantum de luz. Eu sou mandado para a escuridão para te achar. Só há uma maneira de te achar, quando eu colido com você... (*nesse instante, o personagem de Heisenberg se choca a Bohr fazendo-o se deslocar*) mas o que foi que aconteceu? Olha, você ficou mais lento, você se desviou. Você não está mais andando enlouquecidamente como estava antes.

1ª Parada: Alteramos o objeto ao tentar nos aproximar dele?

(4ª Fase do Ciclo: Confirmação/desconfirmação) – tempo previsto: 2 min.

Narrador 2: lança a pergunta à plateia

2º Ato:

Bohr: Mas, Heisenberg, você também foi desviado! Se as pessoas podem ver por onde você caminhou até me encontrar, então elas podem descobrir por onde eu devo ter caminhado! O problema é saber o que aconteceu com você! Porque para entender como as pessoas te veem, a gente tem que te tratar não como uma partícula, mas como uma onda.

Heisenberg: eu sei - eu coloquei isso num *post-scriptum* no meu artigo.

(esta cena pode ser atribuída a certo momento de humor)

Bohr: todos lembram do artigo - ninguém se lembra do *post-scriptum*. Mas a questão é fundamental. Partículas são coisas, completas em si mesmas. Ondas são perturbações em outra coisa.

Heisenberg: Eu sei. Complementaridade. Esta lá no *post-scriptum*.

Bohr: elas são uma coisa ou a outra. Ou são partículas ou são ondas. Não podem ser as duas coisas ao mesmo tempo. Nós temos que escolher uma forma ou outra de olharmos para elas. Mas na medida em que escolhemos, já não podemos saber tudo sobre elas.

2ª Parada: Quanto de subjetividade existe no processo de observação?

(4ª Fase do Ciclo: Confirmação/desconfirmação) – tempo previsto: 2 min.

Narrador 2: lança a pergunta à plateia

3º Ato:

Heisenberg: Sei, sei, complementaridade... É claro que o lugar pra onde você vai quando passeia é determinado pelas varias forças físicas agindo em você. Mas também é determinado pelo impenetrável capricho de um momento para o outro. Assim, nós não podemos compreender completamente seu comportamento, sem olhar pra você das duas maneiras ao mesmo tempo.

Bohr: você nunca aceitou total e absolutamente a complementaridade, aceitou?

Heisenberg: em absoluto - funciona. E o que importa. Funciona, funciona, funciona!

Bohr: meu caro Heisenberg...

- Heisenberg interrompe a fala do amigo com outro exemplo sobre a complementaridade

Heisenberg: complementaridade, outro exemplo. Eu sou seu inimigo; mas eu sou também seu amigo. Eu sou um perigo para a humanidade; mas também sou seu convidado. Eu sou uma partícula; mas também uma onda. Nós temos uma série de obrigações para com o mundo em geral; e nós temos outras obrigações, que nunca podem ser conciliadas com as outras, com nossos conterrâneos, nossos vizinhos, nossos amigos, nossa família, nossos filhos. Tudo que podemos fazer é olhar depois e ver o que aconteceu.

E) Fechamento (5ª Fase do Ciclo: Revisão Construtiva):

Narrador 1: *para ser construído com os alunos*– tempo previsto: 10 min.

Referências

BASTOS, Heloisa Flora Brasil Nóbrega. A teoria dos construtos pessoais. In: Oliveira, Maria Marly (Org.). **Sequência didática interativa no processo de formação de professores**. Rio de Janeiro: Vozes, 2013. cap. 3, pp. 95-108.

HEISENBERG, Werner. **A parte e o todo**: encontros e conversas sobre física, filosofia, religião e política. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

SILVEIRA, Alessandro Frederico; da SILVA, Ana Paula Bispo; FILHO, Aurino Ribeiro. A divulgação da ciência através do teatro: um escudo em Copenhague de Michael Frayn. IN: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS, 7., 2009b, Florianópolis.

APÊNDICE E – TEXTO RESUMO

Este documento apresenta um resumo sobre: um panorama da área da História e Filosofia da Ciência; a Teoria dos Construtos Pessoais de George Kelly; o teatro no ensino de física; e o princípio da Incerteza e o da Complementaridade.

