

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INSTITUTO DE FÍSICA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO – FÍSICA

ELCIO DE SOUZA LOPES

**Ensino de Ciências por Investigação e a Física
Moderna: contribuições da Epistemologia e da
Semiótica**

Versão corrigida

SÃO PAULO

2023

ELCIO DE SOUZA LOPES

**Ensino de Ciências por Investigação e a Física
Moderna: contribuições da Epistemologia e da
Semiótica**

Tese apresentada ao Instituto de Física da
Universidade de São Paulo para a
obtenção do título de Doutor em Ensino de
Ciências, Modalidade Física.

Área de concentração: Ensino de Física

Orientador: Mikiya Muramatsu

Co-orientadora: Michele Hidemi Ueno
Guimarães

SÃO PAULO

2023

Autorizo a reprodução e a divulgação total ou parcial deste trabalho por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

FICHA CATALOGRÁFICA
Preparada pelo Serviço de Biblioteca e Informação do Instituto de Física da Universidade de São Paulo

Lopes, Elcio de Souza

Ensino de ciências por investigação e a física moderna: contribuições da epistemologia e da semiótica. São Paulo, 2023.

Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo. Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências.

Orientador: Prof. Mikiya Muramatsu

Co-orientadora: Profa. Michele Hidemi Ueno Guimarães

Área de Concentração: Ensino de Física

Unitermos: 1. Física – Estudo e ensino; 2. Ensino de ciências por investigação; 3. Ensino e aprendizagem; 4. Métodos de ensino; 5. Semiótica; 6. Epistemologia.

USP/IF/SBI-028/2023

FOLHA DE AVALIAÇÃO

LOPES, Elcio de Souza. **Ensino de Ciências por Investigação e a Física Moderna:** contribuições da Epistemologia e da Semiótica. 2023. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências) – Instituto de Física da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.

Aprovado em: 11 de setembro de 2023

Banca examinadora

Professor Doutor: Mikiya Muramatsu

Instituição: Instituto de Física da Universidade de São Paulo

Julgamento: Aprovado

Professor Doutor: Helio Takai

Instituição: Pratt Institute

Julgamento: Aprovado

Professor Doutor: Jonny Nelson Teixeira

Instituição: Instituto Federal de São Paulo

Julgamento: Aprovado

Professor Doutor: Alex Bellucco do Carmo

Instituição: Universidade do Estado de Santa Catarina

Julgamento: Aprovado

Professor Doutor: Ivã Gurgel

Instituição: Instituto de Física da Universidade de São Paulo

Julgamento: Aprovado

TABELA DE SIGLAS

APEP Associação dos Professores de Escolas Públicas e Escolas sem Fins Lucrativos

APS American Physical Society

CERN Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire

DFGE Departamento de Física Geral

EFAF Ensino Fundamental Anos Finais

EF Ensino Fundamental

EFAPE Escola de Formação e Aperfeiçoamento dos Profissionais da Educação

EM Ensino Médio

EnCI Ensino de Ciências por Investigação

EUE Encontro USP – Escola

IFUSP Instituto de Física da USP

IOSTE International Organization for Science and Technology Education

LaPEF Laboratório de Pesquisa e Ensino de Física

SEDUCSP Secretaria de Educação do Estado de São Paulo

SBF Sociedade Brasileira de Física

SEI Sequência de Ensino por Investigação

USP Universidade de São Paulo

TABELA DE FIGURAS

Figura 1: quadro resumo das respostas dos professores aos questionários e perguntas durante os Encontros USP Escola (EUE) 2019 e 2020.....	68
Figura 2: função sígnica para a matéria, segundo Hjelmslev	117
Figura 3: relação cor e comprimento de onda (ECO, 2014, p. 66)	118
Figura 4: triângulo semiótico de Peirce (ECO, 2014, p. 50)	119
Figura 5: triângulo semiótico de Umberto Eco (ECO, 1985, p. 25).....	120
Figura 6: quadro traduzido do original de Milton Pella (PELLA, 1961, p.31, tradução nossa)	130
Figura 7: graus de liberdade em um laboratório segundo Tamir (1991), apud Borges (2002).....	131
Figura 8: graus de liberdade em um laboratório segundo Carvalho (2011)	131
Figura 9: graus de liberdade em laboratório segundo Carvalho (2006, apud ZÔMPERO; LABURÚ, 2011).....	132
Figura 10: graus de liberdade em laboratório na relação professor e aluno segundo Ueno-Guimarães e Muramatsu (2017).....	132
Figura 11: níveis de liberdade em um experimento segundo Kasseboehmer, Hartwig e Ferreira (2015, apud ANTUNES; GIBIN, 2021).....	133
Figura 12: comparação de propostas de Ensino por Investigação com diferentes etapas do processo em laboratório segundo Rodriguez e León. (1995). Tradução nossa.....	134
Figura 13: propostas de relações entre visões epistemológicas e semióticas em atividades investigativas na interação professor e aluno, na elaboração e na aplicação de Sequência de Ensino por Investigação	146

DEDICATÓRIA

Impossível não pensar na minha Mãe e no meu Pai, Dona Renilde de Souza Lopes e Seu Lino Lopes, quando estou trabalhando nas minhas pesquisas ou nas minhas aulas. Esta tese é dedicada a vocês.

Eles estão presentes em cada pensamento, o que pode parecer estranho, mas é um fato. Antigamente não percebia isso, mas os passos que dei na minha vida estão relacionados positivamente, ou negativamente, com as interações que tive com ela e com ele. Meu Pai, um leitor ávido de jornais, priorizando O Estado de São Paulo, funileiro e empresário, com formação no primário antigo (até a 2ª série primária). Percorreu o estado de São Paulo com a família, morando em vários municípios diferentes desde a região de Campinas e Sorocaba, passando pelo Vale do Ribeira e, finalmente se estabelecendo em Santo Amaro, na capital paulista. Faleceu cedo, em 1981, por cirrose devido ao alcoolismo, o que, além da morte, também provocava acessos de raiva e violência doméstica, com grandes brigas com minha Mãe.

E minha Mãe, por sua vez, falecida pouco depois da sua bem-merecida aposentadoria como governanta em uma escola religiosa judaica do centro da capital paulista. Foi uma batalhadora que cedo cuidou sozinha de cinco crianças e jovens, com quatro destes chegando ao ensino superior e dedicando-se a várias áreas do conhecimento. Retirante nordestina, vinda de Poço dos Bois, um distrito sergipano próximo a Propiá, aos 12 anos chegou à capital paulista. Tinha receio da escola, uma vez que perdeu a irmã mais velha, Railde, devido a uma gangrena não tratada na perna. Essa gangrena foi decorrente de uma violência da professora: atingiu a perna de Railde por ela errar uma tabuada, quebrando uma régua de madeira na perna dela. Mesmo a professora sendo parente da minha Mãe. Quando minha Mãe chegou à capital não estudou formalmente, mas ao abrir uma conta bancária e ver que não conseguia usar a pena corretamente, jurou que esse tipo de coisa não ocorreria com seus filhos. Bom, hoje, seus filhos e netos não passam por esse tipo de problema, mas arranjam outros com a vida acadêmica ou profissional.

Meus filhos, meus anjos, que iluminam meu caminho. Minha esposa. Quanta superação, não? Parto prematuro do Matheus, com 72 horas de vida no parto, mas

hoje em Geofísica na USP. Vírus sincicial que quase matou os dois meninos. O Nicolas que quase morreu com uma crise respiratória, e que o doutor Orlei salvou. E hoje está na Geologia, na USP. Amo muito vocês, meninos de ouro.

Minha esposa, Rosangela, é a guerreira que todos querem como parceira de vida. Sem seu apoio eu não estaria aqui. Não aqui escrevendo uma tese, mas aqui neste planeta. Foi com ela que conheci meus melhores amigos desta vida: Matheus e Nicolas. Com ela passei os melhores momentos da minha vida, e desejo continuar assim. Superamos muita coisa, certo? Amo muito você! Superamos a COVID-19. Nós quatro. Sozinhos. Doentes em casa. Se minha diabetes não estivesse controlada, não terminaria este trabalho. Superamos isso juntos. Muitos não tiveram a mesma chance.

Sim, e com esse núcleo lindo, Rosangela, Matheus e Nicolas, conversei e debati muito das minhas ideias que estão aqui.

Meus irmãos e irmãs. Meus sobrinhos. Sobrinhos-netos.

Dedicatória é para a Família!

Porém, não é possível esquecer do desprezo e descaso do governo federal, nestes anos de 2019 até 2022, pelas mortes de quase 700 mil pessoas, oficialmente. E mais de um milhão extraoficialmente (finalizo a tese antes de saber corretamente este dado).

Dedico este trabalho aos mais de 700 mil mortos pela COVID-19 no Brasil.

Dedico este trabalho à todas as pessoas que, como eu, tiveram ou estão com sequelas dessa doença. Meu caso não é grave, mas atrapalhou muito o término desta tese: apneia do sono (por falha na respiração) e as falhas de memória. Mas sei que muitos sobreviventes tiveram perdas graves de capacidade pulmonar, por exemplo.

Dedico à Ciência, às Cientistas e aos Cientistas do Brasil e do Mundo. Só a Ciência salva vidas!

Dedico às Professoras e aos Professores que lutam por dignidade, salários justos e reconhecimento. Batalhadoras e batalhadores contra a desinformação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha Família, novamente, Rosângela, Matheus e Nicolás. Os debates com vocês sempre são divertidos e bem criativos!

Agradeço certamente ao meu orientador, Mikiya Muramatsu, que me aceitou para ser seu pupilo nesse empreendimento. Os debates sobre as ideias centrais e periféricas deste trabalho e de outros foi e é muito gratificante. Obrigado mesmo, Mikiya!

Agradeço à Michele Ueno Guimarães por ter aceitado ser minha co-orientadora. Aprendo cada vez mais com essa pesquisadora e batalhadora. Os debates sobre Ensino de Ciências por Investigação nestes tempos difíceis. Valeu Michele!

Um agradecimento especial ao Valdir Guimarães, companheiro que facilitou a nossa participação nos últimos Encontros USP-Escola. Valeu, Valdir!

Agradeço à vacinação em massa e aos grandes combatentes que tornaram possível viver neste tempo de COVID-19.

Agradeço ao Diogo Soga pelos debates e experiências com transmissão de radiação infravermelha em materiais diversos. E, claro, em outros vários aspectos, não somente científicos, como conjunto de máscaras e um oxímetro bem calibrado. Pelas leituras, eu deveria ter sido entubado quando tive COVID-19, mas vi que dava para seguir monitorando a oxigenação do meu sangue. Obrigado, Diogo!

Agradeço ao grupo de pesquisa Arte & Ciência no Parque, especialmente à Doris, ao Gabriel, ao Armando, à Lívia, à Jocemar e ao Will, pelos debates nas reuniões presenciais e online nestes anos todos.

Agradeço ao Helio Takai por ter me recebido no Pratt Institute, em Nova Iorque. Aprendi e continuo aprendendo com esse grande pesquisador. E agradeço ao Pratt Institute por ter me recebido com respeito e carinho, em Nova Iorque. Aprendi muito nesse tempo. Espero retornar com mais tranquilidade.

Agradeço à Sociedade Brasileira de Física (SBF) e à American Physical Society (APS) pela bolsa deste programa de intercâmbio, pela qual pude ampliar bastante meus

horizontes de conhecimento social e humano, além dos educacionais e de desenvolvimento e Pesquisa Básica e em Ensino de Física, com o Helio Takai.

Agradeço à Vera Henriques pelas oportunidades diversas que me proporcionou nos Encontros USP- Escola.

Agradeço à APEP (Associação dos Professores de Escolas Públicas e Escolas sem fins lucrativos) pelas oportunidades nos Encontros USP-Escola. A APEP é a grande representante da organização e da força das professoras e dos professores deste nosso país. Educar é resistir.

Agradeço aos professores que participaram das nossas pesquisas durante os Encontros USP Escola em diversas edições, nas quais pudemos testar nossas ideias, obter dados e debater com esses professores. Muito obrigado!

Agradeço à Lisete Arelaro. Grande guerreira! Grande Pesquisadora! Aprendi muito sobre Paulo Freire com essa grande mulher! Saudades!

Agradeço à Regina Kawamura pelo apoio no Programa Interunidades e pelas várias vezes que estudamos juntos, trabalhamos e debatemos. Obrigado Regina!

Agradeço à equipe da biblioteca do IFUSP, especialmente à Edneia Aparecida de Almeida e à Rachel Luiz Lage Cunha pelo apoio na elaboração da ficha catalográfica e pelo apoio nas minhas pesquisas.

Agradeço ao Thomas, Chefe Administrativo do Serviço de Pós-Graduação do nosso Programa. Sem ele as coisas não andam. Esse cara é demais! Parabéns, Thomas!

Agradeço ao Programa Interunidades em Ensino de Ciências da USP, pois fui aprovado para o doutorado sem orientador, no início de 2017. Claro que depois encontrei o grande Mikiya Muramatsu.

Agradeço ao Celso, da Mimo, o grande motorista do meu transporte em vários momentos, e que, às vezes, não estava com o dinheiro para pagar, mas pude acertar depois. Ter tranquilidade no transporte é importante nesses tempos.

Tenho que agradecer ao Valdir da Xerox da Física, ao Carvalho e ao Marinho da Livraria e Editora da Física. A eles, meu muito obrigado!

Agradeço aos times da EE Professor Antônio Dutra, pelo apoio inicial, da EE Paulo Mendes e da EE Professora Ana Pinto Duarte Paes.

Agradeço à professora Alessandra Tegon pelo apoio e incentivo no meio do processo! Obrigado!

Agradeço à professora Paula Oliveira pelo apoio inicial! Obrigado!

Agradeço à minha diretora da EE Paulo Mendes Silva, Ângela Milani! Obrigado! Sem seu apoio durante a pandemia eu não teria conseguido terminar este trabalho. E sem seu apoio e orientação, nunca teria participado desse intercâmbio em Nova Iorque. Obrigado, novamente.

Agradeço ao professor Reinaldo Sudatti Neto. Tivemos uma boa parceria em trabalhos sobre História da Ciência. Espero retomar este caminho no Pós-Doutorado.

Agradeço às alunas e alunos das escolas que trabalhei nestes últimos anos, e que ajudaram muito nos testes das ideias que estão neste trabalho.

Agradeço às irmãs e aos irmãos do Movimento Escoteiro, em especial aos membros do GE Dom Gabriel 57. Aos antigos e novos membros do GE Tapajós 32, GE Xavantes 285 e do GE Santo Amaro 56. Robson Moraes, Rose Motta e Augusto “Gu” Bandeira pelas conversas e cumplicidade. Ao Rodrigo Ramos e Luciana Timoszczuck um agradecimento especial pela compreensão de eu ter que me dedicar e terminar esta tese.

Agradeço às minhas irmãs, Lena e Beth e aos meus irmãos, Edu e Lino, meus sobrinhos e suas Famílias, Luís Eduardo, João Paulo, Filipe, Gabriel, Guilherme e Miguel e meus sobrinhos-netos, Maria Eduarda e Benício. Família sempre é a melhor casa. Apoio e orientações. Sempre!

Ensinar exige alegria e esperança

O meu envolvimento com a prática educativa, sabidamente política, moral, gnosiológica, jamais deixou de ser feito com alegria, o que não significa dizer que tenha invariavelmente podido criá-la nos educandos. Mas, preocupado com ela, enquanto clima ou atmosfera do espaço pedagógico, nunca deixei de estar.

Há uma relação entre a alegria necessária à atividade educativa e a esperança. A esperança de que professor e alunos juntos podemos aprender, ensinar, inquietar-nos, produzir e juntos igualmente resistir aos obstáculos à nossa alegria.

(FREIRE, 1996, p. 72)

RESUMO

LOPES, Elcio de Souza. Ensino de Ciências por Investigação e a Física Moderna: contribuições da Epistemologia e da Semiótica. 2023. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências) – Instituto de Física da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.

Este trabalho representa os esforços em ampliar o quadro teórico do Ensino de Ciências por Investigação trazendo a Epistemologia e a Semiótica como elementos necessários para os trabalhos com conceitos de Física Moderna, sendo a resposta à nossa questão de pesquisa: “Quais seriam as contribuições da Epistemologia e da Semiótica para que o Ensino de Ciências por Investigação possa ser utilizado por professores dos anos finais do Ensino Fundamental, para trabalharem conceitos de Física Moderna e Contemporânea em suas aulas de Ciências por meio de Sequências de Ensino por Investigação?” De acordo com a bibliografia consultada sobre o ensino de Física Moderna utilizando Sequências de Ensino por Investigação, foi possível observar que os elementos que compõe esse quadro não são suficientes para o estudo desse tipo de conceito. Dessa forma, esta tese foi desenhada para que novos elementos pudessem ser acrescentados ao quadro teórico e, segundo nossas hipóteses, a Semiótica e a Epistemologia poderiam ser esses elementos. Foram feitas pesquisas com professores nos Encontros USP-Escola, utilizando testes em diversos cursos, sendo os mais relevantes, e que trouxeram bons resultados, os cursos dos meses de janeiro de 2019 e de 2020. Durante as aplicações destes cursos, foi possível verificar uma importante consequência para a Formação Continuada de Professores, uma vez que seguimos uma proposta de Daniel Gil-Pérez que se mostrou muito eficiente. Gil-Pérez propôs que cursos de formação continuada de professores tivessem íntima relação com a própria prática estudada, que favorecesse a vivência das práticas e que incorporasse os professores na pesquisa em Didática das Ciências e na comunidade desse campo de pesquisas. Além desta consequência, pudemos elencar vários pontos de interesse, tanto na Epistemologia, quanto na Semiótica e que favorecem tanto o Ensino de Ciências por Investigação, quanto a ferramenta de Sequência de Ensino por Investigação. Como metodologia iniciamos os cursos com questões de parametrização do tipo: “O que vem à sua mente quando vê o termo: CADEIRA?”. Em seguida, mudamos o termo para “AMOR” e depois para “ÁTOMO”.

Ao final perguntamos sobre como explicariam o conceito de átomo para estudantes do nono ano do Ensino Fundamental. As respostas foram muito significativas, e pudemos elencar algumas, que apresentamos neste trabalho. Como consequência da nossa pesquisa, foi possível responder satisfatoriamente à questão de pesquisa, e que a Epistemologia “Anarquista” de Paul Feyerabend e a Semiótica “Múltipla” de Umberto Eco são necessárias para o Ensino de Ciências por Investigação quando estudamos conceitos de Física Moderna com alunos do nono ano do Ensino Fundamental. E, finalmente, propusemos um quadro de relações entre as visões semióticas e epistemológicas para as atividades a serem desenvolvidas em Sequências de Ensino por Investigação.

Palavras-chave: Ensino de Ciências por Investigação; Física Moderna; Semiótica; Epistemologia

ABSTRACT

LOPES, Elcio de Souza. Inquiry-based Science Teaching and the Modern Physics: contributions of Epistemology and Semiotics. 2023. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências) – Instituto de Física da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.

This work represents the efforts to expand the theoretical framework of Inquiry-based Science Teaching, bringing Epistemology and Semiotics as necessary elements for works with Modern Physics concepts, being the answer to our research question: “What would be the contributions of Epistemology and Semiotics so that Inquiry-based Science Teaching to be used by teachers in the final years of Elementary School to work with concepts of Modern and Contemporary Physics in their Science classes through Inquiry-Based Teaching Sequences?” According to the bibliography consulted on the teaching of Modern Physics using Inquiry-Based Teaching Sequences, it was possible to observe that the elements that make up this framework are not sufficient for the study of this type of concept. Thus, this thesis was developed so that new elements could be added to the theoretical framework and, according to our hypotheses, Semiotics and Epistemology could be these elements. Research was carried out with teachers at the USP-Escola Meetings, using tests in several courses, the most relevant, and which brought good results given, the courses of January, 2019 and January, 2020. During the applications of these courses, it was possible to verify an important consequence for the Continuing Education of Teachers, since we followed a proposal by Daniel Gil-Pérez that proved to be very efficient. Gil-Pérez proposed that continuing education of teachers courses had an intimate relationship with the practice studied, which favored the experience of practices and incorporated teachers into research in Didactics of Science and into the community of this field of research. In addition to this consequence, we can list several points of interest, both in Epistemology and in Semiotics, which favor both the Inquiry-based Science and the Inquiry-Based Teaching Sequence. As methodology, we started the courses with parameterization questions such as: “What comes to your mind when you see the term: CADEIRA?” Then we change the term to “AMOR” and then to “ÁTOMO”. At the end, we asked about how they would explain the concept of atom to students in the ninth grade of Elementary School. The answers were a lot of reflections, and we were able

to list some, which we present in this work. As result of our research, it was possible to satisfactorily answer the research question, and that "Anarchist" Epistemology from Paul Feyerabend and "Multiple" Semiotics from Umberto Eco are necessary for Inquiry-based Science Teaching when we study concepts of Modern Physics with students in the ninth grade of Elementary School. And finally, we proposed a relationship between the different semiotic and epistemological views for the activities to be developed in Inquiry-Based Teaching Sequences.

Keywords: Inquiry-based Science Teaching; Modern Physics; Semiotics; Epistemology

SUMÁRIO

FOLHA DE AVALIAÇÃO	4
TABELA DE SIGLAS.....	5
TABELA DE FIGURAS.....	6
DEDICATÓRIA.....	7
AGRADECIMENTOS	9
RESUMO.....	13
ABSTRACT	15
1 INTRODUÇÃO	21
2 ALGUNS ASPECTOS DO ENSINO DE CIÊNCIAS POR INVESTIGAÇÃO.....	29
2.1 UMA ESTRUTURA PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS POR INVESTIGAÇÃO	30
2.1.1 O conteúdo a ser ensinado	31
2.1.2 As metodologias de Ensino.....	34
2.1.3 O Papel do Professor	37
3 TRABALHANDO COM O ENSINO POR INVESTIGAÇÃO – UTILIZANDO SEQUÊNCIAS DE ENSINO	40
3.1 PONTOS FUNDAMENTAIS DE UMA SEI.....	40
3.2 OITO ASPECTOS IMPORTANTES PARA SE ELABORAR UMA SEI	45
4 E O QUE OS PROFESSORES TÊM A NOS DIZER?.....	54
4.1 O DESENHO DO CURSO DE FORMAÇÃO CONTINUADA DE PROFESSORES	55
4.2 O CONTEXTO DA TOMADA DE DADOS	60
4.3 METODOLOGIA DE QUESTIONÁRIOS	61
4.3.1 Questões Iniciais.....	63
4.3.2 Questionário objetivo – perfis dos professores	64
4.3.3 Questões Finais	64

4.4 ANALISANDO OS DADOS OBTIDOS.....	65
4.4.1 Analisando as respostas do “Professor 1”	69
4.4.2 Analisando as respostas do “Professor 3”	69
4.4.3 Analisando as respostas do “Professor 5”	70
4.4.4 Analisando as respostas do “Professor 6”	71
4.4.5 Analisando as respostas do “Professor 28”	72
4.5 VISÃO GERAL DOS DADOS	73
5 EPISTEMOLOGIA.....	78
5.1 VÁRIAS VISÕES SOBRE O CAMINHAR DA CIÊNCIA.....	79
5.2 AS EPISTEMOLOGIAS NO ENSINO DE CIÊNCIAS POR INVESTIGAÇÃO ..	86
5.3 O ANARQUISTA, A FÍSICA MODERNA E O ENSINO DE CIÊNCIAS POR INVESTIGAÇÃO	92
6 IMAGEM, ABSTRAÇÃO, MODELAGEM.....	96
6.1 A IMPORTÂNCIA DAS IMAGENS PARA A FÍSICA ATÔMICA.....	97
6.2 O ÁTOMO DE BOHR.....	98
6.3 AS IMAGENS E SUA IMPORTÂNCIA NO ENSINO DE CIÊNCIAS POR INVESTIGAÇÃO	100
6.4 A ABSTRAÇÃO E A MODELAGEM NA FÍSICA E NO ENCI.....	103
6.5 MODELOS E INTERPRETAÇÕES NA FÍSICA QUÂNTICA E NO ENSINO DE CIÊNCIAS POR INVESTIGAÇÃO	106
7 SEMIÓTICA (OU A CIÊNCIA QUE ESTUDA A MENTIRA)	111
7.1 SEMIÓTICA, SEMIOLOGIA E UMBERTO ECO.....	112
7.2 SEMIÓTICA, EPISTEMOLOGIA E A ANARQUIA DE PAUL FEYERABEND	114
7.3 SEMIÓTICA E O ENSINO DE CIÊNCIAS	116
7.4 APLICANDO A SEMIÓTICA AO NOSSO TRABALHO.....	124
8. A EPISTEMOLOGIA, A SEMIÓTICA E O LABORATÓRIO: OS NÍVEIS E OS GRAUS DE LIBERDADE DE INVESTIGAÇÃO.....	129
9. COMENTÁRIOS FINAIS E PROPOSTAS PARA O FUTURO	138

9.1. A SEMIÓTICA.....	138
9.2. A EPISTEMOLOGIA.....	140
9.3. A FORMAÇÃO DE PROFESSORES.....	142
9.4. E A QUESTÃO DE PESQUISA, FOI RESPONDIDA?.....	143
9.5. CONSIDERAÇÕES SOBRE OS PRÓXIMOS PASSOS DA PESQUISA.....	148
10. REFERÊNCIAS.....	151
ANEXO 1 – RESPOSTAS DOS PROFESSORES 1, 3, 5, 6 E 28.....	163
ANEXO 2 – RESPOSTAS DOS PROFESSORES SOBRE A RELAÇÃO ENTRE O TEMA DO CURSO E A APLICAÇÃO DESSE TEMA NAS ATIVIDADES DO PRÓPRIO CURSO.....	194
ANEXO 3 – QUESTIONÁRIO LÚDICO (PESSOA JR, 2003).....	197
ANEXO 4 – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO.....	206
ANEXO 5 – QUESTIONÁRIO USP-ESCOLA – PERFIL DO PARTICIPANTE.....	207

“Esperançar”

Paulo Freire já dizia: ‘É preciso ter esperança, mas tem de ser do verbo esperançar, porque tem gente com esperança do verbo esperar, e, aí, não é esperança, mas pura espera’.

(CORTELLA, 2015, p. 22)

1 INTRODUÇÃO

Estamos terminando nossa tese de doutoramento, e neste momento podemos pensar em como chegamos até aqui. O percurso foi longo e cansativo. E não estamos pensando no período de isolamento físico a que nos impuseram a pandemia de Covid e a falta de vacinas. Estamos considerando o tempo de vida mesmo.

A experiência como professor da rede pública estadual paulista traz em si a vivência de uma cobaia. Assim nos sentimos nessa rede, com cada administração fazendo algo novo e diferente, porém, pouco proveitoso. Mesmo quando acertam, esforçam-se em mudar para ficar ruim. Cada ano temos uma surpresa. Cada gestão, uma regra diferente. Cortes salariais e desprezo pelo trabalho docente. E a coisa só piora.

Intrigante é o passar do tempo. Por vezes nem o sentimos. Por vezes ele nos assusta. É o que acontece com os experientes. Sofrer com etarismo é algo novo em nosso conceito de vida. E isso é somado ao desprezo estatal em São Paulo, pelos docentes de carreira, os novos, os antigos.

Todavia, somente com essa experiência é que pudemos perceber as sistêmicas falhas nos sistemas. Na Pós-graduação e no Ensino Superior podemos perceber, sentir nos ossos, o etarismo e o preconceito com as Ciências ligadas ao Ensino. Na Educação Básica podemos perceber, observar, medir, o descaso oficial pelo desenvolvimento de um Ensino de boa qualidade, desafiador e igualitário.

E assim, nessas condições que pudemos, dentro de nossos limites, empreender uma pesquisa que traz luz a uma área em desenvolvimento e que pode ajudar outros pesquisadores a compreender melhor os limites do Ensino de Ciências por Investigação.

Dessa forma, como podemos pensar o Ensino de Ciências por Investigação (EnCI) quando tratamos da Física Moderna no Ensino Fundamental? Será possível utilizarmos totalmente o quadro teórico já bem definido sobre o EnCI para a Física Clássica (CARVALHO, 1999; BORGES, 2002; CARVALHO, 2007; CARVALHO, 2011; BELLUCCO, CARVALHO, 2014; CARVALHO, 2014; CARVALHO, 2015; CARVALHO, 21

2016; SASSERON 2008; SASSERON e CARVALHO 2008; SASSERON e CARVALHO, 2011; ODY; LONGO, 2018; MORAES; CARVALHO, 2018;) e simplesmente aplicá-lo ao Ensino de Física Moderna?

Possivelmente não é assim tão simples. Nos livros coordenados por Anna Maria Pessoa de Carvalho (CARVALHO, 2015; CARVALHO, 2016) existem indícios de que as bases do Ensino por Investigação não são hermeticamente fechadas. Podemos ter como exemplo a base epistemológica que se apoia em Bachelard, Popper e até, possivelmente em Kuhn (CARVALHO, 2015, p. 4-5). Outro exemplo é a base piagetiana de desenvolvimento da criança (CARVALHO, 2016, p. 2-9), mas que pode ser vigotskiana atualizada, uma vez que desde 2010 já é conhecida a melhor tradução para o antigo e equivocado termo ZDP (Zona de Desenvolvimento Proximal): ZDI – Zona de Desenvolvimento Iminente (PRESTES, 2010, p. 173), e que a autora ainda mostra em sua tese que não é apenas uma questão de tradução, mas uma compreensão diferenciada do processo.

Além desses, ainda aparecem outros pontos mais relacionados com o próprio Ensino de Física Moderna. Pontos estes relacionados com dois aspectos inerentes a esse campo da Física: abstração e modelagem.

Piaget já nos traz em seu “Desenvolvimento das Quantidades Físicas na Criança” (PIAGET e INHELDER, 1971) que é possível trabalhar o significado de “atomismo” em crianças de 12 anos (pp. 165-166) e como consequência, uma abstração desse conceito: de que a matéria é composta por pequenas partes, invisíveis, mas existentes.

Já a modelagem está mais ligada à semiótica. Umberto Eco, semiólogo italiano, em seu “Tratado Geral de Semiótica” faz uma relação entre as ideias de Piaget, o aprendizado de crianças e a semiótica necessária para apreender novos conceitos, principalmente os abstratos (ECO, 2014, p. 145). Aqui o problema torna-se um pouco mais complexo, como veremos mais detalhadamente à frente, pois a Semiótica traz em seu corpo teórico a importância da cultura de um povo, ou de um grupo social, para que se tenha uma imagem (icônica ou escrita, por exemplo) de algo que seja abstrato. Dessa forma, mesmo que para um povo, ou grupo social, esse conceito de “algo abstrato” seja “algo real” para outro povo ou grupo social pode não ser.

Assim, quando pensamos em Ensino de Ciências por Investigação da Física Moderna para estudantes do Ensino Fundamental, é necessário repensar o próprio Ensino por Investigação em suas bases. E assim temos nossa questão norteadora, que também chamamos de **questão de pesquisa**:

Quais seriam as contribuições da Epistemologia e da Semiótica para que o Ensino de Ciências por Investigação possa ser utilizado por professores dos anos finais do Ensino Fundamental, para trabalharem conceitos de Física Moderna e Contemporânea em suas aulas de Ciências por meio de Sequências de Ensino por Investigação?

Para iniciar nossa análise, no segundo capítulo, devemos rever os conceitos inerentes ao Ensino de Ciências por Investigação (EnCI), verificando suas bases nas teorias educacionais e epistemológicas, delineando seus limites e verificando como o EnCI é utilizado no ensino de conceitos de Física Clássica.

Em seguida, no terceiro capítulo, discorreremos sobre as definições de uma Sequência de Ensino por Investigação (SEI), que também é uma forma para se compreender melhor o EnCI. Uma SEI é uma ferramenta para se desenvolver ações de EnCI em sala de aula, e tem pontos essenciais a serem verificados e oito aspectos importantes a serem observados (CARVALHO, 2011; LOPES, 2013) para então encontrar nosso caminho nos meandros do ensino de conceitos da Física Moderna sob a luz do Ensino de Ciências por Investigação. Até este momento fizemos um levantamento da teoria envolvida e uma revisão teórica do EnCI. Porém, quando precisamos rever os processos internos do EnCI, também se faz necessário uma pesquisa de campo. A partir daqui a estrutura do texto segue a estrutura do pensamento científico quando se depara com um problema significativo. Para isso, vejamos um pouco o histórico da pesquisa.

Em 2017 sabíamos que havia um problema na aplicação de SEI's no Ensino de Ciências por Investigação, quando o tema era relacionado com a Física Moderna e Contemporânea, como verificado por Leandro Saca (2017). Dessa forma propusemos cursos nos Encontros USP Escola (EUE) durante o nosso doutoramento, testando cada parte da proposta feita em Lopes (2013). Durante esse processo foi necessário limitar nosso público-alvo, trabalhando então com professores da

Educação Básica, dos Anos Finais do Ensino Fundamental, mais especificamente, professores do nono ano. Percebemos que as limitações na formação de professores, tanto a inicial quanto a continuada, favoreciam o surgimento de dificuldades de compreensão dos estudantes, quando o tema era Física Moderna. Buscamos conhecer o perfil dos professores por meio de questionário (Anexo 5), com a intenção de conhecer melhor esses cursantes.

Nos primeiros cursos pudemos aplicar a proposta de SEI da dissertação de Lopes (2013), com o intuito de preparar os professores para aplicar essa SEI com seus alunos. Todavia, durante esses cursos as dificuldades na compreensão do tema pelos cursantes foi interessante. Não que não compreendessem, mas sim traziam compreensões diferentes, não necessariamente erradas, porém com epistemologias e semióticas diferentes. Daí, portanto, nos aprofundamos em algumas epistemologias que estariam relacionadas com o Ensino de Ciências por Investigação e em semióticas diferentes que poderiam auxiliar na elaboração dos cursos que seriam desenhados então.

Os dois últimos cursos, cujos dados utilizamos para esta tese, foram desenhados segundo as pesquisas prévias sobre Epistemologia e Semiótica. Porém os dados vieram primeiro que as teorias. E isso é algo que acontece frequentemente em uma investigação científica, por isso os capítulos deste texto estão nessa ordem. Dessa forma, o texto que apresentamos segue o padrão de um processo de investigação em Ciências, onde, com base em um conjunto de conhecimento inicial propomos novas teorias, testamos as teorias em novos experimentos e depois analisamos os dados. Investigamos, então as possibilidades e limitamos a pesquisa em Epistemologia e Semiótica e as algumas possíveis contribuições dessas Ciências para o Ensino de Ciências por Investigação.

Assim, no quarto capítulo vamos ver como professores responderam às questões que surgiram ao se depararem com o Ensino de Física Moderna por Investigação para alunos dos anos finais do Ensino Fundamental, mais especificamente do nono ano. Neste capítulo apresentamos os resultados de duas pesquisas efetuadas com professores em cursos de 30 horas oferecidos durante os Encontros USP-Escola, promovidos pela APEP (Associação dos Professores de

Escolas Públicas e Escolas sem fins lucrativos) em conjunto com a Pró-Reitoria de Cultura e Extensão da USP em janeiro de 2019 e em janeiro de 2020.

Nessa parte da pesquisa pudemos perceber algumas limitações do EnCI quando pensado apenas com relação à Física Clássica. A falta de consideração à diversidade epistemológica do pensamento científico tanto para professores quanto para alunos, tanto no desenho das SEI's, quanto na avaliação das respostas dos alunos, é um ponto relevante que surgiu.

O mesmo acontece para aspectos semióticos escolhidos por professores tanto quando se faz o desenho de suas aulas e de suas SEI's, quanto da avaliação de atividades dos alunos desenvolvidas durante a execução das Sequências de Ensino por Investigação.

Dessa forma, no quinto capítulo visitamos a Epistemologia e como ela pode ajudar no EnCI. Desde o empirismo de Roger Bacon e Galileu Galilei, passando pelos indutivismo e dedutivismo de Francis Bacon, chegando até Bachelard, Popper e Kuhn, epistemólogos mais recentes e que consideram o desenvolvimento da Física Moderna no início do século XX. Intentamos buscar refúgio em Feyerabend e seu anarquismo para compreender como os professores utilizaram a epistemologia para explicar o conceito de átomo para alunos do nono ano do Ensino Fundamental, especialmente em trabalhos nos laboratórios, dentro de um contexto de atividades em uma Sequência de Ensino por Investigação.

No sexto capítulo nos referimos então ao processo de abstração e modelagem, e para analisar esse processo utilizamos a teoria Semiótica de Umberto Eco (1975, 2013, 2014). Tanto Peter Galison (GALISON, 1997) quanto Niels Bohr (BOHR, 1979) nos trazem a certeza de que as imagens e as abstrações são importantes na compreensão da Física Moderna quando se trata de partículas.

No capítulo sete tratamos um pouco mais aprofundadamente a Semiótica e como ela se relaciona com a Epistemologia. Segundo Badir e Lemos (2020) essa relação é antiga (desde meados do século XIX) e começa com as duas Ciências juntas, uma buscando ser a iniciadora da outra. Também veremos como a Semiótica pode ser utilizada tanto para a análise de respostas das atividades de uma Sequência

de Ensino por Investigação (SEI), quanto para a elaboração e o desenho desse tipo de sequência de ensino.

O capítulo oito retoma a Epistemologia e a Semiótica no contexto dos laboratórios investigativos e como eles estão, ou não, presentes nessas propostas. E mais, se essas propostas de laboratórios já contemplam essas duas Ciências importantes para o desenvolvimento de atividades científicas no contexto escolar.

É bom notar que existem várias escolas semióticas pelo mundo, sendo as mais utilizadas a de Peirce, de Saussure e de Greimas. Neste ponto, como a Semiótica é uma Ciência nova, muitos discordarão, porém há outro ponto a se considerar, caso pensemos em Análise Semiótica, Lucia Santaella nos diz o seguinte:

[...] quando se tem em mira a análise e interpretação de certos tipos de signos, os narrativos, por exemplo, ou os discursivos, as semióticas narratológicas e a semiótica greimasiana dispõem de meios capazes de realizar essa tarefa de modo muito mais proveitoso [...] do que qualquer utilização, por melhor que seja, das classificações de signos de Peirce. (SANTAELLA, 2018, p. xx).

Já Umberto Eco faz diversas abordagens não somente de Peirce, Saussure e Greimas, mas também de diversos outros, mesclando-os e ampliando-os em seus “Tratado de Semiótica Geral”, “La Estructura Ausente” e “Da árvore ao Labirinto”, demonstrando uma estrutura e uma visão próprias, principalmente quanto ao iconismo, muito importante para a abstração e à modelagem de símbolos. Recorrer ao Umberto Eco e não a Peirce, a Saussure ou a Greimas é muito mais expansivo e completo para o que buscamos dentro do Ensino de Física Moderna, uma vez que seus livros têm muitas referências tanto à Física Geral quanto à Física Moderna (ECO, 2014, pp. 42 e 171).