Um Panorama sobre a Abordagem Histórica e Filosófica da Ciência no Ensino de Ciências

Énery Gislayne de Sousa Melo e Heloisa Flora Brasil Nóbrega Bastos

A defesa pela aproximação da História, Filosofia e Didática das Ciências, de acordo com Torres e Badillo (2007), teve início com Thomas Kuhn em 1972. Para esse teórico, essa aproximação seria uma tentativa para minimizar os problemas decorrentes do ensino pautado em modelos e paradigmas de ciência superados, permitindo ao professor visualizar a evolução real das ciências e da natureza (KUHN, 1978). Desde então, outros autores têm acrescentado novos argumentos a essa discussão. Vannucchi (1996), Zanetic (1989), Matthews (1995), Martins (2007) sinalizam que uma formação científica adequada requer, além do estudo dos conceitos científicos, uma reflexão sobre o fazer científico. Nesse sentido, apontam as contribuições da abordagem histórica e filosófica da Ciência para uma melhor compreensão das relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), dos conceitos, teorias e métodos científicos (MARTINS, 2006; SOUZA, 2008).

Todo esse cenário de discussão se constituiu em uma área formal de pesquisa. Kapitango-a-Samba (2011), descreve as origens do movimento internacional da inclusão da HFC no ensino de ciências, tendo como início o século XX e a primeira metade do século 21. Esse autor destaca a criação, em 1946, no Reino Unido, da *British Society for the History of Science* (BSHS), que consistiu em um projeto de inclusão da abordagem de temas de história, filosofia e sociologia das ciências no sistema curricular, o *Nacional Curriculum Council* (NCC). Nos Estados Unidos, os projetos mais significativos foram o *Harvard Project Physics*, de 1960, e o *Project 2061*, de 1985, de James Rutherford. Por meio do *Harvard Project Physics* foram produzidos materiais didáticos de Ensino de Física direcionados à

escola secundária. Além desse projeto, outras ações chamaram atenção na História da constituição da área de HFC no ensino de ciências. Em 1970, foi criada a seção de História da Física pela *American Physical Society* e o Comitê de Educação pela *History of Science Society* (HSS), bem como outras propostas em Ciência, Tecnologia e Sociedade desenvolvidas nos USA e no Canadá.

Kapitango-a-Samba (2011) também considera um marco para a área da HFC, a criação, em 2008, do projeto intitulado *History and Philosophy in Science Teaching* (HISPT). Esse projeto foi constituído de uma parceria entre pesquisadores de diversos países (Portugal, Itália, Polônia, Alemanha, Reino Unido, Hungria, Grécia e Israel) e funcionou até 2010. O HISPT surgiu na tentativa de melhorar os resultados dos baixos índices obtidos em avaliações do Ensino de Ciências, como o *Programme for International Student Assessment* (PISA), bem como, no objetivo de aumentar o interesse dos jovens pelas ciências. O projeto trazia entre seus objetivos: aumentar a inclusão da História e Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências; melhorar as estratégias de desenvolvimento e implementação do domínio de materiais relevantes e técnicas de ensino na prática educativa; reforçar a cooperação e estabelecer uma infraestrutura permanente do trabalho em rede sustentável de todos os intervenientes no domínio da literatura científica e a compreensão pública da ciência, em colaboração com professores do ensino de ciências naturais, museólogos e pesquisadores.

No Brasil, o movimento de aproximação do HFC ao Ensino de Ciências foi marcado pela criação da Sociedade Brasileira de História da Ciência (SBHC), em 1983; por meio da Lei de Diretrizes e Bases (BRASIL, 1996) e de outras iniciativas, como o caderno do Grupo de Reelaboração do Ensino de Física – GREF, os inicialmente chamados, Parâmetros Curriculares Nacionais – PCNEM e o Exame Nacional do Ensino Médio – ENEM. Os PCNEM apontam, entre as competências e habilidades a serem desenvolvidas através do Ensino de Física, a capacidade de reconhecer a Física enquanto uma construção humana, assimilando aspectos de sua história e de suas relações com o contexto cultural, social, político e econômico (BRASIL, 2002).

A partir de então, muitos cursos de Licenciatura em Física têm sido modificados privilegiando a inserção da HFC no currículo. Contudo, algumas pesquisas e estudiosos afirmam que a inclusão da HFC nos currículos como disciplina, não garante a alteração da prática docente. Apontam a necessidade de incorporá-la também, como estratégia de ensino, contextualizando o conhecimento com os fatores que concorreram para a sua produção (MARTINS, 2005; BRINCKMANN; DELIZOICOV, 2009; MARTINS, 2007; CAMARGO; NARDI, 2005).

Na tentativa de contribuir com esse debate, estudos vêm sendo realizados, investigando a construção de materiais e estratégias de ensino. Alguns trazem como sugestões para a superação de alguns desses obstáculos, o uso de episódios históricos com abordagens explícitas de tópicos da Natureza da Ciência, combinando abordagens histórico-filosóficas baseadas no uso de textos com outras estratégias didáticas: experimentos, debates, teatro, simulações etc. Além disso, ressaltam a necessidade de uma aproximação entre diversas áreas (Educação, Ensino de Ciências, História e Filosofia da Ciência entre outras) para que as estratégias se aproximem da complexidade da sala de aula e do processo de ensino-aprendizagem (MARTINS, 2012; SIMÕES, 1994; SOUZA, 2008).

Do cenário mapeado no Ensino de Física, percebemos a ausência de discussões aprofundadas sobre os aspectos de ensino-aprendizagem envolvidos com essa estratégia didática que constitui a HFC. Entendemos que qualquer iniciativa a ser introduzida em sala de aula, deve ser permeada em uma concepção de processo de ensino-aprendizagem, como direcionador do planejamento das atividades de ensino e facilitar a configuração do conhecimento científico em um conhecimento a ser ensinado. São poucos os trabalhos que registram uma fundamentação nessa área (PEDUZZI *et al.*, 2012).

Indo mais além, destacamos a necessidade de flexibilidade na abordagem ao ensino, o professor deve estar atento às necessidades específicas dos seus alunos. De acordo com Bastos (1992), é necessário se considerar múltiplas estratégias de apresentação dos conteúdos aos estudantes, pois, dependendo das ideias prévias de cada um e de suas

experiências, uma mesma atividade pode ser percebida de forma diferente, levando a conclusões diversas.

Teatro no Ensino de Física

Énery Gislayne de Sousa Melo e Heloisa Flora Brasil Nóbrega Bastos

A relação do teatro e outras artes com a Ciência e o Ensino de Ciências não constitui um evento dos tempos mais recentes. Remotamente, Galileu Galilei (1630) escreveu “Diálogo Sobre os Dois Principais Sistemas do Mundo”, apresentando sua teoria do heliocentrismo. É possível encontrar na literatura vários textos e peças teatrais que tratam sobre eventos científicos ou importantes personagens da Ciência. Entre essas obras, destacam-se: “Einstein” de Gabriel Emanuel; “Os Físicos” de Durrenmatt; “Copenhagen” de Michael Frayn; “O Caso Oppenheimer” de Kippardt; “Vida de Galileu” de Bertolt Brecht; “A Dança do Universo” e “Da Vinci Pintando o Sete” ambas de Oswaldo Mendes; “Perdida, Uma Comédia Quântica” de José Sanchis Sinisterra; “Quebrando Códigos” de Hugh Whitemore; e “E agora Sr. Feynman?” de Peter Parnell (OLIVEIRA; ZANETIC, 2004).

No Ensino de Ciências, a importância do uso do teatro como ferramenta didática tem sido defendida pelos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio – PCNEM (BRASIL, 2002). Os PCNEM recomendam que, além das formas habituais do Ensino de Física, por meio de resolução de problemas e da linguagem matemática, é preciso incorporar novas formas de expressão a esse ensino, incluindo a linguagem corporal e artística. Dessa forma, seria possível construir novos conhecimentos e apresentar a Física como cultura e fruto das relações humanas e sociais, principalmente, a partir do enfoque nos aspectos históricos.

Zanetic (1989) esclarece que não se trata da substituição do ensino tradicional pela abordagem teatral e nem que esta seja generalizada a todas as ciências. O palco e os textos dramaturgos complementarizam o ensino, favorecendo a integração dos alunos e motivando sua aprendizagem. Esse autor recomenda o uso de textos que tratem da evolução conceitual e metodológica da Ciência e da relação com outras áreas do conhecimento. Assim, os estudantes teriam a oportunidade de entender o conhecimento como algo inacabado, desmistificando a ciência (MEDINA; BRAGA, 2010).

Analisando a estruturação de algumas dessas pesquisas, percebe-se que os textos mais usados são *A Vida de Galileu* de Bertolt Brecht (MEDINA; BRAGA, 2009) e *Einstein* de Emanuel (OLIVEIRA; ZANETIC, 2004). Estes últimos pesquisadores também estruturam sua intervenção na teoria dos Jogos Teatrais de Viola Spolin, os quais se organizam em torno de problemas a serem resolvidos e que orientam os objetivos e desenvolvimento da peça. Ao final do jogo, é realizada uma avaliação com os jogadores e observadores para descobrir o que foi aprendido.

A participação e interação com os observadores nas peças de teatro, também são estimuladas em outros trabalhos. Silveira, Ataíde e Freire (2009a) construíram seu projeto didático teatral na perspectiva dialógica com o público. Os personagens, ao longo da peça, interagem com a plateia, lançando perguntas sobre o tema abordado. Essa forma de construção do teatro, a qual promove a interação do público com os personagens, o teatro épico, foi desenvolvido por Bertolt Brecht.