Então, dentro do escopo do nosso trabalho, escolhemos analisar o pensamento, as ideias, os conceitos dos professores de Ciências do Ensino Fundamental sobre questões acerca da Física Moderna. Partindo dos pontos essenciais e dos pontos importantes de uma SEI fixamos na problemática do professor e de seu pensamento sobre a Física Moderna, mais especificamente sobre o conceito de átomo e como eles ensinariam esse conceito aos alunos do nono ano do Ensino Fundamental (EF).

Caminhamos então para uma compilação das ideias que, originalmente, surgiram quando aplicamos nosso trabalho teórico de nossa dissertação de mestrado (LOPES, 2013), em aulas de um curso para alunos do Ensino Médio em uma escola da rede pública estadual. Durante a aplicação participamos de uma coleta de dados para a pesquisa de Leandro Saca para sua dissertação (SACA, 2017). Durante as aulas pudemos perceber que as Sequências de Ensino por Investigação que montamos para nosso mestrado não estavam tendo o resultado esperado. Percebemos que faltava algo e então foi o mote para o desenvolvimento desta pesquisa que se encerra com esta tese de doutoramento. Portanto, no nono capítulo debatemos os resultados obtidos sob a luz da nossa revisão do EnCI, com foco no Ensino de Física Moderna no EF e em nossa questão de pesquisa.

Ensinar exige disponibilidade para o diálogo

Nas minhas relações com os outros, que não fizeram necessariamente as mesmas opções que fiz, no nível da política, da ética, da estética, da pedagogia, nem posso partir de que devo conquistá-los, não importa a que custo, nem tampouco temo que pretendam “conquistar-me”. É no respeito às diferenças entre mim e eles ou elas, na coerência entre o que faço e o que digo, que me encontro com eles ou com elas. É na minha disponibilidade à realidade que construo a minha segurança, indispensável à própria disponibilidade.
(FREIRE, 1996, p.135)

2 ALGUNS ASPECTOS DO ENSINO DE CIÊNCIAS POR INVESTIGAÇÃO

O Ensino de Ciências por Investigação, aqui no Brasil, tem bases bem definidas para o ensino de conceitos em Física, porém relacionados com a Física Clássica (CARVALHO, 1999; BORGES, 2002; MUNFORD; LIMA, 2007; SASSERON; CARVALHO, 2008; SASSERON, 2008; CARVALHO, 2011; CARVALHO 2014; BELLUCCO, 2014; CARVALHO 2015; SASSERON, 2015; MANFREDO; SPERANDIO; ROSSIERI; ROCHA, 2017; LOBATO, 2020; CARVALHO, 2021), e na maioria destes trabalhos, as idades dos alunos é de até 12 anos. Também é bom notar que a maioria dos trabalhos estudados são de pesquisadores ligados direta ou indiretamente ao grupo de pesquisas do Laboratório de Pesquisa e Ensino de Física (LaPEF). No Ensino Fundamental, o nono ano é composto por alunos de 13 e 14 anos e os conhecimentos trabalhados com estes estudantes estão relacionados com a Física Moderna, sendo um dos casos o “estudo do átomo”.

Como queremos revisitar as bases do EnCI precisamos revê-las em suas raízes, passando pelas bases de teoria educacional, as metodologias sociointeracionistas de Vigotski e interacionistas de Piaget, e pelas bases das epistemologias de hipotético-dedutiva de Bacon em sua maior proporção de propostas de pesquisas, de superação de obstáculos de Bachelard e ou até mesmo de quebra de paradigmas de Kuhn, ambas em muito menor proporção. Neste ponto, Grandy e Duschl (2007) apontavam que o Ensino de Ciências precisava ser revisto, pois, para eles, esse Ensino não estava acompanhando a Ciência:

A educação científica continua a ser dominada por visões hipotético-dedutivas da ciência, enquanto os filósofos da ciência têm mostrado que a investigação científica tem outros elementos igualmente essenciais: desenvolvimento de teoria, mudança conceptual e construção de modelos. Isto não significa que os cientistas não se envolvam mais em experiências. Em vez disso, o papel dos experimentos está situado na construção, teste e revisão de teorias e modelos, e o caráter dos experimentos está situado na forma como escolhemos conduzir observações e medições; ou seja, coleta de dados. O perigo é privilegiar um aspecto da prática científica em detrimento de outros. (GRANDY; DUSCHL, 2007, p. 143, tradução nossa)

Mesmo assim veremos apenas alguns aspectos da teoria que estão relacionados mais intimamente com nossa pesquisa, especialmente com

Epistemologia, Semiótica e a construção de uma Sequência de Ensino por Investigação.

2.1 UMA ESTRUTURA PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS POR INVESTIGAÇÃO

Em nossa visão, o ensino da Ciência passa por diversos caminhos que seguem a humanidade desde suas origens. Se é uma técnica lascas de pedras, por exemplo, a tecnologia desenvolvida com as pedras lascadas para a sociedade da época foi muito válida, favorecendo o desenvolvimento de comunidades que estavam com maiores chances de aproveitar sua caça, sua pesca e sua colheita. Técnica e tecnologia começam a fomentar o avanço da sociedade primitiva do *homo habilis*. Nessa nossa visão, a Ciência somente florescerá quando a sociedade prescindir de pessoas pensantes, que desenvolvam novas técnicas e tecnologias por meio de estudos da natureza, como o calendário, a localização e a previsão do tempo por indícios.

Essas pessoas, mais experientes e mais velhas que a grande maioria das pessoas a sua volta, ensinarão essas técnicas e as tecnologias aos mais jovens, por meio de contos em cavernas, iluminadas pelas fogueiras. Desenhar nas paredes das suas cavernas como usar as ferramentas para caça, pesca e coleta ajudam a planejar as ações futuras da comunidade. E é nesse planejamento que começa a surgir a Ciência no seio dos povos primitivos. Como temos diversos povos primitivos que puderam se desenvolver até seus clãs tornarem-se grupos sociais mais complexos, temos diversos caminhos para o desenvolvimento científico, que veremos mais adiante nesta tese com o estudo do conhecimento, ou epistemologia. E é com esse olhar de uma Ciência diversa que podemos iniciar o nosso caminho pelo que já temos dentro do Ensino de Ciências por Investigação.

Podemos iniciar com algumas visões mais restritas do EnCI, e depois podemos expandi-las. Assim, segundo Carvalho (2015, p.1) existem critérios estruturantes para o Ensino das Ciências, tais como o conteúdo a ser ensinado, as metodologias de ensino e o papel do professor. Em seu livro “Ensino de Ciências por Investigação – condições para sua implementação” (2016), Anna Maria Pessoa de Carvalho nos traz uma revisão bibliográfica de referenciais teóricos muito importante também. Partindo

destes dois textos podemos rever as bases do Ensino de Ciências por Investigação. Segundo a autora,

[...] não podemos mais continuar ingênuos sobre como se ensina, pensando que basta conhecer um pouco o conteúdo e ter jogo de cintura para mantermos os alunos nos olhando e supondo que enquanto prestam atenção eles estejam aprendendo. Temos, sim, de incorporar a imensa quantidade de pesquisas feitas a partir dos anos 50 sobre a aprendizagem em geral e especificamente sobre a aprendizagem dos conceitos científicos, incluindo, com destaque, as discussões de como os trabalhos em história e filosofia das ciências podem contribuir para uma melhor compreensão dos próprios conteúdos das Ciências, funcionando como auxiliar em seu ensino e sua aprendizagem. (CARVALHO, 2015, pp. 1 e 2).

Mesmo assim, não é possível simplesmente inserir estes conceitos sem uma estrutura, sem uma reflexão. É necessário pensar em critérios estruturantes de forma a auxiliarem o desenvolvimento e a implementação destes novos conceitos, e que são o conteúdo a ser ensinado, as metodologias de ensino e o papel do professor. Vejamos eles, então, com maiores detalhes.

2.1.1 O conteúdo a ser ensinado

O conhecimento produzido pela humanidade cresceu exponencialmente, e ainda cresce. Como é possível o professor dar conta desse aumento em suas aulas? Resposta: não é possível. Por isso é necessário repensar como estudar estes conteúdos, como trabalhar com essa massa de conhecimentos em sala de aula.

A BNCC (Base Nacional Comum Curricular, BRASIL, 2018) traz informações sobre os conteúdos a serem trabalhados e quais as competências devem ser atingidas por meio de uma lista de habilidades a serem desenvolvidas. E, segundo a BNCC para o Ensino Fundamental, nono ano, para as Ciências da Natureza e suas Tecnologias (BRASIL, 2018, p. 350-351), na unidade temática matéria e energia, cujos objetos de conhecimento são os aspectos quantitativos das transformações químicas, a estrutura da matéria e as radiações e suas aplicações na saúde, indicam as seguintes habilidades:

- Investigar as mudanças de estado físico da matéria e explicar essas transformações com base no modelo de constituição submicroscópica.

- Comparar quantidades de reagentes e produtos envolvidos em transformações químicas, estabelecendo a proporção entre as suas massas.
- Identificar modelos que descrevem a estrutura da matéria (constituição do átomo e composição de moléculas simples) e reconhecer sua evolução histórica.
- Planejar e executar experimentos que evidenciem que todas as cores de luz podem ser formadas pela composição das três cores primárias da luz e que a cor de um objeto está relacionada também à cor da luz que o ilumina.
- Investigar os principais mecanismos envolvidos na transmissão e recepção de imagem e som que revolucionaram os sistemas de comunicação humana.
- Classificar as radiações eletromagnéticas por suas frequências, fontes e aplicações, discutindo e avaliando as implicações de seu uso em controle remoto, telefone celular, raio X, forno de micro-ondas, fotocélulas etc.
- Discutir o papel do avanço tecnológico na aplicação das radiações na medicina diagnóstica (raio X, ultrassom, ressonância nuclear magnética) e no tratamento de doenças (radioterapia, cirurgia óptica a *laser*, infravermelho, ultravioleta etc.).

Como podemos ver, nosso trabalho está em acordo com a BNCC, principalmente relacionado ao terceiro item da lista de habilidades. Ainda em 2019 o estado de São Paulo publicou em agosto o seu Currículo Paulista – Etapa Ensino Fundamental trazendo maior especificidade para esse tópico, na unidade temática Matéria e Energia, no objeto do conhecimento Estrutura da Matéria, as seguintes habilidades:

(EF09CI03). Identificar e descrever modelos referentes a estrutura da matéria, de modo a conhecer a constituição do átomo e composição de moléculas simples e comparar estes modelos a outros propostos ao longo da história das descobertas científicas.

(EF09CI01). Investigar as mudanças de estado físico da matéria para explicar e representar essas transformações com base no modelo de constituição submicroscópica. (SÃO PAULO, 2019, p. 392)

Porém, para que o ensino nessa área esteja relacionado com Ensino por Investigação as relações entre habilidades e competências não podem ser as que Perrenoud (2001) aponta a seguir, tão somente

1. Organizar e estimular situações de aprendizagem.
2. Gerar a progressão das aprendizagens.
3. Conceber e fazer com que os dispositivos de diferenciação evoluam.
4. Envolver os alunos em suas aprendizagens e no trabalho.
5. Trabalhar em equipe.
6. Participar da gestão da escola.
7. Informar e envolver os pais.
8. Utilizar as novas tecnologias.
9. Enfrentar os deveres e os dilemas éticos da profissão.
10. Gerar sua própria formação contínua.

Seria essas competências eternas ou permanentes? Representariam alguma forma de paradigma? Não são estes os casos. Para Perrenoud os professores não têm somente saberes, ou conhecimentos, como nos aponta Tardif (2012), e esse ponto deve ser desenvolvido também nos cursos de formação continuada para estes profissionais. A questão da formação de professores, que também é trabalhada no Encontro USP-Escola pelo grupo Arte e Ciência, precisa ser ampliada, pois a visão de competências precisa ser compreendida como o resultado da interconexão de conhecimentos, habilidades e atitudes, que resultam em uma competência, que pode e deve gerar uma ação (FREITAS; ODELIUS, 2018; ESCOTEIROS DO BRASIL, 2019 a, b).

Assim o conteúdo a ser ensinado também deve ser repensado não somente de acordo com Tardif e Perrenoud, ou algo a ser simplesmente listado em um currículo, como na BNCC e no Currículo Paulista, nas etapas do Ensino Fundamental e do Ensino Médio. O conteúdo a ser ensinado deve também conversar com algumas perspectivas gerenciais, valorizando o trabalho dos docentes, tal como ocorre no Encontro USP-Escola, que favorece não somente um acréscimo de conhecimentos, mas traz possibilidades de desenvolvimento de habilidades e atitudes por meio de atividades e experimentos, dentro do âmbito das ações do grupo Arte e Ciência, promovendo o desenvolvimento de competências, pois exige dos professores cursistas ações ao final do curso, tais como planejamento e execução, demonstrativa, de SEI's que são compartilhadas com os demais cursistas.

Ainda, segundo Gil-Pérez, precisamos apoiar o professor nas transições dos currículos. Como recentemente aconteceu na rede estadual paulista, que não preparou a sua equipe de docentes para os “itinerários formativos” do Novo Ensino Médio, o que causou muitos problemas e pedidos de encerramento da sequência de aplicação das modificações que vieram com a última reforma da Educação Básica. Essas dificuldades sentidas pelos docentes da rede estadual paulista poderiam ser evitadas, pois, para Gil-Pérez

Não basta, pois, planejar cuidadosa e fundamentadamente um currículo se o professorado não recebe a preparação adequada para implementá-lo. E não se trata simplesmente de proporcionar aos professores e professoras instruções detalhadas através de manuais ou de cursinhos *ad hoc*. (GIL-PÉREZ, 1996, p. 71)

2.1.2 As metodologias de Ensino

Segundo Carvalho (2015), as metodologias de ensino também são bases importantes a serem consideradas na estrutura do Ensino de Ciências. Tanto a epistemologia quanto as teorias educacionais são importantes para embasar as metodologias de ensino. Sendo assim, devemos rever um pouco dessas visões.

A autora mostra que a Filosofia da Ciência, a reflexão teórica da Ciência, é antiga e deve remontar desde os primórdios da própria Ciência. Porém destaca que a Filosofia da Ciência “somente no início do século XX se constitui em disciplina acadêmica independente, com um perfil epistemológico próprio e com um corpo profissional de pesquisadores” (CARVALHO, 2015, p. 4). E ainda Carvalho separa em dois momentos a Filosofia da Ciência: um período até meados do século XX, relacionado ao positivismo lógico, e um segundo momento a partir dos trabalhos de Bachelard, pois o Ensino de Ciências, e especificamente o EnCI, utilizam as epistemologias de Bachelard (CARVALHO, 2015, p. 4; CARVALHO, 2016, p.6). Todavia, com relação a Popper e Kuhn (CARVALHO, 2015, p. 4), devemos nos ater mais um pouco sobre as ideias contidas em suas teorias.

Sobre Bachelard a autora traz que a visão dele sobre a Ciência é que “todo conhecimento é a respostas de uma questão” (BACHELARD, 1996), e continua

Entretanto não deve ser uma questão ou um problema qualquer. Essa questão ou esse problema, para ser uma questão para os alunos, deve estar dentro de sua cultura, sendo interessante para eles de tal modo que se

envolvam na busca de uma solução e na busca desta solução deve-se permitir que exponham seus conhecimentos espontâneos sobre o assunto. (CARVALHO, 2015, p. 4)

E, para Bachelard, o aluno chega a uma aula de Física já com conhecimentos empíricos já constituídos e, para o autor

[...] não se trata, portanto, de *adquirir* uma cultura experimental, mas sim de *mudar* de cultura experimental, de derrubar os obstáculos já sedimentados pela vida cotidiana (BACHELARD, 1996, p. 23; itálicos no original).

Carvalho ainda aponta os epistemólogos Kuhn e Popper como importantes contribuintes para o desenvolvimento das pesquisas em ensino de Ciências:

Uma segunda época, dentro do desenvolvimento do pensamento filosófico, surge a partir das obras que marcaram uma crítica ao positivismo lógico, abarcando desde Bachelard, quando em 1938 publicou o livro *A formação do espírito científico*, e Popper com *A lógica das investigações científicas* em 1934, recebendo grande impacto com o livro de Kuhn, *A estrutura das revoluções científicas* (1962), até a absorção aos finais dos anos 80, por parte da sociologia das ciências, do enfoque historicista iniciado por Kuhn. Essas linhas filosóficas influenciaram diretamente quase a totalidade das pesquisas em ensino de ciências feitas nas últimas décadas, as quais direcionaram para a busca de soluções para o problema da construção racional do conhecimento científico. (CARVALHO, 2015 a, p. 4).

Quanto às teorias educacionais temos como bases as ideias de Piaget e de Vigotski. Em um trabalho de pesquisa em ensino dispensa-se a apresentação destes dois pesquisadores, porém é necessário ver, na visão de Carvalho, como eles influenciam o EnCI.

Para Carvalho, as descobertas de Piaget são relevantes quanto ao perceber o indivíduo como um construtor de seu próprio conhecimento

Chamando a atenção tanto para a continuidade como para a evolução desse processo deram ferramentas teóricas importantes para o entendimento do processo de aprendizagem em sala de aula e contribuíram com uma série de conceitos bastante utilizados nas pesquisas em Didática das Ciências. (CARVALHO, op. cit., p. 5).

Piaget, tanto quanto Bachelard, mostra que é importante considerar o aluno além de uma tábula rasa, sem conhecimentos ou sem estruturas de pensamentos

[...] os alunos trazem para as salas de aula noções já estruturadas, com toda uma lógica própria e coerente e um desenvolvimento de explicações causais que são fruto de seus intentos para dar sentido às atividades cotidianas, mas diferentes da estrutura conceitual e lógica usada na definição científica desses conceitos, abalou a didática tradicional, que tinha como pressuposto

que o aluno era uma *tábula rasa*, ou seja, que não sabia nada sobre o que a escola pretendia ensinar. (CARVALHO, op. cit., p. 5, itálico no original)

Já na obra de 2016, p. 3, Carvalho especifica mais as contribuições de Piaget para o EnCI, em que aponta que o

[...] entendimento da necessidade da passagem da *ação manipulativa para ação intelectual* na construção do conhecimento [...] tem um significado importante no planejamento do ensino, pois a finalidade das disciplinas escolares é que o aluno aprenda conteúdos e conceitos, isto é, constructos teóricos (itálicos no original)

Mas existe uma ressalva da pesquisadora (CARVALHO, op. cit., p. 3):

Todos os ensinamentos que podemos extrair das pesquisas e teorizações piagetianas são muito importantes para nos guiar para a construção de novos conhecimentos pelos alunos; no entanto, na escola, nas salas de aula, não trabalhamos com um único indivíduo, ao contrário temos de trinta a quarenta alunos juntos! É nessa ocasião, na construção social do conhecimento, que temos de levar em consideração os saberes produzidos por Vigotsky.

Assim ainda temos Vigotski como o teórico sociointeracionista importante para o EnCI, e para Carvalho (2016, p. 3-4)

A importância do psicólogo Vigotsky para o ensino fundamenta-se em dois temas que o pesquisador desenvolveu em seus trabalhos. O primeiro, e para nós o mais fundamental, foi mostrar que “as mais elevadas funções mentais do indivíduo emergem de processos sociais”.

E, para o segundo tema, a autora mostra que

O segundo tema foi demonstrar que os processos sociais e psicológicos humanos “se firmam por meio de ferramentas, ou artefatos culturais, que medeiam a interação entre os indivíduos e entre esses e o mundo físico”. Assim o conceito de interação social mediada pela utilização de artefatos sociais e culturalmente construídos (o mais importante deles é a linguagem) torna-se importante no desenvolvimento da teoria vigotskyana, uma vez que mostra que a utilização de tais artefatos culturais é transformadores do funcionamento da mente, e não apenas um meio facilitador dos processos mentais já existentes. (CARVALHO, op. cit., p. 4)

Ainda há o conceito de zona de desenvolvimento proximal (ZDP), que segundo Carvalho (2016, p. 4), é outro conceito importante dentro do quadro teórico de Vigotski. Segundo a autora é a ZDP que

Define a distância entre o “nível de desenvolvimento real”, determinado pela capacidade de resolver um problema sem ajuda, e o “nível de desenvolvimento potencial”, determinado pela resolução de um problema sob a orientação de um adulto ou em colaboração com outro companheiro.

Vigotski dá muita importância ao professor, portanto devemos olhar também com mais cuidado esse elemento importante no trabalho em sala de aula. Todavia recomendamos uma leitura e um estudo aprofundado do trabalho de Zoia Prestes sobre Zona de Desenvolvimento Iminente (PRESTES, 2010), pois não é somente uma questão de tradução, mas uma questão de compreensão do processo de ensino e aprendizagem, em que, entre outros pontos, o professor está na ZDI e pode, em princípio, auxiliar o aluno desenvolvendo direcionamento com perguntas.

2.1.3 O Papel do Professor

Para o Ensino de Ciências por Investigação o uso de Sequências de Ensino por Investigação (SEI) é uma ferramenta importante e necessária para o desenvolvimento de uma cultura científica. Nesse aspecto Carvalho (2016) traz as contribuições de Vigotski para essa área de pesquisa, pois o professor tem um papel importante como elaborador de perguntas e questões, pois ajudará no desenvolvimento da ZDI (sobre a ZDI recomendamos uma leitura mais aprofundada do trabalho de Zoia Prestes de 2010) com seus alunos.

Ainda em Carvalho (CARVALHO, 2015, p. 9), a autora nos aponta que a linguagem do professor é uma linguagem singular

A linguagem do professor é uma linguagem própria – a das ciências ensinadas na escola, construídas e validadas socialmente –, visto que uma das funções da escola é fazer com que os alunos se introduzam nessa nova linguagem, apreciando sua importância para dar novo sentido às coisas que acontecem ao seu redor, entrando em um mundo simbólico que representa o mundo real.

Além disso a própria formação profissional pode trazer entraves para o docente e sua prática em sala de aula. Segundo Carvalho (2016, p. 10-11)

Existe um grande problema na formação de professores do qual não podemos fugir. Uma coisa é o futuro professor num curso de formação, falar sobre o ensino e mesmo planejá-lo. Outro, é esse mesmo aluno/professor pôr em prática todas as ideias que tão bem defendeu teoricamente.

E ainda expande o problema

As ideias inovadoras e criativas sobre o ensino de determinado conteúdo, amplamente discutidas e aceitas em um curso de formação, quase nunca são acompanhadas por uma prática docente compatível, quando esse mesmo professor enfrenta a sua sala de aula. (CARVALHO, op. cit., p 11)

Então, assim Carvalho aponta que os professores devem então participar de atividades de metacognição, como por exemplo, rever suas aulas por meio de vídeos, promovendo reflexão entre professores e alunos. E desse tipo de atividade metacognitiva, seria necessário alcançar ao menos três condições:

1. Problematizar a influência no ensino das concepções de Ciências, de Educação e de Ensino de Ciências que os professores levam para a sala de aula;
2. Favorecer a vivência de propostas inovadoras e a reflexão crítica explícita das atividades de sala de aula;
3. Introduzir os professores na investigação dos problemas de ensino e aprendizagem de Ciências, tendo em vista superar o distanciamento entre contribuições da pesquisa educacional e sua adoção. (CARVALHO, 2015, p. 12)

Destas três condições, chama-nos a atenção a primeira, pois nela reside a força das concepções epistemológicas dos professores. Ou seja, de certa forma, como o professor interfere na construção da visão epistemológica dos alunos no Ensino de Ciências, como podemos perceber na descrição da autora

A literatura tem mostrado a força das concepções epistemológicas dos professores sobre a natureza da ciência que ensinam, de suas concepções alternativas sobre o ensino e da forma como os alunos aprendem e a influência dessas representações nas decisões sobre o ensino e nas práticas docentes. (CARVALHO, 2015, p.12)

De posse dessas ideias e concepções sobre o Ensino de Ciências, em geral, e sobre o Ensino de Ciências por Investigação, de forma especial, iremos focar em como uma SEI pode ser elaborada e quais as suas limitações. Intentamos mostrar, nos capítulos posteriores, que alguns pontos dentro do quadro teórico do EnCI, e da SEI, podem e devem ser repensados para o caso do Ensino de Física Moderna.

Ensinar exige pesquisa

Não há ensino sem pesquisa e pesquisa sem ensino.*

** Fala-se hoje, com insistência, no professor pesquisador. No meu entender o que há de pesquisador no professor não é uma qualidade ou uma forma de ser ou de atuar que se acrescenta à de ensinar. Faz parte da natureza da prática docente a indagação, a busca, a pesquisa. O de que se precisa é que, em sua formação permanente, o professor se perceba e se assuma, porque professor, como pesquisador.*

(FREIRE, 1996, p.29)

3 TRABALHANDO COM O ENSINO POR INVESTIGAÇÃO – UTILIZANDO SEQUÊNCIAS DE ENSINO

O Ensino de Ciências por Investigação pode ser pensado e analisado, entre outros modos, por meio das Sequências de Ensino por Investigação, as SEI. Nessas sequências veremos a importância do papel do professor, por isso é que, neste primeiro momento de nossa pesquisa, nos debruçamos sobre o professor e seu trabalho. Vejamos então os quatro pontos fundamentais e depois os oito aspectos importantes de uma SEI, para então discutirmos as bases do EnCI.

Reverendo parte da literatura conhecida sobre Sequências de Ensino por Investigação (MUNFORD; LIMA, 2007; LOPES, 2013; SASSERON, 2015; MANFREDO; SPERANDIO; ROSSIERI; ROCHA, 2017; LOBATO, 2020; CARVALHO, 2021) podemos obter informações importantes para se elaborar uma SEI. Uma Sequência de Ensino por Investigação necessita de uma base teórica para se sustentar, e esta base nós conhecemos como Ensino por Investigação. No caso particular de nossa área, também acrescentamos o termo “Ciências”, para restringir nossa área de trabalho. Claro que também, mais especificamente, tratamos do Ensino de Física Moderna.

3.1 PONTOS FUNDAMENTAIS DE UMA SEI

O professor, ao planejar atividades com os seus alunos de forma dirigida, está propondo uma sequência didática. Essa sequência pode ser feita de diversas formas, e as mais comuns são aquelas com o uso de giz, lousa, caderno e livros, ou seja, sem a participação ativa dos alunos. Porém, como afirma Paulo Freire (1996), “não há docência sem discência”, ou seja, não é possível ser docente sem a interação discente. E em outro momento Paulo Freire também descreve um processo no qual o professor poderá se tornar um “falso sujeito da formação” do futuro objeto do seu ato formador (FREIRE, 1996, p. 23):

O professor que se entende como aprendiz no processo de formação estará mais apto a se compreender como formador, incompleto, mas um formador, ou seja, que desde os começos do processo, vá ficando cada vez mais claro que, embora diferentes entre si, quem forma se forma e re-forma ao formar e

quem é formado forma-se e forma ao ser formado. É neste sentido que ensinar não é transferir conhecimentos, conteúdos nem formar é ação pela qual um sujeito criador dá forma, estilo ou alma a um corpo indeciso e acomodado.

Então, ter somente uma sequência didática não é necessariamente ter acesso a uma ferramenta que possibilita a Alfabetização Científica. Em uma sala de aula o estudante interage com outros colegas e com o professor em diversas atividades, algumas dessas atividades sendo dirigidas pelos alunos ou pelo professor, como em uma sequência didática, por exemplo. E podem existir e se criar várias sequências didáticas, mas como nem todas as sequências que podem ser propostas necessariamente almejam a Alfabetização Científica, uma Sequência de Ensino por Investigação deve ter necessariamente esse aspecto, entre outros.

Para montar uma SEI, precisamos considerar alguns aspectos relevantes, que a pesquisadora de Ensino de Ciências por Investigação, Anna Maria Pessoa de Carvalho, em um trabalho de compilação das teorias sociointeracionista, com base nos estudos de Vigotski, e interacionista, com base nos estudos de Piaget (CARVALHO, 2011), propôs para uma elaboração de sequências de ensino investigativas. Quatro pontos são importantes para fundamentar o planejamento de uma SEI:

- A importância de um problema para um início da construção do conhecimento;
- Partir da ação manipulativa para a ação intelectual;
- A importância da tomada de consciência de seus atos para a construção do conhecimento, e;
- As diferentes etapas das explicações científicas.

Vejamos, então, cada uma detalhadamente. A **importância de um problema para um início da construção do conhecimento**, apontada como um ponto fundamental por Carvalho, é encontrada nas ideias de Bachelard (1996, p. 18) e Carvalho frisa que este ponto é fundamental e que pode ser encontrado nos trabalhos de autores com viés piagetiano. Sempre se inicia a atividade com um indivíduo por meio de questões propostas, de forma a favorecer a organização do pensamento desse indivíduo. Segundo a autora, Bachelard também apresenta essa preocupação

com o início da construção do conhecimento quando ele afirma que “todo conhecimento é a resposta a uma pergunta” (BACHELARD, 1996, p. 18).

Também devemos lembrar Paulo Freire, para quem a educação deve ser libertadora, e para tanto deve ser problematizadora. A Educação, segundo Freire, não está ligada ao ato de depositar, de narrar, de transferir ou de transmitir conhecimentos e valores aos educandos, meros pacientes no modo da “educação bancária”, mas antes ligada a um ato cognoscente, e continua:

Como situação gnosiológica, em que o objeto cognoscível, em lugar de ser o término do ato cognoscente de um sujeito, é o mediatizador de sujeitos cognoscentes, educador e educandos, de outro, a educação problematizadora coloca, desde logo, a exigência da superação da contradição educador - educandos.
(FREIRE, 1987, p. 68)

Segundo Paulo Freire, sem a superação dessa contradição não é possível a relação dialógica “indispensável à cognoscibilidade dos sujeitos cognoscentes, em torno do mesmo objeto cognoscível” (FREIRE, op. cit.). Sabemos que uma “Educação Problematizadora” está além e é maior que a questão de se propor problemas dentro do contexto do Ensino de Ciências por Investigação, uma vez que para o EnCI o problema é uma ferramenta para iniciar o processo investigatório. Todavia, entendemos que o problema tem que ser significativo para os estudantes, e podemos começar com problemas mais simples e depois extrapolá-los. Pois não é possível uma Educação em Ciências lidar com problemas simples sem conexão com o desenvolvimento humano.

Dessa forma, por mais que propor um problema seja uma ferramenta didático-pedagógica dentro do EnCI, esse problema deve ligar-se a outros com relações mais complexas, típicas dos questionamentos da faixa etária dos estudantes envolvidos com a Física Moderna. Estudar o comportamento de elétrons pode ser interessante, mas complexificar o problema trazendo aspectos históricos e consequências econômicas, positivas e negativas, de grupos sociais que estudaram o elétron no passado e que atualmente têm muito mais recursos e avanço tecnológico, pode ser muito mais significativo. Por isso o problema no EnCI é importante. E, também, por isso, que a problematização freiriana é imprescindível no mundo atual.

Também se faz necessária a criação de espaços nas aulas de Ciências para que o estudante possa desenvolver e percorrer as passagens das ações manipulativas para as intelectuais e, também, o percurso inverso, das ações intelectuais para as manipulativas, para a construção de outras hipóteses. O desenvolvimento dessas hipóteses é que levarão o indivíduo a uma ação manipulativa modificada, conforme é possível observar nos trabalhos de Piaget, que sempre apontou essa necessidade de se construir a passagem entre a ação manipulativa para a ação intelectual, ou seja, **partir da ação manipulativa para a ação intelectual**.

Todavia, não foi o que ocorreu nos últimos anos. Não tivemos materiais que favorecessem a experimentação, para que os estudantes pudessem manipular experimentos e, dessa forma, poderem expandir os conceitos adquiridos com ações manipulativas e aplicá-los em ações intelectuais. O que tivemos foi o aumento do uso de material apostilado, resumido e completamente voltado à preparação para concursos vestibulares no Ensino Médio desde a década de 1970, a experimentação em sala de aula reduziu drasticamente (GASPAR, 1998). Apesar de parecer redundante ainda a justificativa de incentivar a produção e uso de atividades experimentais, exploratórias e manipuláveis (SAAD et al, 1995), se faz presente e atual a insistência na questão (MENEZES, 2000; MACEDO, 2003).

O uso de apostilas de cursos preparatórios para vestibulares como materiais didáticos para o Ensino de Física em sala de aula forçou as editoras de livros a percorrerem o mesmo caminho. Uma experiência válida foi a produção dos livros de Física para professores do Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (GREF, 1995, 1996, 1999), mas que ainda falta uma melhor formatação da experimentação indicada além dos aspectos históricos da evolução da Ciência e do sistema produtivo (GREF, 1999).

Além disso, livros didáticos utilizados na formação inicial de professores nas faculdades e universidades (em particular no Instituto de Física da USP) não promovem o uso nem o desenvolvimento de atividades ou experimentos em Física. As apostilas utilizadas nos laboratórios auxiliam na formação científica do futuro professor, mas em absoluto o preparam para as condições adversas de uma rede pública de ensino. Na década de 1980 o IFUSP montou um laboratório circulante (SAAD, 198?), e as apostilas até forneciam material para montagem de experimentos,

mas a ideia central era a formação experimental do aluno do curso de Física que não conhecia as experiências mais comuns desta Ciência. Assim, sair de atividades de “giz e lousa” e exercícios de repetição em livros e apostilas é imprescindível para um bom projeto de Sequência de Ensino por Investigação.

A tomada de consciência pelos indivíduos de forma espontânea, mais especificamente pelos alunos, não ocorre sempre, porém é um aspecto muito importante, essencial na construção do conhecimento científico (CARVALHO, 2011, p. 256). Assim favorecer o surgimento dessa tomada de consciência é papel do professor em uma sala de aula de Ciências, e isso se dá por meio do uso de perguntas e questões propostas aos alunos. O trabalho destes alunos em resolver um problema proposto é que os levará à tomada de consciência de que seus atos constroem o conhecimento.

Segundo Edgar Morin um dos sete saberes necessários à Educação do futuro é a pertinência do conhecimento. Para ele, esse é um problema universal de qualquer cidadão desse novo milênio, e segue questionando (MORIN, 2004, p. 35, itálico no original):

[...] como ter acesso às informações sobre o mundo e como ter a possibilidade de articulá-las e organizá-las? Como perceber e conceber o Contexto, o Global (a relação todo/partes), o Multidimensional, o Complexo?

Dessa forma, para o autor, para se atingir esse ponto é necessária uma reforma. Não uma reforma programática, mas antes paradigmática, uma vez que é a questão fundamental da Educação, pois está relacionada à aptidão de organizar o conhecimento. E para tanto é necessária a tomada de consciência dos atos do educando para a sua construção do conhecimento.

Finalmente, em uma Educação dialógica, em que o debate de ideias é imprescindível, Freire (1987, p. 68) deixa claro que “ninguém educa ninguém, ninguém educa a si mesmo, os homens se educam entre si, mediatizados pelo mundo”. Um aluno não conseguirá tomar consciência que sozinho seus atos são pertinentes na construção do seu conhecimento, será necessário um professor, ou a vida, o mundo numa forma mais geral, como afirma Paulo Freire e, para tanto, é necessário a compreensão da **importância da tomada de consciência de seus atos para a construção do conhecimento** na elaboração de uma SEI.

As questões que o professor propõe aos alunos precisam produzir discussões que cheguem à etapa das explicações científicas. Ao tentar explicar um fenômeno, os alunos começam a se tornar protagonistas da solução, deixando de ser meros espectadores. Nessa etapa, os alunos deixam de se descreverem como agentes do processo e passam a descrever o fenômeno como um agente ativo. Alguns alunos seguem mais além, sugerindo novas palavras ou palavras com novos conceitos, de forma a explicar melhor o que é observado do fenômeno. Ao serem questionados sobre o sucesso da resolução do problema buscam outras palavras, pouco usadas, em seu vocabulário, e segundo Carvalho (2011, pp. 256-257) é o início da conceitualização e afirma que: “Na sala de aula de Ciências o professor deve ter consciência dessa possibilidade ajudando os alunos na conceitualização do conteúdo e não esperando que todos cheguem sozinhos a essa etapa”

Não se pretende criar em sala de aula pequenos cientistas, muito menos esperar que todos os jovens educandos saiam da Educação Básica para áreas científicas nos cursos superiores. Por isso não se colocam aqui regras para ensino de fórmulas, equações ou gráficos, em uma SEI se pretende fomentar a Alfabetização Científica para todos os educandos, e não somente para aqueles que, de uma forma ou de outra, buscam uma formação científica. Para Cachapuz, Gil- Pérez, Carvalho, Praia e Vilches (2005) a Alfabetização Científica não é um desvio ou um rebaixamento do assunto científico para se tornar acessível a Ciência para a população, mas sim uma reorientação do ensino.

Todavia, é necessário, dentro do que temos como conhecimento para elaboração de Sequências de Ensino por Investigação, que nas atividades os alunos tenham conhecimento e contato com as **diferentes etapas das explicações científicas**, em qualquer modelo epistemológico, como veremos mais adiante.

3.2 OITO ASPECTOS IMPORTANTES PARA SE ELABORAR UMA SEI

Agora, para além destes quatro pontos essenciais para a elaboração de uma SEI, Anna Maria Pessoa de Carvalho aponta ainda oito pontos que devem ser seguidos por quem deseja planejar uma SEI (que possam ficar organizadas de tal forma a proporcionar condições para que as interações entre alunos e entre professor

e alunos aconteçam), quanto ao direcionamento do papel do professor como articulador e gerenciador durante esse processo de ensino. Extraímos estes pontos do capítulo que a pesquisadora escreveu em “O uno e o diverso” (CARVALHO, 2011, pp. 257 - 260) e os relacionamos abaixo, pois são relevantes em nosso trabalho:

- A participação ativa do estudante;
- A importância da interação aluno-aluno;
- O papel do professor como elaborador de questões;
- A criação de um ambiente encorajador;
- O ensino a partir do conhecimento que o aluno traz para a sala de aula;
- O conteúdo (o problema) tem que ser significativo para o aluno;
- A relação Ciência, Tecnologia e Sociedade – CTS;
- A passagem da linguagem cotidiana para a linguagem científica;

Agora daremos uma atenção maior sobre cada um destes componentes da SEI, para poder compreender em profundidade cada aspecto.

Pensar em qualquer atividade para alunos sem que se tenha uma participação real do aluno é pensar nulo, dessa forma, a **participação ativa do estudante** deve ser sempre encorajada e estimulada no desenho de uma SEI. Em qualquer teoria construtivista a ideia central é que o aluno construa seu próprio conhecimento, de forma ativa e participativa. E essa participação ativa está implícita no construtivismo de Piaget e, também, nas teorias sociointeracionistas de Vigotski (a Zona de Desenvolvimento Iminente não é atingida individualmente), ou seja, não há aprendizagem sem ação do sujeito, do aprendente (PRESTES, 2010). Este é um ponto comum nas obras de Paulo Freire (1987; 1996), por exemplo.

Atuando em pequenos grupos de alunos em atividades em sala de aula, as interações sociais aparecem em maior destaque. A **interação aluno-aluno** torna-se então um objetivo a ser almejado no desenho de uma SEI, devendo estar presente na proposta desenvolvida. Segundo a autora em uma linha sociointeracionista o trabalho em grupo torna-se muito importante, pois os estudantes podem ter níveis de desenvolvimento real e linguístico assemelhados e isso favorece a comunicação entre eles, em especial sobre aspectos científicos e, segundo a autora, para Vigotski a chave para o entendimento da ação humana, são as ferramentas e os símbolos, os

chamados mecanismos semióticos ou simbólicos que medeiam a ação do sujeito sobre o objeto (CARVALHO, 2011).

Discutindo com seus pares, os alunos levantam hipóteses em questão, testam-nas e refletem sobre elas. A valorização do debate na interação aluno-aluno favorece o desenvolvimento da moralidade.

Uma das tarefas cotidianas do professor é a construção de conceitos científicos com os estudantes em atividades de sala de aula, e estas atividades favorecem a participação ativa na criação do conhecimento. Então o professor precisa dar sentido para as explicações diversificadas apresentadas pelos alunos nas resoluções de problemas (experimentais, teóricos, de lápis e papel, leituras de texto), e para isso esse professor deve promover o questionamento entre os alunos, de forma a dar direcionamento ao raciocínio deles, questões do tipo:

- *O que vocês fizeram? - direcionando a sistematização dos dados;*
- *Como vocês fizeram? - direcionando a tomada de consciência das ações tomadas e a tomar, e sistematizar as relações entre as variáveis do problema;*
- *Como vocês podem explicar isso? - direcionando a busca por justificativas e explicações para as observações*

Fazendo questionamentos destes tipos o professor proporciona maiores oportunidades de participação e de promoção da argumentação nas aulas, aumentando também os meios de desenvolvimento do raciocínio e da habilidade de compreensão dos temas propostos para os alunos. Nessa visão, **o professor é um elaborador de questões** e, portanto, deve estar preparado para tal tarefa. Assim, no desenho de uma SEI, sugerir indicações de questões ou locais que possam ajudar na elaboração delas é muito importante.

O professor deve estimular o desenvolvimento de um ambiente encorajador para que ocorra a plenitude das interações aluno-aluno, e a promoção de questionamentos pelo professor é imprescindível. Assim, como Einstein, Feynman e Schönberg sempre reforçaram em suas aulas, não existe pergunta tola, o aluno não deve se sentir bobo ao fazer perguntas simples, em princípio. Para a Carvalho, um

ambiente encorajador pode sofrer danos sérios com pequenas ações (gestos, palavras, atitudes e comportamentos) positivas ou negativas

Um aluno que recebe um “não você está errado” ou simplesmente o professor ignorar sua participação, terá muita dificuldade de participar novamente, isto é, nunca mais falará sobre o conteúdo do professor, mas irá importuná-lo sempre que possível. O aceitar as idéias do aluno, mesmo que totalmente erradas do ponto de vista do professor, procurando entender qual o raciocínio que o levou àquela conclusão e discutir idéias e não pessoas ajudam e muito a criação de um ambiente encorajador. (CARVALHO, 2011, p. 259)

Assim, a **criação de um ambiente encorajador** deve ser planejada desde o início do desenvolvimento de uma SEI. Além de um professor elaborador de questões, também é necessário um professor ouvinte, compreensivo e estimulador. Orientações sobre como desenvolver esse perfil devem estar permeando todo o texto de desenvolvimento da SEI.

Pensar o estudante como uma tábua rasa ou cristal bruto, pronto para ser modificado pelo professor, depositando no aluno conteúdo e mais conteúdo, sem significados, não é um bom caminho. Nunca foi. E isso ficou muito claro no trabalho de Paulo Freire, *Pedagogia do Oprimido* de 1975 (FREIRE, 1975). No contexto do EnCI, o **ensino a partir do conhecimento que o aluno traz para a sala de aula**, deve ser, assim, o princípio de todo o desenvolvimento dos debates, das perguntas e das questões elaboradas pelo professor. É nesse momento, de verificação do conhecimento que o aluno traz para a aula, que o professor começa a adequar sua Sequência de Ensino por Investigação à turma com a qual está trabalhando. Nesse momento também que o professor pode “ganhar” a turma, com encorajamento e estímulo às perguntas, comentários e respostas dos estudantes no desenvolvimento e aplicação da SEI.

Porém, não estamos tratando de uma educação bancária aqui. No ensino de Física isso é muito importante, principalmente com relação à Física Moderna e Contemporânea: os alunos têm contato direto com muitas informações (corretas ou não) acerca de assuntos científicos. O professor precisa entender isso, e valorizar e desenvolver esse aspecto presente no Ensino por Investigação, criando espaço para as discussões em grupos pequenos, valorizando o surgimento e hipóteses a serem testadas pelo grupo, errados ou não.

Se o aluno não percebe o significado do problema e de suas possíveis consequências ele não se sente motivado, ou seja, o **conteúdo (o problema) tem que ser significativo para o aluno**, como vimos anteriormente. O aluno é quem constrói o seu conhecimento, que será a resposta de uma questão, de um problema. E se esta questão, este problema, não for importante para o aluno, a construção do conhecimento pelo aluno será comprometida negativamente. Este é outro ponto comum nas obras de Paulo Freire (1987; 1996), por exemplo.

O elaborador da SEI necessita ser um pesquisador também. Alguém que mantenha seu espírito conectado aos interesses dos alunos e como estes interesses podem auxiliar no desenvolvimento, na elaboração, no desenho de uma SEI. Não é possível pescar utilizando pizzas como iscas. Nem apresentar minhocas em um jantar. O mesmo deve ser pensado quando se desenha uma SEI. Vários assuntos são pertinentes e interessantes aos estudantes e podem ser utilizados como meio ou como fim para a exploração do conteúdo, ou do problema.

Essa relação já é percebida pela sociedade há algum tempo, ou seja, a relação entre o desenvolvimento científico e tecnológico e o desenvolvimento social não são conceitos restritos à academia, mas pertencentes à toda a sociedade. Em Física Moderna e Contemporânea isso está muito presente, principalmente depois das consequências desagradáveis da Segunda Guerra Mundial, especialmente no Japão. O acidente em Fukushima, com a poluição radioativa de parte do Oceano Pacífico e da sua fauna e flora. Do desenvolvimento da biotecnologia e seus avanços na melhoria de alimentos, por exemplo. Atualmente o desenvolvimento da nanotecnologia, de laboratórios gigantes e seus grandes projetos (como o LHC do CERN), uma fotografia de um buraco negro trazem à tona questões como: “em nosso país há muitos miseráveis, famintos e desempregados, não deveríamos aplicar o dinheiro para aplacar a fome e a miséria de uma vez por todas ao invés de levar um militar para o espaço?”. Ou ainda: “quais as relações entre o desenvolvimento da Física Quântica e a alimentação na mesa do cidadão comum?”.

A **relação Ciência, Tecnologia e Sociedade** precisa estar presente no desenho da SEI, pois necessariamente está presente no cotidiano dos estudantes, mesmo que eles não percebam diretamente. Com o advento da internet e das redes sociais, muita informação boa está circulando, e o professor ou o elaborador de uma

SEI precisa perceber essas conexões. Como o “El Niño” de 2023 afetará a economia global? Como é possível prever seus efeitos? Como compreender suas causas? Câmeras e sensores sensíveis às radiações infravermelhas são utilizadas em satélites para medir as variações das temperaturas das águas superficiais dos oceanos. Essas câmeras e sensores dependem da Física Quântica para funcionarem corretamente. A Mecânica dos foguetes e satélites tem correções relacionadas com a Relatividade Geral. E como o “El Niño” afeta os regimes de chuvas e secas no mundo, a agricultura sofre grandes consequências ruins, afetando os preços dos alimentos e, em sociedades sensíveis, fome e demais problemas sociais e econômicos advindos desse desequilíbrio. Assim a Física Moderna, por meio da Relatividade Geral e da Física Quântica, afeta a mesa do trabalhador, e, portanto, devem ser consideradas para diminuir os problemas na alimentação das pessoas. Essa é uma **relação entre Ciência, Tecnologia e Sociedade** que precisa sempre ser considerada nos desenhos de uma SEI.

Em outro exemplo, Anna Maria explica que

A condição necessária, no ensino de um dado conteúdo de ciências, é que estas propostas inovadoras sejam compostas de atividades de ensino que permitam aos alunos combinar o conhecimento científico que está sendo ensinado com a habilidade de tirar conclusões baseadas em evidências, de modo a compreender e ajudar a tomar decisões sobre o mundo e as mudanças nele provocadas pela atividade humana. É necessário também que estas atividades possibilitem o engajamento reflexivo de estudantes em assuntos científicos que sejam de seu interesse e preocupação permitindo aos alunos compreenderem Ciências e suas tecnologias. Estas condições são necessárias, mas não são suficientes. (CARVALHO, 2007, p. 47)

Nesse contexto, podemos perceber também que os alunos são expostos a vários sistemas simbólicos, tais como a linguagem falada e escrita, linguagem matemática, linguagem corporal, linguagens gráfica e pictórica, e que podem ser utilizadas para favorecer a construção, a descrição e a apresentação dos processos e dos argumentos científicos. São habilidades e competências a serem desenvolvidas desde cedo, desde o Ensino Fundamental, nas aulas de Ciências e o professor precisa saber como transpor a linguagem comum do aluno para a linguagem científica.

A linguagem científica precisa ser definida melhor aqui. Lopes (2013) traz duas visões sobre a Alfabetização Científica, propostas por Douglas Roberts (2007), e que

são importantes para compreender como a linguagem científica é compreendida no contexto do EnCI:

Ainda podemos ter duas visões da Alfabetização Científica. Uma ligada mais propriamente ao termo “Alfabetização” e outra ligada mais ao termo “Científica”. Douglas Roberts (op. cit.) discorre sobre essas duas visões da alfabetização científica. Na primeira visão o termo “scientific literacy” é visto como a alfabetização científica do cientista, como um termo canônico, por exemplo, em um diálogo entre dois pesquisadores em Física Básica o termo wronskiano é utilizado comumente para considerar uma forma de resolução de problemas em Física-Matemática. Os indivíduos cuja alfabetização científica seja esta, o uso desses termos não é estranho, mas possivelmente o é entre pesquisadores em Ensino de Física, uma vez que estariam ligados à segunda visão do termo “scientific literacy”.

Para a segunda visão, segundo Roberts, o termo alfabetização é mais destacado, de forma que a ciência seja discutida em linguagem coloquial, quase como divulgação científica. Nesse caso, um indivíduo comum, alfabetizado cientificamente pode participar de um debate sobre um problema acerca dos prós e contras dos usos de fontes renováveis e não-renováveis de energia. Não utilizará de termos técnicos, mas estará utilizando, todavia, informações baseadas em dados, decorrentes de suas leituras sobre o assunto. (LOPES, 2013, p. 26)

A passagem da linguagem cotidiana para a linguagem científica, é uma forma de se evidenciar o desenvolvimento do pensamento do estudante durante e após a participação em uma Sequência de Ensino por Investigação. Lemke mostra que ao ensinar Ciência não queremos que os alunos simplesmente repitam as palavras como papagaios. Queremos que sejam capazes de construir significados essenciais com suas próprias palavras “[...], mas estas devem expressar os mesmos significados essenciais que hão de ser cientificamente aceitáveis” (LEMKE apud CARVALHO, 2011, p. 36). Veremos mais à frente que o professor, o desenvolvedor, o aplicador de uma SEI precisará mais do que compreender e considerar a simbologia desenvolvida e aplicada pelos estudantes para a compreensão de conceitos em Física Moderna. Pois, se o próprio professor apresenta diferentes linguagens e concepções sobre certos aspectos da Física Moderna, os alunos, decerto, também apresentarão esse tipo de comportamento. Portanto o professor precisa estar sempre preparado para as linguagens e os conceitos desenvolvidos pelos estudantes durante e após a participação em uma SEI.

Estudamos aqui alguns aspectos do Ensino por Investigação que são importantes para o ensino de Física Moderna e que foram relevantes na aplicação das

atividades propostas em Lopes (2013), aplicação essa estudada por Saca (2017) cujos apontamentos serviram de base para o início desta tese.

Ensinar exige rigorosidade metódica

O educador democrático não pode negar-se o dever de, na sua prática docente, reforçar a capacidade crítica do educando, sua curiosidade, sua insubmissão. Uma de suas tarefas primordiais é trabalhar com os educandos a rigorosidade metódica com que devem se “aproximar” dos objetos cognoscíveis.

(FREIRE, 1996, p.26)

4 E O QUE OS PROFESSORES TÊM A NOS DIZER?

Neste momento veremos então quais foram os dados que surgiram com as aplicações de atividades para professores nos Encontros USP-Escola. Primeiramente revisamos o preparo das atividades de formação continuada para professores nestes encontros e utilizamos as ideias de Gil-Pérez (1996). Para ele os cursos de formação continuada devem ter, entre outras características que veremos mais adiante, a característica de ser ao mesmo tempo um momento de aprendizagem e de aplicação do que se aprende. Dessa forma, então, se estamos em um curso sobre Ensino de Ciências por Investigação e que o uso de Sequências de Ensino por Investigação é a principal ferramenta para favorecer essa forma de ensino, então o curso deve não somente versar sobre esse ensino, mas aplicá-lo ao curso, favorecendo a vivência dos cursistas nesse formato. E mais. Que eles também projetem e apliquem, compartilhando e discutindo as SEI que eventualmente tenham elaborado durante o curso, refletindo sobre o seu aprendizado e sua prática. Ao final do curso, então, os professores puderam não só ter uma ferramenta a mais de trabalho, mas também o curso favoreceu o desenvolvimento de professores pesquisadores, que pudessem complementar sua formação buscando na pesquisa sua base de formação continuada. Nesse sentido, as atividades foram elaboradas e testadas, em partes, em diversos cursos entre 2017 e 2020, sendo que pudemos ter os melhores resultados com a aplicação completa da nossa proposta nos Encontros USP Escola de janeiro de 2019 e de janeiro de 2020.

E, então, o que os professores têm a nos dizer? Certamente muita coisa. Tivemos que testar nossas ideias em cursos diferentes dentro do Encontro USP-Escola. Em algumas edições pudemos testar as atividades e em outras a metodologia do Ensino por Investigação, por meio de desenvolvimento e aplicação de SEI's entre os próprios cursistas.

A metodologia que utilizamos em nossa pesquisa de campo foi estruturada com base na ação estratégica da USP chamada Encontro USP-Escola. Historicamente ela surgiu de outra ação estratégica do Instituto de Física da USP (IFUSP), porém ampliou-se, multiplicou-se, expandiu-se além dos limites do IFUSP e atualmente está sob a

guarda da Pró-Reitoria de Extensão da USP, coordenado pela Associação dos Professores de Escolas Públicas e Escolas sem Fins Lucrativos (APEP).

O Encontro USP-Escola é formado por diversos cursos promovidos por diversos institutos e faculdades da USP e voltado para a formação continuada de professores da Educação Básica. São cursos coordenados por professores doutores de Ensino Superior da USP e com apoio de professores da Educação Básica e de graduandos, mestrandos e doutorandos. Servindo também como porta de entrada para interessados nos programas de Pós-Graduação dos institutos e faculdades envolvidas.

O perfil dos professores que participam dos Encontros USP-Escola em cursos oferecidos pelo grupo Arte e Ciência foi analisado por Lopes, Ueno-Guimarães e Muramatsu (2019). Foram estudados os perfis de professores em três edições e cinco cursos entre os anos de 2017 e 2018. O perfil dos professores que participaram do curso que forneceu os dados para a nossa atual pesquisa também foi analisado de acordo com o questionário utilizado para as outras edições (Anexo 5). Tivemos uma leve modificação no perfil, talvez devido à mudança de estrutura do Encontro USP-Escola, que nas edições anteriores estava sob os cuidados do IFUSP e no Encontro de janeiro de 2019 já estava sob os cuidados da Pró-Reitoria de Extensão. Este é um ponto que, nas próximas edições, precisa ser avaliado, pois a mudança de perfil traz mudanças nas análises posteriores.

4.1 O DESENHO DO CURSO DE FORMAÇÃO CONTINUADA DE PROFESSORES

Ao pensar, ao desenhar um curso para professores é necessário ter um olhar diferenciado. É necessário que o docente possa aprender novos assuntos, novos conceitos e novas técnicas? Certamente que sim, porém é necessário também que o curso promova formas de o docente poder aprender a utilizar essas técnicas, estes assuntos e estes conceitos.

Para Daniel Gil-Pérez (1996) as estratégias de formação continuada de professores devem ser repensadas e modificadas, pois não podem ser baseadas na simples transmissão de conhecimentos por meio de manuais ou de cursinhos *ad hoc*

(GIL-PÉREZ, 1996, p. 74). Na verdade, vemos que a crítica apesar de antiga, de quase trinta anos, ainda é atual. Pois na rede estadual paulista a atualização de professores com relação aos itinerários formativos ou é inexistente ou segue cursos de Ensino à Distância, sem aplicação ou debate do material. O que os docentes tiveram, além de algumas palestras e vídeos (SÃO PAULO, 2021 a) tanto no site quanto em um curso em formato de Ensino à Distância (EaD), foram apostilas em formato digital com os conteúdos e matrizes (SÃO PAULO, 2021 b, c). No curso EaD, na plataforma da Escola de Formação, cada unidade curricular de cada itinerário formativo tem apenas um conjunto de vídeos com um professor falando apenas como devem ser desenvolvidas as atividades. Neste momento, primeiro semestre de 2023, alunos de todo o Brasil, mais especificamente do estado de São Paulo estão se mobilizando pela modificação, pelo fim do dito “Novo Ensino Médio”. Uma vez que sua implementação está totalmente equivocada, conforme podemos perceber com os trabalhos de Gil-Pérez e de outros pesquisadores, que já apontavam que esse tipo de crise aconteceria caso não fossem considerados os avisos dados e compilados no livro “Formação Continuada de Professores de Ciências” (MENEZES, 1996). São vários, os avisos, mas podemos ler alguns a seguir. Pois, assim, em contraponto ao que está ocorrendo no Brasil com a imposição do Novo Ensino Médio e a formação de professores feita de forma despreocupada com o desenho dela, Gil-Pérez afirma que

[...] a estratégia de formação continuada potencialmente mais produtiva consiste em *inserir os professores na pesquisa dos problemas de ensino-aprendizagem de Ciências* em que se baseia sua atividade docente. Uma investigação inicialmente dirigida – como a que se propõe hoje, a partir das propostas construtivistas, para os estudantes – mas voltada à formação de equipes autônomas de trabalho, vinculadas à comunidade de pesquisadores e inovadores na Didática das Ciências. (GIL-PÉREZ, 1996, p. 77, *itálicos no original.*)

Percebemos que essa linha de pensamento, neste aviso, está em pleno acordo com o que nós, do grupo de pesquisa Arte e Ciência no Parque, propomos nos Encontros USP-Escola: promover a formação continuada dos professores com pesquisadores que desenvolvem na universidade novas técnicas e tecnologias dentro da proposta construtivista que é o Ensino de Ciências por Investigação.

Ainda mais, Gil-Pérez continua com uma descrição de como deve ser a estratégia a ser considerada no curso:

- a) ser concebida em *Íntima relação com a própria prática docente*, como tratamento dos problemas de ensino-aprendizagem que tal prática coloca;
- b) ser orientada no sentido de favorecer a *vivência* de propostas inovadoras e a reflexão didática explícita, questionando o pensamento e comportamento docente “espontâneos”, isto é, o caráter “natural” daquilo “que sempre se fez”;
- c) ser planejada para incorporar os professores na pesquisa e inovação na Didática das Ciências e, desse modo, proporcionar-lhes a construção do corpo de conhecimentos específico da Didática das Ciências e incorporá-los à comunidade deste campo. (GIL-PÉREZ, 1996, pp. 77 e 78, *itálicos no original.*)

E os cursos sempre foram desenhados para terem essa configuração, de forma que os cursistas pudessem não somente “ver” que existe uma estratégia de ensino chamada de Ensino de Ciências por Investigação, que usa uma técnica chamada Sequência de Ensino por Investigação, mas também estudá-las, desenvolver sequências e aplicá-las aos demais cursistas. Assim, com o término do curso, o professor teria algumas SEI’s, testadas e que possam ser utilizadas em sala de aula.

Utilizamos este projeto de curso nos dois Encontros USP-Escola e vários professores gostaram da ideia (temos alguns exemplos no anexo 2). Ou seja, não participaram de um curso sobre Ensino de Ciências por Investigação e a ferramenta da Sequência de Ensino por Investigação somente. Vivenciaram essa ferramenta. E podemos trazer algumas dessas percepções em nosso trabalho. Ao final do curso apresentamos três questões para que os professores refletissem sobre o curso e as possíveis consequências deste sobre suas práticas. As propostas de reflexão foram:

1. Você aplicaria as atividades trabalhadas neste curso? E as apresentadas pelos colegas?
2. Descreva as dificuldades ou facilidade em aplicar as atividades vistas nos cursos USP-Escola.
3. Descreva sua opinião sobre um curso ter tanto experimentos quanto formas de trabalhá-los em sala de aula.

O “professor 3” deixou claro que iria trabalhar com o que foi desenvolvido no curso e que os trabalhos apresentados pelos colegas ao final desse curso são válidos e bem criativos, e segundo o “professor 3”, são boas ideias para executar um trabalho ou atividade.

Já o “professor 9” julga “ser excelente o fato do curso conciliar um grande número de experimentos e diferentes abordagens de trabalho em sala de aula” e termina afirmando que “o uso de sequências de ensino por investigação é uma ferramenta preciosa e poderosa para uma aprendizagem significativa”.

E o “professor 38” declarou que “o educador deva escolher as teorias de ensino a aplicar conforme o caso da escola e alunos de forma a obter o melhor resultado possível. Estas teorias de ensino são como ‘ferramentas’, assim se o educador conhecer várias teorias ele vai poder aplicar a que melhor se adequar a cada caso”.

Buscamos também verificar a atualidade das nossas intenções no desenho do curso, pois nos preocupou muito estarmos utilizando orientação, de certa forma, antigas, de 1996 (ou anteriores). Mas a atualidade das ideias de Gil-Pérez é muito intrigante. Certamente nos diz que ou eram muito avançadas ou que não houve política pública que as considerassem relevantes para desenhar novos cursos de formação continuada. Podemos perceber essa atualidade em autores diversos e suas proposições ainda bem alinhadas com as de Gil-Pérez. Autores como António Nóvoa, Rondon de Souza e Fernanda Bassoli, que apresentamos a seguir, trazem elementos presentes na proposta de desenho da Formação Continuada de Professores de Gil-Pérez.

Podemos perceber que o professor António Nóvoa (NÓVOA, 2019; 2022) corrobora com as ideias de Gil-Pérez no sentido de que o professor deve ser agente de sua transformação. E que, como podemos ter nos Encontros USP-Escola, a base do “Triângulo da Formação” (NÓVOA, 2019, p. 7), Escola e Universidade, como também a relação ternária entre Professor, Universidade e Escola.

Também buscamos, dentro do nosso trabalho em parceria com a APEP (Associação de Professores de Escolas Públicas e Sem Fins Lucrativos), organizadora dos Encontros, contribuir para evitar as ausências, ou incompreensões, como aponta Nóvoa (2022, p. 7), a saber: a desatenção às dimensões institucionais, a depreciação das questões profissionais e a omissão dos referenciais públicos.

Nessa parceria buscamos favorecer a ligação entre a universidade, na figura da USP, as escolas ligadas com os seus professores, os professores e suas

associações na figura da APEP e os responsáveis pelas políticas públicas educacionais, por meio da parceria com a SEDUCSP (Secretaria de Estado da Educação de São Paulo) para promoção e validação dos cursos nos Encontros. É muito importante frisar que esse favorecimento não foi feito por nós, mas participamos desse processo desenhando cursos de 30 horas, elaborados com as pesquisas feitas dentro da universidade e participando das reuniões prévias e pós-turmas aos cursos. E pudemos perceber a importância dada pelos professores por esse arranjo.

Também evitamos a depreciação das questões profissionais. Durante o curso e durante os Encontros fomentamos a colaboração docente e estimulamos a participarem dos coletivos (que fosse a APEP, ou qualquer outro coletivo, pois muitos estão presentes nos Encontros), estimulando o desenvolvimento de conhecimentos próprios dos docentes envolvidos.

Durante os Encontros USP-Escola existem plenárias e assembleias que trazem o debate público da experiência docente, favorecendo a construção de um espaço público de educação. Dessa forma, a promoção do nosso curso por meio do Encontro estimula, até certa medida, a participação ativa do docente em ações de formação continuada muito mais eficazes que se o curso fosse fornecido apenas dentro de uma escola ou dentro de uma sala de uma universidade.

Já Rondon de Souza (SOUZA *et al.*, 2019) na página 397 chama a atenção para um aspecto importante da formação continuada de professores: “aumentar a autoestima dos professores”. E que a “participação dos docentes na elaboração e na concepção da proposta de formação continuada é outro aspecto muito importante”.

Na sequência de validações da nossa proposta para formação continuada de professores, encontramos no trabalho da Fernanda Bassoli e seus companheiros (BASSOLI; LOPES; CÉSAR, 2017) uma análise de três concepções da formação continuada de professores: clássica, prática-reflexiva e emancipatória-política. Nesse trabalho reflexivo sobre formação continuada a autora e seus companheiros indicam, nas considerações finais, que a principal contribuição da pesquisa feita e apresentada no artigo que ora referenciamos, foi a análise e a socialização dos processos de articulação teórico-prática dos programas de formação continuada, dando prioridade à sincronia e sintonia das demandas dos docentes com os resultados das pesquisas

educacionais. Assim, como uma das premissas apontadas pelo Gil-Pérez, o desenho do programa de formação continuada deve considerar a incorporação dos docentes na pesquisa e inovação na Didática das Ciências (GIL-PÉREZ, op. cit., p 78).

E ainda podemos pensar em mais um aspecto importante dentro do que foi proposto no curso oferecido no Encontro USP-Escola. Azeredo, Pizzollo e Bitencourt (2018) nos oferecem uma visão complementar à formação continuada, a autoria, pois segundo os autores, um professor autor pode ser agente da transformação social em que está inserido. Para os autores:

[...] é necessário que o professor se empodere e que, a partir da reflexão de sua própria prática, possa avaliar sua ação conduzindo-a para os anseios da coletividade, aí sim influenciando, com sua prática, uma mudança efetiva na sociedade.

Considerar-se formado, acabado, é esquecer que a vida é dinâmica e continua a nos proporcionar, dia após dia, novas provocações, novas possibilidades, novas verdades. E, na verdade, nunca estaremos completamente formados.

Em suma, a autoria reflete a ação de um sujeito que, a partir da reflexão do contexto em que está inserido, autoriza-se a pensar e assume posições tendo por base o seu próprio pensamento, interferindo no meio.

(AZEREDO, PIZZOLO, BITENCOURT, 2018, p. 163).

Os autores encerram seu artigo descrevendo como a autoria é importante, mesmo sendo desprezada pelo poder público no Brasil nas formações de professores que são oferecidas.

4.2 O CONTEXTO DA TOMADA DE DADOS

Tomamos dados em dois cursos. Um curso analisado foi o de “Física Moderna para os anos finais do Ensino Fundamental”, no Encontro USP-Escola de janeiro de 2019 e o outro, em 2020, também em janeiro e de mesmos título e tema, realizado entre os dias 14 e 18 do mês. Todas as normas da ética na pesquisa com seres humanos (BRASIL; 2016) foram seguidas e os Termos de Consentimento Livre e Esclarecidos estão guardados, e que a confidencialidade dos dados dos autores dos trabalhos analisados (alguns possíveis dados sensíveis que poderiam ter aparecido nas respostas das atividades executadas durante os cursos) está protegida.

Em 2019 tivemos um curso de uma semana, iniciando na segunda-feira, dia 14 e encerrando-se no dia 18, sexta-feira. Estava um verão muito quente e a sala não

tinha condicionador de ar. Ao final da tarde de todos os dias, chovia fortemente, provocando alagamentos pela cidade de São Paulo. Estes eventos climáticos não estavam presentes nas outras edições. Mesmo assim a permanência dos professores foi alta, bem diferente das outras edições.

As inscrições também foram em alto número, inicialmente em 111. Depois da primeira seletiva, quando tenta se confirmar realmente a presença do cursista, chegamos a 55 e depois 45 na semana anterior ao curso. No dia de início do curso compareceram 38 pessoas, de um limite de 40. Mesmo limite em todas as edições analisadas, porém a presença inicial sempre tinha sido de 30% menor que a esperada. E o curso terminou com cerca de 36 pessoas. Estes pontos marcaram o perfil dos cursistas de forma a ser diferenciado das demais edições.

Mesmo assim, apenas 18 participantes, somados os dois cursos, executaram todas as atividades propostas pela pesquisa. Mas os dados obtidos corroboram nossas expectativas quanto à necessária revisão do EnCI e do uso da Semiótica para esclarecer essa revisão.

Em 2020 oferecemos um curso mais enxuto, com menos questionários (retiramos o questionário lúdico de Física Quântica), pois foi um pedido feito pelos cursistas e uma orientação da banca de qualificação.

4.3 METODOLOGIA DE QUESTIONÁRIOS

Os questionários que foram aplicados durante o curso de “Física Moderna para os anos finais do Ensino Fundamental” tiveram algumas características diferentes entre si. Entre eles, utilizamos o questionário lúdico “Qual é o seu grau de realismo?” (PESSOA Jr, 2003, pp. 181 -186, em cópia no Anexo 3) e que não seguiu totalmente as indicações de um bom questionário, trazidas por Moreira e Massoni (2017) e que veremos resumidamente à frente, pois não foi estruturado para ser um questionário de pesquisa. O autor deixou claro ser um questionário “lúdico”, ou seja, sem maiores pretensões. Nós o utilizamos na pesquisa como parte dos trabalhos do curso, uma vez que ao debatermos alguns temas de Física Quântica essa questão sobre realismo dentro do aspecto da Ciência tornou-se relevante.

Porém, o questionário sobre perfis de professores no EUE foi estruturado conforme as sugestões de Moreira e Massoni (2017, pp. 109 - 111) e a análise das respostas foi feita pelos próprios participantes, por meio de um gabarito presente no livro do Osvaldo Pessoa Júnior, (op. cit., pp. 187 - 189).

Para Moreira e Massoni, um bom questionário dever ser, em resumo:

1. Trata de um assunto significativo...
2. Solicita apenas informações que não podem ser obtidas de outras fontes...
3. É tão curto quanto possível...
4. É atraente na aparência...
5. As instruções são claras e completas...
6. As questões são apresentadas em uma boa ordem psicológica...
7. É fácil de tabular e interpretar

Além desses aspectos, ainda os autores indicam que devemos:

1. Limitar a extensão do questionário...
2. Estruturar o formato da resposta tanto quanto possível...
3. Escrever o material introdutório franca e eloquentemente...
4. Prever a possibilidade de que os respondentes saibam os resultados da tabulação se assim o desejarem.

Propusemos questões iniciais na segunda-feira de manhã, primeiro dia de curso, antes de qualquer outra atividade do curso. Estas questões foram divididas em duas partes: de padronização e de pesquisa. As questões de padronização seguiram sugestões apontadas em Eco (2014) para que as pessoas presentes no curso refletissem um pouco sobre substantivos concretos e abstratos e as suas relações com as imagens que vinham às mentes deles quando se deparavam com termos relativos a substantivos concretos e substantivos abstratos. E essas questões iniciais de padronização estavam relacionadas com as ideias e conceitos que pretendíamos estudar no nosso doutorado.

Essas questões também foram feitas ao final do curso na sexta-feira, ao final da tarde, para termos uma possibilidade de estudo das opiniões antes e depois do curso sobre os conceitos de Física Moderna e suas aplicações em sala de aula.

Ainda foram propostos um questionário lúdico sobre o grau de realismo científico dos professores, na quarta-feira, e outro questionário objetivo sobre o perfil do professor, na quinta-feira.

4.3.1 Questões Iniciais

Para as questões iniciais o pesquisador enunciava em voz alta a seguinte frase: “O que vem à sua mente quando se depara com o seguinte termo?”; e em seguida o termo era projetado, via projetor eletrônico em uma tela, de forma que todos os professores pudessem ver o termo de forma igual e ao mesmo tempo.

Para as questões de padronização foram apresentados os termos: “CADEIRA”, em primeiro lugar, e “AMOR”, em segundo. E para as questões de pesquisa foi apresentado o termo “ÁTOMO”, em primeiro lugar e foi perguntado, depois, “Como você explicaria o termo “ÁTOMO” para alunos do nono ano do Ensino Fundamental?” Não foi dado limite de tempo e foi orientado que os professores poderiam utilizar totalmente a folha em branco oferecida.

O termo “CADEIRA” foi escolhido como representante dos substantivos concretos que, supomos, ser de conhecimento de todos e que teriam referências na sala onde estávamos trabalhando. De certa forma o termo “CADEIRA” traz simbolismos à mente de qualquer pessoa e, na semiótica, podemos tratar estes símbolos de formas diferenciadas. Frequentemente quando nos deparamos com esse tipo de termo podemos distinguir entre a palavra “CADEIRA” e a imagem de uma “CADEIRA”. O mesmo ocorrendo com a palavra “AMOR” e a imagem que tenhamos de “AMOR”, e essas diferenças podem ser vistas em Eco (2014, p. 169-190), quando ele debate o iconismo e suas relações com a semiótica.

Essas questões iniciais de padronização foram pensadas para estimular os professores a pensarem em possibilidades diversas e sobre assuntos diversos quando fossem questionados sobre o termo “ÁTOMO”, que também tem essas características, estimulando os professores a se questionarem sobre ser o “ÁTOMO” algo concreto ou abstrato, real ou imaginário.

4.3.2 Questionário objetivo – perfis dos professores

Foi pedido aos professores que respondessem o questionário objetivo, “Perfil do Participante” (Anexo 5), para conseguirmos traçar um perfil do participante do curso. O questionário foi idêntico a outros aplicados em outras edições do Encontro USP – Escola, questões do tipo: onde estudou, onde trabalha, se participou de programa de pós-graduação, quantas vezes participou do Encontro USP-Escola.

Verificamos que o questionário estava de acordo com as recomendações de Moreira e Massoni (2017, resumido anteriormente), pois era longo o necessário para obter os dados essenciais, mas também curto para que respondessem com tranquilidade. Foi estruturado para que os professores escrevessem o mínimo possível: nome, endereço de e-mail e telefone para contato. Todas as demais questões foram diretas e algumas com múltipla escolha. O questionário também foi feito de forma que os dados pudessem ser tabulados e interpretados de forma simples e direta, obtendo repostas em porcentagens que nos auxiliaram a ter uma boa aproximação do perfil real dos professores cursistas em relação aos participantes de outras edições dos Encontros USP-Escola, que já foram divulgados anteriormente (LOPES; UENO-GUIMARÃES; MURAMATSU, 2019).

4.3.3 Questões Finais

As questões finais foram apenas de pesquisa, com o mesmo formato. Primeiramente foi falado em voz alta a pergunta: “O que vem à sua mente quando se depara com o termo:” e depois foi projetado o termo “ÁTOMO” para todos. Esperávamos respostas diversas das que tivemos no início do curso. De mesma forma, fizemos com a pergunta: “Como você explicaria o termo “átomo” para alunos do nono ano do Ensino Fundamental?”.

Em nenhum dos casos estipulamos tempo para respostas ou limite de uso de papel. A nossa intenção foi obter respostas que pudessem ser comparadas com as iniciais e que, de alguma forma, auxiliassem a busca pelas nossas bases teóricas.

4.4 ANALISANDO OS DADOS OBTIDOS

Os dados que obtivemos forneceram várias informações que apresentaremos no restante deste capítulo. Dividimos em **considerações gerais sobre os dados obtidos** acerca das respostas de todos os professores e em **respostas completas**, considerando apenas os dados obtidos dos professores que responderam todas as questões e questionários, com participação total em todas as atividades.

Para essa análise utilizamos o olhar de Feyerabend sobre a possibilidade de compreender a Ciência não com um olhar ou outro. Não como indutivista ou falsificacionista, como um sistema de saltar obstáculos epistemológicos ou quebras de paradigmas. E a visão de Feyerabend nos mostra que:

A ideia de um método que contenha princípios firmes, imutáveis e absolutamente obrigatórios para conduzir os negócios da ciência depara com considerável dificuldade quando confrontada com os resultados da pesquisa histórica. Descobrimos, então, que não há uma única regra, ainda que plausível e solidamente fundada na epistemologia, que não seja violada em algum momento. Fica evidente que tais violações não são eventos acidentais, não são o resultado de conhecimento insuficiente ou de desatenção que poderia ter sido evitada. Pelo contrário, vemos que são necessárias para o progresso. (FEYERABEND, 2011b, p. 37).

E que é reforçado por Feyerabend em “A Ciência em uma sociedade livre” (FEYERABEND, 2011 a, p. 58), que é possível rever casos históricos, por exemplo no caso da transição das teorias sobre o movimento da Terra, das ideias de Ptolomeu e Aristóteles para as ideias de Copérnico e Galileu. Ele lista seis visões para essas explicações e, claro, todas são baseadas em fatos científicos e foram, até certa forma, muito bem explicadas cientificamente. Nessa lista, Feyerabend elenca o empirismo ingênuo, o empirismo sofisticado, o convencionalismo, o falsificacionismo, a teoria da crise e a explicação do programa de pesquisa. Todas até certo ponto, igualmente válidas. Tanto quanto o é a explicação mecanicista de Isaac Newton para as órbitas dos planetas ao redor do Sol, e não é porque ela é falha com Mercúrio, que deixamos de lado e dizemos aos alunos: “Esqueça Newton!”. Muito pelo contrário. Utilizamos Newton em todos os casos possíveis, simplesmente esquecendo a Relatividade Geral de Einstein. Ao mesmo tempo utilizamos o olhar de Umberto Eco de “A busca da língua perfeita na cultura europeia” (ECO, 2001) e “Da árvore ao labirinto” (ECO, 2013), em que o autor nos apresenta várias formas de apresentação da comunicação humana por meio da semiótica em diversas épocas. Nos limitamos a buscar ligações

entre as teses de Roger Bacon, meados do século XIII, limite inferior da época que estamos tratando, com o empirismo filosófico, também muito utilizado por Galileu Galilei (FEYERABEND, 2011b, p. 41) e a época das listas como forma de comunicação semiótica nessa época da idade média. E, como limite superior os próprios trabalhos de Umberto Eco e Paul Feyerabend às portas do século XXI. Assim, nas respostas dos professores buscamos referências às listas, dicionários, conhecimentos enciclopédicos, metáforas, denotações, símbolos, ícones, signos diferenciados e múltiplos, que somente uma abordagem ampla e mais livre, tanto quanto temos em Feyerabend, poderia nos ajudar.

De certa forma, no início deste trabalho já conhecíamos Feyerabend e sua anarquia. Ao nos aprofundar nos estudos do pensamento de Paul Feyerabend, percebemos que, apesar de não terem trabalhado juntos, ele e Umberto Eco têm proximidade intelectual e filosófica. E o principal atributo deles é a liberdade de coordenar e amalgamar pensamentos de pessoas diferentes em suas respectivas áreas e obter, ao final, um novo conhecimento com características próprias, sem necessariamente perder de vista as características das mentes que lhes iluminaram os caminhos. Um caso de interesse em nosso trabalho é o de Jean Piaget, que tem certo destaque nos trabalhos de ambos os cientistas. Umberto Eco pela comunicação e semiótica e Paul Feyerabend pelo conhecimento e desenvolvimento do pensamento. Bom, vejamos como estes dois personagens e suas ideias aparecem nas respostas que pudemos obter dos professores.