Bertolt Brecht (1898 – 1956), por volta de 1920, configurou o estilo de teatro didático em defesa a uma forma alternativa de teatro, servindo não somente para lazer, mas como forma de divulgação de conhecimentos. Brecht encarava a educação formal como um processo orquestrado pelo mercado de trabalho, da economia e da configuração de classes sociais. De acordo com Brecht (1978, p. 48) “trata-se, na realidade, de uma compra. A instituição é mera mercadoria, adquirida com objetivo de revenda”. Somado a esse fato também considerava penoso e desagradável o ambiente escolar. Em oposição a essa realidade, defendia o uso do teatro como uma possibilidade de aprendizagem divertida.

Esse novo tipo de função do teatro serviria de base para a constituição do seu teatro épico. Brecht (1978) apresenta seu novo estilo de teatro, a partir de uma explicação sobre a aparente contradição entre a forma épica e a forma dramática. Brecht exemplifica a reação esperada dos espectadores desses dois estilos de dramaturgia. A plateia submetida a uma peça do estilo dramático enfatizaria em seus comentários, questões referentes às impressões sentidas, subjetivas, do comportamento dos personagens e das emoções. O espectador de

uma obra épica destacaria as questões de pensamento, dos fatos e dos motivos que contribuíram para o acontecimento dos mesmos.

Para achar um meio termo, um estilo de teatro que articulasse os dois efeitos, Bertolt Brecht fundamentou o seu modelo de teatro na estratégia do *distanciamento* ou *estranhamento*. Ele se baseava na necessidade de se estabelecer um distanciamento entre o ator e seu personagem, entre o público e a peça. Brecht acreditava que o espectador não deveria ser distraído pela emoção da atuação, a sua permanência em um estado consciente o permitira entender os diversos aspectos e conceitos transmitidos pela peça. O Teatro Épico tinha as seguintes características: comentários inseridos na ação, feitas por um narrador; título de “capítulos” em grandes cartazes; máscaras e imagens projetadas (BERTHOLD, 2010; GIMENEZ, 2013).

Claramente, as peças de Brecht não enfatizam a finalidade do entretenimento, têm como objetivo o aprendizado. Para facilitar esse processo, introduziu nas suas peças falas com recomendações ou explicações sobre a forma como a peça deveria ser assistida ou sobre os temas e conceitos abordados. Os textos utilizados eram constituídos em um discurso direto ao público, pelo diretor, locutor, narrador ou coro (CUNHA, 2013).

Princípio da Incerteza e Princípio da Complementaridade

Énery Gislayne de Sousa Melo e Heloisa Flora Brasil Nóbrega Bastos

Além dessas questões, o estudo da Física Quântica, e em particular desses princípios, evidencia os elementos históricos que contribuíram para a sua formalização. A proximidade do desenvolvimento dessas ideias com o período da Segunda Guerra Mundial, bem como a participação de Heisenberg e de outros cientistas na construção da bomba nuclear alemã, também faz surgir a discussão sobre a finalidade do conhecimento científico. Em 1939, Heisenberg foi incumbido do projeto de criação da bomba nuclear da Alemanha, junto à Divisão de Armas do Exército alemão (BODANIS, 2001). Na mesma época, o governo americano dava execução ao projeto Manhattan, nome dado porque parte da pesquisa foi desenvolvida no distrito de Manhattan, na cidade de Nova York. O desfecho dessa triste História é bem conhecida, no final de 1945. 145 mil pessoas morreram em Hiroshima e 75 mil em Nagasaki. Devido aos efeitos da radiação, várias mortes ocorreram nos anos seguintes, e causaram também nascimentos de bebês com má formação genética (XAVIER *et al.*, 2007).

Apesar desse cenário desolador, a Ciência também tem contribuído para a melhoria da qualidade de vida e fins mais nobres, como por exemplo, na produção de energia para aquecimento e iluminação das cidades. Cabe-nos perguntar até aonde vai a responsabilidade dos cientistas nas repercussões de suas descobertas? O próprio Heisenberg teve de lidar com essas inquietações. Em 1941, Heisenberg realizou uma visita a Niels Bohr, em Copenhague, para ouvir a sua opinião sobre o empreendimento de esforços na construção de uma bomba atômica. Niels ficou tão horrorizado com o tema que se recusou a debatê-lo (HEISENBERG, 1996). São questões delicadas e controversas que a formação tradicional não parece contemplar. O que se percebe do Ensino de Física, em geral, é a priorização do rigor matemático, em detrimento da interpretação dos conceitos, dos aspectos históricos e epistemológicos. Podem-se encontrar abordagens alternativas ao ensino nas licenciaturas, contudo, a Mecânica Quântica é apresentada através da articulação de conceitos e fundamentos aos da Mecânica Clássica, sem uma análise da evolução histórica dessas ideias (OSTERMANN; RICCI, 2005).