No Encontro USP-Escola de janeiro de 2019, no curso de “Física Moderna para o Ensino Fundamental II e Ensino Médio”, tivemos inicialmente 38 professores participantes, porém apenas 35 professores (92%) responderam às questões iniciais de parametrização e destes, 32 professores (84%) responderam às questões iniciais de pesquisa. Depois 20 professores (53%) responderam ao questionário sobre realismo e positivismo, sendo que quatro professores (20%) se identificaram com o “realismo” e 16 (80%) com “positivismo”. Tivemos 26 professores (68%) que responderam ao questionário sobre perfil e 21 professores (55%) responderam à questão final sobre o termo “átomo” e 20 professores (52%) responderam à questão final sobre explicar o termo “átomo” para alunos do 9º ano do Ensino Fundamental.

Dos professores iniciais dos dois cursos, apenas 18 (47%) participaram totalmente de todas as atividades de pesquisa. Neste momento da nossa pesquisa, nos debruçamos sobre as respostas destes professores que fizeram todas as atividades. Destes 18 professores, 14 (77%) tiveram um aumento de complexidade nas respostas das questões finais, com relação às respostas das questões iniciais. Dois professores (11%) tiveram um leve aumento: um teve um aumento médio (5%) e um outro (5%) não aumentou o grau de complexidade em suas respostas. Também tivemos 74% destes professores que declararam “SIM” para a pergunta sobre conhecer o Ensino por Investigação. Porém não tivemos respostas iniciais ou finais que corroborassem esse dado, uma vez que não houve resposta com atividade investigativa, ou o uso desse termo, para responder à questão sobre como trabalhar o tema “átomo” com alunos do nono ano do EF.

Os professores não utilizaram todo o espaço disponível para responder as questões, mesmo eles tendo como padronização as questões sobre os termos “CADEIRA” e o “AMOR”. No anexo 1 trazemos as respostas dos professores 1, 3, 5, 6 e 28, e podemos ver em todos a subutilização do espaço nas questões em geral. Porém, em média, os professores usaram mais espaço nas respostas das questões finais. Inclusive um professor utilizou toda uma página para trazer suas ideias, mas esse mesmo professor não apresentou mais nenhuma outra contribuição tanto nas outras questões quanto em outros questionários.

Trouxemos para este texto apenas cinco casos interessantes colhidos entre os casos de respostas completas. Destes professores, apenas o professor 3 não completou todas as atividades, porém houve um acréscimo interessante na complexidade de suas respostas e pensamos ser interessante trazer os dados dele para este relatório. Vejamos cada um deles em detalhes, lembrando que as suas respostas estão no anexo 1. Vale lembrar que, apesar de vários professores participantes terem a intenção de continuar as atividades do curso aos sábados, por exemplo, não foi possível termos essas atividades por conta do isolamento físico durante a pandemia de covid-19 logo no início de 2020. Ao retomarmos contato em 2021, ninguém poderia participar de tais encontros, mesmo que virtuais, devido às demandas de trabalho na época.

	Segunda-feira				Terça-feira		Quinta-feira	Sexta-feira		Complexidade
	Cadeira	Amor	Atomo	Atomo 9º	Entrega	Grau Realismo	Quest. USP Escola	Atomo	Atomo 9º	
professor 1	X	X	X	X	X	R 30	X	X	X	leve aumento
professor 3	X	X	X	X			X	X	X	aumentou
professor 5	X	X	X	X	X	P 80	X	X	X	aumentou
professor 6	X	X	X	X	X	P 68	X	X	X	aumentou
professor 8	X	X	X	X	X	P 60	X	X	X	aumentou: saiu do teórico e foi para o empírico
professor 14	X	X	X	X	X	P 68	X	X	X	aumentou: saiu do teórico e foi para o empírico
professor 19	X	X	X	X			X	X	X	médio aumento
professor 20	X	X	X	X			X	X	X	aumentou
professor 21	X	X	X	X			X	X	X	leve aumento
professor 22	X	X	X	X	X	R 40	X	X	X	nada mudou
professor 26	X	X	X	X	X	P 63	X	X	X	aumentou consideravelmente - átomo
professor 28	X	X	X	X	X	P 63	X	X	X	aumentou consideravelmente - átomo + átomo 9º
professor 29	X	X	X	X	X	P 60	X	X	X	aumentou consideravelmente - átomo + átomo 9º
professor 30	X	X	X	X	X	P 78	X	X	X	aumentou consideravelmente - átomo + átomo 9º
professor 31	X	X	X	X	X	P 56	X	X	X	aumentou consideravelmente - átomo + átomo 9º
professor 32	X	X	X	X	X	R 30	X	X	X	aumentou - átomo; manteve - átomo 9º
professor 33	X	X	X	X	X	P 63	X	X	X	aumentou consideravelmente
professor 34	X	X	X	X	X	P 53	X	X	X	aumentou consideravelmente - átomo + átomo 9º
	4	4	7	7	20	4 R	26	21	20	2
	35	35	32	32	16 P	16 P				18

Figura 1: quadro resumo das respostas dos professores aos questionários e perguntas durante os Encontros USP Escola (EUE) 2019 e 2020

4.4.1 Analisando as respostas do “Professor 1”

O professor 1 respondeu ao questionário lúdico de grau de realismo e chegou à conclusão que pertence ao grupo dos “realistas”. Respondeu que o átomo é uma “partícula” nas questões iniciais e respondeu que ensinaria o conceito átomo para alunos do nono ano do EF como uma “partícula muito pequena, forma substâncias”.

Esse professor foi muito sucinto em suas respostas e, apesar de ter se posicionado como conhecedor do Ensino por Investigação, não propôs atividade alguma nessa linha de trabalho.

Entretanto, nas respostas para as questões finais, respondeu para o termo “ÁTOMO” que “é a menor partícula de um material sem perder suas propriedades”. E para a questão sobre como explicar o conceito “ÁTOMO”, respondeu: “Como explicar: Por meio de modelos e experimentos”. Apesar de não explicitar que usaria atividade investigativas, indicou atividades diferentes de apenas uma explicação. Modelo é um conceito implícito na modelagem de Umberto Eco (ECO, 1999, p. 192).

É importante notar que após o curso o professor percebeu a necessidade de uso de recursos icônicos, de novas teorias utilizando modelos e experimentos, para trazer para os alunos não somente o seu modelo de átomo, mas também para que os alunos possam tentar desenvolver o seu próprio modelo. Este é um ponto que podemos explorar mais com mais pesquisa neste sentido. A preocupação com a experimentação, neste caso, pode ser vista como elemento experimentalista de Roger Bacon e de Galileu Galilei (FEYERABEND, 2011 b, p. 41).

4.4.2 Analisando as respostas do “Professor 3”

O “professor 3” não entregou o questionário sobre o grau de realismo, mesmo assim as diferenças entre as respostas das questões iniciais e finais foram muito interessantes. Para a questão sobre o termo “ÁTOMO”, respondeu com um esquema pequeno do tipo “Átomo => partícula”. E para a questão sobre como ensinaria este conceito para alunos do nono ano do EF, respondeu também com um esquema do tipo “Átomo=> é a menor partícula de que é constituída a matéria”. Quando falamos em matéria estamos falando de tudo o que existe na natureza.

O uso de esquemas é uma forma de apresentar códigos em uma comunicação, conforme Nöth e Santaella (2017, p. 173) e Eco (2013, p. 451). Já, epistemologicamente, o professor traz o conceito de partícula e divisibilidade, e na forma de apresentar já tem um programa de desenvolvimento do trabalho científico, como Lakatos (CHALMERS, 1993, p. 114; FEYERABEND, 2011 b, p. 213-214).

Porém nas respostas das questões finais, para o termo “ÁTOMO”, respondeu ainda com esquema, mas com muito mais complexidade: “Átomo=> minha posição agora é de que há muitas possibilidades de exploração do átomo no sentido da divisibilidade”. E na resposta sobre como ensinaria o conceito para alunos do nono ano escreveu: “Para o 9º ano proporia uma maneira lúdica nas explicações sobre o átomo; isso seria uma forma de iniciação”. Uma maneira lúdica é o que Umberto Eco explica como sendo formas de uso de metáforas (ECO, 2013, p. 103).

Podemos observar um aumento na complexificação das respostas, com o uso de recursos icônicos e, de forma geral, percebeu que podem existir modelos diversos para o mesmo objeto.

4.4.3 Analisando as respostas do “Professor 5”

O “professor 5” respondeu que o “ÁTOMO” está em tudo e fez um desenho clássico de átomo (ver o anexo 1, professor 5) com um núcleo grande e um ponto no centro desse núcleo e duas elipses cruzadas com algumas bolinhas desenhadas nessas elipses. Já para explicar o conceito aos alunos do nono ano do EF fez uma lista de itens:

- É uma sementinha que está em tudo
- É formado por um núcleo, prótons, elétrons e nêutrons
- É o conceito principal de todo o fenômeno da natureza

Ao responder as questões finais trouxe um mapa mental sobre o átomo (ver o anexo 1), com claros sinais de complexificação do conceito, inserindo não somente prótons e nêutrons, mas também quarks, leptos, bósons, matéria e antimatéria. Mas não complexificou muito a resposta sobre como trabalhar com o nono ano, fazendo

apenas algumas considerações acerca do átomo e suas ligações com o desenvolvimento tecnológico e científico.

Quanto à epistemologia, esse professor parte de Lucrecio e a atomicidade pela percepção dos grãos de areia em uma praia. Um dos poucos professores a usar termos como quarks, léptons, bósons, matéria e antimatéria. Descreve os átomos e como esse conhecimento se processa como Demócrito e Leucipo, práticos e empíricos (FEYERABEND, 2010, pp. 84 -85). E a Ciência como prática social, como forma de desenvolvimento social e científico pode ser identificada como objetivismo, apoiado por Popper e Lakatos (CHALMERS, 1993, p. 160).

O “professor 5” chegou à conclusão, por meio das respostas sobre seu grau de realismo que ele na realidade é positivista. O uso de recursos icônicos por meio de mapa mental mostra que estamos no caminho certo em trazer a semiótica para nosso trabalho.

Ícones e esquemas, como já vimos acima, estão bem descritos e estruturados em uma visão de Umberto Eco para a Semiótica. O mesmo acontece com a resposta final, em que elenca conhecimentos como uma enciclopédia ou um dicionário (ECO, 2013, p. 13 e seguintes).

4.4.4 Analisando as respostas do “Professor 6”

O “professor 6” é positivista e respondeu às questões iniciais para o termo “ÁTOMO” com um desenho icônico do átomo clássico, com quatro elipses rascunhadas na folha de respostas, sem mais nenhuma outra anotação, apenas o termo Átomo sublinhado e ao lado do desenho. Para a questão sobre o nono ano do EF, respondeu com a frase: “A menor parte que você pode imaginar de uma matéria, ou substância”.

Já nas respostas das questões finais aumentou a complexificação das ideias por trás do termo “ÁTOMO” e escreveu: “Átomo: conceito ‘primitivo’ onde se imaginava ser a menor partícula da matéria. Hoje já entendemos que existam menores ‘partes’”. E, também, na resposta da questão sobre como trabalhar o assunto com alunos do EF: “Usando paralelos. Assim como a célula tem suas partes, podemos dizer que o átomo também. Paralelo entre um inteiro que é composto por frações”.

O “professor 6” respondeu ter conhecimento sobre Ensino por Investigação, porém em nenhuma das respostas aparece claramente esse enfoque. Todavia, o uso de recursos icônicos (usos de semelhança de imagens mentais) e de modelos, indica também que estes aspectos são importantes para o Ensino de Física Moderna.

As representações icônicas e descritivas nos remetem para as análises de Umberto Eco sobre a interpretação como abdução e o uso de metáforas, um raciocínio por analogias (ECO, 1999, pp. 126-127).

Quanto a parte epistemológica a descrição de que o átomo é: “A menor parte que você pode imaginar de uma matéria, ou substância” e que o conceito “primitivo” de que era a menor partícula da matéria e que “Hoje já entendemos que existam menores ‘partes’” nos remete aos obstáculos epistemológicos de Bachelard, neste caso, a experiência primeira (BACHELARD, 1996, p. 29). Comparando o conceito de átomo como a menor parte da matéria, deduz-se que seja indivisível, e no mesmo conceito mostra-se saber que existam mais e menores parte, subdividindo o átomo, uma demonstração do processo de obstáculos epistemológicos bem bachelardianos.

4.4.5 Analisando as respostas do “Professor 28”

O “professor 28” respondeu também sucintamente que o termo “ÁTOMO” trazia a “imagem dos modelos atômicos” e “muito pequeno”, “microescala” (veja as respostas do professor 28 no anexo 1). E para ensinar o conceito de “ÁTOMO” para alunos do último ano do Ensino Fundamental – Anos Finais (EFAF) respondeu: “Imagine que você possa dividir um objeto qualquer ao meio, de novo, de novo, de novo... e assim infinitamente até chegar a uma pequeníssima porção da matéria, quase indivisível, isso é o átomo. Um dos menores constituintes da matéria que combinado a outros átomos formam as moléculas”

Para as questões finais já houve modificação:

“Átomo: - Modelos do átomo (imagens) ao longo da história
- Mundo quântico”

E para a questão sobre como explicar o conceito para alunos do nono ano do Ensino Fundamental, repetiu parte da resposta inicial, mas aumentou seu aprofundamento: “Átomo é uma das menores partículas da matéria. Imagine que você

divida algo ao meio, de novo, de novo, de novo e, assim sucessivamente até que você chegue à menor porção desse algo, isso é uma molécula. Separando os componentes dessa molécula, você terá os átomos, que são compostos de um núcleo muito pequeno (10^{-14} m) e massivo rodeado de elétrons na sua eletrosfera”.

O “professor 28” se posicionou como conhecedor do Ensino por Investigação, mas também não apresentou nenhuma situação desse tipo de atividade nas duas respostas sobre como ensinar o conceito para os alunos. Ele é positivista e entendeu que precisa de recursos icônicos e de modelagem e interpretações diversificadas para poder ensinar o conceito de átomo para alunos do último ano do Ensino Fundamental.

Semioticamente este professor se posicionou utilizando apenas textos, e com estes textos utilizou-se de metáforas, denotações e analogias que nos remetem a Hjelmslev (ECO, 1998, p. 213), por exemplo, por terem, de certa forma, características dicionarísticas para se distinguir conceitos diferentes.

Epistemologicamente o “professor 28” partiu das ideias atomistas de Lucrecio, Demócrito e Leucipo, chegando ao modelo atômico de Rutherford e Bohr, sem se aprofundar. Descreve uma experiência mental, muito conhecida e utilizada nos diálogos entre Einstein e Bohr (WHEELER; ZURECK, 1983, pp. 3-49). Esse tipo de raciocínio histórico, descrevendo a Ciência normal e podendo chegar a descrever crises e quebras de paradigmas é comum em Thomas Kuhn (FEYERABEND, 2011 b, pp. 270-272; CHALMERS, 1993, p. 125).

4.5 VISÃO GERAL DOS DADOS

Neste ponto de nossa pesquisa pudemos perceber em todas as respostas, e não somente nos exemplos que trouxemos, que o uso de recursos semióticos: icônicos e textuais foram necessários para se estruturar tanto o pensamento sobre o termo “ÁTOMO”, quanto para se buscar uma forma de explicação desse termo para alunos do nono ano do Ensino Fundamental. Umberto Eco (1975, 2013, 2014) traz isso em seus textos, inclusive sobre a Física e da Física Moderna.

As imagens são muito importantes para a Física, principalmente para a Física micro e submicroscópica (na verdade atômica) pois, segundo Galison (1997, p. 19),

não é possível trabalhar com dados diretos já que não é possível ver as partículas pequenas, os eventos pequenos, de pequena escala. Mesmo que indiretamente, não é possível verificar todos os eventos, porque estão em pequena escala. Dessa forma trabalha-se na pesquisa de dados indiretos, medidas indiretas, inferindo-se as causas. E a melhor forma de encontrar estes dados é por meio de imagens: podemos ter contagens de múons, mas somente com as imagens dos traços conseguidos por César Lattes (GALISON, 1997, p. 205) realmente foram considerados como descobertos.

Pudemos perceber também que houve um aumento de complexificação das respostas, aumentando o uso de recursos semióticos: textos mais elaborados; mapas conceituais; ícones mais detalhados. Necessita-se melhorar nossos estudos no sentido de se ter cuidado com os detalhes (VIENNOT, 2005). A autora nos faz lembrar de que detalhes críticos podem trazer problemas de interpretação do assunto, não importando, inclusive, do nível de escolaridade que estamos estudando. Desenhar um átomo seguindo o ideal clássico traz problemas como a questão do modelo a ser seguido: o professor já traz essa ideia em sua mente, e espera que os alunos cheguem a ela, desencorajando os que se desviam desse seu modelo pré-concebido.

Também foi possível observar, mas não em todos os casos, que os professores buscaram explicações diferenciadas utilizando modelos epistemológicos diferenciados em suas propostas de atividades para o nono ano. Esse tipo de pensamento, não metódico, está relacionado com a epistemologia de Feyerabend (2011 b), em que o autor propõe que a Ciência trabalha sem uma metodologia fechada, mas com diversas, todas juntas e misturadas, dependendo do que o pesquisador pretende buscar. Mesmo assim Feyerabend adverte que o pesquisador deva ter uma regra, uma linha de pensamento, uma metodologia e que a obra dele não quer afirmar que a Ciência trabalha sem uma linha metodológica, mas sim, que trabalha com diversos métodos e não com um somente (FEYERABEND, 2011 b, p. 47). Em sala de aula o professor deve estimular os alunos a buscar seu próprio método e deixar claro que o importante é ter um método, qualquer que seja ele. Dentro do contexto da Física Moderna, principalmente, é necessário, às vezes, métodos variados para se obter os resultados das análises dos dados (FEYERABEND, 2011 b, p. 64-65).

Ao perceber que os professores utilizam modelos diferentes para suas explicações, precisamos também trabalhar mais com as interpretações da Física Quântica e com os modelos atômicos que delas advêm. Podemos buscar na bibliografia várias referências sobre o uso didático das interpretações da Física Quântica e suas implicações culturais, inclusive na formação inicial de professores (MONTENEGRO; PESSOA Jr, 2002; PESSOA Jr, 2003; PESSOA Jr, 2006; GRECA; FREIRE Jr, 2011).

Também foi possível perceber em nossa pesquisa que, apesar de a maioria dos professores declararem conhecer o Ensino por Investigação, nenhum propôs, conscientemente, atividades com esse viés. Para se construir uma Sequência de Ensino por Investigação são necessários vários passos e vários aspectos essenciais devem ser considerados (CARVALHO, 1999; CARVALHO, 2007; CARVALHO, 2011; CARVALHO, 2014; CARVALHO, 2015; CARVALHO, 2016; SASSERON 2008; SASSERON e CARVALHO 2008; SASSERON e CARVALHO, 2011), e que foram indicados no capítulo 3. E, neste sentido, também não foi possível identificar qualquer aspecto do Ensino de Ciências por Investigação.

Quanto aos aspectos realistas, positivistas ou antirrealistas, foram interessantes os resultados. A maioria dos professores se descobriu positivista, ou antirrealista, que é uma visão de Hacking (2012) sobre os positivistas. Podemos inferir que sendo positivistas, eles são mais pragmáticos, e devem pensar a Ciência não só como busca de uma verdade, mas também como forma de resolver problemas, gerar tecnologia e dar conta das observações (PESSOA Jr, 2003, p. 188). Sendo que três professores, cerca de 8%, responderam que para a Ciência “não há um único objetivo principal”.

Mesmo os professores percebendo que existem formas diferentes de pensar o termo “ÁTOMO” e que a epistemologia é um fator importante para o trabalho com os alunos, não foi apontado em suas atividades propostas para alunos do nono ano que este aspecto é relevante para a aprendizagem do conceito. Dessa forma também o tipo de laboratório proposto por Borges (2002, p. 306) deve conter mais algum ponto de diferenciação relacionado com a liberdade, ou não, quanto à epistemologia utilizada na aula.

Nenhum professor colocou trabalhos em grupos para aproveitar a Zona de Desenvolvimento Iminente (PRESTES, 2010, p. 173) descrita por Vigotski. Nem nenhuma atividade semelhante à da pesquisa de Piaget e Inhelder (1971, p. 126-166) sobre o atomismo, mesmo que essas pesquisas utilizassem açúcar dissolvido em água, tal qual o artigo de Einstein de 1905, que também utilizou o modelo de açúcar dissolvido para desenvolver uma teoria sobre o tamanho das moléculas (EINSTEIN, 2001, p. 47, 76).

Como outro resultado podemos apontar que a formação inicial dos professores não é suficiente para dar conta do Ensino de Física Moderna. As respostas obtidas apresentam esse aspecto tanto nas escolhidas como exemplos neste relatório, quanto as que foram obtidas na pesquisa em geral. Neste sentido o Encontro USP Escola mostra-se muito importante também, como um espaço para aprendizagem e formação continuada e em serviço destes professores. Dessa forma não só temos que manter o nosso curso, como também ampliá-lo e diferenciá-lo, colocando nele os elementos que encontramos nas análises das respostas em relação às nossas propostas.

Ensinar exige risco, aceitação do novo e rejeição a qualquer forma de discriminação

É próprio do pensar certo a disponibilidade ao risco, a aceitação do novo que não pode ser negado ou acolhido só porque é novo, assim como o critério de recusa ao velho não é apenas o cronológico. O velho que preserva sua validade ou que encarna uma tradição ou marca uma presença no tempo continua novo.

(FREIRE, 1996, p. 35)

5 EPISTEMOLOGIA

A epistemologia que estamos trabalhando neste texto é a epistemologia da Física Moderna. Não é a Epistemologia da Ciência, algo muito aberto e totalmente afeita à Filosofia. Estamos delimitando bem este caminho e esperamos que, no decorrer do texto, tenhamos conseguido sucesso em não só delimitar a nossa epistemologia como também, caso tenhamos saído do caminho, também tenhamos conseguido retornar logo aos nossos limites.

E a relação entre Semiótica e Epistemologia parte do início da Semiótica, segundo Badir e Lemos (2020, p. ii), ideia que é defendida por Waldir Bevidas na sua obra “Epistemologia discursiva: a Semiologia de Saussure e a Semiótica de Greimas como terceira via do Conhecimento” (BEVIDAS, 2020):

Não há como se enganar: a epistemologia está entre os interesses primordiais dos semioticistas, a tal ponto que se apropriaram do termo para atribuí-lo aos fundadores de seu projeto. Ademais, o conjunto das ciências humanas e sociais tem investido no campo epistemológico, e os pensamentos que são tidos como autoridade no campo, em especial o de Peirce, são qualificados como epistemológicos.
(BADIR; LEMOS, 2020, p. ii)

Epistemologia é um termo derivado do inglês, “epistemology”, usado a partir da metade do século XIX em países anglófonos, nos seus discursos filosóficos e aparece na língua francesa apenas no início do século XX. Foi um termo de uso mais estrito na Filosofia francesa por volta de 1901 e no vocabulário comum, a partir de 1906 (BADIR; LEMOS, op. cit., p. iii).

O que nos interessa aqui é que o termo estava mais conectado à Europa e aos Estados Unidos ao final do século XIX e início do século XX. Por isso as maiores referências entre os epistemólogos são, em sua maioria, falantes de línguas destes locais: Bachelard e Canguilhem (pela “epistemologia francesa”) e Popper, Kuhn, Lakatos e Feyerabend (em uma epistemologia “anglófona”). Há uma ressalva dos autores aqui, pois Popper inicialmente escreveu em alemão e Lakatos é húngaro (BADIR; LEMOS, op. cit., p. iv, nota de rodapé).

Dentro deste contexto, consideramos o que os autores Sémir Badir e Carolina Lemos como “epistemologia como abordagem”:

[...] uma epistemologia como abordagem epistêmica pode ser conjugada a métodos que não são considerados epistemológicos e pode ser integrada, como elemento de método e nível de análise, a estudos mais amplos. Esse é o caso da semiótica, para a qual Greimas considerava, desde *Semântica Estrutural* [...], um “nível epistemológico”, que estipulava as “condições de validade da descrição semântica”. Essa acepção se generalizou, principalmente em sua forma adjetival, empregada em diversas locuções *de ordem epistemológica, no plano epistemológico, numa perspectiva epistemológica, nos quadros de uma crítica epistemológica*... Trata-se, a cada vez, de apontar certas condições gerais, independentes dos objetos particulares sob estudo, e nas quais se desenvolve o saber (ou o discurso epistêmico). Essas condições designam, normalmente, princípios de argumentação e normas protocolares de análise. (BADIR; LEMOS, 2020, p. v, aspas e itálico no original).

E é com esse pensamento em foco, sob os conceitos, princípios e normas protocolares elencadas por Greimas sobre a epistemologia como abordagem, que trataremos a Epistemologia em nossa tese. Uma compreensão do termo “epistemologia” mais livre e mais conectada com a realidade da sala de aula, com a formação inicial e continuada de professores e com o formato mais utilizado na comunidade em que estamos inseridos.

Nossa proposta agora é trazer argumentos sobre novas perspectivas para o EnCI, pois já vimos que elas aparecem nas respostas dos professores participantes da nossa pesquisa. Neste e nos próximos capítulos trazemos algumas noções de Epistemologia, Abstração, Imagem e Modelagem e Semiótica, e como elas podem se relacionar com o laboratório de atividades, de forma que possam ser consideradas para o Ensino de Ciências por Investigação e para o desenho e a elaboração de Sequências de Ensino por Investigação.

Dessa forma dividimos o nosso texto em partes, tanto com reflexões sobre as teorias que embasam o EnCI (tanto educacionais, quanto epistemológicas), quanto com relação à explicitação de temas que aparecem sutilmente no EnCI, mas que quando trabalha-se com o Ensino de Física Moderna são fundamentais para a boa compreensão do tema, a semiótica, os modelos, as imagens e as interpretações da Física Quântica.

5.1 VÁRIAS VISÕES SOBRE O CAMINHAR DA CIÊNCIA

Essa é uma forma que percebemos a epistemologia: várias visões sobre o caminhar desse projeto humano que é a Ciência. Começamos pelo empirismo de

Roger Bacon, passamos pelo indutivismo de Francis Bacon, chegando no século vinte com Popper e seu Falsificacionismo, Bachelard e os obstáculos epistemológicos, as quebras de paradigmas de Thomas Kuhn e o racionalismo de Imre Lakatos. Neste ponto é bom avisar que o anarquismo de Paul Feyerabend tem uma seção à parte, por ser de interesse basal desta tese.

Alan Chalmers nos presenteia com uma obra muito importante para compreender os rudimentos da epistemologia, que é o seu “O que é Ciência afinal?” (CHALMERS, 1993). Os exemplos anteriores foram inspirados em seu texto. Para ele, fatos adquiridos por meio de observação nos induzem às Leis e Teorias. E, por sua vez, Leis e Teorias nos auxiliam a deduzir novas previsões e explicações (CHALMERS, op. cit., p. 28). Segundo Alan Chalmers

[...] De acordo com o indutivista ingênuo, a ciência começa com a observação. O observador científico deve ter órgãos sensitivos normais e inalterados e deve registrar fielmente o que puder ver, ouvir, etc. em relação ao que está observando, e deve fazê-lo sem preconceitos. (CHALMERS, op. cit., p.24)

Mas não critiquemos demais nosso Bacon. Este método de estudar o conhecimento é útil didaticamente, como um nível inicial de pesquisa em Ciências, juntamente com o empirismo, por exemplo, em um laboratório didático, conforme veremos mais adiante. E não queremos incorrer no erro reducionista de fazer pensar o leitor que o indutivismo deva ficar restrito às escolas, só queremos mostrar que além de tudo o que podemos aprender com ele no processo científico, também será muito útil no uso em aulas de Ciências. Feyerabend já deixou claro seu recado sobre respeito aos pensamentos alheios, que são baseados em conhecimento:

Filósofos amantes da ciência, inclusive aqueles que se autodenominam “críticos”, são rápidos em criticar pensadores que não compartilham de suas ideias prediletas. Bacon foi com frequência criticado por não se ter deixado seduzir imediatamente por Copérnico. Foi criticado por esse crime execrável por filósofos cujo próprio “racionalismo” jamais teria permitido a Copérnico viver. Um exemplo disso é Popper (FEYERABEND, 2011b, p. 152, nota de rodapé)

Nesse sentido, Chalmers conclui, sobre o indutivismo ingênuo, dentro de um processo lógico indutivista, que Leis e Teorias aplicadas a Condições iniciais resultam em previsões e explicações (CHALMERS, 1993, p. 33). E traz uma descrição indutivista da Ciência de um economista do século XX:

Se tentarmos imaginar como uma mente de poder e alcance sobre-humano, mas normal no que se refere aos processos lógicos de seus pensamentos, ... usaria o método científico, o processo seria o seguinte: primeiro, todos os fatos seriam observados e registrados, *sem seleção* ou *conjectura a priori* quanto à sua importância relativa. Em segundo lugar, os fatos observados e registrados seriam analisados, comparados e classificados, *sem hipóteses* ou *postulados* além daqueles necessariamente envolvidos na lógica do pensamento. Em terceiro lugar, a partir dessa análise dos fatos, seriam indutivamente tiradas generalizações, bem como para as relações, classificatórias ou casuais, entre elas. Em quarto lugar, pesquisa ulterior seria dedutiva bem como indutiva, empregando inferências a partir de generalizações previamente estabelecidas.
(CHALMERS, op. cit., p. 33, itálicos no original)

Como veremos depois, esse modo de ver o conhecimento está muito relacionado com o modo como são montados os laboratórios, as atividades experimentais. Porém, como veremos adiante também, no processo de Ensino por Investigação precisaremos transpor os limites do indutivismo, mas sem deixá-lo de lado.

Como nem só de indutivismo vive a epistemologia, passemos a ver como podemos verificar a validade de uma teoria ou de um conhecimento. Karl Popper nos traz o falsificacionismo: uma forma de mostrar exaustivamente se uma teoria é falsa. Como já tivemos o prazer de ver acima, Copérnico teria morrido pelas mãos de Popper, uma vez que a teoria de Copérnico falhava em alguns aspectos, como por exemplo, o tamanho de Vênus não se altera durante o ano, quando visto a olho nu. Entretanto, para um falsificacionista isso seria suficiente para enterrar Copérnico com sua Teoria Heliocêntrica. Segundo Alan Chalmers:

O falsificacionista admite livremente que a observação é orientada pela teoria e a pressupõe. Ele também abandona com alegria qualquer afirmação que fazem supor que as teorias podem ser estabelecidas como verdadeiras ou provavelmente verdadeiras à luz da evidência observativa. As teorias são interpretadas como conjecturas especulativas ou suposições criadas livremente pelo intelecto humano no sentido de superar problemas encontrados por teorias anteriores e dar uma explicação adequada do comportamento de alguns aspectos do mundo ou do universo. Uma vez propostas, as teorias especulativas devem ser rigorosa e inexoravelmente testadas por observação e experimento. Teorias que não resistem a testes de observação e experimentais devem ser eliminadas e substituídas por conjecturas especulativas ulteriores. A ciência progride por tentativa e erro, por conjecturas e refutações. Apenas as teorias mais adaptadas sobrevivem. Embora nunca se possa dizer legitimamente de uma teoria que ela é verdadeira, pode-se confiantemente dizer que ela é a melhor disponível, que é melhor do que qualquer coisa que veio antes. (CHALMERS, 1993, p. 64)

Acabamos de perceber como o falsificacionismo pode falhar no caso de Copérnico. Vejamos mais dois casos.

O primeiro caso é a Teoria Gravitacional de Newton. Nesta teoria, utilizando dados de Galileu e Kepler, sabe-se que os planetas se movem ao redor do Sol em curvas elípticas. Mercúrio não segue muito bem essa teoria. Então essa teoria deve ser abandonada e teremos que ter outra. Apesar desse dilema, Newton continuou sendo Newton. Pelo menos até a chegada de Albert Einstein e sua Teoria da Relatividade Geral, que resolve esse caso. Mas deixa outros em aberto, esperando uma teoria mais apropriada.

O segundo caso está mais próximo do nosso atual trabalho: o Átomo de Bohr. Niels Bohr postula que os elétrons se movem ao redor do núcleo atômico. Segundo a teoria vigente, segundo a Eletrodinâmica, um corpo carregado eletricamente que sofre aceleração, como é o caso do elétron em movimento circular ao redor do núcleo, emite radiação eletromagnética. Sendo assim a teoria de Bohr seria enterrada com ele, pois os átomos duram muito mais tempo que o esperado se os elétrons negativos perdessem energia continuamente até colapsarem com o núcleo positivo. Apesar disso, Bohr continuou com sua teoria (CHALMERS, op. cit., p. 98).

Sobre este ponto o próprio Popper desacredita Niels Bohr:

Admitiria, no entanto, que o programa de Bohr (em minha opinião errado) relativo à reforma da mecânica de partículas no sentido da resolução do problema da estabilidade atômica parecia ter algumas possibilidades de ser levado a cabo com sucesso entre 1924 e 1926. Refiro-me, é claro, à tese de doutoramento de Louis de Broglie de 1923-1924, na qual de Broglie aplicou aos electrões a ideia einsteiniana de que os fotões estavam de alguma forma “associados” às ondas e mostrou que as “órbitas preferenciais” quantizadas, de Bohr (e, com estas, a estabilidade), podiam ser explicadas pela interferência de ondas. (POPPER, 1992, p. 64, *aspas no original*)

Esse tipo de pensamento aparece normalmente nas atividades de laboratório, quando o professor trabalha em testar uma Teoria ou uma Lei e os alunos não conseguem obter êxito na empreitada. Está certamente em um nível de liberdade de debates e discussões maior que o indutivismo, mas certamente longe de favorecer completamente a compreensão do desenvolvimento da Ciência em atividades em aula. Entretanto, como no Ensino de Ciências por Investigação trabalhamos com aspectos históricos, percebemos que, como afirma Chalmers (CHALMERS, 1993, p. 97): “o falsificacionismo é inadequado em bases históricas.”

E nem tudo são flores. Vejamos um caso de interesse sobre a teoria da eletricidade. Dois caminhos foram percorridos por programas de Ciência diferentes. Um utilizando a teoria da ação à distância e outro utilizando a teoria de campos de Faraday. Foram caminhos diferentes, mas que se juntaram posteriormente (CHALMERS, op. cit., pp. 120-121). E quem trata destes programas é Imre Lakatos. Vejamos como ele trabalha com essa epistemologia.

Para Lakatos, a Ciência segue programas de pesquisa, onde há uma estrutura que apresenta orientações para pesquisas futuras de forma tanto negativa quanto positiva. Segundo Alan Chalmers:

A heurística negativa de um programa é a exigência de que, durante o desenvolvimento do programa, o núcleo irredutível deve permanecer intacto e sem modificações. Qualquer cientista que modifique este núcleo optou por sair deste programa de pesquisa específico. Tycho Brahe escolheu sair do programa de pesquisa copernicano e iniciou um outro quando propôs que todos os planetas à exceção da Terra têm sua órbita ao redor do Sol, enquanto o Sol orbita a Terra estacionária. (CHALMERS, op. cit., p. 114)

E sobre a heurística positiva, Imre Lakatos propõe, segundo Chalmers, que ela seja

[...] aquele aspecto de um programa de pesquisa que indica aos cientistas o tipo de coisa que devem fazer, antes das que não devem fazer, é algo mais vago e difícil de caracterizar especificamente do que a heurística negativa. A heurística positiva indica como o núcleo deve ser suplementado para explicar e prever fenômenos reais. Nas palavras do próprio Lakatos, “A heurística positiva consiste em um conjunto de sugestões ou indícios parcialmente articulados de como mudar, desenvolver, as ‘variantes refutáveis’ de um programa de pesquisa, como modificar, sofisticar, o cinturão protetor ‘refutável’”. (CHALMERS, 1993, p. 115, aspas no original)

Assim, voltando ao caso da Teoria Eletromagnética, é possível perceber que em um caso desse tipo, os programas de pesquisa de Imre Lakatos não são tão autônomos, quanto esse epistemólogo desejava:

O desenvolvimento da teoria eletromagnética clássica teria sido grandemente prejudicado se a abordagem da ação à distância houvesse sido abandonada mais no início do século por causa do progresso superior do programa de campo. Incidentalmente, a interação entre os dois programas e o fato de que a teoria eletromagnética clássica surgiu como uma reconciliação dos dois programas, herdando, de um lado, os campos e, do outro, os elétrons, sugerem que os programas de pesquisa não são tão autônomos quanto argumenta o relato de Lakatos. (CHALMERS, op. cit., p. 121)

Casos como estes estão bem presentes no caminhar da Ciência. Nesse caminhar teremos alguns percalços, o que, em nossa visão, Gaston Bachelard identificaria com obstáculos epistemológicos e, também de acordo com o que pesquisamos, Thomas Kuhn chamaria de saltos, quebras de paradigmas. Ainda assim, cada qual em momento bem diferentes dentro do século XX.

Iniciemos nossa conversa com as ideias de Bachelard, sobre a noção de obstáculo epistemológico. Logo no início de sua obra “A formação do espírito científico”, Bachelard deixa claro e evidente a sua perplexidade que na

[...] educação, a noção de obstáculo pedagógico também é desconhecida. Acho surpreendente que os professores de ciências, mais do que os outros se possível fosse, não compreendam que alguém não compreenda. Poucos são os que se detiveram na psicologia do erro, da ignorância e da irreflexão. (BACHELARD, 1996, p. 23)

Em sua obra este epistemólogo descreve várias formas e tipos de obstáculos epistemológicos que tanto podem atingir o pesquisador na universidade, por exemplo, quanto o professor da escola primária. Ele lista como obstáculos a experiência primeira, o conhecimento geral, o conhecimento unitário e pragmático, o obstáculo substancialista etc., todavia, um ponto que remete ao nosso trabalho é o obstáculo verbal, que surge no excesso de texto e explicação sobre, por exemplo, uma esponja e suas características. O excesso de descrição que Réaumur faz sobre como ar, água e esponja se relacionam, torna-se um obstáculo (BACHELARD, 1996, pp. 92-93). Quando pensamos, em nosso atual trabalho, no uso de metáforas, seu excesso torna-se um outro também. Superá-los é necessário, e em um laboratório, em uma aula, a última coisa que devemos deixar evidenciado é o obstáculo por si mesmo. Ou seja, eles já existem, não precisamos criá-los, para então superá-los. Na Ciência e na aula e, nesse caso, para Gaston Bachelard:

Quando se procuram as condições psicológicas do progresso da ciência, logo se chega à convicção de que *é em termos de obstáculos que o problema do conhecimento científico deve ser colocado*. E não se trata de considerar obstáculos externos, como a complexidade e a fugacidade dos fenômenos, nem incriminar a fragilidade dos sentidos e do espírito humano: é no âmago do próprio ato de conhecer que aparecem, por uma espécie de imperativo funcional, lentidões e conflitos. É aí que mostraremos causas de estagnação e até de regressão, detectaremos causas de inércia às quais daremos nome de obstáculos epistemológicos. (BACHELARD, 1996, p. 17, itálicos no original).