Os princípios da Incerteza e da Complementaridade foram forjados ao longo de anos, em cima da controvérsia sobre a natureza da luz: a luz é onda ou partícula? Tendo como cenário uma série de fatos e explicações que marcaram o percurso na busca pela explicação sobre a natureza da luz, e que culminaram com o desenvolvimento desses princípios. Heisenberg (1996) descreve esse percurso através dos seguintes eventos: 1873 – Teoria Eletromagnética (Maxwell) – Onda; 1900 – Teoria do Corpo Negro (Planck) – Partícula; 1905 – Efeito Fotoelétrico (Einstein) – Partícula; 1911 – Modelo Atômico (Rutherford) – Partícula; 1913 – Modelo Atômico (Bohr) – Partícula; 1922 – Experiência da Difração dos Raios X (Compton) – Partícula; 1924 – Dualidade onda-partícula (De Broglie) - Onda+Partícula; 1926 – Mecânica Ondulatória (Schrodinger) – onda e 1927– Interpretação de Copenhague (Bohr e Heisenberg) - Onda ou Partícula.

Por volta de 1925, Erwin Schrodinger (1887-1961) formulou a lei que rege a propagação de ondas materiais sob a influência de um campo eletromagnético. No modelo proposto, os estados estacionários eram tratados do ponto de vista ondulatório. Com essa teoria, Schrodinger conseguia tratar ondas materiais e ondas sonoras, da mesma forma, considerando-se os elementos espaço e tempo, não se admitindo os saltos quânticos. Heisenberg e Bohr discordaram fortemente de Schrodinger porque acreditavam que não se deveria considerar o tempo e o espaço na representação dos fenômenos quânticos. Entendiam que a migração do átomo de um estado estacionário para outro consistia em uma alteração súbita de energia e não contínua, resultando na radiação sob a forma de quanta de energias. O que contrariava as interpretações de Schrodinger, nas quais a mudança de estado estacionário era uma consequência de um “processo de excitação simultânea de duas oscilações materiais estacionárias, cuja interferência dava origem à emissão de ondas eletromagnéticas” (HEISENBERG, 1996, p. 95).

Nesse período, Heisenberg e Bohr trabalhavam juntos em Copenhague. Ambos ficaram muito inquietos com as novas ideias, mas estavam convencidos de estarem no caminho certo. Heisenberg (1996, p. 95) descreve que, durante certa madrugada, enquanto pensava no problema, lembrou-se do que Einstein havia dito a ele, em 1925, “É a teoria que decide

o que podemos observar”. A partir dessa ideia, entendeu que a trajetória do elétron não era passível de observação, o que se percebiam eram os seus rastros, uma série de pontos distintos por onde havia passado. Assim, Heisenberg teve a clareza de que não era possível ter certeza da trajetória ou localização do elétron. A Mecânica Quântica poderia apenas estimar, com certo grau de aproximação, uma posição e velocidade para o elétron. Dessas ideias Heisenberg (1996, p. 96) desenvolveu uma representação matemática, com as aproximações regidas pelo chamado princípio da Incerteza da Mecânica Quântica, assim enunciado: “o produto das Incertezas dos valores medidos da posição e do momento (isto é, o produto da massa pela velocidade) não pode ser inferior à constante de Planck, ou um *quantum* de ação”.

As Relações de Incerteza de Heisenberg afirmavam que, ao se tentar construir um pacote de ondas altamente localizado no espaço, é impossível associar a esse pacote um momento bem definido, e vice-versa, contrariando o que se admite na Física Clássica. Dessa forma, a posição e o momento na Física Quântica, assim como o comportamento corpuscular e o ondulatório, constituem propriedades complementares entre si, não se admitindo uma possibilidade de experiência, na qual ambas as propriedades sejam determinadas simultaneamente (GASIOROWICZ, 1979).

Niels Bohr, nos seus estudos sobre a dualidade onda-partícula, formulou o conceito de Complementaridade que descreve uma situação em que um determinado fenômeno não pode ser compreendido em sua totalidade, por meio de uma única abordagem, requerendo abordagens diferentes e complementares entre si. Assim, refere-se ao fenômeno da Natureza da Luz, que pode ser observado como onda ou como partícula, a partir de processos distintos (HEISENBERG, 1996). No desenvolvimento do princípio da Complementaridade, Bohr partiu do postulado quântico de Planck e dos resultados de experiências envolvendo fótons e elétrons, nas quais o observador sempre causa interferência nos fenômenos, direcionando o comportamento desenvolvido.

Os princípios da Incerteza e o da Complementaridade foram apresentados em 1927, no Congresso Geral de Física na cidade de Como, na Itália, e no Congresso de Solvay, em

Bruxelas. Os debates de maior impacto foram protagonizados por Einstein e Bohr. Einstein não aceitava que um fenômeno natural fosse representado, inteiramente, por representações matemáticas e probabilísticas, de forma parcial e aproximada. De acordo com Heisenberg (1996, p. 98), nesses debates era comum Einstein repetir a frase “Deus não joga dados”.

Teoria dos Construtos Pessoais

Énery Gislayne de Sousa Melo e Heloisa Flora Brasil Nóbrega Bastos

George Alexander Kelly (1905-1967) nasceu nos Estados Unidos, formou-se em Física e Matemática (1926); em Educação (1929) e recebeu o título de Doutor em Psicologia (1931). Formulou a Teoria dos Construtos Pessoais (TCP), que consiste em uma teoria da personalidade alicerçada em uma fundamentação epistemológica. O enfoque epistemológico é expresso por meio do conceito de “Alternativismo Construtivo”. Este surge das várias possibilidades de o homem interpretar o seu mundo, fazendo tentativas para adaptá-la aos resultados de suas experiências. O homem é um agente determinante da sua realidade e do seu futuro, não sendo vítima de seu passado ou de sua história, podendo modificar o mundo, a partir da elaboração de uma nova construção (BASTOS, 1992).

Para ilustrar o seu ponto de vista epistemológico, Kelly apresenta na TCP a metáfora do “homem-cientista”. O homem, tal qual um cientista, elaboraria hipóteses a partir de suas teorias, tentando prever os eventos, testam-nas e modificam-nas de acordo com os resultados obtidos. Assim, estariam mais voltados para o futuro, na tentativa de prever e controlar os acontecimentos, do que para o passado. É a partir dessa metáfora que Kelly explica o comportamento do indivíduo frente às diversas situações de sua vida, independente da área, inclusive a aprendizagem. O aluno, para aprender, também antecipa eventos, elabora modelos e testa sua validade, sendo o principal agente de seu desenvolvimento intelectual ou cognitivo (MOREIRA, 1999).

A Teoria dos Construtos Pessoais é constituída por um postulado fundamental e onze corolários. Neste texto, restringir-nos-emos a detalhar o corolário e o Ciclo da Experiência de Kelly, que fundamentarão a intervenção didática.

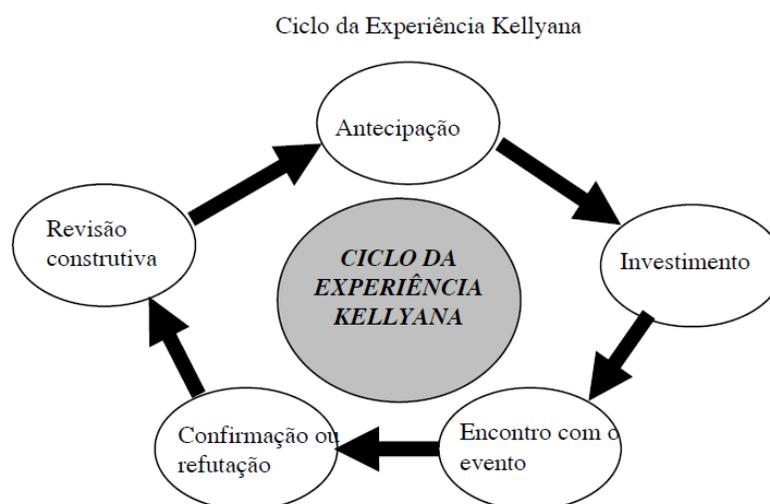
Postulado fundamental: *"Os processos de uma pessoa são canalizados psicologicamente pelas maneiras por meio das quais ela antecipa eventos"*. Através desse postulado, Kelly apresenta o sujeito como principal agente de suas ações e, também, da sua aprendizagem. De acordo com Bastos (1992), levando para o ensino, esse postulado reflete a necessidade

de se considerar múltiplas estratégias de apresentação dos conteúdos aos estudantes, pois, dependendo das ideias prévias de cada um e de suas experiências, uma mesma atividade pode ser percebida de forma diferente, levando a conclusões diversas. Kelly explica a forma como os sujeitos organizam suas estruturas, a partir do 7º Postulado (da Experiência) “*O sistema de construção de uma pessoa muda quando ela sucessivamente constrói a réplica dos eventos*”.

O grande desafio consiste em que cada sujeito possui construtos e sistema de construção própria e a aprendizagem varia de indivíduo para indivíduo. Dessa forma, em uma sala de aula com apenas 5 estudantes, cada um desenvolverá um sistema próprio de construção de conhecimento sobre o conteúdo abordado e trabalhado. Cabe ao docente facilitar ao aluno os caminhos e meios, os quais os conduzirão para um aprendizado mais consciente e, portanto, mais significativo.