Em nossas aulas e nossos laboratórios passamos por várias situações em que estes obstáculos aparecem, e que devemos superá-los, como já afirmamos anteriormente. Mas no nosso modelo de laboratório, apesar de não alterar significativamente os níveis ou graus de liberdade, os obstáculos epistemológicos de Bachelard provocam a ação do professor, como formulador de questões, perguntas e problemas a serem resolvidos, quando ele afirma que

Em primeiro lugar, é preciso saber formular problemas. E, digam o que disserem, na vida científica os problemas não se formulam de modo espontâneo. É justamente esse *sentido do problema* que caracteriza o verdadeiro espírito científico. Para o espírito científico, todo conhecimento é resposta a uma pergunta. Se não há pergunta, não pode haver conhecimento científico. Nada é evidente. Nada é gratuito. Tudo é construído. (BACHELARD, op. cit., p. 18, itálicos no original)

Observando tudo isso temos em mente ainda que Thomas Kuhn nos apresenta outra forma de perceber a estrutura da Ciência como uma gangorra, que alterna entre a Ciência normal e a quebra de paradigmas. Num esquema de Chalmers, (1993, p. 124), a proposta de Kuhn pode ser resumida como se segue: pré-Ciência – Ciência normal – crise-revolução – nova Ciência normal – nova crise.

Para Kuhn a Ciência normal representa a pesquisa que se faz utilizando os paradigmas aceitos até então, ou seja, uma “pesquisa firmemente baseada em uma ou mais realizações científicas passadas”. Essas realizações são reconhecidas pela comunidade científica e descritas em seus manuais, que explicitam a teoria aceita, ilustram suas aplicações e apresentam comparações entre experiências, observações e aplicações (KUHN, 2003, p. 29).

Segundo Kuhn, uma teoria, para se tornar um paradigma, para ser aceita, precisa parecer melhor que suas concorrentes. Não precisa explicar todos os fatos e observações, como necessita o falsificacionismo. E sobre as revoluções científicas

Elas precisam parecer revolucionárias somente para aqueles cujos paradigmas sejam afetados por elas. Para observadores externos, podem parecer etapas normais de um processo de desenvolvimento, tal como as revoluções balcânicas no começo do século XX. Os astrônomos, por exemplo, podiam aceitar os raios X como uma simples adição ao conhecimento, pois seus paradigmas não foram afetados pela existência de uma nova radiação. Mas para homens como Kelvin, Crookes e Roentgen, cujas pesquisas tratavam da teoria da radiação ou dos tubos de raios catódicos, o surgimento dos raios X violou inevitavelmente um paradigma ao criar outro. É por isso que tais raios somente poderiam ter sido descobertos através da percepção de que algo não andava bem na pesquisa normal. (KUHN, 2003, p. 126)

5.2 AS EPISTEMOLOGIAS NO ENSINO DE CIÊNCIAS POR INVESTIGAÇÃO

Neste ponto de nossa pesquisa, repensar as epistemologias não significa mudar o uso do empirismo de Roger Bacon, John Locke, Thomas Hobbes e Galileu Galilei, do indutivismo de Francis Bacon, os programas de pesquisa de Imre Lakatos, o falseamento de Popper, os paradigmas de Kuhn para uma anarquia de Feyerabend. Neste momento, e dentro das expectativas que temos para os trabalhos dos professores em EnCI para o Ensino de Física Moderna, queremos propor que o professor tenha consciência de que em sala de aula o que pode ocorrer é que os alunos utilizem várias epistemologias em seus trabalhos.

Todavia, precisamos preparar os professores a compreenderem que existe um espectro de ideias diferenciadas dentro da epistemologia. E este é um ponto que não é esperado como uma das três diretrizes importantes para a formação de professores (CARVALHO; SASSERON, 2018, p. 48). Pelo que as autoras puderam elencar em suas pesquisas, o processo epistemológico no Ensino por Investigação está relacionado ao pensamento hipotético-dedutivo (se-então-senão), pois está relacionado à argumentação, com a linguagem argumentativa. E como esse processo argumentativo não é o único processo quando tratamos de Física Moderna, especialmente quando se trata de Mecânica Quântica e seus limites e suas consequências, vejamos então uma visão um tanto anárquica de processo argumentativo com Paul Feyerabend.

Pensar que a epistemologia de Paul Feyerabend (2011b) seja utilizada no Ensino de Física Moderna com o EnCI, é pensar que em atividades de sala de aula devam levar em consideração a diversidade de explicações científicas sobre o mesmo conceito, além do que já se tem, como elencado anteriormente, em que consideramos, segundo a literatura do EnCI, as epistemologias de Bacon, de Bachelard e de Kuhn. Levar em consideração a explicação de um fenômeno, inclusive, considerando as origens sociais e culturais

A ideia de um método que contenha princípios firmes, imutáveis e absolutamente obrigatórios para conduzir os negócios da Ciência depara com considerável dificuldade quando confrontada com os resultados da pesquisa histórica. Descobrimos, então, que não há uma única regra, ainda que plausível e solidamente fundada na epistemologia, que não seja violada em

algum momento. Fica evidente que tais violações não são eventos acidentais, não são o resultado de conhecimento insuficiente ou de desatenção que poderia ter sido evitada. Pelo contrário, vemos que são necessárias para o progresso. (FEYERABEND, 2011 b, p. 37).

E dentro do nosso quadro de revisão teórica, ainda temos algumas visões interessantes de Feyerabend sobre argumentação (processo presente no EnCI) e na aprendizagem de crianças. Sobre a argumentação, Feyerabend nos aponta que

Há mesmo circunstâncias – e elas ocorrem com bastante frequência – em que a *argumentação* perde seu aspecto antecipador e torna-se um obstáculo ao progresso. Ninguém sustentaria que ensinar *crianças pequenas* é exclusivamente uma questão de argumentação (embora a argumentação possa fazer parte disso e deveria fazê-lo em maior extensão do que é costumeiro), e quase todos, atualmente, concordam que o que parece ser um resultado da razão – o domínio de uma língua, a existência de um mundo perceptual ricamente articulado, a capacidade lógica – é devido, em parte, à doutrinação e, em parte, a um processo de *desenvolvimento* que age com a força de uma lei natural. E quando os argumentos parecem ter efeito, isso se deve com mais frequência à sua *repetição física* do que a seu *conteúdo semântico*. (FEYERABEND, 2011 b, p. 38 – 39; itálicos no original).

Feyerabend ainda deixa mais claro a dependência do aluno em relação ao professor no tocante à argumentação, e não somente como um caso de imitação, como supõe Vigotski, por exemplo. Mas de forma mais forte e incisiva

Assim como um bem treinado animal de estimação obedecerá a seu dono, por maior que seja o estado de confusão em que se encontre e por maior que seja a necessidade de adotar novos padrões de comportamento, da mesma maneira o racionalista bem treinado irá obedecer à imagem mental de seu mestre, manter-se-á fiel aos padrões de argumentação que aprendeu, apegar-se-á a esses padrões, por maior que seja o estado de confusão em que se encontre, e será inteiramente incapaz de compreender que aquilo que considera ser a “voz da razão” não passa de um *efeito casual* subsequente do treinamento que recebeu. Ele estará completamente impossibilitado de descobrir que o apelo à razão, ao qual tão prontamente sucumbe, não passa de *manobra política*. (FEYERABEND, op. cit., p. 40)

Ou seja, a argumentação é dependente de seu modelo de Ciência. O professor em sala de aula, na produção de uma SEI, em seu trabalho de planejamento ou de seu entendimento da Ciência carrega, utiliza e tem a sua vivência seu modelo de Ciência. Dessa forma, o professor deve, então em seu trabalho docente estar consciente dessa sua posição, sua natureza e, então, superar esse obstáculo. Quando o professor promover suas atividades didáticas, ao elaborar sua SEI, deverá deixar de impor seus dogmas epistemológicos, deixando os alunos livres para pensar a Ciência.

Feyerabend também transcende a visão de Bachelard de que tudo começa com uma pergunta, uma questão, como já vimos anteriormente. Ele se posiciona contra a visão de que primeiro temos uma ideia ou problema, questão ou pergunta e depois trabalhamos sobre elas, que nós agimos somente depois que elas aparecem, que falamos, construímos ou destruimos a ideia. Não para Feyerabend. Para ele

[...] certamente não é esse o modo pelo qual se desenvolvem as crianças pequenas. Elas usam palavras, combinam-nas, brincam com elas, até apreenderem um significado que estivera, até então, além de seu alcance. E a atividade lúdica inicial é um pré-requisito essencial para o ato final de compreensão. Não há razão alguma pela qual esse mecanismo devesse deixar de funcionar no adulto. Devemos esperar, por exemplo, que a *ideia* de liberdade só possa ser tornada clara por meio das mesmas ações que, supostamente, *criaram* a liberdade. A criação de uma *coisa* e a criação mais a compreensão plena de uma *ideia correta* da coisa *são com muita frequência partes de um e o mesmo processo indivisível* e não podem ser separadas sem interromper esse processo. (FEYERABEND, 2011 b, p. 40)

Existem outros pontos interessantes na visão de Feyerabend, tais como a intenção dele não é substituir um conjunto de regras por outro da mesma espécie (FEYERABEND, op. cit., p. 47). Ou seja, conforme nos adiantamos, não pretendemos trocar as epistemologias já tradicionais utilizadas no EnCI, mas sim ampliá-las. Ele também não vê a tarefa do cientista como um buscador da verdade, ou louvador de deuses, para Feyerabend a tarefa do cientista não é sistematizar as observações ou aperfeiçoar as observações, são efeitos colaterais, segundo ele (FEYERABEND, op. cit., p. 45). Este posicionamento bate forte nas bases do EnCI, pois é uma visão contrária à uma das bases do EnCI (SASSERON, 2008), que é sistematizar observações.

Feyerabend defende a criatividade dos alunos, sua liberdade, e descreve a escola e “seus professores” como parte de uma máquina que reduz a criatividade:

“Professores” usando notas e o medo do fracasso moldam a mente de nossos jovens até que eles tenham perdido todo grama de imaginação que possam alguma vez ter possuído. Essa é uma situação desastrosa, que não é facilmente corrigida. No que me diz respeito, o primeiro e mais urgente problema é tirar a educação das mãos dos “educadores profissionais” (FEYERABEND, op. cit., p. 211).

Feyerabend defende a liberdade e a criatividade dos alunos, tanto como defende a criatividade dos adultos, dos pesquisadores, e esse ponto é importante para nossa percepção para o EnCI do Ensino de Física Moderna: os professores precisam

ser estimulados a desenvolverem a criatividade e a liberdade de pensamento dos seus alunos.

Ainda sobre a Educação, Feyerabend tem uma proposta interessante em separar os estudos específicos, de profissões por exemplo, de uma Educação geral. Estes estudos específicos teriam padrões específicos, mas que não devem permear a Educação geral

A educação geral deve preparar os cidadãos para *escolher entre* os padrões, ou achar seu caminho em uma sociedade que contém grupos comprometidos com vários padrões, *mas não deve em condição alguma subjugar a mente deles de modo que se conformem aos padrões de algum grupo particular*. Os padrões serão *considerados*, serão *discutidos*, as crianças serão encorajadas a ter proficiência nos assuntos mais importantes, *mas só como se tem proficiência em um jogo*, ou seja, sem compromisso sério e sem roubar a mente de sua capacidade de jogar também outros jogos. (FEYERABEND, 2016, p. 212, itálicos no original).

O autor continua ensejando que uma pessoa que tenha sido preparada dessa forma, com Educação especial e Educação geral terá um comprometimento profissional no futuro, mas também liberdade de questionar, de refletir e de pensar. E esse comprometimento seria o resultado de uma decisão refletida, pensada, e não uma consequência inevitável. E que para que isso ocorra, os cientistas não podem assumir a Educação. Não podem ensinar a Ciência como “fato” e o “único método verdadeiro” (FEYERABEND, op. cit., p. 212).

E essa liberdade que deve reinar na escola deve deixar claro que a Ciência não é necessariamente superiora a outras áreas do conhecimento, e Feyerabend pensa assim também

Porém, ao passo que o grande “respeito pela grande ciência” que tem Lakatos leva-o a buscar esses padrões nos limites [mais liberais] nos limites da ciência moderna “dos dois últimos séculos”, recomendo colocar a ciência em seu lugar como uma forma de conhecimento interessante, mas de modo algum exclusiva, que tem muitas vantagens, mas também muitos inconvenientes: “Embora a ciência como um todo seja um aborrecimento, ainda assim pode-se aprender dela” (FEYERABEND, op. cit., p. 213).

Esses padrões que Feyerabend e Lakatos apontam são devidos ao excesso de regras e de racionalismo que de certa forma são fontes de misticismo e irracionalismo. Um exemplo clássico que podemos recordar é a inserção da “constante cosmológica” de Einstein na Teoria da Relatividade Geral. Seria algo completamente “racional” para Einstein, mas na realidade não era.

Outro ponto interessante é uma afronta ao dito popular “contra fatos não há argumentos”. Para Feyerabend os fatos, ou seja, as observações advindas de um experimento, por exemplo, são decorrentes de uma teoria anterior, e que carrega em si suas ideologias e, dessa forma, os fatos obtidos também são parte da interpretação dessa teoria anterior, como podemos ver no frontispício do capítulo 5

Nenhuma teoria jamais está de acordo com todos os fatos em seus domínios; contudo, a culpada nem sempre é a teoria. Os fatos são instituídos por ideologias mais antigas, e um conflito entre os fatos e teorias pode ser uma prova de progresso. Tal conflito constitui também um primeiro passo em nossa tentativa de encontrar os princípios implícitos em noções observacionais familiares.
(FEYERABEND, 2011 b, p. 67)

Feyerabend traz ainda argumentos para repensarmos a Física Moderna e, portanto, seu ensino. O elétron poderia ser pensado de forma diferente, por exemplo, pois Ehrenfest demonstra em um teorema, partindo das ideias clássicas de Lorentz e analisando sob a luz do teorema da equipartição de energia de Boltzmann não seria possível o magnetismo induzido. Segundo Feynman

É uma consequência da mecânica clássica que, se você tiver um tipo de sistema – um gás com elétrons, prótons e o que mais quiser – mantidos em uma caixa de tal maneira que a coisa toda fique restrita, não pode haver efeito magnético. É possível haver um efeito magnético se você tiver um sistema isolado, como uma estrela mantida por si própria que pode começar a virar quando você a colocar em um campo magnético. Mas se você tiver um pedaço de material mantido num certo lugar e que não pode começar a girar, então não há efeitos magnéticos. O que queremos dizer por segurar a rotação é resumido da seguinte maneira: a uma dada temperatura, supomos que haja *apenas um estado* de equilíbrio térmico. O teorema, então, nos diz que, se você ligar um campo magnético e esperar que o sistema entre em equilíbrio térmico, então não haverá paramagnetismo ou diamagnetismo – não haverá momento magnético induzido. (FEYNMAN, 2008, p. 34-8, v. 2)

Em seguida Feynman demonstra matematicamente como se dá essa divisão de energia probabilisticamente, e como ela influencia na indução magnética. Este é um exemplo de falha qualitativa que Feyerabend aponta como problema que os métodos tradicionais de se fazer Ciência não conseguiriam resolver.

Para finalizarmos nossa revisão da Epistemologia, trazemos um exemplo mais ligado à nossa pesquisa: o conceito de átomo. Esse conceito começa a surgir do estudo do movimento browniano e sua relação com a segunda lei fenomenológica, uma vez que “a partícula browniana é uma máquina de moto-perpétuo de segunda espécie” (EINSTEIN, 2001, p. 53). A teoria do movimento browniano teria sido

descoberta sem a teoria cinética dos gases? E o autor discorre sobre esse problema e conclui que somente o trabalho de Einstein trouxe a resposta. Mas o mais interessante é que Einstein precisou utilizar a teoria cinética para responder à essa questão e somente então é que experimentos cruciais foram feitos por Svedberg e Perrin.

Segundo Stachel, sobre Einstein (EINSTEIN, 2001, p. 89):

Os trabalhos de Einstein sobre o movimento browniano ajudaram a estabelecer o estudo dos fenômenos de flutuação como um novo ramo da física. Os métodos que ele criou no decorrer de sua pesquisa abriram o caminho para a termodinâmica estatística, posteriormente desenvolvida por Szilard e outros, e para uma teoria geral dos processos estocásticos.

Stachel relembra que a realidade física dos átomos ao final do século XIX ainda não era bem aceita, e existiam “opponentes fervorosos” da hipótese atômica. Segundo o autor, Wilhelm Ostwald e Georg Helm se autodenominavam “energiticistas”, indicando que a energia era o conceito ontológico mais fundamental da Ciência. E outros cientistas, inclusive Ernst Mach, colocavam-se em posição hostil em relação ao modelo atomístico:

Outros, como Ernst Mach, embora adotando uma posição hostil com relação à existência de entidades não diretamente acessíveis à experiência sensível – em particular, os átomos –, admitiu que o atomismo poderia ter uma utilidade heurística ou didática. Mesmo entre os cientistas que fizeram uso explícito das hipóteses atômicas em suas investigações, não era incomum considerar o atomismo como uma mera hipótese de trabalho (EINSTEIN, 2001, p. 90).

Dessa forma deixamos claro que nossa opção por Feyerabend está relacionada ao respeito às Epistemologias anteriores, mas que seguimos em nosso propósito de ampliar o EnCI com relação ao Ensino de Física Moderna. Que o dito “método científico” não contempla a Física Clássica, muito menos a Física Moderna, conforme vimos acima. E sendo assim, devemos repensar os níveis de investigação no laboratório (e o próprio conceito de laboratório), outra base do EnCI, e que não é suportado no Ensino de Física Moderna.

5.3 O ANARQUISTA, A FÍSICA MODERNA E O ENSINO DE CIÊNCIAS POR INVESTIGAÇÃO

Em certo sentido o docente influencia os discentes, positiva ou negativamente. Não existe ensino sem interação, alguém ensina outrem. Paulo Freire discorre sobre estes aspectos da docência no seu *Pedagogia da Autonomia* (FREIRE, 1996) como em “Ensinar exige reconhecer que a educação é ideológica” (p. 125) e em “Não há docência sem discência” (p. 23).

Dessa forma, o professor deve ter cuidado na observação nas atividades dos estudantes durante as aulas de laboratório. Cuidados estes já apontados por Borges (2002, p. 306), por Sasseron (CARVALHO, RICARDO, SASSERON, ABIB & PIETROCOLA, 2010, p. 55), por Antunes e Gibin (2019) e por Ueno-Guimarães (2017). Porém, mesmo em Física Clássica existem possibilidades de interpretação dos dados de formas epistemológicas diferentes, como destaca Feyerabend (2011a, p. 58):

Havia três argumentos contra o movimento da Terra. O primeiro, o chamado argumento da torre (e outros argumentos do mesmo tipo) vinha da Física. Ele é explicado em CM [Contra o Método], p. 70ss [86ss]. O argumento se baseia na teoria do movimento de Aristóteles, que foi confirmada pela experiência. O segundo argumento, já mencionado por Aristóteles, é o da paralaxe: se a Terra gira ao redor do Sol, então vestígios desse movimento devem ser encontrados nas estrelas, mas nada disso foi encontrado. O terceiro argumento era de que o movimento da Terra estava em conflito com a Bíblia. No debate sobre Copérnico todos estes argumentos foram usados, mas o primeiro e o terceiro eram considerados mais importantes que o segundo.

Hoje temos as seguintes teorias da transição de Ptolomeu/Aristóteles para Copérnico/Galileu:

1. Empirismo ingênuo: na Idade Média prestava-se atenção à Bíblia, mas então as pessoas ergueram a cabeça, observaram o céu e descobriram que o mundo era diferente daquilo que tinham achado que era. Essa teoria praticamente desapareceu. De vez em quando a encontramos, como um aparte, em livros sobre história da literatura.
2. Empirismo sofisticado: foram feitas novas observações que obrigaram os astrônomos a revisar uma Astronomia já empírica.
3. Convencionalismo: a antiga Astronomia tornou-se cada vez mais complicada e, por isso, foi simplesmente substituída por uma explicação mais simples.
4. Falsificacionismo: novas observações refutaram algumas premissas decisivas da antiga Astronomia e, com isso, uma nova Astronomia teve de ser encontrada.
5. Teoria da Crise: a Astronomia estava em crise e era preciso lidar com ela. Esta é a teoria de Kuhn.
6. Explicação do programa de pesquisa: o programa de pesquisa ptolomaico degenerou, enquanto o programa de pesquisa copernicano progrediu. (FEYERABEND, 2011a, p.58)

Feyerabend continua explicando as diferenças entre as teorias aceitas e pormenorizando algumas delas, diferenciando-as umas das outras, em certos momentos, e aproximando-as em outros. Chegando ao final da seção 6 “Aristóteles não um qualquer”, o autor relembra as três perguntas propostas na seção anterior, “A Revolução Copernicana” (aspas no original):

- A. Existem regras e padrões que sejam “racionais” no sentido de concordarem com alguns princípios gerais plausíveis e exigirem atenção sob todas as circunstâncias, que sejam obedecidas por todos os bons cientistas quando fazem pesquisas de boa qualidade e cuja adoção explique eventos como a “Revolução Copernicana”?
- B. Foi razoável, em determinada época, aceitar Copérnico e quais foram os motivos para isso? Esses motivos variavam de um grupo para outro? De um período para outro?
- C. Houve um tempo em que passou a ser não razoável rejeitar Copérnico? Ou há sempre um ponto de vista que nos permite considerar a ideia de uma Terra imóvel como uma ideia razoável? (FEYERABEND, 2011a, p. 81).

As respostas às perguntas feitas por Feyerabend são significativas, pois muito nos interessa nos processos de trabalhos com laboratórios e com as interpretações da Física Quântica.

Para a pergunta “A”, Feyerabend comenta que a resposta deve ser **não**, e esclarece que em *Contra o Método* a resposta também é **não** (2011 a, p. 81). Não intentamos aqui reescrever o livro “Contra o Método” ou fazer um resumo ou quiçá uma resenha. Todavia, nessa obra o autor mostra em diversas ocasiões que o desenvolvimento científico se utiliza de diversos modelos epistemológicos para seu desenvolvimento. Daí, para responder à pergunta A de forma mais ampla, dir-se-ia que é possível explicar a “Revolução Copernicana” com variadas metodologias e de formas bem criativas, possivelmente antagônicas entre si em alguns casos, mas certamente **não** com uma resposta única, com regras e padrões singulares e que bons cientistas possam apresentar.

Vale lembrar que Feyerabend defende a diversidade de epistemologias nesse trabalho, e não que “tudo vale” ou que não existam regras para o desenvolvimento científico. Ele defende que as regras que são boas para alguns casos certamente não serão para todos. Como no caso do falsificacionismo de Karl Popper, em que se descarta uma teoria caso ela não explique algo corretamente. Considerando isso, Kepler nunca teria aparecido com as órbitas elípticas dos planetas, uma vez que, com

os dados mais precisos da época, somente a órbita de Marte teria medidas significativas para a defesa da elipse. Ou Newton, que sua teoria sobre a gravitação dos planetas não conseguia explicar satisfatoriamente a precessão da órbita de Mercúrio, e o falsificacionismo deixaria Newton comendo maçãs na fazenda da sua família.

Considerando essas ideias e os argumentos de Feyerabend que acabamos de ver, a resposta à pergunta “B” a resposta é **sim**, “com a condição de que argumentos diferentes convençam diversas pessoas dotadas com atitudes distintas” (2011 a, p. 81). Aceitar Copérnico para alguns e não para outros, pode estar conectado à praticidade da sua visão heliocêntrica, por exemplo, uma vez que fora muito útil nas navegações, ainda mais após Galileu (MASON, 1984, p. 66; PORTO, 2020, p. 18). E incomodava outros, como Lutero e Calvino (PORTO, 2020, p. 17), pois retirava a Terra do centro do universo, contrariando os textos utilizados por esses reformadores em suas respectivas religiões recém-criadas, entre outros casos.

E a resposta para “C”, é que “foi razoável introduzi-la e tentar mantê-la viva”. E continua o autor, “portanto, é sempre razoável introduzir e tentar manter vivas visões não razoáveis” (op. cit., p. 82). A teoria copernicana foi mantida apesar de seus questionamentos: a paralaxe das estrelas e a gravidade acontecer na Terra, mesmo ela não sendo o centro do universo, são casos interessantes para usar como questionadores do sistema copernicano. E, como afirmou Bachelard, “todo o conhecimento é a resposta a uma pergunta” (1996, p. 18), assim, a gravitação foi trabalhada e respondida por Newton e as paralaxes foram estudadas nas primeiras décadas do século XIX.

Seguimos, então, nossa reflexão sobre imagem, abstração e modelagem. Nosso intuito é encontrar ligações entre as ideias e os conceitos apresentados até o momento com as ideias conseguintes, mais à frente.

Ensinar exige o reconhecimento de ser condicionado

Gosto de ser gente porque, inacabado, sei que sou um ser condicionado, mas, consciente do inacabamento, sei que posso ir mais além dele. Esta é a diferença profunda entre o ser condicionado e o ser determinado.

(FREIRE, 1996, p. 53)

6 IMAGEM, ABSTRAÇÃO, MODELAGEM

Pensar em abstração nos coloca em posição interessante, pois a Física necessita desse “poder”. Um cientista necessita abstrair, necessita separar seu objeto de estudo da realidade para poder estudá-lo. No Ensino de Física Moderna isso é imprescindível. Como Stachel mostrou (EINSTEIN, 2001, p. 90), Mach não acreditava no modelo atômico como algo real, mas sim como algo heurístico ou com fins didáticos, por exemplo.

Em outra visão, Mario Schönberg (SCHÖNBERG, 1990 p. 143), por exemplo, confirma que a

[...] teoria dos quanta é na realidade bastante difícil, porque não está de acordo com a nossa intuição. Em geral nossa intuição vai se desenvolvendo pela experiência, e é a intuição do mundo que corresponde mais ou menos ao da Física newtoniana, não ao da Física relativística e menos ainda ao da mecânica quântica.

Mas podemos ir aos poucos desenvolvendo uma intuição mais abstrata.

Feynman, em outro exemplo, comenta que

Uma vez que o comportamento atômico é tão diferente da experiência cotidiana, é muito difícil se acostumar, ele parece peculiar e misterioso para todos – tanto para o iniciante como para o físico experiente. Mesmo os *experts* não o entendem da maneira que gostariam, e é perfeitamente razoável que seja assim porque todas as experiências humanas diretas ou intuitivas se aplicam a objetos grandes. Nós sabemos como as coisas grandes se comportam, mas numa escala pequena elas não se comportam dessa forma. Então precisamos aprender sobre elas de uma forma abstrata ou imaginativa e não por analogia com nossa experiência direta (FEYNMAN, 2008, p. 1-1, v. 3).

E o nosso ensino precisa de abstração, o próprio Feynman já apontava essa defasagem no nosso país, na década de 1950 (FEYNMAN, 2019, p. 246- 254). Neste texto sobre a Educação no Brasil ele apontava a falta de criatividade e de abstração dos alunos, pois buscavam a decoreba (p. 252). Aponta que as crianças buscam livros de Física, aprendem Física muito mais cedo que as americanas, mas “não sai nada disso” (FEYNMAN, 2019, p. 251). E o que é tudo isso se não exatamente o que Feyerabend diz sobre a Educação geral, como vimos anteriormente? Por isso é necessário repensar o EnCI e, no nosso caso, também o Ensino de Física Moderna, trazendo Cachapuz *et al.* (2005, p. 119, *itálicos no original*) para nosso trabalho

[...] a estratégia de ensino que nos parece mais consistente com as características do pensamento científico, é que coloca aprendizagem como um *tratamento de situaciones problemáticas abiertas que os alunos puedan considerar de interés*.

Mas para podermos ter um modelo científico de interesse, um problema científico interessante não é tão óbvio. Na Ciência o que é muito interessante é quando ocorre mudança de paradigma, mas esta mudança não precisa ser em toda Ciência. O que pode ser uma quebra de paradigma em um campo científico, pode não ser em outro, como já vimos anteriormente que

[...] as revoluções científicas precisam parecer revolucionárias somente para aqueles cujos paradigmas sejam afetados por elas. Para observadores externos, podem parecer etapas normais de um processo de desenvolvimento, tal como as revoluções balcânicas do início do século XX. Os astrônomos, por exemplo, podiam aceitar os raios X como uma simples adição ao conhecimento, pois seus paradigmas não foram afetados pela existência de uma nova radiação. Mas homens como Kelvin, Crookes e Roentgen, cujas pesquisas tratavam da teoria da radiação ou do tubo de raios catódicos, o surgimento dos raios X violou inevitavelmente um paradigma ao criar outro. É por isso que tais raios somente poderiam ter sido descobertos através da percepção de que algo não andava bem na pesquisa normal. (KUHN, 2003, p. 126).

Então como podemos trazer os alunos para as aulas de Ciências de forma mais atraente? Não temos uma fórmula para isso, mas estamos tratando de, com nosso trabalho, trazer mais luz a esse problema. E na nossa visão, abstração e modelagem podem ajudar na construção de um Ensino de Ciências por Investigação voltado ao Ensino de Física Moderna.

6.1 A IMPORTÂNCIA DAS IMAGENS PARA A FÍSICA ATÔMICA

Desenhar experimentos é um exercício interessante, principalmente se, para obter os resultados, devam ser observados eventos indiretos, como traços em uma câmara de nuvens. Peter Galison, em seu livro *Image and Logic* (GALISON, 1997), traz duas tradições na pesquisa científica da Física Moderna, o uso de imagens e o uso de contagens, com base lógica. Ele diz na introdução do seu livro que irá

[...] seguir duas tradições concorrentes de fabricação de instrumentos refletidas no título deste livro (imagem e lógica). Uma tradição teve como objetivo a representação de processos naturais em toda a sua plenitude e complexidade - a produção de imagens de tal clareza que uma única imagem pode servir como evidência para uma nova entidade ou efeito. Essas imagens são apresentadas e defendidas como miméticas - elas servem para preservar a forma das coisas como elas ocorrem no mundo. Partículas fazem trilhas de

bolhas em hidrogênio superaquecido, ou gotas de água em vapor supersaturado, ou emulsões quimicamente alteradas em chapas fotográficas, e esses registros, ipso facto, recriam a própria forma de natureza invisível. Porque este ideal de representação depende da preservação mimética da forma, eu chamarei de "homomórfico". (GALISON, 1997, p. 19)

E em contrapartida, o autor mostra a outra tradição, relativa à lógica, que é a contagem de eventos, na qual se usa contadores eletrônicos ligados a circuitos lógicos. E essas máquinas de contagens, ao contrário das representações miméticas, ou "homomórficas", trazem muitos dados que embasam estatisticamente argumentos sobre a existência de elementos novos ou efeitos, por exemplo.

Em sala de aula, dentro dos limites que já existem nas nossas escolas, desenhar experimentos de contagem seria complicado em demasia, para a nossa realidade. Todavia, é possível a participação em projetos maiores e com apoio de universidades. Um projeto interessante que existe há algum tempo é o de contagens de múons¹, e são projetos grandes e complexos e não estão no escopo de uma sala de aula com trinta alunos, mas podem ser executados por pequenos grupos e por um grande período. Dentro do que é possível fazer em aula, com relação ao Ensino de Física Moderna, escolhemos o estudo de representações por imagens. E não somente pensar as imagens já obtidas em centros de excelência científica, mas sim proporcionar experimentações simples, mas importantes, dentro de atividades que possam ser encontros ou cursos, utilizando elementos simples para tais experimentos. Porém estudar utilizando imagens, outra linguagem, precisamos de outra forma de pensar a comunicação, portanto buscamos auxílio na Semiótica, que nos foi útil para estudarmos respostas imagéticas, icônicas, textuais, esquemáticas entre outras.

6.2 O ÁTOMO DE BOHR

Neste momento precisamos voltar no tempo, ao início do século XX, e verificar com Bohr, Rutherford, Thomson, Perrin e Nagaoka como estavam as ideias sobre a forma do átomo. Nesta época, quando cientistas da área eram confrontados com o

¹ Alguns exemplos são: <https://www.i2u2.org/elab/cosmic/home/project.jsp> <acesso em julho/2019>; <http://www.polarquest2018.org/polarqueeeest-assembly/> <acesso em julho/ 2019>; <https://raioscosmicos.if.usp.br/> <acesso em abril/ 2023>

termo “ÁTOMO”, deveriam ter em mente o que colocavam em seus artigos, ou seja, uma ideia sobre como o átomo seria.

Niels Bohr, em 1913, no seu trabalho “Sobre a constituição de átomos e moléculas”, nos apresenta as ideias fundamentais sobre o formato do átomo e que corresponderia muito bem com os dados de espectrometria da época (BOHR, 1979). Logo na introdução, Bohr descreve um “sistema saturniano”, originalmente sugerido por H. Nagaoka, mas antecipado por Jean Perrin (BOHR, op. cit., p. 31- 32) e utilizado por Rutherford para descrever seu átomo, em diferença ao modelo proposto por J.J. Thomson em 1904 (BOHR, op. cit., p. 96).

É interessante notar que no modelo de J.J. Thomson os elétrons ainda não tinham esse nome, apesar de G.J. Stoney já ter nomeado essa partícula nesta época (LOPES, 2013, p. 63) e que eles estavam em movimento permanente, mas cada elétron estava estático em um anel, e o conjunto de anéis era concêntricos (THOMSON, 1904; LOPES; MARTINS, 2009). E estes anéis estavam inseridos em uma esfera carregada positivamente.

Nestes textos o modelo de átomo que nos foi apresentado, saturniano ou modelo planetário, era o que mais se aproximava do que os professores nos trouxeram em suas visões acerca da questão sobre o termo “ÁTOMO”. Poucos apresentaram um modelo diferenciado, com subdivisões nucleares entre prótons e nêutrons. Menos ainda com mais subdivisões entre quarks e glúons, ou ainda já segundo o modelo padrão atualmente aceito e que poderia ser encontrado nos mais diversos materiais didáticos e sites de divulgação científica, como no site do Conselho Europeu pela Pesquisa Nuclear (CERN, 2023). Os professores trataram o assunto de diversas formas, descrevendo, desenhando, esquematizando, listando características. Cada uma dessas formas de descrever o átomo podia ser compreendida como uma forma semiótica de interpretação da informação, como uma forma de comunicar como os signos estavam se processando nas mentes destes profissionais, tal como veremos mais adiante, todavia, antes, vejamos brevemente como a Física observa e usa as imagens em sua rotina.

Os erros históricos que são apontados pelos autores Lopes e Martins (2009) quanto ao modelo de átomo de JJ Thomson, podem ser observados também em

outros livros didáticos que boa parte dos professores podem ter tido contato direta ou indiretamente em suas formações iniciais ou continuadas, como o “Física Moderna” do Tipler e Llewellyn (2001), Halliday e Resnick (1972), Halliday, Resnick e Walker (2016), Eisberg e Resnick (1994), Nussenzveig (2014), Feynman (2008). Destes, o único trabalho que se aproxima bem das ideias originais de Thomson é o do Moysés Nussenzveig, porém todos trazem uma boa explicação sobre o modelo atômico de Bohr e seus postulados.

Esse descuido com a teoria atômica de JJ Thomson, trazendo inclusive figuras incorretas (TIPLER; LLEWELLYN, 2001, p. 103; EISBERG; RESNICK, 1994, p. 124) ou mesmo os termos “pudim de passas” e “pudim de ameixas”, presentes em todos estes textos didáticos listados anteriormente aqui. Por exemplo, Lopes e Martins (2009), demonstram, então, um descuido com a Epistemologia, com a Semiótica e a com a História da Ciência, e refletiram na forma de ensinar que os profissionais formados que utilizaram dessas obras para aprender sobre Ciência. Como consequência dessa postura encontrada nos livros texto, podemos perceber nas respostas dos professores as dificuldades em compreender que modelos diferentes dentro da Ciência podem coexistir, como acontecem com as interpretações da Física Quântica.

6.3 AS IMAGENS E SUA IMPORTÂNCIA NO ENSINO DE CIÊNCIAS POR INVESTIGAÇÃO

Para jovens do nono ano dos anos finais do Ensino Fundamental, cuja idade já ultrapassa os 12 anos certamente, já estão em uma fase que, segundo Piaget (PIAGET; INHELDER, 1971, pp. 154 - 156), compreendem o atomismo de forma mais abstrata, não sendo, portanto, uma forma

[...] imagística ou uma coleção de esquemas representativos: é um sistema de composições e, na medida em que a imaginação fornece a estas últimas um substrato simbólico, ela se submete ao mesmo tempo e inteiramente às suas exigências, de maneira tal que o caráter operatório deste modo de raciocínio vence pouco a pouco seu aspecto representativo. (PIAGET; INHELDER, 1971, p. 165 – 166).

As experiências de Piaget e Inhelder para observarem o desenvolvimento das quantidades físicas na criança (PIAGET; INHELDER, op. cit.) com a dissolução do

açúcar na água começaram com uma sugestão de Albert Einstein sobre a noção de tempo em crianças (PIAGET, 197-, p. 7). Como a noção de tempo não é inerente ao ser humano, mas antes das compreensões das noções de espaço, de real, de número e de velocidade (PIAGET, op. cit., p. 293), o desenvolvimento das quantidades físicas por crianças deriva necessariamente dos desenvolvimentos dessas outras compreensões (PIAGET; INHELDER, op. cit., p. 13). Assim, pode-se perceber que a pesquisa sobre o atomismo em Piaget teve, de certa forma, uma influência de Einstein.

Os resultados de Piaget e Inhelder obtidos para o atomismo seriam os mesmos utilizando sal (cloreto de sódio), por exemplo, mas o material escolhido pelos pesquisadores foi açúcar. Mesmo material utilizado por Einstein para sua tese de doutoramento “Uma nova determinação das dimensões moleculares” (EINSTEIN, 2001, p. 61). Na página 76 Einstein define a molécula que quer estudar como

[...] uma solução de uma substância que não se dissocia na solução. Levemos em conta uma molécula da substância dissolvida, que é muito grande quando comparada com a molécula do solvente; vamos considerá-la como uma esfera rígida de raio P . (EINSTEIN, op. cit.)

E continua na mesma página que utilizará, então, uma solução aquosa de açúcar a 1%, descrevendo outras particularidades e propriedades do açúcar como um bom material de estudos para compreender as dimensões moleculares. Apesar de parecer apenas coincidência, há algo de interessante nesta relação entre Piaget e Einstein com o uso de açúcar para estudo do atomismo e das dimensões moleculares, e que pode ser de interesse para a área de História da Ciência.