Esse corolário estabelece que o encontro sucessivo do indivíduo com o evento, colabora para a revisão dos construtos, o que resulta no seu desenvolvimento e aprimoramento. Esse processo ocorre por meio do Ciclo de Kelly, constituído por cinco etapas bem definidas: Antecipação; Investimento; Encontro; Confirmação/Desconfirmação e Revisão Construtiva.

Figura 2. Esquema que Representa as Cinco Fases do Corolário da Experiência



Fonte: CLONINGER, 1999, p. 427.

- **Antecipação:** a pessoa antecipa o evento, selecionando os construtos disponíveis no seu sistema de construção. Nessa fase, tenta prever o evento, elabora hipóteses, de acordo com seus construtos. Exemplo: Maria foi convidada para ir a um casamento. Ela pensa em todos os aspectos desse evento (cabelo, roupa, maquiagem, entre outros), de acordo com os modelos de casamento que conhece, ou seja, com os construtos de casamento disponíveis.

- **Investimento:** o indivíduo se prepara para o evento, tanto psicologicamente como materialmente. Exemplo: Maria alugou roupa, arrumou cabelo e fez maquiagem de acordo com o horário do casamento. O casamento seria no final da tarde.

- **Encontro:** é a realização do evento, a fase em que o indivíduo experimenta suas teorias. Exemplo: No casamento, observa que a noiva está de short e sandália. Da mesma forma, os convidados mais íntimos. Maria se sente meio deslocada e acha tudo muito estranho.

- **Confirmação/Desconfirmação:** o sujeito verifica a validade de suas teorias, se foram ou não confirmadas. Exemplo: Mais tarde, já em casa, Maria pensa no casamento, reconsiderando, o casamento foi realizado em uma casa em região litorânea e a recepção em uma marina, então os trajes estariam adequados. Contudo, os noivos poderiam ter alertado no convite para o uso de trajes.

- **Revisão construtiva:** após as considerações realizadas pela confirmação/desconfirmação a pessoa revisa suas teorias, corrigindo-as ou aprimorando-as, podendo levar até mesmo à elaboração de novas teorias. Exemplo: Agora, Maria já sabe que casamento em região de praia, pode-se ir bem mais à vontade.

REFERÊNCIAS

BASTOS, Heloisa. Flora B. N. **Changing teachers' practice: towards a constructivist methodology of physics teaching**. Tese (Doutorado). University of Surrey, Inglaterra, 1992.

BERTHOLD, Margot. **História mundial do teatro**. 4 ed. São Paulo: Perspectiva, 2010.

BEZERRA, Geni Barbosa. **Investigando o desenvolvimento da concepção de interdependência entre os elementos da biosfera com alunos do ensino fundamental I**. Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Educação. 2005.

BODANIS, David. **E=mc²: uma biografia da equação que mudou o mundo e o que ela significa**. Rio de Janeiro: Editora Ediouro, 2001.

BRASIL. Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. **Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9394.htm>. Acesso em: 15 jan. 2013.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais + (PCN+) - Ciências da Natureza e suas Tecnologias**. Brasília: MEC, 2002.

BRECHT, Bertolt. **Estudos sobre teatro**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1978.

BRINCKMANN, Cátia; DELIZOICOV Nadir Castillo. Formação de professores de física e a história da ciência. In: IX CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO E III ENCONTRO SUL BRASILEIRO DE PSICOPEDAGOGIA, V., 2009, Paraná. **Anais eletrônico...** Paraná: Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2009. Disponível em: <http://www.pucpr.br/eventos/educere/educere2009/anais/pdf/3644_2003.pdf>. Acesso em: 1 fev. 2013.

CAMARGO, Sérgio; NARDI, Roberto. Formação inicial de professores de física: interpretando as marcas de referenciais teóricos nos discursos de licenciandos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 16., 2005, Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos...** Rio de Janeiro: Universidade Estadual do Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/ix/sys/resumos/T0173-1.pdf>>. Acesso em: 12 fev. 2012.

CLONINGER, C. S. **Teorias da personalidade**. São Paulo: Martins Fontes, 1999.

CUNHA, Vasco Soares de Oliveira. Bertolt Brecht (1898-1956): vida e obra. **Revista Millenium**, Viseu v. 45, p. 169-179, jun./set. 2013.

GASIOROWICZ, Stephen. **Física Quântica**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois, 1979.

GIMENEZ, Hercules. Teatro científico: uma ferramenta didática para o ensino de física. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais, Cuiabá, 2013.

HEISENBERG, Werner. **A parte e o todo**: encontros e conversas sobre física, filosofia, religião e política. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

KAPITANGO-A-SAMBA, Kilwangy Kya. **História e filosofia de ciência no ensino de ciências naturais**: o consenso e as perspectivas a partir de documentos oficiais, pesquisas e visões dos formadores. 2011. 385 f. Tese (Doutorado em Educação) -- Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, SP, 2011.

KELLY, George. **A theory of personality**: the psychology of personal constructs. New York: Norton, 1963.

KUHN, Thomas Samuel. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. São Paulo: Perspectiva, 1978.

MARTINS, André Ferrer Pinto. Ensino de ciências: desafios à formação de professores. **Revista Educação em Questão**, Natal, v. 23, n. 9, mai. 2005.

MARTINS, André Ferrer Pinto. História e filosofia da ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho... **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 24, n. 1, p.112-131, abr. 2007.

MARTINS, Andre Ferrer Pinto. História, filosofia e ensino de ciências e formação de professores: desafios, obstáculos e possibilidades. **Educação: Teoria e Prática**, Rio Claro, v. 22, n. 40, mai.-ago. 2012.

MARTINS, Roberto de Andrade. Introdução: a história das ciências e seus usos na Educação. In: SILVA, C. Celestino (Org.). **Estudos de história e filosofia das ciências**: subsídios para aplicação no ensino. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006. pp. xxi-xxiv.

MATTHEWS, Michael Richard. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.12, n.3, p. 164-214, dez.1995.

MEDINA, Márcio Nasser; BRAGA, Marco. Frankenstein: a aproximação das ciências com alunos de ensino médio através do teatro. In: VII ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS, 7., 2009, Florianópolis. **Anais eletrônicos...** Belo Horizonte: Universidade de Minas Gerais, 2009. Disponível em:<<http://www.posgrad.fae.ufmg.br/posgrad/viienepec/pdfs/932.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2012.

MEDINA, Márcio Nasser; BRAGA, Marco. O teatro como ferramenta de aprendizagem da física e de problematização da natureza da ciência. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. V. 27, n, 2, p. 313-333, agosto 2010.

MOREIRA, Marco Antonio. **Teorias da Aprendizagem**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 1999.

OLIVEIRA, Neusa Raquel de; ZANETIC, João. A presença do teatro no ensino de física. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 9., 2004, Jboticatuças. **Anais eletrônico...** Minas Gerais: SBF, 2004.

Disponível

em:<http://www.cienciamao.usp.br/dados/ard/_apresencadoteatronoensinodefisicaneusaraqueldeoli.arquivo.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2014.

OSTERMANN, Fernanda; RICCI, Trieste F. 2005. Conceitos de física quântica na formação de professores: relato de uma experiência didática centrada no uso de experimentos virtuais. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 22, n.1: p.9-35, abr. 2005.

PEDUZZI, Luiz. O. Q.; TENFEN, Danielle Nicolodelli; CORDEIRO, Marinês Domingues. Aspectos da natureza da ciência em animações potencialmente significativas sobre a história da física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 39, n. Especial 2: p. 758-786, out. 2012.

SILVEIRA, Alessandro Frederico da; ATAÍDE, Ana Raquel Pereira de; FREIRE, Morgana Lígia de Farias. Atividades lúdicas no ensino de ciências: uma adaptação metodológica através do teatro para comunicar a ciência a todos. **Educar**. Curitiba, n.34, p. 251-262, 2009.

SIMÕES, Armando Amorim. **A Concepção Dialética do Conhecimento e o Ensino de Física**. Dissertação (Mestrado em Educação) Faculdade de Educação. São Paulo: USP, 1994.

SOUZA, José de Arimatéa. **Uma Abordagem Histórica para o Ensino do Princípio da Inércia**. Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências Naturais e Matemática). Rio Grande do Norte: UFRN, 2008.

TORRES, Adriana Patrícia Gallego; BADILLO, Gallego. Rómulo. Historia, epistemología y didáctica de las ciencias: unas relaciones necesarias. **Ciência & Educação**, v. 13, n. 1, p. 85-98, 2007.

VANNUCCHI, Andréa Infantsi. **História e Filosofia da Ciência**: da teoria para a sala de aula. 1996. 131f. Dissertação (Mestrado em Educação Científica) – Faculdade de Educação. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1996.

XAVIER, Allan Moreira; LIMA, André Gomes de; VIGNA, Camila Rosa Moraes; VERBI, Fabíola Manhas; BORTOLETO, Gisele Gonçalves; GORAIEB, Karen; COLLINS, Carol Hollingworth; BUENO, Maria Izabel Maretti Silveira. Marcos da história da radioatividade e tendências atuais. **Química Nova**, v. 30, n. 1, p. 83-91, 2007.

ZANETIC, João. **Física também é cultura**. 1989. 160 f. Tese (Doutorado em Educação) -- Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, SP, 1989.

ZANETIC, João. Mesa Redonda: Influência da História da Ciência no Ensino de Física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 5, n. especial, p. 76-92, 1998.