Com relação às imagens e o Ensino de Ciências por Investigação, vale lembrar que nesse quadro sempre estamos focados em favorecer a vivência de experiências científicas pelos estudantes, por meio de propostas de Sequências de Ensino por Investigação, que promovam um ambiente de desenvolvimento das Ciências, com o maior grau de realidade possível.

Lucia Sasseron (2015, p. 55) traz uma visão bem realista sobre a vida em um laboratório descrito por Bruno Latour e Steve Woolgar no livro “A vida de laboratório: a produção dos fatos científicos”, de 1997. Eles conviveram por dois anos com uma equipe de pesquisadores que trabalhavam em um laboratório de neuroendocrinologia, desde as pesquisas iniciais até a publicação de artigos. Latour e Woolgar concluem

que a atividade científica não tem distinção relevante com relação a outras atividades sociais, inclusive que os cientistas precisam apresentar suas considerações de modo persuasivo, para que elas tenham maiores chances de serem aceitas.

Dessa forma, Lucia afirma que

[...] o ensino por investigação demanda que o professor coloque em prática habilidades que ajudem os estudantes a resolver problemas a eles apresentados, devendo interagir com seus colegas, com os materiais à disposição, com os conhecimentos já sistematizados e existentes. Ao mesmo tempo, o ensino por investigação exige que o professor valorize pequenas ações do trabalho e compreenda a importância de colocá-las em destaque como, por exemplo, os pequenos erros e/ou imprecisões manifestados pelos estudantes, as hipóteses originadas em conhecimentos anteriores e na experiência de sua turma, as relações em desenvolvimento. (SASSERON, 2015, p. 58)

Ou seja, o ensino por investigação prescinde de uma parceria intrínseca entre professor e aluno, de tal forma que pode ser efetuada em qualquer área do conhecimento, em qualquer componente curricular.

No nosso caso específico, o Ensino de Ciências por Investigação precisa de uma estrutura em que, além da parceria entre professor e aluno, outros aspectos importantes devam ser considerados, entre eles, as relações entre Ciência e Semiótica. Essa relação já ocorre há algum tempo no meio acadêmico de pesquisa básica em Física e que podemos ver em, por exemplo, José Luís Caivano no seu trabalho sobre luz e interpretações (CAIVANO, 2001) e em Baranna Baker e a Física Quântica e a terceiridade de Peirce (BAKER, 2014). Certamente, também a Semiótica, como uma Ciência que se preocupa com as interpretações possíveis na comunicação, nos processos de significação, “a semiótica é a ciência dos sistemas e dos processos sógnicos na cultura e na natureza” (SANTAELLA; NÖTH, 2017, p. 7) deve ter lugar no Ensino de Ciências por Investigação.

Lucia Sasseron nos traz uma importante posição sobre a relação entre o Ensino por Investigação e o laboratório científico e suas relações sociais (SASSERON, 2015), de que podem e devem estar relacionados, apesar das particularidades do meio escolar, como currículo, regras internas, planos políticos-pedagógicos etc. Dessa forma, então, a Semiótica deve estar também relacionada ao processo de ensino.

Finalmente, montar um modelo mental para algo que sabemos existir, mas que não podemos ver, pode ser algo complexo, mas faz parte da rotina científica de um laboratório empírico ou teórico. Como vimos com Peter Galison (GALISON, 1997), a Física sempre buscou imagens diretas ou indiretas das suas observações e de suas medições. Também vimos como a descrição de eventos, ideias e conceitos são importantes dentro do contexto da Física Atômica, mesmo que para compreender o átomo utilizemos as raias espectrais de Niels Bohr (BOHR, 1979, p. 31) e o decaimento beta. Como consequência direta dessas considerações, é necessário desenvolver modelos para que possamos compreender e, por conseguinte, explicar nossas ideias e conceitos sobre o átomo. A modelagem, assim, é importante ferramenta a ser desenvolvida tanto pelo cientista, quanto pelo estudante em Sequências de Ensino por Investigação, em laboratório empírico ou teórico. A Física precisa estar baseada na observação da Natureza, e deve descrevê-la da melhor forma.

6.4 A ABSTRAÇÃO E A MODELAGEM NA FÍSICA E NO ENCI

Abstrair é a forma que temos de isolar um objeto de estudo e analisar partes dele, e podemos ver em dicionário de Língua Portuguesa que o termo abstração se refere à ação de separar mentalmente um ou mais elementos de uma totalidade complexa, os quais só mentalmente podem subsistir fora dessa totalidade.

Na Física, mais especificamente na Física Moderna, os experimentos mentais de Einstein, principalmente nos debates Einstein – Bohr (WHELLER; ZURECK, 1983, pp. 3-49) são os casos mais marcantes de abstração desenvolvidos e utilizados na pesquisa básica e na Divulgação Científica. Para Piaget, as abstrações sobre conceitos físicos, atomismo inclusive, se desenvolvem plenamente até os 12 anos (PIAGET; INHELDER, 1971, pp. 154 - 156), certamente uma idade superada por alunos regulares do nono ano do Ensino Fundamental.

Mesmo que a abstração seja importante na Física, também nos preocupamos com a representação da realidade que nos deparamos na vida cotidiana, ou seja, nosso modelo de Física proposto deve conter como resultado o mundo real em que vivemos. Einstein, Podolsky e Rosen (WHEELER, ZURECK, op. cit., p. 138) propõem

uma questão filosófica muito importante e que traz realismo para nosso mundo de modelos, e iniciam seu artigo com a seguinte frase: “Em uma teoria completa existe um elemento correspondente a cada elemento da realidade”. A preocupação dos três pesquisadores era se poderíamos considerar como completa a descrição da realidade física feita pela Mecânica Quântica, e hoje é conhecida como Paradoxo EPR, das iniciais dos sobrenomes dos três cientistas.

Questões de princípio como este paradoxo nos trouxeram novas visões do mundo e que, como veremos adiante, trarão consequências intrigantes como as interpretações da Mecânica Quântica. Interpretações estas que nos fazem lembrar em a Ciência não está fechada e que podemos ter conceitos diferentes, ideias diferentes sobre os mesmos fatos científicos e ainda assim todos estarem corretos, simplesmente por não ser possível determinar quem realmente estaria errado e em qual ponto, ou em qual intensidade. Voltando um pouco ao caso de nosso estudo, os professores tiveram em sua formação inicial acesso aos materiais que consideram normalmente as interpretações mais aceitas, porém o tempo mostrou que outras interpretações são possíveis, e que a Interpretação de Copenhague de 1926 é apenas uma delas, como nos apresenta a História da Ciência (WHEELER, ZURECK, 1983; FREIRE JR, 1990; PESSOA JR, 2000; PESSOA JR, 2001; FREIRE JR, 2003; PESSOA JR, 2003; PESSOA JR, 2006). E esse ponto é imprescindível para podermos ajudar o professor a compreender como pode se processar o desenvolvimento do pensamento dos estudantes quando se deparam com situações de abstração em experimentos de Física Moderna (LOPES, 2013; SACA, 2017).

Nestes trabalhos é possível verificar o uso da teoria e das ideias e conceitos do Ensino de Ciências por Investigação e de suas Sequências de Ensino por Investigação (LOPES, op. cit.). Assim como também foi percebido que não foi possível extrair o melhor desse quadro teórico de ensino, por conta de se utilizar uma área da Ciência, que é a Física Moderna, mais especificamente a Física Quântica, que é, ao mesmo tempo, real, mas intangível (SACA, 2017).

As atividades seguiram um bom ritmo (estavam programadas para serem executadas dentro do período das aulas, e assim ocorreram) e obtendo bons resultados, em relação ao esperado quanto à participação dos estudantes. Tudo isso enquanto as Sequências de Ensino por Investigação tratavam de atividades lúdicas,

com experimentos reais, tais como o “futebol de dedos” ou o “futebol de ondas” (LOPES, 2013; SACA, op. cit.). As propostas de Lopes para o Ensino de Física Moderna e Contemporânea perpassam por equipamentos físicos reais (como um aparelho de difração de elétrons), mas com o uso de elementos reais não visíveis (os elétrons, no caso) e, dessa forma, quando as atividades experimentais envolveram os elétrons como material de estudo, e não bolinhas de gude ou ondas em água, os resultados não foram satisfatórios, por exemplo, quando foram debatidos ao final da Sequência de Ensino por Investigação (SACA, op. cit., pp. 151 - 152).

Ao final das atividades foi possível, mesmo com as dificuldades, verificar que os alunos do curso chegaram a pensar em respostas diferentes para os fatos observados, tais como as interpretações históricas da Física Quântica (SACA, op. cit., p. 148). Certamente não surgiram todas as interpretações utilizadas, mas foi um bom avanço.

Assim, a abstração de conceitos de Física Moderna não foi bem avaliada ao final das atividades, o que foi pontuado por Saca (op. cit.), mesmo que os alunos tivessem encontrado respostas dentro dos quadros possíveis das interpretações da Física Quântica. Essas interpretações são modelos que explicam eventos quânticos em diversas situações. Porém, em casos mais específicos algumas interpretações falham, enquanto outras se destacam, sendo a de Copenhague, a da complementaridade (veremos à frente), a mais utilizada por pesquisadores na área no mundo todo.

Como na Física, intentamos no Ensino de Ciências por Investigação o desenvolvimento de competências relacionadas à abstração de conceitos Físicos, como os apontados por Piaget, sobre o atomismo, por exemplo. Daí então, o estudante que desenvolve competências em abstrair conceitos físicos, também pode desenvolver competências sobre o funcionamento e a estrutura das modelagens, podendo então, abstrair e modelar situações em Física.

Então, em nossa visão, a Epistemologia, como parte do EnCI, pode proporcionar o desenvolvimento de competências que favoreçam a compreensão do funcionamento dos modelos nas Ciências. E com a Epistemologia de Paul Feyerabend, favorece, como vimos anteriormente, no capítulo 5, a compreensão de

diversos modelos científicos coexistindo e explicando razoavelmente bem diversos eventos quânticos, por exemplo.

Da mesma forma, a Semiótica de Umberto Eco, como parte do EnCI, favorece a compreensão das abstrações dos seres humanos e suas tentativas de explicar a Natureza e suas regras, seja com texto, com termos, esquemas, listas, desenhos, entre outros, como veremos à frente.

6.5 MODELOS E INTERPRETAÇÕES NA FÍSICA QUÂNTICA E NO ENSINO DE CIÊNCIAS POR INVESTIGAÇÃO

Quando pensamos no termo **modelo** logo vem à mente vários tipos de modelo, como exemplos semióticos relacionados ao termo. Pessoas, objetos inanimados, eventos, exemplos da condição humana também têm espaço. Podemos pensar em modelo fotográfico, em modelo de um texto ou modelo de caráter de uma pessoa conhecida. Porém, quando pensamos na Ciência, os modelos são formas de representação da realidade que percebemos. Para Feyerabend, para um fato, podem existir várias explicações científicas e todas válidas, como vimos anteriormente. Essas explicações são modelos científicos válidos, dentro de certa área do conhecimento, por exemplo:

A lei de Galileu afirma que a aceleração dos corpos em queda livre é uma constante, ao passo que a aplicação da teoria de Newton à superfície da Terra resulta em uma aceleração que não é constante, mas *decrece* (embora imperceptivelmente) à medida que aumenta a distância do centro da Terra (FEYERABEND, 2011 b, p. 50).

E, seguindo esse exemplo, teríamos uma teoria de Aristóteles, outra de Mach e outra de Torres Assis, e até uma minha, uma sua, leitor. Mas seriam válidas? A certeza que temos é que sempre existem teorias válidas dentro de uma perspectiva. Dizer que devemos abandonar uma teoria simplesmente por ela ser antiga não é uma atitude razoável (FEYERABEND, 2011 b, p. 61).

Existem trabalhos interessantes sobre o uso didático das interpretações da Física Quântica (MONTENEGRO; PESSOA JR, 2002; GRECA; FREIRE JR, 2011, p. 357-373; LOPES, 2013) de forma que eles já estão integrados ao ensino, até certo ponto. Falta aplicação, e não somente estudo. Parte de nossa pesquisa é

fundamentada em atividades de formação continuada de professores no Encontro USP-Escola, que ocorre duas vezes ao ano, nas férias de julho e de janeiro. Nesse encontro os professores podem participar de vários cursos, não somente de Física Moderna, mas também de Óptica, Meio Ambiente, História e Artes, por exemplo. Também há possibilidade de pernoite dentro dos limites do campus da capital. Temos, portanto, professores de diversas formações e de diversas localizações participando desse encontro.

No curso de Física Moderna para Ensino Fundamental e Médio não tivemos apenas professores de Física, mas também de Matemática, Ciências e Biologia. Dessa forma, pensar a Física Moderna por meio de várias possibilidades de interpretação favorece o desenvolvimento de debates integrativos, com diversidade podemos avançar melhor.

As interpretações da Física Quântica que queremos trabalhar estão descritas em Pessoa Jr (2003, p. 4-6):

- Interpretação ondulatória;
- Interpretação corpuscular;
- Interpretação dualista realista;
- Interpretação da complementaridade;

Todavia existem outras, por exemplo,

- Interpretação dualista positivista (PESSOA Jr, 2003, p. 75);
- Interpretação das histórias consistentes (PESSOA, Jr, op. cit., p. 82);
- Interpretação dos coletivos estatísticos (PESSOA Jr., 2006, p. 213);

Levar estes problemas de interpretação para os professores poderem elaborar suas SEI's e conseqüentemente trabalhar o Ensino de Física Moderna dentro do contexto do EnCI favorecem o desenvolvimento da liberdade do professor, em saber que a Ciência não é fixa, nem fechada em suas epistemologias e em seus métodos científicos. E favorece também que estes professores possam trabalhar com seus alunos essas interpretações. Só não podemos esperar que estes professores tenham tido alguma formação nesse sentido, de perceberem diversas interpretações para a Física Quântica em seus cursos, pois, como Greca e Freire Jr (2011) e Feynman

(2019) mostram, os livros-texto utilizados pelos físicos, com os quais foram formados, não trazem referências a esse tema.

Para a nossa pesquisa, foi fundamental também considerar alguns pontos importantes trazidos por Greca e Freire Jr, porque para eles

[...] é evidente que as estratégias didáticas serão diferentes de acordo com a interpretação adotada. Assim, por exemplo, várias pesquisas que tentam tornar “visualizáveis” os fenômenos quânticos para assim fazê-los apreensíveis para os estudantes, a partir do uso de *softwares*, tendem implicitamente a adotar interpretações do tipo ondulatório que, por sua natureza, podem reforçar as ligações com a Física clássica. O problema com a adoção acrítica de uma dada interpretação, o que acontece quando não é explícita, é que pode ter consequências não desejadas, se não se discutem as limitações que têm ditas interpretações. (GRECA; FREIRE Jr, 2011, p. 368).

Para os autores o ensino das interpretações da Física Quântica deveria ser feito gradualmente, com cuidado, a partir de uma interpretação para então se seguir para outras, contrariando o que Pessoa Jr (2003) e Pospiech (2000) defendem. Na nossa pesquisa consideramos que os professores deviam estar preparados para esse tema e que precisavam, ao menos, deixar claro para seus alunos que a Física Moderna necessita de diversas formas de interpretações para seus resultados e que isso é natural do processo científico, fazendo parte do método científico que utilizamos para avançar nos nossos processos de ensino e aprendizagem da Física Moderna em geral e da Física Quântica, em particular.

E o que significa alguém ser realista, positivista ou antirrealista? Significa que essa pessoa tem certa visão do mundo. E que existem outras pessoas com visões de mundo diferentes. Fechamos o espectro de interpretações filosóficas dos termos realismo e do positivismo (ou antirrealismo) sobre o campo científico, onde podemos ter maior foco, atenção e direcionamento.

Segundo Hacking (2012, p. 81)

O *realismo científico* diz que entidades, estados e processos descritos por teorias corretas realmente existem. Prótons, fótons, campos de força e buracos negros são tão reais quanto unhas, turbinas, redemoinhos nas águas de um rio ou vulcões. E as interações fracas da física de partículas são tão reais quanto se apaixonar. Teorias a respeito da estrutura das moléculas que carregam códigos genéticos ou são verdadeiras ou são falsas e, no caso de serem genuinamente corretas, podem ser ditas verdadeiras.

Ou seja, o realismo científico é uma posição adotada por pessoas que acreditam que átomos existem. Porém, o positivista, o antirrealista não pensam bem assim

O *antirrealismo* diz o oposto: coisas tais como elétrons não existem. Existem fenômenos da eletricidade e da herança genética, mas nossa construção de teorias sobre minúsculos estados, processos e entidades se dá apenas de modo a possibilitar previsões e produzir eventos pelos quais nos interessamos. Elétrons são ficções, e as teorias a seu respeito são ferramentas de pensamento. Teorias são ferramentas adequadas, ou úteis, ou fundamentadas, ou aplicáveis; mas não importa quão admiráveis sejam os triunfos especulativos e tecnológicos da ciência natural, não devemos considerar verdadeiras nem mesmo suas teorias mais convincentes. (HACKING, 2012, p. 81).

E com todas essas ideias e conceitos pudemos tanto elaborar um curso de Física Moderna para professores, quanto estudar suas visões e suas ideias acerca da Física Moderna. O curso foi desenhado seguindo as especificações de uma Sequência de Ensino por Investigação, dentro do modelo de Ensino por Investigação e a análise dos dados coletados com as respostas dos professores participantes. A Física Moderna pôde ser tratada em ambos os casos, pois, em nossa visão, utilizamos conceitos de Semiótica e Epistemologia para o desenho e para a análise dos dados.

Ensinar exige reconhecer que a educação é ideológica

Saber igualmente fundamental à prática educativa do professor ou da professora é o que diz respeito à força, às vezes maior do que pensamos, da ideologia. E o que nos adverte de suas manhas, das armadilhas em que nos faz cair. É que a ideologia tem que ver diretamente com a ocultação da verdade dos fatos, com o uso da linguagem para penumbrar ou opacizar a realidade ao mesmo tempo em que nos torna “míopes”.

(FREIRE, 1996, p. 125)

7 SEMIÓTICA (OU A CIÊNCIA QUE ESTUDA A MENTIRA)

Este é um título que chama a atenção. Mas a ressalva deve ser tratada de imediato, uma vez que a Semiótica trata das comunicações humanas, por exemplo, de como alguém explica algo a outrem por meio de signos, apresentados como ícones, ilustrações, desenhos, textos ou outras ferramentas à disposição, como gestos, música, coreografias (LEMKE, 1998, p. 87). Ou seja, para essa explicação, do exemplo, alguém não diz a “verdade” a outrem, mas usa de subterfúgios, “mente”, para que outrem entenda a explicação. Sobre esse assunto, Umberto Eco descreve a Semiótica sob vários aspectos em toda a sua vasta obra. Todavia, a mais interessante é que, para ele “a semiótica é, em princípio, *a disciplina que estuda tudo quanto possa ser usado para mentir*”:

A semiótica tem muito a ver com o que quer que possa ser ASSUMIDO como signo. É signo tudo quanto possa ser assumido como um substituto significante de outra coisa qualquer. Esta outra coisa qualquer não precisa necessariamente existir, nem subsistir de fato no momento em que o signo ocupa seu lugar. Nesse sentido, a semiótica é, em princípio, *a disciplina que estuda tudo quanto possa ser usado para mentir*. (ECO, 2014, p. 4, itálicos no original)

É uma Ciência pouco utilizada no Ensino de Física, com poucos artigos publicados, quando comparada ao Ensino de Química, mas muito útil, pois traz em seu corpo ligações entre imagem ou símbolo, significado e significante. E, para ela, o símbolo pode ser textual ou icônico (de imagem), por exemplo. Existem várias versões, ou tradições, da Semiótica: de Peirce, de Saussure, de Hjelmslev e de Greimas (ECO, 2014; COELHO NETTO, 2014) entre vários outros. Ou também podemos pensar que a Semiótica

[...] é a ciência que tem por objeto de investigação todas as linguagens possíveis, ou seja, que tem por objetivo o exame dos modos de constituição de todo e qualquer fenômeno como fenômeno de produção de significado e de sentido. (SANTAELLA, 1983, p.13).

Para Lucia Santaella a Semiótica estuda o que nós, seres humanos, produzimos como seres de linguagem, porque somos seres sociais, que se comunicam. E a comunicação é a base das relações humanas e, dessa forma, engloba as relações em sala de aula, nas comunicações entre alunos e entre os

alunos e o professor. E, uma vez que somos humanos e seres sociais, as nossas comunicações podem ocorrer

[...] também através da leitura e/ou produção de formas, volumes, massas, interações de forças, movimentos; que somos também leitores e/ou produtores de dimensões e direções de linhas, traços, cores.... Enfim, também nos comunicamos e nos orientamos através de imagens, gráficos, sinais, setas, números, luzes... Através de objetos, sons musicais, gestos, expressões, cheiro e tato, através do olhar, do sentir e do apalpar. Somos uma espécie animal tão complexa quanto são complexas e plurais as linguagens que nos constituem como seres simbólicos, isto é, seres de linguagem. (SANTAELLA, 1983, p. 10).

A Semiótica está bem relacionada à Física, não somente com a Física Moderna, mas também a Clássica, quando pensamos em som, imagem, cores, luzes, gráficos e sinais, por exemplo. Mas é com Umberto Eco que podemos ter mais exemplos das ligações da Semiótica com a Física, especialmente com a Física Moderna.

7.1 SEMIÓTICA, SEMIOLOGIA E UMBERTO ECO

Ao menos dois termos existem para a área do estudo dos signos: Semiótica e Semiologia. Segundo Eco (2014, p. 1), as diferenças dos termos se dão segundo as linhas históricas de origens destes termos. Enquanto Semiologia tem origem em Saussure, Semiótica tem origem em Peirce. Nós aqui, como Eco em sua obra, seguimos a orientação da Associação Internacional para Estudos Semióticos, em que se adota o termo **Semiótica** como equivalente a **Semiologia**.

E assim seguimos para outra definição importante: a Semiótica de Eco. Apesar de Umberto Eco não se definir como tendo sua própria semiótica, temos vários indícios tanto em suas obras (ECO, 1975; 1985; 1999; 2013; 2014) como em Öztürk Kasar e Can (2017) e como em Santaella (2011), por exemplo, que sim, Umberto Eco tem uma visão própria da Semiótica. Eco foi responsável pelo primeiro encontro internacional de Semiótica, em 1975 e ajudou a desenvolver muito essa Ciência, foi e tem sido um pesquisador respeitado em seu meio e conseguiu sintetizar as pesquisas de Semiótica no seu livro *Da árvore ao labirinto – estudos históricos sobre o signo e a interpretação*, de 2013.

Umberto Eco, ao final da década de 1960, estava em uma fase mais estruturalista, deixando claro essa característica quando escreveu, em 1968 o livro *La*

Struttura Assente (e que estamos utilizando a tradução para o espanhol de 1975, “La Estructura Ausente”), pensando a semiótica como uma estrutura e seguia Piaget assim, pois esse pesquisador estudava a inteligência em sua formação e considerava a estruturação do dado sensorial como o produto de um equilíbrio, dentro do processo de equilíbrio e desequilíbrio (ECO, op. cit., p. 463).

Já em *Da árvore ao labirinto*, Umberto Eco (2013) traz uma das temáticas importantes para nosso trabalho, a metáfora, pois é com ela que o professor trabalha ao descrever algo novo para o aluno, ou algo novo de um aluno para outro. Segundo o autor,

[...] quando Aristóteles dizia que a invenção de uma bela metáfora “põe sob os olhos” pela primeira vez uma relação inédita entre duas coisas, isto significava que a metáfora impõe uma reordenação do nosso saber e das nossas opiniões. (ECO, op. cit., p. 73).

E considerando a cultura contemporânea, a cultura mais atual, que os semióticos se deram conta de que “frequentemente as metáforas, para serem compreendidas, demandam que se identifique uma nova organização categorial” (Eco, op. cit., p. 73). E concorda com Max Black sobre as metáforas, pois para ele

[...] algumas metáforas nos tornam capazes de ver aspectos da realidade que a própria produção de metáforas ajuda a construir. Mas não há por que se espantar quando se pensa que o mundo é seguramente o mundo sob uma certa descrição – ou um mundo visto de uma certa perspectiva. Certas metáforas podem criar essa perspectiva (BLACK, 1979, p. 39-40 apud ECO, 2013, p. 73).

Nesta mesma obra Eco traz outro conceito muito importante para o conhecimento humano, para as Ciências em geral e para a Física Moderna em particular: o conceito de enciclopédia. E como ela está relacionada ao nosso conhecimento, um repertório hipotético de todo conhecimento de uma cultura, nesse sentido,

[...] a enciclopédia é potencialmente infinita porque é móvel, e as análises que fazemos sobre sua base a recolocam continuamente em questão (no sentido de que o último artigo científico de um cientista nuclear presume uma série de conhecimentos enciclopédicos acerca da estrutura do átomo, mas introduz novos saberes e põe em crise alguns pontos dos conhecimentos antigos). (ECO, 2013, p. 58).

Assim utilizamos a Semiótica de Umberto Eco em nossa pesquisa, no auxílio dos usos semióticos dos signos trabalhados. Para Eco, a Física não é objeto de estudo

da Semiótica, porém a Semiótica estuda como as informações são processadas nesta Ciência (ECO, 2014, p. 42). E ainda sobre iconismo e suas relações com a Física Nuclear, pois dizer que o átomo é indivisível, em certo aspecto, ou que as partículas elementares são entidades físicas, em certo sentido, não significa estar fazendo Física Nuclear (op. cit., p. 171), sendo alguns dos exemplos que o autor utiliza, dentro da Física, para explicar como se processam as comunicações nessa Ciência.

Vimos agora como a Semiótica de Eco se relaciona à nossa pesquisa e nossas bases teóricas. Em Piaget já vimos um pouco, quanto ao estruturalismo, por exemplo e em Feyerabend temos uma Semiótica que traz liberdade e anarquia, com complexificação dos símbolos e, logicamente, das imagens que utilizamos no EnCI e no Ensino de Física Moderna, dessa forma, é interessante observar mais atentamente as ideias desse epistemólogo.

7.2 SEMIÓTICA, EPISTEMOLOGIA E A ANARQUIA DE PAUL FEYERABEND

A Semiótica é, na concepção de Peirce (PEIRCE, 2008; COELHO NETTO, 2014), uma teoria sobre o conhecimento, ou seja, uma teoria que abrange vários campos relacionados à Lógica, à Filosofia da Lógica, Filosofia da Ciência, Epistemologia ou Teoria do Significado (COELHO NETTO, op. cit., p. 53).

Em Feyerabend a Semiótica é marcadamente e essencialmente importante, pois ele defende que as palavras, as línguas e as gramáticas são importantes e não somente como ferramentas para descrever um objeto ou um evento. São também modeladores de ideias, e esse aspecto dentro da visão feyerabendiana, dentro da nossa visão Semiótica para o EnCI, é importante. Segundo Feyerabend

[...] as línguas e os padrões de reação que envolvem não são meros instrumentos para *descrever* eventos (fatos, estados de coisas), mas que são também *modeladores* de eventos (fatos, estados de coisas), que sua “gramática” encerra uma cosmologia, uma visão abrangente do mundo, da sociedade e da situação do ser humano, que influencia o pensamento, o comportamento e a percepção. Segundo Whorf, a cosmologia de uma língua é expressa parcialmente pelo uso manifesto [*overt*] de palavras, mas também baseia-se em classificações “que não t[ê]m uma marca manifesta ... mas que operam por uma ‘permuta central’ de vínculos de modo a determinar outras palavras que marcam a classe” (FEYERABEND, 2011 b, p.215).

Feyerabend ainda relaciona a incomensurabilidade com as imagens, pois, para ele, existem problemas em se ter medidas de forma completamente corretas, sem dúvidas, mesmo dentro das margens de erro. Figuras feitas em duas dimensões, em papel, mas com alguma quantidade pequena de perspectiva provoca reações no observador, segundo Feyerabend e até é possível decidir o que queremos focar nossa atenção, mas se focarmos nas linhas desenhadas no papel, que representam uma figura em três dimensões, acabaremos por não perceber exatamente essa terceira dimensão. E se focarmos na terceira dimensão, não conseguiremos entender o desenho como uma figura em um papel (FEYERABEND, 2011b, p. 218).

E podemos ver uma relação entre Piaget e a Semiótica das percepções, quando Feyerabend descreve parte do trabalho de Piaget, retirada do seu livro *A construção do real na criança*, e que poderíamos entender que

[...] a percepção de uma criança passa por vários estágios antes de alcançar sua forma adulta relativamente estável. Em um estágio, os objetos parecem comportar muito como imagens residuais e são tratadas como tais. A criança segue o objeto com os olhos até que ele desapareça; ela não faz a menor tentativa de recuperá-lo, mesmo que isso requeira um esforço físico (ou intelectual) mínimo, um esforço que, além do mais, já está ao alcance da criança. Não há nem mesmo uma tendência a procurar – isso é inteiramente apropriado, “conceitualmente” falando, pois seria de fato absurdo “procurar” uma imagem residual inteiramente apropriado. (FEYERABEND, 2011b, p. 219).

Dessa forma temos uma ligação entre as teorias de Piaget, de Feyerabend e da Semiótica sendo, portanto, de muito interesse para nosso trabalho dentro do Ensino de Física Moderna para o Ensino Fundamental.

Em “Kant e o ornitorrinco” (ECO, 1998) Umberto Eco traz uma visão sobre o mundo e sobre o conhecimento no capítulo 1, “Sobre o ser”, e como as visões epistemológicas da Ciência podem ajudar, ou não, a compreender o ser. A preocupação de Eco reside sobre a pluralidade de respostas, sendo “infinitas, ou ao menos, astronomicamente indefinidas” (ECO, op. cit., p. 44) e recorre a Feyerabend para refletir sobre a necessidade de uma teoria epistemológica que possa explicar o ser.

Na visão de Umberto Eco o uso de metáforas auxilia no conhecimento de algo. Em “Os limites da interpretação” (ECO, 1999), no texto sobre a interpretação como abdução, o autor relaciona a interpretação metafórica, a descoberta científica e o

discurso teológico com o gênero do raciocínio por analogia (ECO, op. cit., p. 126). O autor continua descrevendo o uso de metáforas em modelos científicos, e que nestas metáforas “escolhem-se traços pertinentes sobre os quais operar e o modelo possui apenas propriedades que lhe foram atribuídas por convenção linguística” (ECO, idem).

Para Eco, foi Thomas Kuhn em sua obra “Metaphor in Science” (KUHN, 1993) quem deu “uma contribuição essencial à relação entre metáfora e descoberta científica” (ECO, ibidem). E ainda apresenta como exemplo, a metáfora do átomo de Bohr:

Em outros termos, a interpretação metafórica busca leis válidas para contextos discursivos, a descoberta científica busca leis para mundos. Isso implica o fato de a interpretação metafórica permitir liberdade de escolha fora do texto interpretado. Se aceito a analogia de Bohr, sou obrigado a continuar vendo os átomos como um sistema solar[...]
(ECO, op. cit., p. 127).

E agora devemos também levar em consideração que a Física Quântica tem várias interpretações, o que, para o Ensino de Física Moderna, traz elementos importantes e relacionados tanto com as imagens quanto com a lógica (GALISON, 1997), com imagens e interpretações (ECO, 1975; 2013; 2014; COELHO NETTO, 2014; SANTAELLA, 1983), segundo modelos científicos diversos (FEYERABEND, 2011 b; CHALMERS, 1993).

7.3 SEMIÓTICA E O ENSINO DE CIÊNCIAS

A Física, como Ciência, não é objeto da Semiótica, porém a Semiótica estuda como as informações são processadas nesta Ciência. Nosso foco, neste trabalho, é estudar como se transmite conceitos físicos entre os produtores originais do conhecimento (e que Niels Bohr é um bom exemplo), os professores e os alunos.

Utilizando Hjelmslev com certa liberdade, como o próprio Umberto Eco explica em nota de rodapé (ECO, 2014, p. 42), temos uma explicação de como a Física, ao estudar as propriedades da água, faz um tratamento semiótico dos próprios objetos:

[...] uma ciência como a física, interessada nos estados da água, requererá a seu turno, um tratamento semiótico dos próprios objetos, assim como, definindo entidades como “átomos”, “moléculas” ou “H₂O”, ela de fato segmenta o próprio *continuum* em um campo semântico específico, que será depois veiculado por unidades expressivas que vão constituir o sistema sintático da física. Isso significa, como disse Hjelmslev, que, se se considerar a função sígnica assim:

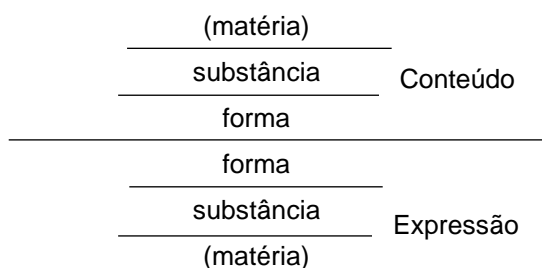


Figura 2: função sígnica para a matéria, segundo Hjelmslev

a “matéria” permanece sempre *substância para uma nova forma*. É o que sucede, por exemplo, quando um físico considera o comprimento de onda de cada lâmpada em termos de unidades substanciais de um sistema de comprimentos de onda que a semiótica, no capítulo 1, não levou em consideração porque estava interessada apenas nas diferenças perceptíveis em termos de cor ou posição. (ECO, 2014, p. 42, itálicos e destaques no original).

Para Umberto Eco a Física tem seu idioma próprio, um idioleto, e ele aparece nas comunicações dos professores, quando analisamos suas respostas. As metáforas utilizadas em cada exemplo dado pelos professores estavam carregadas de intenções e simbolismos próprios da Física.

Para finalizar esta parte, trouxe dois casos de interesse para a Física e que estão no “Tratado geral de semiótica”. O primeiro caso é um clássico exemplo de Hjelmslev em que

[...] a palavra francesa “*arbre*” cobre a mesma área de significado da palavra alemã “*Baum*”, enquanto a palavra “*bois*” é usada em francês quer para significar aquilo que em alemão é veiculado por “*Holz*”, quer uma porção daquilo que em alemão se denomina “*Wald*”; analogamente, os franceses distinguem entre um pequeno grupo de árvores (“*bois*”) e um maior (“*forêt*”), ao passo que os alemães têm um só significado para aquilo que, no momento, não sabemos se constitui um ou mais significados. (ECO, op. cit., pp. 62 – 63).

O outro caso é o das cores, que no idioleto da Física são bem definidos por meio dos comprimentos de onda, mas culturalmente têm diferenças. Por exemplo,

Para a porção de contínuo que denominamos |azul|, a cultura russa conhece duas unidades, denominadas |goluboj| e |sini|, ao passo que a civilização

greco-romana presumivelmente não fazia distinções entre o nosso “azul” e o nosso “verde”, indicando toda a porção de contínuo *d-e* seja como [*glaucus*], seja como [*caerulus*]. (ECO, 2014, p. 67, destaques no original)

Este contínuo “d-e” se refere à uma tabela na página 66 que trazemos abaixo, sobre as relações entre cores e comprimentos de onda:

a.	Vermelho	800-650 $\mu\mu$
b.	Laranja	640-590 $\mu\mu$
c.	Amarelo	580-550 $\mu\mu$
d.	Verde	540-490 $\mu\mu$
e.	Azul	480-460 $\mu\mu$
f.	Índigo	450-440 $\mu\mu$
g.	Violeta	430-390 $\mu\mu$

Figura 3: relação cor e comprimento de onda (ECO, 2014, p. 66)

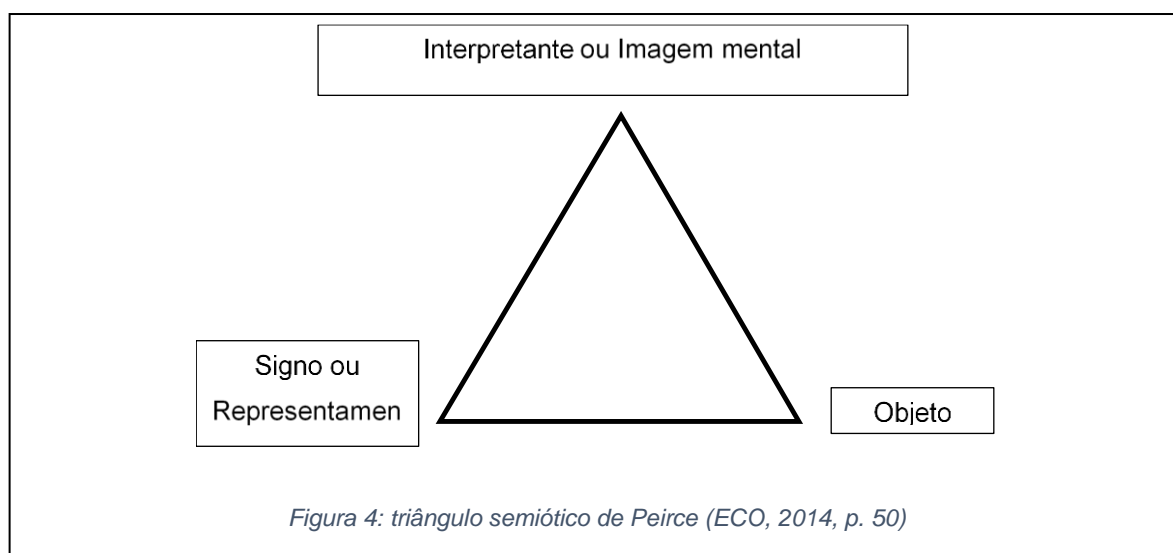
É importante notar que nesta tabela, que está na Figura 3, existem alguns pontos de atenção. O primeiro é quanto à unidade de medida dos comprimentos de onda que não é “ $\mu\mu$ ”, mas sim nanômetros, “nm”. E os valores das faixas de comprimento de onda estão levemente diferentes dos atualmente aceitos, mas em nada se perde com a comparação. Esperamos, então, com essa breve descrição de processos semióticos iniciar uma descrição das aplicações da Semiótica no Ensino de Física.

Alguns autores já trabalharam com as relações entre a Semiótica e o Ensino (LEMKE, 1990; 1991; SANTOS; CURI, 2012; WARTHA, 2013; TANG; TAN, 2017; LIMA, 2018; LEMKE, 2018), em diversas formas, tais como textos, figuras, imagens e ícones. Já Baker (2014), por exemplo, buscou relacionar a Física Quântica à semiótica peirceana, discutindo os interpretantes e a terceiridade nesse campo.

Nestes trabalhos é possível notar a preferência pela semiótica de Charles Sanders Peirce, que é abrangente, mas limitada quando buscamos elementos no processo de Ensino-Aprendizagem de professores. A Semiótica é utilizada como representação da natureza e estudada como tal, nestes artigos e textos, quanto ao Ensino também (WARTHA, 2013; WARTHA; REZENDE, 2017; LIMA, 2018). A estrutura utilizada nesses trabalhos, baseados em Sanders Peirce, é a esquematizada na Figura 4, abaixo. Uma estrutura ternária, representada em um triângulo, em cujos vértices encontramos a tríade básica de Peirce: signo (ou representamen),

interpretante (ou imagem mental) e objeto. O signo está conectado ao objeto, pois, de alguma forma, deve fornecer algum indício ao ser que observa esse signo para que esse mesmo ser possa obter uma imagem mental desse objeto. Em nosso caso, ao desenhar um átomo, o professor tem a intenção de fornecer ideias ao aluno que remetam a uma imagem mental de um átomo, por exemplo. Entretanto, se mantivéssemos apenas em Peirce, limitaríamos muito a nossa pesquisa, por isso buscamos maior diversidade com Umberto Eco.

Agora, para Jay Lemke, a Semiótica é utilizada para compreender o discurso em sala de aula, com implicações sociais, por exemplo. Para Lemke, Bakhtin e sua teoria da linguagem estão presentes, por exemplo, na voz do professor e sobre o que ela carrega. Dentro desse modelo, a voz do professor carrega um discurso da Ciência,

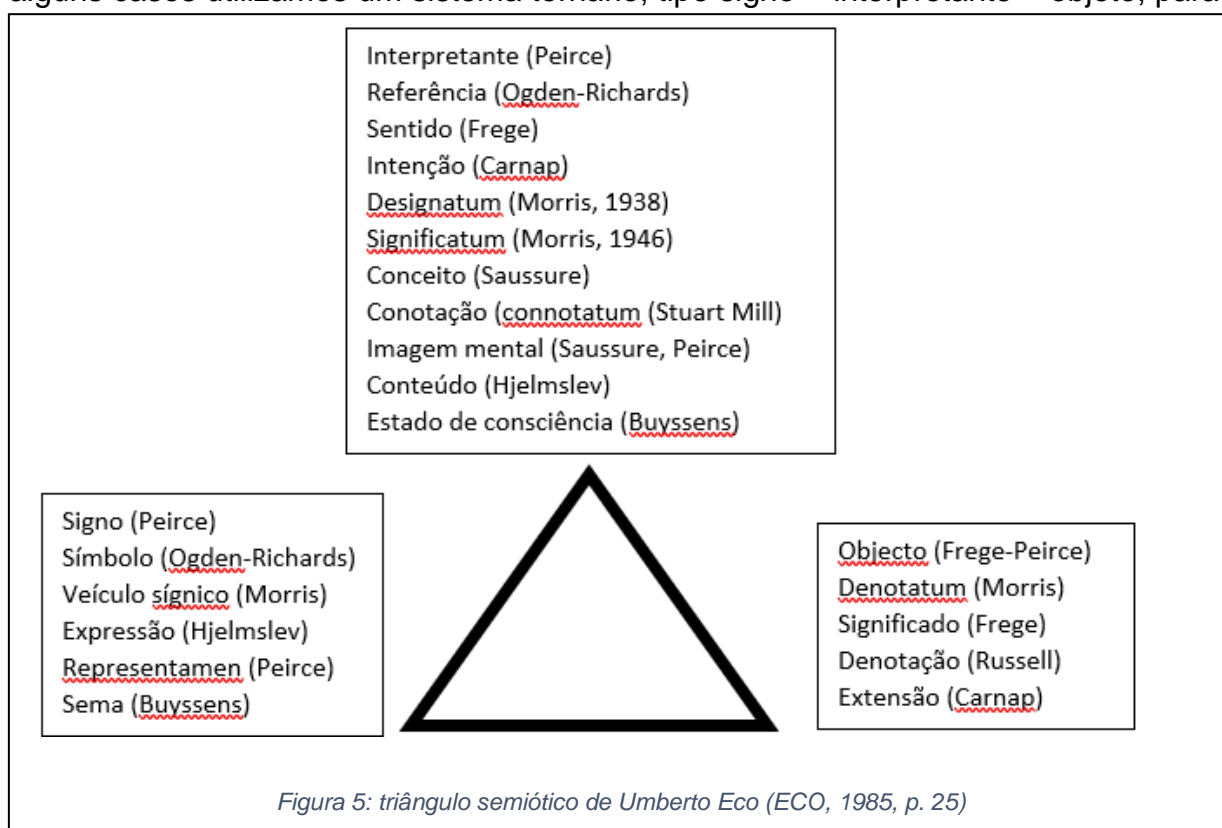


por exemplo (LEMKE, 1991), e a forma como utilizamos o discurso em sala de aula é, então, significativo para o autor, e deve ser considerada em sua análise do discurso.

Depois desse passeio por conceitos de Semiótica e como ela pode estar relacionada às Ciências, com a Física e ao Ensino de Física, vamos focar nosso olhar na relação entre a Semiótica e o Ensino de Ciências por Investigação. Para tanto buscamos apoio em Umberto Eco, novamente, utilizando um quadro resumo apresentado por ele no livro “O Signo” (ECO, 1985) e já utilizado em um trabalho nosso sobre o Ensino de Física Moderna e a Semiótica (LOPES; UENO-GUIMARÃES; CARDOSO, 2022), apresentado em Recife, Pernambuco no XXI Simpósio da IOSTE

(International Organization for Science and Technology Education), na Figura 5 a seguir.

Como exemplo geral de uso desta ferramenta, tomamos como base o triângulo de Peirce, na Figura 4 acima. Assim, o que é signo para Peirce, para outros classificadores pode ser símbolo (Ogden-Richards), veículo sígnico (Morris), expressão (Hjelmslev) e representamen (para Peirce, novamente). Em outro vértice, é Interpretante para Peirce e Conceito ou Imagem mental para Saussure. E no terceiro vértice, para Peirce é Objeto, enquanto é Denotação, para Russel (ECO, op. cit., p. 25). É importante lembrar aqui da Figura 3, pois ela não tem as características ternárias de um triângulo uma vez que é Hjelmslev que nos traz essa representação e, em comparação com a Figura 5, podemos perceber que o conceito de signo para Hjelmslev é binário, numa relação entre expressão e conteúdo. Assim, enquanto para alguns casos utilizamos um sistema ternário, tipo signo – interpretante – objeto, para



compreender uma resposta ou projetar uma atividade, para outros casos utilizamos conceitos binários tipo expressão – conteúdo, por exemplo.

Sobre como representar o que se vê, Umberto Eco nos traz a dificuldade de Galileu em descrever Saturno e seu formato. Em um momento Galileu descreve

Saturno como um conjunto de três corpos, três estrelas, entre 1610 e 1611. Em outro momento Galileu descreve Saturno como uma azeitona, por volta de 1612. E depois, em 1616, Galileu descreve Saturno como uma figura não mais redonda, mas duas meias elipses com dois pequenos triângulos muito obscuros no meio das elipses (ECO, 1998, pp. 300-301).

Descrever a realidade não é tarefa fácil. Na verdade, Waldir Bevidas nos traz uma boa visão sobre esse problema:

Enfim, como disse Greimas a respeito da pesquisa de Françoise Bastide, sobre a semiótica das ciências materialistas, em sua “conversaçoão” com A. Zinna: “F. Bastide consagrou sua vida ao conceito de ver em ciência: eles não veem nada. A realidade é um conceito mítico” (BEVIDAS, 2020, p. 213)

Para Greimas a realidade é um conceito mítico, e Bevidas apresenta vários argumentos interessantes sobre isso e como a Física Quântica pode nos oferecer mais informações complexas sobre essa realidade mítica. Em uma proposta de uma experiência de pensamento, recurso muito utilizado por Einstein e Bohr em seus debates (WHEELER; ZURECK, 1983, pp. 3-49), Bevidas descreve uma situação hipotética de um realista tentar falsear a compreensão de mundo de um semioticista imanente:

O realista se sentirá, no final das contas, vitorioso, ou ao menos reconfortado, ao pensar que, de algum modo, em instância última, o semioticista imanente terá de conceder que, mesmo após a redução progressiva até chegar ao universo magmático dos quanta ou da energia, pelo menos aí ele tem de ceder e reconhecer que se deparou com uma realidade última, objetiva, essa sim, independente da linguagem. Esta ele não pode negar. (BEVIDAS, 2020, p. 212).

Mas ainda, e isso é importante, faltariam duas questões possíveis de serem feitas e que se encaixam perfeitamente no contexto de nosso trabalho, para que se

(i) o que garante que essa física quântica detenha a última chave do real? Por exemplo, a física ondulatória se deixa descrever em quanta? Um olho ondulatório, sob eventual nova experiência de pensamento, a rastrear o universo, enxergará tais quanta, reconhecerá partículas materiais no universo?

(ii) por sua vez, as quatro dimensões do universo, defendidas pela física relativista e quântica não rivalizam elas com outras teorias físicas que propõem outras (até onze) dimensões nessa “casca de noz” que é o universo, tal como popularizado nos relatos de divulgação científica? (Hawking, 2002). De que modo o universo será visto por um observador instalado nessas outras dimensões (a prosseguirmos nossa experiência de pensamento)? (BEVIDAS, 2020, p.212)

Estas questões são bem pertinentes e, apesar de Waldir Bevidas anotar que ele não é um grande conhecedor de “alta física” (BEVIDAS, op. cit., p. 213), mesmo assim é pertinente perguntar se estudar a física presente em qualquer nível mais intrincado da matéria, por exemplo, deixaria de ser semiótica, uma vez que para isso é necessário o uso de cálculos, que é uma forma de linguagem científica, ou seja, comunicação.

A segunda sequência de perguntas do semiotismo imanente é mais do seu campo: por que razão conceder algum privilégio maior de realidade às expressões “massa”, “energia” ou “quanta” perante os outros (já descartados caso sejam postos como existentes independentes da linguagem: água salgada, montanhas, placas tectônicas, rios, corpo...)? Não serão aqueles, de igual modo como estes, nada mais do que resoluções languageiras da criação de seus objetos de conhecimento e de comunicação entre cientistas? Não serão eles igualmente signos como quaisquer outros e curvados ao princípio geral da arbitrariedade? Isto é, não recobrem eles, conceitualmente, apenas um conjunto de definições e cálculos lógico-matemáticos (massa, velocidade, tempo)? Portanto, também aqui, a realidade última se resolverá em cálculos matemáticos, considerados como linguagens científicas. Como, então, pretender que haja algum confirm onde a realidade, por ínfima que seja considerada, possa ser hipostasiada como inteiramente independente da linguagem? (BEVIDAS, 2020, p. 213).

E foi com esse pensamento, trazido aqui por Waldir Bevidas, sobre como os professores pensam o átomo e como pensam sobre a forma de ensinar esse conceito físico da estrutura da matéria, que analisamos as respostas deles. E, também, o que se esperava, então, nas respostas dos professores seria o uso de várias ferramentas semióticas (imagem, texto, esquema, lista, desenho, ícone etc.) para descrever o átomo. E esse aspecto da análise das respostas é importante tanto para Santaella (2018, p. xx), como já vimos, quanto para Coelho Netto (2014, p. 212):

Adotar o modelo de Saussure ou o de Hjelmslev, em sua integralidade, é dar demasiada importância a um aspecto da produção signica de que se está exatamente tentando escapar: o aspecto linguístico, aspecto de uma lógica do sentido fechada, definida, clara. Essa lógica é incapaz de prestar contas do pré-sentido.

Enquanto alguns autores trabalham a comunicação apenas com linguística, outros trabalham com outras ferramentas e, novamente, temos certeza de que utilizar a Semiótica de Umberto Eco no Ensino de Ciências por Investigação traz bons resultados, principalmente combinado com a anarquia epistemológica de Paul Feyerabend.

Os usos de modelos e metáforas nas respostas demonstrou apenas quais tipos de recursos são requeridos para apresentar, em sua comunicação, as respostas das questões que foram apresentadas durante os cursos nos Encontros USP-Escola.

Umberto Eco (1999, p. 192-193) descreve os usos de modelos em Ciência como algo diferente das metáforas em linguística. Para a Ciência os modelos podem ser em escala ou analógicos, lembrando que modelos em escala procuram reproduzir a forma do objeto original, enquanto os modelos analógicos tentam reproduzir estruturas abstratas ou os sistemas de relações do objeto original estudado. No caso da nossa pesquisa, estivemos interessados nos modelos analógicos que os professores apresentaram e quais características abstratas destacariam como essenciais para o ensino.

Eco também aponta que existem diferenças entre as conjecturas de fenômenos científicos em relação a, por exemplo, objetos artísticos. Para ele

[...] uma teoria científica faz conjecturas não só acerca da estrutura de um objeto (o átomo de Bohr) mas também sobre sua existência (os átomos existem?), que é hipotizada apenas por inferência de outros fenômenos. Na arte, ao contrário, *verum ipsum factum*: não só o objeto está materialmente presente na sua materialidade ainda assemiótica [...] (ECO, 1999, p. 110, itálicos no original)

Portanto, na análise das respostas dos professores, uma vez que não somos semióticos de formação, mas apenas queremos evidenciar a importância dessa Ciência para o campo do Ensino de Ciências por Investigação, utilizamos livremente alguns pontos listados por Lucia Santaella (2018, p. 41-43), que resumem muito bem o olhar que tivemos. Mesmo que este olhar fosse mais próximo de Umberto Eco, uma vez que ele traz consigo várias semioses possíveis, tantas quantas as epistemologias que Paul Feyerabend traz.

Santaella lista seis pontos essenciais do olhar para analisar processos de produção de signos, que em resumo são:

- A característica fundamental do percurso de uma análise semiótica é que seus passos buscam seguir a própria lógica interna das relações do signo [...]
- A semiose, de acordo com Peirce, é um processo ininterrupto, que regride infinitamente em direção ao objeto dinâmico e progride infinitamente em direção ao interpretante final. Assim sendo, quando realizamos uma análise semiótica, precisamos estabelecer alguns cortes arbitrários [...]

- O signo é múltiplo, variável e modifica-se de acordo com o olhar do observador que, na semiose analítica, na sua posição de interpretante dinâmico, também é signo em diálogo com signo que está sendo interpretado [...]
- Nenhum signo pertence exclusivamente a um tipo apenas. Iconicidade, indexicalidade e simbolicidade são aspectos presentes em todo e qualquer processo sógnico. O que há, nos processos sógnicos, na realidade, é a preponderância de um destes aspectos sobre os outros, como são os casos da preponderância do ícone na arte, do símbolo em um discurso científico, do índice nos sinais de trânsito.
- Não há nenhum critério apriorístico que possa infalivelmente decidir como uma dada semiose funciona, pois tudo depende do contexto de sua atualização e do aspecto pelo qual ela é observada e analisada. Enfim, não há receitas prontas para a análise semiótica.
- Quando analisamos semioticamente, estamos sempre na posição do interpretante dinâmico, de um intérprete singular e, por isso mesmo, falível. Isso só aumenta nossa responsabilidade, pois toda semiose tem uma objetividade semiótica que deve ser respeitada. (SANTAELLA, 2018, p. 41-43).

De todos os aspectos listados, o mais importante para encerrarmos este capítulo é o aspecto de que não há receita pronta para uma análise semiótica. Isso, porém, não quer dizer que pode ser feita de qualquer forma. Muito pelo contrário. Implica na necessidade de se impor limites para as interpretações, por isso buscamos em Umberto Eco as semioses que ele apresenta em seus trabalhos. Para isso buscamos principalmente em “O Signo” (ECO, 1985), em “Os limites da Interpretação” (ECO, 1999), em “Da árvore ao labirinto” (ECO, 2013) e em “Tratado Geral de Semiótica” (ECO, 2014) quais semioses poderiam estar presentes em comunicações científicas, tais como lista, ícone, símbolo, esquema etc. e foram elas que listamos nas nossas análises.

7.4 APLICANDO A SEMIÓTICA AO NOSSO TRABALHO

Neste momento podemos então descrever como a Semiótica pôde ser aplicada nos nossos casos de estudos, pois intentamos demonstrar sua utilidade na análise de respostas de participantes de Sequências de Ensino por Investigação e na elaboração dessas sequências, de forma a ampliar o alcance do Ensino de Ciências por Investigação, quando esse tipo de ensino é utilizado para trabalhar conceitos de Física Moderna.

Partimos da relação entre cultura, comunicação e signos. Para Umberto Eco não há cultura sem comunicação, e para Lucia Santaella não há comunicação sem signos (SANTAELLA, 2018, p. xiii). Para a autora, trocamos signos de diversos tipos

a todo momento quando nos comunicamos. Uma lágrima ou um grito de bebê são signos, na concepção da Lucia. Mas não o é, necessariamente, na concepção de Umberto Eco.

Uma comunicação entre máquinas é rica em sinais, por exemplo, mas não existe significação, mesmo havendo passagem de informação (ECO, 2014, p. 6). E o autor continua:

Quando o destinatário é um ser humano (e não é preciso que também a fonte o seja para emitir um sinal conforme às regras conhecidas do destinatário humano), vemo-nos, ao contrário, em presença de um processo de significação, desde que o sinal não se limite a funcionar como simples estímulo, mas solicite uma resposta INTERPRETATIVA por parte do destinatário. (ECO, op. cit., p. 6, destaque no original)

Dessa forma podemos então compreender que os signos estão na mente humana, tão somente, pois é lá que eles têm significado. Vejamos um exemplo: no início do livro “O Signo” (ECO, 1985) Umberto Eco inicia sua parte I da “Premissa” sobre uma personagem fictícia chamada senhor Sigma. O senhor Sigma tem algumas aventuras em Paris e se relaciona com diversos signos, pois precisa de um médico para resolver um problema de saúde. Depois, ainda, Eco coloca o senhor Sigma em uma situação em que vive sozinho e percebe sinais na natureza, tais como nuvens no céu, indicando bom tempo, a cor das folhas e sua relação com as estações do ano, o desenho das marcas nas colinas ao longe indicaria as plantações. Sigma perceberia sinais, mesmo que não fossem sinais de civilização. E, segundo Eco, isso ocorre porque Sigma é um camponês que teve contato com outras pessoas e aprendeu a ler estes sinais (ECO, op. cit., pp. 11 -12).

Os signos, então, nesta visão de Umberto Eco, estão muito conectados ao pensamento dos participantes do processo de elaboração deles, e que, no nosso caso, seriam os professores. Eles responderam às questões propostas e elaboraram as Sequências de Ensino por Investigação, utilizando várias ferramentas para a comunicação dos seus conceitos sobre o conceito de átomo e como trabalhariam esse conceito com estudantes do 9º ano do Ensino Fundamental.

Para Santaella (2018, p. 6), a semiótica é uma teoria muito abstrata e

[...] a semiótica só nos permite mapear o campo das linguagens nos vários aspectos gerais que as constituem. Devido a essa generalidade, para uma análise afinada, a aplicação semiótica reclama pelo diálogo com teorias mais

específicas dos processos de signos que estão sendo examinados. Assim, por exemplo, para se analisar semioticamente filmes, essa análise precisa entrar em diálogo com teorias específicas do cinema. Para analisar pinturas, é necessário haver um conhecimento de teorias e história da arte. (SANTAELLA, op. cit., p. 6).

A autora continua deixando claro as limitações de uma análise semiótica e a sua dependência em relação a outros conhecimentos e teorias.

Sem conhecer a história de um sistema de signos e do contexto sociocultural em que ele se situa, não se pode detectar as marcas que o contexto deixa na mensagem. Se o repertório de informações do receptor é muito baixo, a semiótica não pode realizar para esse receptor o milagre de fazê-lo produzir interpretantes que vão além do senso comum. (SANTAELLA, 2018, p. 6).

E, neste caso, nosso fundo de cena é a Física Moderna, no modelo da Física Quântica, quanto aos aspectos físicos e suas consequências históricas, econômicas e sociais com relação aos processos de Ensino e Aprendizagem do modelo atômico.

A Semiótica utilizada nas análises dos materiais produzidos pelos professores foi feita em três passos: contemplar, discriminar e generalizar; como em um movimento peirciano de primeiridade, secundidade e terceiridade.

A primeiridade aparece em tudo que estiver relacionado com acaso, possibilidade, qualidade, sentimento, originalidade, liberdade, mônada. A secundidade está ligada às ideias de dependência, determinação, dualidade, ação e reação, aqui e agora, conflito, surpresa, dúvida. A terceiridade diz respeito à generalidade, continuidade, crescimento, inteligência. (SANTAELLA, op. cit., p. 7).

Utilizamos estes três passos da análise semiótica, sob a visão de Peirce, porém com a disposição mais generalista de Umberto Eco. Pois, como a própria Lucia Santaella afirma, Peirce não pode ser utilizado em todos os casos.

Aliás, quando se tem em mira a análise e interpretação de certos tipos de signos, os narrativos, por exemplo, ou os discursivos, as semióticas narratológicas e a semiótica greimasiana dispõe de meios capazes de realizar essa tarefa de modo muito mais proveitoso [...] do que qualquer utilização, por melhor que seja, das classificações de signos de Peirce. (SANTAELLA, 2018, p. xx).

Dessa forma então, a Semiótica pode estar presente tanto na análise das respostas de uma atividade quanto na elaboração de uma Sequência de Ensino por Investigação. Na elaboração de uma SEI podemos utilizar a Figura 5, sobre o triângulo semiótico de Umberto Eco, proporcionando atividades que favoreçam as conexões entre cada vértice, entre signo, interpretante e objeto, por exemplo. Tanto quanto as

razões e proporções de Hjelmslev da Figura 2. Como já dissemos anteriormente, a Semiótica nos fornece muitas ferramentas para desenho de atividades e cursos muito mais e além de um projeto peirceano ternário, favorecendo ao Ensino de Ciências por Investigação um ferramental de múltiplas possibilidades que podem e devem ser exploradas em estudos futuros.

Ensinar exige a corporeificação das palavras pelo exemplo

O professor que realmente ensina, quer dizer, que trabalha os conteúdos no quadro da rigorosidade do pensar certo, nega, como falsa, a fórmula farisaica do “faça o que mando e não o que eu faço”.

(FREIRE, 1996, p. 34)

8. A EPISTEMOLOGIA, A SEMIÓTICA E O LABORATÓRIO: OS NÍVEIS E OS GRAUS DE LIBERDADE DE INVESTIGAÇÃO

Relacionar Epistemologia com Semiótica não é algo original, como nos conta Sémir Badir e Carolina Lemos (BADIR; LEMOS, 2020). Em seu artigo esse autor e essa autora fazem um bom balanço sobre essa associação entre os termos Epistemologia e Semiótica:

Essa associação está de fato mais e mais presente no pensamento dos semioticistas. Aos pensadores que alimentaram as primeiras reflexões – seja Peirce, Saussure ou Hjelmslev – tem sido atribuído um pensamento epistemológico. Dizemos “atribuído” porque o termo *epistemologia* não aparece em seus escritos, ou ao menos eles não a reivindicam como parte de suas próprias reflexões. A posteriori, entretanto, a leitura de suas obras sugere frequentemente a presença de reflexões epistemológicas – até mesmo de um tratado completo de epistemologia. Os leitores semioticistas não são os únicos responsáveis por esse viés de leitura: filósofos, linguistas e pesquisadores em ciências humanas e sociais concordam a esse respeito. (BADIR; LEMOS, op. cit., p. i).

Agora que temos certeza das boas e antigas relações entre os termos e os conceitos da Epistemologia e da Semiótica, principalmente por estes últimos, vamos ver como isso se dá, ou não, nos laboratórios de Ciências por Investigação.

Podemos ver que segundo Borges (2002, p. 306), o laboratório didático de investigação teria quatro níveis (0, 1, 2 e 3) e três áreas: problemas, procedimentos e conclusões (Figura 7). Porém vimos, como resultados da nossa pesquisa, que as Epistemologias são inerentes aos professores e, dessa forma, elas estarão presentes nas atividades de investigação. Por exemplo, caso o modelo descrito por um aluno não esteja de acordo com o modelo aceito pelo professor, este tentará demover o aluno de seu modelo, induzindo o estudante a aceitar e utilizar o modelo epistemológico aceito pelo professor.

Iniciamos, então, uma busca de perspectivas nesses laboratórios e suas sugestões didáticas para os trabalhos de professores e alunos. Por nossa escolha e baseando-nos nas referências que elencamos entre algumas mais recentes (ZÔMPERO; LABURÚ, 2011; CARVALHO, 2011; UENO-GUIMARÃES; MURAMATSU, 2017; KASSEBOEHMER, HARTWIG E FERREIRA, 2015 apud ANTUNES; GIBIN, 2019), dos quais apontam que, direta ou indiretamente, a base

inicial das suas propostas seria o trabalho original de Pella (1961). Milton Pella elenca cinco graus de liberdade e seis etapas de procedimentos, dentro da perspectiva de um laboratório de ensino investigativo. Nesse trabalho, Pella só considera a ação de Professores e Alunos em cada etapa e em cada grau, não existe compartilhamento entre os atores. No período que estudamos, percebemos pequenas variações entre as tabelas, por exemplo entre Pella (1961), Tamir (1991, apud BORGES, 2002) e Carvalho (2011).

Para Milton Pella o laboratório de Ciências deve ser um ambiente de desenvolvimento do estudante, deve ser utilizado para auxiliar o ganho de compreensão do aluno (PELLA, 1961, p. 31), e ele propõe então cinco graus de liberdade na relação professor e aluno, que devem ser seguidas, de forma gradual e contínua. Podemos verificar na Figura 6 abaixo como Pella pensava sua organização em seis etapas e cinco graus de liberdade. Em cada etapa as ações podem ser divididas entre professor e aluno, mas nos graus quatro e cinco é que o desenvolvimento científico realmente acontece (PELLA, op. cit.).

Graus de liberdade disponíveis para o professor usando laboratório					
Etapas do procedimento	Graus de liberdade				
	I	II	III	IV	V
Declaração do Problema	P	P	P	P	A
Hipótese	P	P	P	A	A
Plano de Trabalho	P	P	A	A	A
Desempenho	A	A	A	A	A
Coleta de Dados	A	A	A	A	A
Conclusão	P	A	A	A	A
P – Professor A - Aluno					

Figura 6: quadro traduzido do original de Milton Pella (PELLA, 1961, p.31, tradução nossa)

Neste caso, a Sequência de Ensino por Investigação proposta por Lopes (2013) encaixa-se melhor no grau dois, apesar de o autor almejar atingir graus maiores, a própria característica da SEI é limitar o grau de liberdade, ao direcionar demasiado os procedimentos dos laboratórios. Entretanto, para as atividades, para os laboratórios parciais, em cada fase da SEI, é possível atingir o nível 4. Mas vejamos os demais modelos de laboratório.

Para Tamir (TAMIR, 1991 apud BORGES, 2002) o laboratório deve ter apenas três aspectos fornecidos, Problemas, Procedimentos e Conclusões, que seriam três das etapas do modelo de Pella. Porém os níveis de investigação são quatro e um deles é o nível zero, em que todos estes aspectos são dados pelo professor, por exemplo, como pode-se ver na Figura 7 a seguir.

Níveis de investigação no laboratório de ciências				
	Nível de Investigação			
	Nível 0	Nível 1	Nível 2	Nível 3
Problemas	Dados	Dados	Dados	Em aberto
Procedimentos	Dados	Dados	Em aberto	Em aberto
Conclusões	Dados	Em aberto	Em aberto	Em aberto

Figura 7: graus de liberdade em um laboratório segundo Tamir (1991), apud Borges (2002)

Já nesse momento, Carvalho (2011) nos traz outra concepção de graus de liberdade em laboratório, muito próxima da de Pella, mas sem a etapa “Desempenho dos Alunos”, como vemos na Figura 8 abaixo.

Graus de liberdade do professor/aluno em aulas de laboratório					
Etapas do procedimento	Graus de liberdade				
	I	II	III	IV	V
Declaração do Problema	P	P	P	P	A
Hipótese	P	P	P	A	A
Plano de Trabalho	P	P	A	A	A
Coleta de Dados	A	A	A	A	A
Conclusão	P	A	A	A	A

P – Professor A - Aluno

Figura 8: graus de liberdade em um laboratório segundo Carvalho (2011)

Em Carvalho (2006, apud ZÔMPERO; LABURÚ, 2011) há diferenciação significativa, pois em alguns graus de liberdade e em algumas etapas dos processos, há maior parceria entre professor e aluno. Por exemplo, no grau dois, na etapa do desenvolvimento das hipóteses, é importante a parceria entre professor e aluno, em diálogo, desenvolvendo uma hipótese em conjunto, por exemplo.

Segundo Zômpero e Laburú, Carvalho propõe que no grau dois as hipóteses sejam desenvolvidas pelos alunos, mas orientados pelo professor (ZÔMPERO, LABURÚ, 2011, p. 77), como podemos perceber a indicação na Figura 9 a seguir.

Graus de Liberdade professor/aluno					
Etapas do processo	Graus de liberdade				
	Grau I	Grau II	Grau III	Grau IV	Grau V
Problema	P	P	P	P	A
Hipóteses	P	P/A	P/A	P/A	A
Plano de trabalho	P	P/A	A/P	A	A
Obtenção de dados	P	A/P	A	A	A
Conclusões	P	A/P/Classe	A/P/Classe	A/P/Classe	A/P/Classe

Figura 9: graus de liberdade em laboratório segundo Carvalho (2006, apud ZÔMPERO; LABURÚ, 2011)

O trabalho de Ueno-Guimarães e Muramatsu sobre o ensino investigativo (2017) traz nova luz sobre o tema, com os autores propondo um quadro novo (Figura 10), diferente do proposto por Borges (2002) e por Pella (1961), inserindo um “grau zero”, de liberdade. Em uma situação na qual o aluno apenas testa a validade de um processo ou de uma teoria.

Graus de Liberdade professor/aluno						
Etapas do processo	Graus de liberdade					
	Grau 0	Grau I	Grau II	Grau III	Grau IV	Grau V
Problema	-	P	P	P	P	A
Hipóteses	-	P	P/A	P/A	P/A	A
Plano de trabalho	P	P	P/A	A/P	A	A
Obtenção de dados	Cozimento de dados	A	A/P	A	A	A
Conclusões	P	P	A/P/ Classe	A/P/ Classe	A/P/ Classe	A/P/ Classe

Figura 10: graus de liberdade em laboratório na relação professor e aluno segundo Ueno-Guimarães e Muramatsu (2017)

Vejamos mais outro quadro na Figura 11, a seguir. Proposto por Kasseboehmer, Hartwig e Ferreira (2015, apud, ANTUNES e GIBIN, 2021), as etapas do processo continuam muito fechadas, sendo aumentado apenas os graus de liberdade dentro do laboratório.

Níveis de liberdade em um experimento						
Etapas do processo investigativo	Níveis de liberdade					
	0	1	2	3	4	5
Problema	Dado	Dado	Dado	Dado	Dado	Em aberto
Material	Dado	Dado	Dado	Dado	Em aberto	Em aberto
Procedimento Experimental	Dado	Dado	Dado	Em aberto	Em aberto	Em aberto
Coleta e análise dos Dados	Dado	Dado	Em aberto	Em aberto	Em aberto	Em aberto
Conclusões	Dado	Em aberto	Em aberto	Em aberto	Em aberto	Em aberto

Figura 11: níveis de liberdade em um experimento segundo Kasseboehmer, Hartwig e Ferreira (2015, apud ANTUNES; GIBIN, 2021).

Neste caso, como em Borges (2002), o indicado pelos autores é que o professor aumente gradativamente os níveis de liberdade dos alunos, como é bem reforçado por Antunes e Gibin (2021, p. 131) e por Silva, Silva e Kasseboehmer (2019, p. 361 - 362) e que pode ser visto acima, na Figura 11.

Agora, o que vimos até então foram propostas que alteram os graus de liberdade dentro de um laboratório. Porém, Rodriguez e León (1995) trazem um levantamento histórico e um quadro comparativo entre as propostas de elementos dentro do Ensino por Investigação na época e que o que se altera são os momentos do processo do Ensino por Investigação. Na tabela que está na Figura 12, a seguir, existem dez momentos dentro do processo, todos muito importantes no laboratório, principalmente em se considerando a epistemologia e a semiótica no EnCI e em uma SEI. Além dos “Momentos do Processo”, também é possível perceber que nenhuma das propostas atinge todos eles, todas não contemplam pelo menos três itens.

Somente “Oliveira (1992)” contempla “Atuação no meio” com propostas de intervenções e ações, o que, atualmente é muito interessante e muito bem relacionado com a relação entre Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS). E, também, somente “Garcia (1993)” contempla “Metacognição”, com reflexão sobre o processo, mas muito importante quando consideramos a Epistemologia no laboratório didático de investigação. “Recapitulação e síntese” somente aparecem em “Del Carmen (1988)” e em “Gil (1993)”, apesar de que são elementos muito importantes para uma boa análise Semiótica, com “Modelos Explicativos” em Del Carmen e “esquemas, Mapas

conceituais” em Gil. De certa forma, esse quadro que Rodriguez e León apresentam, traz muitas informações úteis, práticas e importantes para o uso da Semiótica e da Epistemologia para o EnCI e para a elaboração e aplicação de uma SEI.

Momentos do Processo	Propostas				
	Del Carmen (1988)	Olvera (1992)	Zabala (1992)	Gil (1993)	Garcia (1993)
Escolha do objeto de estudo e problema	Planejamento e clarificação do problema	Escolha do objeto de estudo	Explicitação de perguntas	Situação problemática. Precisar o problema	Contato inicial, formulação do problema
Expressão das ideias dos alunos. Emissão de hipóteses	Definição, hipóteses de trabalho	Definição de hipóteses	Hipóteses, respostas intuitivas	Construção de modelos hipotéticos	Interação com as informações dos alunos
Planejamento da investigação	Planejamento da investigação e instrumentos	Planejamento da investigação	Fontes de informações, tomada de dados		Elaboração de estratégias para incorporar novas informações
Nova informação	Aplicação de instrumentos de investigação	Materiais e instrumentos	Tomada de dados	Realização de atividades	Interação da informação nova e pré-existente
Interpretação dos resultados e conclusões	Comunicação, discussão, valoração	Comunicação da investigação. Publicação de trabalhos.	Seleção, classificação de dados e conclusão.	Interpretação dos resultados, relação hipóteses e corpo teórico	
Expressão e comunicação dos resultados	Comunicação, discussão, valoração	Comunicação da investigação. Publicação de trabalhos.	Expressão. Comunicação	Comunicação Intercâmbio entre equipes	Elaboração da informação existente. Recapitulação.
Recapitulação e síntese	Sínteses. Identificação. Modelos explicativos			Sínteses, esquemas. Mapas conceituais	
Aplicação de Novas Situações			Generalização	Possibilidades de aplicação	Aplicação. Generalização
Metacognição					Reflexão sobre o processo
Atuação no meio		Proposta de intervenções. Ações			

Figura 12: comparação de propostas de Ensino por Investigação com diferentes etapas do processo em laboratório segundo Rodriguez e León. (1995). Tradução nossa.

Primeiramente, iremos refletir aqui sobre o conceito de laboratório, mais apropriado para a realidade escolar e para o próprio quadro teórico do Ensino de Ciências por Investigação e as Sequências de Ensino por Investigação.

Quando vemos o termo “laboratório”, vem a nossa mente os locais com equipamentos diversos e ambiente separado para as Ciências Naturais em ambiente escolar. Por exemplo em Química, bancadas com banquetas, tripés, telas de amianto, bicos de Bunsen, béqueres e erlenmeyeres. Ácidos e bases, sais e reagentes de todo tipo.

Em um laboratório físico de Física, além de mesmas bancadas com banquetas, teríamos balanças, pesos e contrapesos, carrinhos, pêndulos, cronômetros e régua. Para o laboratório de Biologia além de todos estes itens, animais em material conservante, herbarário para vegetais diversos, microscópios e lupas diversas. Essas descrições podem ser encontradas em diversos materiais oficiais da Secretaria da Educação do Estado de São Paulo (SEDUCSP), com mais ou menos usos destes materiais descritos, pois há um movimento de se fazer práticas experimentais sem material adequado, como potes compridos, porções de água e óleo e luz de celular, por exemplo (SÃO PAULO, 2021d; 2021e).

E mais, tanto com Joelma Cruz (2007) quanto nos materiais da SEDUCSP (SÃO PAULO, op. cit.), apesar de se autodescreverem como materiais para investigação científica, ainda apresentam limitações do tipo que os menores graus de liberdade dos autores que vimos anteriormente apontam. Descrevem roteiros fechados em todas as atividades e procedimentos propostos. Podemos até mesmo pensar que a proposta de Cruz seja anacrônica, por ser de 2007, porém as da SEDUCSP são de 2021, com aplicações em 2022 e 2023. Na última revisão deste texto acessamos o site da Escola de Formação e Aperfeiçoamento dos Profissionais da Educação “Paulo Renato Costa Souza” (EFAPE) (<https://efape.educacao.sp.gov.br/curriculopaulista/educacao-infantil-e-ensino-fundamental/materiais-de-apoio-2/> , acesso em 15/05/2023) e pudemos verificar que os materiais continuam os mesmos em suas essências, apenas atualizaram o início com as informações da nova gestão estadual e demais informações padrão dos novos documentos, sem revisão concreta ou ampliação das pouquíssimas atividades de práticas experimentais disponíveis. Ou seja, as descrições continuam com apenas o

primeiro nível de liberdade dos laboratórios descritos pelos autores elencados no início do capítulo.

Para que os conceitos de “laboratório” descritos anteriormente, com seus respectivos graus ou níveis de liberdade, sejam bem utilizados no EnCI para uma SEI que envolva Física Moderna, por exemplo, precisamos expandir a compreensão do termo utilizado para o que temos dentro de uma Sequência de Ensino por Investigação. Se pensarmos o termo “laboratório” apenas como o ambiente físico do laboratório de Ciências da Natureza descrito acima e como também as atividades experimentais desenvolvidas nesse ambiente, de forma alguma estaríamos contemplando o que realmente ocorre no desenvolvimento de uma SEI.

Por isso, então, quando nos referimos aos “graus” ou aos “níveis” de liberdade de um laboratório como em Zômpero e Laburú ou Borges, por exemplo (ZÔMPERO; LABURÚ, 2011; Borges, 2002), estamos considerando que estes “graus” e “níveis” estão relacionados também com todas as atividades desenvolvidas em uma SEI. Pois nas interações entre alunos e professores durante as atividades de uma SEI sempre deve-se ter em mente que essas relações precisam de estruturas, direcionamento dentro de certos níveis e graus de liberdade, seja em uma leitura de texto, seja em uma atividade lúdica ou na construção de um modelo em escala.

Finalmente, quanto à epistemologia e a semiótica nas atividades das SEI's trabalhadas nos cursos dos Encontros USP-Escola, presente nos resultados da nossa pesquisa, não há equivalentes nos modelos de laboratório elencados anteriormente. Começando em Pella e passando por Tamir e Borges, Carvalho, Zômpero e Laburú, Kasseboehmer, Hartwig e Ferreira até Ueno-Guimarães e Muramatsu pudemos perceber que em nenhum caso é apontado como fator limitante aos graus de liberdade, o uso ou a identificação da epistemologia apresentada pelos professores e pelos estudantes. E em nossa pesquisa pudemos observar que tanto a Epistemologia quanto a Semiótica são relevantes dentro da estrutura da SEI, em se tratando de Ensino de Física Moderna, além dos termos “grau” e “nível” de liberdade em laboratório serem ampliados em conceito para abrangerem todas as atividades de uma SEI, precisamos também inserir conceitos de Epistemologia e Semiótica tanto na elaboração dessas mesmas sequências, quanto na observação e avaliação da atitude e compreensão delas e suas atividades pelos estudantes participantes.

Ensinar exige a convicção de que a mudança é possível

Um dos saberes primeiros, indispensáveis a quem, chegando a favelas ou a realidades marcadas pela traição a nosso direito de ser, pretende que sua presença se vá tornando convivência, que seu estar no contexto vá virando estar como ele, é o saber do futuro como problema e não como inexorabilidade.

(FREIRE, 1996, p. 76)

9. COMENTÁRIOS FINAIS E PROPOSTAS PARA O FUTURO

O percurso foi longo e agradecemos muito que você, leitor, tenha chegado até aqui. Iniciamos com as limitações do Ensino de Ciências por Investigação e da elaboração de uma Sequência de Ensino por Investigação. Vimos que, segundo vários autores, esse quadro teórico funciona muito bem para a Física Clássica em vários casos. Todavia, ao testar este quadro com atividades relacionadas à Física Moderna e suas abstrações, ele se mostrou, de certa forma, insuficiente, necessitando de intervenções do professor em um processo de indução às respostas, e não a um processo real de descoberta das respostas pelos estudantes (LOPES, 2013; SACA, 2017).

Essa limitação do quadro teórico nos impeliu a buscarmos soluções, as quais, durante as análises de respostas de professores que participaram de cursos sobre Física Moderna em Encontros USP-Escola, se apresentaram como a Semiótica e a Epistemologia. Sendo necessárias tanto na elaboração de uma SEI quanto na análise das respostas dos alunos para as atividades dessa SEI.

9.1. A SEMIÓTICA

Nos capítulos 4 e 7 pudemos mostrar a necessidade de se utilizar a Semiótica no Ensino de Ciências por Investigação. No capítulo 4, nas análises das respostas dos professores apareceram visões semióticas diferentes, tão diferentes como quase a totalidade de propostas semióticas bem conhecidas (Peirce, Hjelmslev, Greimas, Saussure, Eco). E para que todas fossem contempladas de forma mais ou menos equânime utilizamos Umberto Eco e sua visão semiótica particular, como apontado já por Öztük Kasar e Can (2017) e Santaella (2011).

No capítulo 4 mostramos que o “professor 3” utilizou esquemas e que esta forma semiótica de comunicação pode ser verificada em Nöth e Santaella (2017, p. 173) e em Eco (2013, p. 451). E no caso do uso de metáforas, a referência utilizada para a análise foi de Eco (2013, p. 103).

Para o “professor 5” pudemos encontrar o uso de conhecimentos sob aspectos dicionarísticos ou enciclopédicos, relacionado à semiótica bem conhecida elencada em Eco (1998; 2001; 2013). Segundo Umberto Eco o uso de recursos comunicativos como dicionários e enciclopédias é muito comum, desde a antiguidade (ECO, 2013, p. 13).

O “professor 6”, ao descrever o átomo, utilizou desenhos, escreveu, descreveu utilizando ícones, metáforas e analogias (paralelos). Como um raciocínio por analogias (ECO, 1999, pp. 126-127).

O “professor 28” utilizou textos para explicar suas ideias e conceitos, utilizando características dicionarísticas diferentes para fazer suas analogias, algo que, segundo Eco (1998, p. 213) se assemelha à proposta de Hjelmslev.

Estes pontos, em nossa análise já são bons indícios de que, na análise de respostas de um processo dentro do Ensino de Ciências por Investigação, a Semiótica deva ser utilizada, de forma a ampliar e aprofundar a análise dessas respostas. Sendo, assim, um ponto de interesse no “laboratório” de atividades investigativas, dentro, inclusive, de uma Sequência de Ensino por Investigação que pretenda desenvolver atividades em Física Moderna.

No capítulo 6, sobre a imagem, a abstração e a modelagem, trouxemos elementos que mostram a necessidade de uso de imagens, de abstração e de modelagem na Física e, conseqüentemente, no Ensino de Física, de modo geral. A abstração é lembrada por Mário Schönberg (SCHÖNBERG, 1990, p. 143) e Richard Feynman (FEYNMAN, 2008, p. 1-1, v.3). Já as imagens são importantes dentro da Física, como demonstra Peter Galison de forma bem direta e ampla no seu “Image and Logic” (GALISON, 1997). O próprio Niels Bohr usa imagens e descrições detalhadas do modelo de átomo que ele imagina ser o que mais se aproxima da realidade. Finalmente os modelos são recursos muito utilizados na Física, e uma das conseqüências do uso de modelos são as várias interpretações da Física Quântica (MONTENEGRO; PESSOA JR, 2002; GRECA; FREIRE JR, 2011, p. 357-373; LOPES, 2013). O uso de abstração, imagem e modelo é característica importante também para a Semiótica, que se utiliza destes recursos para compreender como a humanidade se comunica.

Sendo assim, a elaboração de uma Sequência de Ensino por Investigação necessita da Semiótica na elaboração de materiais para o estudo da Física Moderna, uma vez que ela prescinde de imagens, abstrações e modelagem.

Dessa forma, e, portanto, apresentamos no capítulo 7 a Semiótica, ou a Ciência que estuda a mentira, de tal forma que ela possa ser utilizada no desenho de novas SEI's que considerem o estudo de elementos de Física Moderna. Neste capítulo 7 partimos de uma Semiótica que pode ser utilizada para estudar a Física Clássica, estudar a Óptica Clássica por exemplo. Mas é no estudo da Física Moderna que a Semiótica mais se assemelha ao estudo da mentira, pois não desenhamos um átomo, por exemplo, pelo mesmo motivo que não desenhamos uma mão. Fazemos um desenho que remete a uma mão, traçando uma linha preta, por exemplo, imitando o contorno de uma mão. Porém, essa linha preta que define uma mão em um papel, é justamente o único elemento que não está na mão, não é um elemento de realidade.

Sendo assim, os recursos semióticos devem ser utilizados na elaboração de uma SEI, de tal forma dinâmicos e diversificados. O uso de ícones, símbolos, esquemas, desenhos, listas, conceitos enciclopédicos, textos denotativos, metáforas, analogias e modelos devem ser considerados de forma a seguirem por todo o processo, para que estes elementos estejam em todas as atividades propostas da sequência.

9.2. A EPISTEMOLOGIA

Vejamos agora como as respostas dos professores apresentam as epistemologias presentes em suas convicções. Conforme já elencamos no capítulo 4, de todos os professores participantes dos cursos, pudemos analisar as respostas de 28 participantes e, destes, separamos alguns casos de interesse e que de certa forma, representam a totalidade dos tipos de respostas que foram obtidas durante a pesquisa.

O “professor 1” externou uma preocupação com a experimentação como base de sua argumentação sobre como trabalharia o conceito de átomo com alunos do 9º

ano do Ensino Fundamental e, dessa forma, estaria com pensamento próximo ao experimentalismo de Roger Bacon e Galileu Galilei, conforme podemos verificar no trabalho de Paul Feyerabend (FEYERABEND, 2011 b, p. 41).

Para o “professor 3” a forma de trabalho com alunos seria algo mais aproximada de um programa de desenvolvimento do trabalho científico, como descrito por Imre Lakatos, e que podemos conhecer melhor com Alan Chalmers e Paul Feyerabend (CHALMERS, 1993, p. 114; FEYERABEND, 2011 b, p. 213-214), em um programa tal que usasse metáforas, como descrito por Umberto Eco (ECO, 2013, p. 103).

O caso do “professor 5” se assemelha mais com o objetivismo de Karl Popper e Imre Lakatos, em uma Ciência como desenvolvimento social (CHALMERS, 1993, p. 160). Ou mesmo como algo prático e empírico, como Demócrito, Leucipo (FEYERABEND, 2010, pp. 84 -85) e Lucrecio.

O “professor 6” tratou do assunto de como ensinar conceitos complexos aos alunos do ano final do Ensino Fundamental utilizando ideias e conceitos próximos aos dos obstáculos epistemológicos de Gaston Bachelard (BACHELARD, 1996, p. 29), sobre a experiência primeira. Ou seja, utilizando os conceitos prévios como ponto de partida e desenvolvendo novas visões e conceitos a partir de perguntas e questionamentos sobre os resultados das experiências produzidas e estudadas historicamente.

Finalmente, o “professor 28” não se utilizou de desenhos, ícones ou símbolos para descrever suas ideias e seus conceitos. Ele se utiliza de esquemas e experimentos de pensamento para descrever problemas que se aproximam das crises descritas por Thomas Kuhn após um período de calma e tranquilidade, com a Ciência normal (FEYERABEND, 2011 b, pp. 270-272; CHALMERS, 1993, p. 125). Os experimentos de pensamento foram muito difundidos com os debates Einstein-Bohr em meados do século XX (WHEELER; ZURECK, 1983, pp. 3-49).

E como a Semiótica também se propõe como uma Ciência do conhecimento, uma forma de Epistemologia como vimos em Sémir Badir e Carolina Lemos (2020, pp. ii – v), temos elementos suficientes elencados aqui para mostrar, primeiramente a importância da Epistemologia na análise de dados, depois, que a Semiótica pode ser

integrada à Epistemologia nesta análise, finalmente que com a diversidade de epistemólogos e epistemologias, de semioticistas e semióticas, para o contexto do Ensino de Ciências por Investigação é mais prudente o uso de referências que abrangem se não todas as demais referências, que abarquem a sua maioria e, neste ponto, para a Epistemologia a escolha por Paul Feyerabend e para a Semiótica a escolha de Umberto Eco fazem mais sentido.

9.3. A FORMAÇÃO DE PROFESSORES

A formação continuada de professores tem importância grande neste nosso contexto. Trouxemos no capítulo 4 a importância de se trabalhar em um curso para professores a vivência do curso no contexto do que se quer ensinar aos professores. Ou seja, o efeito foi positivo quando seguimos a proposta de Gil-Pérez:

- a) ser concebida em *íntima relação com a própria prática docente*, como tratamento dos problemas de ensino-aprendizagem que tal prática coloca;
- b) ser orientada no sentido de favorecer a *vivência* de propostas inovadoras e a reflexão didática explícita, questionando o pensamento e comportamento docente “espontâneos”, isto é, o caráter “natural” daquilo “que sempre se fez”;
- c) ser planejada para incorporar os professores na pesquisa e inovação na Didática das Ciências e, desse modo, proporcionar-lhes a construção do corpo de conhecimentos específico da Didática das Ciências e incorporá-los à comunidade deste campo. (GIL-PÉREZ, 1996, pp. 77 e 78, *itálicos no original.*)

Retomando este conceito vários professores pontuaram a validade desse projeto, estando em acordo com Gil-Pérez. Algumas dessas respostas se encontram no anexo 2, e que trouxemos no capítulo 4.

Para reflexão, foram propostas três provocações:

1. Você aplicaria as atividades trabalhadas neste curso? E as apresentadas pelos colegas?
2. Descreva as dificuldades ou facilidade em aplicar as atividades vistas nos cursos USP-Escola.
3. Descreva sua opinião sobre um curso ter tanto experimentos quanto formas de trabalhá-los em sala de aula.

E pudemos perceber nas repostas dos professores, representadas aqui por três delas, que promover um curso em que a teoria de ensino a ser ensinada é utilizada justamente para se aplicar o curso, promovendo uma vivência dessa teoria na prática, pelos professores, conforme propõe Gil-Pérez (GIL-PÉREZ, 1996, pp. 77 e 78) é sim uma boa prática e que deve ser replicada.

Esse aspecto sobre a formação continuada de professores tornou-se importante para a pesquisa, pois pudemos perceber em outros testes feitos em cursos anteriores, em que somente a aplicação de atividades investigativas não foi bem recebida. Por vezes nem percebida como uma atividade investigativa. Dessa forma, para que os resultados fossem alcançados, o próprio curso teve que ser repensado, e não somente a utilização de Epistemologia e Semiótica em Sequências de Ensino por Investigação. Tivemos que desenhar um curso sobre Ensino de Ciências por Investigação e como utilizar a ferramenta das Sequências de Ensino por Investigação de tal forma que o curso utilizasse o EnCI com o uso de SEI para casos da Física Moderna, ou seja, o curso era uma SEI.

9.4. E A QUESTÃO DE PESQUISA, FOI RESPONDIDA?

A nossa questão de pesquisa foi completamente respondida, e temos muitos indícios de que estamos no caminho correto. Trazemos a questão de pesquisa aqui para podermos analisá-la à luz da nossa pesquisa e dos dados que obtivemos até o momento:

Quais seriam as contribuições da Epistemologia e da Semiótica para que o Ensino de Ciências por Investigação possa ser utilizado por professores dos anos finais do Ensino Fundamental, para trabalharem conceitos de Física Moderna e Contemporânea em suas aulas de Ciências por meio de Sequências de Ensino por Investigação?

Como já elencamos anteriormente neste capítulo, a Epistemologia se apresenta como um elemento necessário para a análise das repostas dos professores em formação continuada, e não há por que duvidar que alunos não

apresentem comportamento semelhante quando estudam a Física Moderna por meio de Sequências de Ensino por Investigação. Ela deve ser utilizada também na elaboração dessas sequências de ensino, pois favorece o aproveitamento do conhecimento prévio do estudante.

E mais, a epistemologia de Paul Feyerabend traz consigo um conceito de multiplicidade de epistemologias outras, abarcadas no projeto dele e encaixa-se perfeitamente na nossa proposta de ampliação do quadro teórico do Ensino de Ciências por Investigação, facilitando a análise das respostas tanto quanto a elaboração de Sequência de Ensino por Investigação. Quem aplica a SEI pode e deve estar preparado para observar como válidas uma boa diversidade de conceitos diferenciados de conhecimento, de epistemologias diferentes, sem correr o risco de considerar um erro uma dada epistemologia ou valorizar um modelo epistemológico em detrimento de outros, mesmo que os estudantes não tenham conhecimento sobre qual epistemologia ele está se pautando. O importante, neste caso, é o aplicador da SEI estar preparado para aproveitar bem cada aspecto da interação do estudante no tocante à Epistemologia.

Aqui ele vale para a Semiótica. Umberto Eco nos brinda com uma diversidade de semioticistas e suas visões, algumas semelhantes e outras concorrentes, ou até antagônicas. Todavia, Eco nos mostra que na comunicação pode-se tentar várias formas de explicar algo a alguém. Na prática, tanto o professor, quanto o pesquisador, podem preparar uma SEI com recursos semióticos diversos, quantos mais variados, melhor. E na análise das respostas, na análise do processo, podem se utilizar de variadas formas de ler os signos utilizados no processo produzidos pelos participantes da sequência de ensino.

A formação de professores tanto inicial quanto continuada deve considerar tanto os aspectos epistemológicos, quanto os aspectos semióticos. Deve considerar que, para o caso do Ensino de Ciências por Investigação em que se utiliza como ferramenta do seu desenvolvimento a Sequência de Ensino por Investigação para estudar conceitos de Física Moderna, um curso de formação deva ter, ao mesmo tempo, esses temas e sendo desenhado com estes temas.

E que as atividades dessa SEI estejam em acordo com os níveis de liberdade que se relacionam à Semiótica e à Epistemologia. Não somente atividades de laboratório, no sentido estrito do termo, mas em sentido amplo, em que todas as atividades propostas em uma SEI tenham possibilidades de graus diferentes, dependendo apenas do público-alvo. Estas seriam as características necessárias para que o Ensino de Ciências por Investigação possa ser utilizado no ensino de conceitos de Física Moderna.

Sintetizando nosso trabalho em um quadro (Figura 13 abaixo), elencamos os “Momentos do Processo” de Rodriguez e León (1995) como “etapas da atividade de investigação”, pois não estamos pensando o laboratório de forma estrita, mas sim, ampla, em que todas as atividades e cada uma delas, dentro de uma Sequência de Ensino por Investigação possam ser contempladas, desde uma leitura de um texto histórico (original ou adaptado) até experimentos e atividades lúdicas que possam ser conduzidas em uma sala de aula, em um museu, um parque ou até mesmo em um laboratório.

Como não intentamos criar mais um modelo de “níveis ou graus de liberdade em um laboratório”, elencamos apenas alguns conceitos epistemológicos que possam aparecer nas respostas as atividades ou, de forma análoga, utilizadas para elaborar uma SEI.

Propomos, então, não somente mais um grau de liberdade para os níveis de investigação do EnCI, mas a consideração necessária aos conhecimentos prévios e contínuos de professores e alunos, uma vez que o Ensino de Ciências por investigação demanda conhecimentos amplos, mas o mais importante, que as mentes, as expectativas e as perspectivas de professores e alunos estejam abertas à novas experiências e concepções.

Defendemos, claro, que a posição epistemológica que deva ser adotada é a posição anárquica de Feyerabend, pois condiz com nossa proposta de liberdade criativa do estudante. E, dessa forma, esta liberdade é crítica na formação continuada do professor, que precisa se atualizar com cursos e encontros promovidos pela universidade, que não deve se furtar em auxiliar essa formação. E que a visão

semiótica seja a múltipla de Umberto Eco, tanto para a elaboração da SEI quanto para a análise dos materiais produzidos durante a aplicação da SEI.

Propostas de relações entre visões epistemológicas e semióticas em atividades investigativas na interação professor e aluno, na elaboração e na aplicação de Sequência de Ensino por Investigação					
Etapas da Atividade de Investigação	Conceitos Epistemológicos				
	<i>Indutivismo ou Empirismo</i>	<i>Falsificacionismo</i>	<i>Obstáculos Epistemológicos</i>	<i>Quebras de Paradigmas</i>	<i>Anarquia Epistemológica</i>
	Proposta de visão epistemológica via pesquisadores da área				
	<i>Roger Bacon Galileu Galilei Francis Bacon</i>	<i>Karl Popper</i>	<i>Gaston Bachelard</i>	<i>Thomas Kuhn</i>	<i>Paul Feyerabend</i>
	Proposta de visão semiótica via pesquisadores da área				
	Charles Sanders Peirce	Algirdas Julius Greimas	Louis Hjelmslev	Umberto Eco	Umberto Eco
Escolha do objeto de estudo e problema	Professor	Professor	Professor	Professor	Aluno
Expressão das ideias dos alunos. Emissão de hipóteses	Professor e Aluno	Aluno e Professor	Aluno e Professor	Aluno	Aluno
Planejamento da investigação	Professor e Aluno	Aluno e Professor	Aluno e Professor	Aluno	Aluno
Nova informação	Professor	Aluno e Professor	Aluno e Professor	Aluno	Aluno
Interpretação dos resultados e conclusões	Professor e Aluno	Aluno	Aluno	Aluno	Aluno
Expressão e comunicação dos resultados	Professor e Aluno	Aluno	Aluno	Aluno	Aluno
Recapitulação e síntese	Professor e Aluno	Professor e Aluno	Professor e Aluno	Aluno e Professor	Aluno
Aplicação de Novas Situações	Professor e Aluno	Professor e Aluno	Professor e Aluno	Professor e Aluno	Aluno
Metacognição	Professor e Aluno	Professor e Aluno	Professor e Aluno	Professor e Aluno	Aluno
Atuação no meio	Professor e Aluno	Professor e Aluno	Professor e Aluno	Professor e Aluno	Aluno

Figura 13: propostas de relações entre visões epistemológicas e semióticas em atividades investigativas na interação professor e aluno, na elaboração e na aplicação de Sequência de Ensino por Investigação

Então, a estrutura para o Ensino de Ciências por Investigação passa a ter, em nossa visão, além do conteúdo a ser ensinado, as metodologias de ensino e o papel do professor passa a ter a Epistemologia a ser considerada e a Semiótica a ser utilizada, nesse contexto de estudos da Física Moderna. Na Figura 13 acima, propomos relações entre visões epistemológicas e semióticas, ainda fracamente

ligadas e testadas, mas que apresentam certas relações na literatura até o momento utilizadas.

A proposta geral foi seguir o aumento de complexidade das interações e da liberdade de escolha com foco no aluno, ou seja, partindo de atividades que contemplem o empirismo de Roger Bacon e Galileu Galilei ou o indutivismo de Francis Bacon, depois o falsificacionismo de Karl Popper, supere os obstáculos epistemológicos de Bachelard, passe pelas crises e pelas quebras de paradigmas até atingir uma anarquia epistemológica de Feyerabend. Ao mesmo tempo, mas ainda fracamente ligadas, as semióticas de Peirce, de Greimas, de Hjelmslev e de Umberto Eco, com esse aumento de complexidade de formas de comunicação. Ressalva importante é que essa proposta, nenhum momento, pretendia classificar estes pesquisadores em inferiores e arcaicos e superiores e modernos. Muito pelo contrário, como no pensamento de Paul Feyerabend, não é um “tudo vale” e nem uma categorização de conceitos, mas um alerta para que, de certa forma, todos são importantes e que todos, ao menos os aqui elencados, devam ser considerados no Ensino de Ciências por Investigação no estudo de conceitos de Física Moderna.

Essa relação de aumento de complexidade que aparece no alto da Figura 13 está mais relacionada com as respostas dos professores e nossa análise, do que com uma pesquisa teórica aprofundada dessas relações. Por isso que nosso anseio é que as propostas apresentadas na Figura 13 sejam, a partir de agora, testadas em cursos, Sequências de Ensino por Investigação e na análise de dados, de respostas às atividades desenvolvidas nesse tipo de sequências de ensino.

A epistemologia utilizada pelo professor, por exemplo, deve ser explicitada, de tal forma que o aluno possa com o tempo conhecer várias delas e poder utilizá-las de forma mais livre, conforme desenvolve suas atividades investigativas. Quanto à semiótica, utilizada aqui como recurso comunicacional, deve ser entendida e trabalhada como formas diversas de se expor e explicar uma ideia ou um conceito, e que a variedade de linguagens semióticas utilizada favorece a compreensão do tema.

Consequentemente, uma SEI deve ter, entre seus pontos fundamentais, então, as diferentes visões científicas e suas epistemologias, em complemento ao ponto sobre as diferentes etapas das explicações científicas. Assim como também a

semiótica deva ser um ponto fundamental, como as diferentes formas de se comunicar um conceito, uma ideia ou um fato científico.

Elencamos em diversos pontos do nosso trabalho, aspectos relevantes tanto da epistemologia quanto da semiótica para serem considerados pontos fundamentais de uma SEI. E aparecem novamente ao considerarmos os oito aspectos importantes para se elaborar uma SEI. Além da participação ativa do estudante, da importância da interação aluno-aluno, do papel do professor como elaborador de questões, da criação de um ambiente encorajador, dos conhecimentos prévios do aluno, do significado do problema para o aluno, da relação entre Ciência, Tecnologia e Sociedade e da passagem da linguagem cotidiana para a linguagem científica, é importante elencarmos a diversidade de ideias e conceitos epistemológicos e da complexidade semiótica da comunicação tanto entre alunos, entre alunos e professores, e entre comunidades de aprendizagem.

Não intentamos aqui esgotar todas as implicações e possibilidades de usos da Epistemologia e da Semiótica no Ensino de Ciências por Investigação ao estudarmos conceitos de Física Moderna. Nosso foco sempre foi mostrar que o EnCI precisa dessas Ciências para estudarmos a Física Moderna, e percebemos que nosso intento foi alcançado. E que ao menos alguns pontos são de interesse na continuação de estudos e pesquisas.

9.5. CONSIDERAÇÕES SOBRE OS PRÓXIMOS PASSOS DA PESQUISA

Consideramos de interesse para a continuação das pesquisas deste trabalho um maior aprofundamento sobre quais as ideias e conceitos epistemológicos estão presentes nas mentes e ações dos professores. E esta deveria ser uma pesquisa estatística. E parariamos em Feyerabend ou teriamos outra visão epistemológica melhor e mais ampla, fora do eixo Estados Unidos e Europa?

Seria necessário definir melhor os limites da Epistemologia dentro de uma Sequência de Ensino por Investigação, inclusive se é válida para outros casos que não somente a Física Moderna. Por exemplo, a Física Moderna não é composta

apenas por Física Quântica, mas por Caos Determinístico e Fractais, áreas de estudo para alunos do Ensino Médio.

E sobre o alcance da Semiótica? Podemos tabelar as semióticas diversas e enquadrá-las em uma etapa dentro de um processo de uma atividade em uma SEI?

Nossos estudos aqui apresentados somente seriam válidos para professores do Ensino Fundamental? O quadro teórico do EnCI e da SEI podem valer para ensinar conceitos de Física Moderna para alunos de uma graduação em Física, por exemplo?

E é com estas questões em aberto, que podem favorecer o desenvolvimento de novas linhas de pesquisas para nosso grupo ou para outros, nos despedimos aqui e desejamos Saúde e Paz a todos os leitores e suas Famílias e Amigos.

Ensinar exige segurança, competência profissional e generosidade

A segurança com que a autoridade docente se move implica uma outra, a que se funda na sua competência profissional. Nenhuma autoridade docente se exerce ausente desta competência. O professor que não leve a sério sua formação, que não estude, que não se esforce para estar à altura de sua tarefa não tem força moral para coordenar as atividades de sua classe.

(FREIRE, 1996, p. 92)

10. REFERÊNCIAS

AZEREDO, J.L.; PIZZOLLO, M.C.C.; BITENCOURT, R.L. **A formação continuada de professores: um espaço para autoria?** Revista Internacional de Formação de Professores (RIFP), Itapetininga, v.3, n. 3, p. 148-166, jul./set., 2018.

BACHELARD, G. **A formação do espírito científico:** contribuição para uma psicanálise do conhecimento – Tradução de Esteia dos Santos Abreu – Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BADIR, S.; LEMOS, C. L. Semiótica e epistemologia: condições de um diálogo. **Estudos Semióticos**, vol. 16, n. 3, dezembro de 2020

BAKER, B. Interpretants and thirdness in the world of the quanta. *In*: 12nd World Congress of Semiotics – New Semiotics: between tradition and innovation, 2014, Sofia, **Proceedings...** Sofia: New Bulgarian University, 2014, p. 359-365.

BASSOLI, F.; LOPES, J.G.S.; CÉSAR, E.T. **Reflexões sobre experiências de formação continuada de professores em um centro de ciências: trajetória, concepções e práticas formativas.** Ciência e Educação, Bauru, v.23, n. 4, p. 817-834, 2017.

BECHARA, EVANILDO. **Dicionário da Língua Portuguesa Evanildo Bechara.** – 1.ª Edição – Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 2011.

BEVIDAS, W. **Epistemologia discursiva [recurso eletrônico]:** a semiologia de Saussure e a semiótica de Greimas como terceira via do conhecimento. – São Paulo: FFLCH/USP, 2020. 2752kB; pdf.

BELLUCCO, A. CARVALHO, A. M.P. Uma proposta de sequência de ensino investigativa sobre quantidade de movimento, sua conservação e as leis de Newton. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 31, n. 1, p. 30-59, abr. 2014.

BOHR, N. **Sobre a constituição de átomos e moléculas.** (Reimpressão das Memórias de 1913 publicadas no “Philosophical Magazine” com uma introdução por L. Rosenfeld) Coleção Textos Fundamentais da Física Moderna. 2ª. Ed. – Tradução de Egídio Namorado. – Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1979

BORGES, A.T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n.3: p.291-313, dez. 2002.

BRASIL. Ministério da Saúde. Conselho Nacional de Saúde. Resolução no 510, de 7 de abril de 2016. Trata sobre as diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisa em ciências humanas e sociais. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 24 maio 2016.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Básica. Base nacional comum curricular. Brasília, DF, 2018. Disponível em: <

http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_sit e.pdf>. Acesso em: 15 de jul. 2019.

CACHAPUZ, A. (*et al.*) (Organizadores) **A necessária renovação do ensino de ciências** – São Paulo: Cortez, 2005.

CAIVANO, JOSÉ LUIS. La investigación sobre los objetos visuales desde un punto de vista semiótico, con particular énfasis en los signos visuales producidos por la luz: color y cesía. **Cuadernos** nº17, FHYCS-UNJu, 2001.

CARVALHO, A.M.P. Habilidades de professores para promover a enculturação científica. **Revista Contexto & Educação**, 77, Jan/Jun 2007, 25-49.

CARVALHO, A.M.P. Ensino e aprendizagem de ciências: referenciais teóricos e dados empíricos das sequências de ensino investigativas (SEI); *In*: LONGHINI, Marcos Daniel (org.) **O Uno e o Diverso na Educação**. Uberlândia/MG: EDUFU, 2011.

CARVALHO, A.M.P. Critérios estruturantes para o Ensino das Ciências. *In*: CARVALHO, A.M.P. **Ensino de Ciências: unindo a pesquisa e a prática**. – São Paulo: Cengage Learning, 2015.

CARVALHO, A.M.P. O Ensino de Ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. *In*: CARVALHO, A.M.P. **Ensino de Ciências por Investigação: condições para implementação em sala de aula**. – São Paulo: Cengage Learning, 2016.

CARVALHO, A.M.P. **Ensino por Investigação**: As pesquisas que desenvolvemos no LaPEF. *Experiências em Ensino de Ciências*, V. 16, N.3, 2021.

CARVALHO, A.M.P. **Fundamentos Teóricos e metodológicos do Ensino por Investigação**. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*. 18(3), 765-794, Dezembro, 2018.

CARVALHO, A.M.P. (coord.). **Termodinâmica: um ensino por investigação** - São Paulo: FEUSP, 1999.

CARVALHO, A.M.P. (coord.). **Calor e Temperatura: um ensino por investigação**. – São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014.

CARVALHO, A.M.P.; SASSERON, L.H. **Ensino e aprendizagem de Física no Ensino Médio e a formação de professores**. *Estudos Avançados*, 32 (94), 2018.

CERN. **The Standard Model**. The Standard Model explains how the basic building blocks of matter interact, governed by four fundamental forces. (<https://home.cern/science/physics/standard-model> , acesso em 30 de abril de 2023)

CHAIKLIN, S. A zona de desenvolvimento próximo na análise de Vigotski sobre aprendizagem e ensino (tradução de Juliana Campregher Pasqualini). **Psicologia em Estudo**, Maringá, v. 16, n. 4, p. 659-675, out./dez. 2011.

CHALMERS, A.F. **O que é ciência afinal?** - Tradução Raul Fiker – 1ª. Ed. – São Paulo: Brasiliense, 1993.

COELHO NETTO, J. T. **Semiótica, informação e comunicação.** – 8ª. Ed. – São Paulo: Perspectiva, 2014.

CORTELLA, M.S. **Educação, Convivência e Ética: audácia e esperança!** – São Paulo: Editora Cortez, 2015. 118p.

CRUZ, J. B. **Laboratórios.** – Brasília: Universidade de Brasília, 2007.

DAVIS, C. L. F.; NUNES, M. M. R.; ALMEIDA, P. C. A.; SILVA, A. P. F.; SOUZA, J. C. **Formação continuada de professores em alguns estados e municípios do Brasil.** Cadernos de Pesquisa, v. 41, n. 144, set./dez., 2011, pp. 826-849.

ECO, U. **La Estructura Ausente:** introducción a la semiótica – traducción Francisco Serra Cantarell – Barcelona: Editorial Lumen, 1975.

ECO, U. **O signo.** – Tradução de Maria de Fátima Marinho. – Lisboa: Editorial Presença LDA, 1985.

ECO, U. **Kant e o Ornitorrinco.** – Tradução: Ana Thereza B. Vieira. – Rio de Janeiro: Record, 1998.

ECO, U. **Os limites da interpretação.** – Tradução: Pérola de Carvalho. – São Paulo: Editora Perspectiva, 1999.

ECO, U. **A busca da língua perfeita na cultura europeia.** – Tradução Antonio Angonese. – Bauru: EDUSC, 2001.

ECO, U. **Da árvore ao labirinto:** estudos históricos sobre o signo e a interpretação – tradução Maurício Santana Dias – Rio de Janeiro: Record, 2013.

ECO, U. **Tratado geral de semiótica** – tradução de Antônio de Pádua Danesi e Gilson César Cardoso de Souza. 5ª. Ed. – São Paulo: Perspectiva, 2014.

EINSTEIN, A. **O ano miraculoso de Einstein:** cinco artigos que mudaram a face da física – organização e introdução de John Stachel; – Tradução de Alexandre Carlos Tort. – Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 2001.

EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física Quântica** – Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas. Trad. Paulo C. Ribeiro, Enio F. Silveira, Marta F. Barroso. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1994.

ESCOTEIROS DO BRASIL. **Política Nacional de Adultos no Movimento Escoteiro:** Captar, capacitar e acompanhar adultos. União dos Escoteiros do Brasil – Curitiba: UEB, 2019 a.

ESCOTEIROS DO BRASIL. **Competências e Rotas de Aprendizagem – Dirigente**. União dos Escoteiros do Brasil. Curitiba: UEB, 2019 b.

FEYERABEND, P. K. **Adeus à razão** – tradução de Vera Joscelyne. – São Paulo: Editora UNESP, 2010.

FEYERABEND, P. K. **A Ciência em uma sociedade livre** – tradução de Vera Joscelyne. – São Paulo: Editora Unesp, 2011.a.

FEYERABEND, P. K. **Contra o método** – tradução de Cezar Augusto Mortari – 2ª ed. – São Paulo: Editora Unesp, 2011.b.

FEYNMAN, R., LEIGHTON, R.B., SANDS, M. **Lições de Física de Feynman**: edição definitiva – tradução Adriana Válio Roque da Silva e Kaline Rabelo Coutinho – revisão Adalberto Fazzio – 1ª. Reimp. 2009 - Porto Alegre: Bookman, 2008. 3 volumes.

FEYNMAN, R. **Só pode ser brincadeira, sr. Feynman!** - Tradução Donaldson M. Garschagen e Renata Guerra. – 1ª. Ed. – Rio de Janeiro: Intrínseca, 2019.

FREIRE JR, O. **Estudo sobre interpretações (1927-1949) da teoria quântica: Epistemologia e Física**. 1990. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. Instituto de Física: São Paulo, 1990.

FREIRE JR., O. A Story Without an Ending: The Quantum Physics Controversy 1950–1970. **Science & Education** 12: 573–586, 2003.

FREIRE, P.R.N. **Pedagogia do oprimido**. - 17ª. Ed. – Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.

FREIRE, P.R.N. **Pedagogia da Autonomia**: saberes necessários à prática educativa. – São Paulo: Paz e Terra, 1996. (Coleção Leitura).

FREITAS, P.F.P.; ODELIUS, C.C. Competências gerenciais: uma análise de classificações em estudos empíricos. **Caderno EBAPE.BR**, v.16, nº1, Rio de Janeiro, jan./mar. 2018.

GALISON, P. **Image and Logic**: a material culture of microphysics - Chicago: The University of Chicago Press, 1997.

GASPAR, Alberto; **Experiências de Ciências para o 1º grau**. - São Paulo: Ática, 1998.

GENTILE, P. **Antônio Nóvoa: “professor se forma na escola”**. Revista Nova Escola, edição 142, 01 mai. 2001. Disponível em: <https://novaescola.org.br/conteudo/179/entrevistaformacao-antonio-novoa> (acesso em 22/02/2022).

GIL-PÉREZ, D. Orientações Didáticas para Formação Continuada de Professores de Ciências. *In*: MENEZES, L. C. (org). **Formação Continuada de Professores de Ciências no contexto ibero-americano**. Tradução de Inés Prieto Schimidt, Sônia Salém. São Paulo: NUPES, 1996. (Coleção formação de professores).

GIORDAN, M. **Computadores e linguagens nas aulas de ciências**: uma perspectiva sociocultural para compreender a construção de significados – Ijuí: Ed. Unijuí, 2008.

GRANDY, R. E.; DUSCHL, R. A. Reconsidering the character and role of inquiry in school science: analysis of a conference. **Science & Education**, Dordrecht, v. 16, n. 2, p. 141-166, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11191-005-2865-z>.

GRECA, I.M; FREIRE Jr. O. Ênfase conceitual e interpretações no ensino da Mecânica Quântica. *In*: **Teoria Quântica**: Estudos históricos e implicações culturais, FREIRE Jr., O. BROMBERG, J.L. (organizadores) – Campina Grande: EDUEPB/ Livraria da Física, 2011.

REF. **Física 3 – Eletromagnetismo**. - SãoPaulo: EDUSP, 1995.

REF. **Física 2 – Física Térmica/ Óptica**. - SãoPaulo: EDUSP, 1996.

REF. **Física 1 – Mecânica**. - SãoPaulo: EDUSP, 1999.

HACKING, I. **Representar e Intervir** – Tópicos Introdutórios de Filosofia da Ciência Natural. Rio de Janeiro: Ed. UERJ, 2012.

HALLIDAY, D. RESNICK, R. **Física – parte II**. – Tradução Euclides Cavallari e Bento Afini Júnior. – 1ª. Ed. 5ª. Reimpressão. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico S/A, 1972

HALLIDAY, D. RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**, volume 4: óptica e física moderna. – Tradução Ronaldo Sérgio de Biasi. – 10ª. Ed. – Rio de Janeiro: LTC, 2016

HAWKING, S. **O Universo numa casca de noz**. – Tradução Cassio de Arantes Leite. – 1ª. Edição – Rio de Janeiro: Intrínseca, 2002.

KUHN, T. S. Metaphor in science. *In*: ORTONY, A. (Ed.), **Metaphor and Thought**. Cambridge: Cambridge University Press, 1993. (pp. 533-542).

KUHN, T. S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. Tradução Beatriz Vianna Boeira e Nelson Boeira. São Paulo: Editora Perspectiva S.A., 2003.

LEMKE, J. L. Talking Science: language, learning, and values. New Jersey: Ablex Publishing Corporation, 1990.

LEMKE, J. L. Science, Semantics, and Social Change. *In*: ANNUAL MEETING OF THE AMERICAN EDUCATIONAL RESEARCH ASSOCIATION, 1991. Chicago, **Proceedings** [...]. Chicago: American Educational Research Association, 1991

LEMKE, J.L. Multiplying Meaning: Visual and Verbal Semiotics in Scientific Text. *In*: J.R. Martin & R. Veel, Eds., **Reading Science**. London: Routledge. (pp.87-113). 1998.

LEMKE, J. L. **Teaching All the Languages of Science: Words, Symbols, Images, and Actions**. Acesso em 2 de abril de 2018. Disponível em: <http://academic.brooklyn.cuny.edu/education/jlemke/papers/barcelon.htm>

LIMA, L.G. **A abstração no ensino e aprendizagem da física: contribuições da teoria dos registros de representação semiótica na resolução de problemas**. – Tese (Doutorado). 2018. Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 2018.

LIMA, V. M. **Uma sequência de Ensino Investigativa em aulas de Ciências do 9º ano de uma escola pública**: reflexões e apontamentos sobre o aprendizado de conceitos, procedimentos e atitudes. Dissertação (Mestrado Profissional) – Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, UFOP, 2015

LOMBA, M.L.R; FILHO, L.M.F. **Os professores e sua formação profissional: entrevista com António Nóvoa**. Educar em revista, Curitiba, v. 38, e88222, 2022.

LOPES, C.V.M; MARTINS, R.A. J.J. Thomson e o uso de analogias para explicar os modelos atômicos: O ‘Pudim de Passas’ nos livros texto. *In*: VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Florianópolis, 2009, **Anais [...]**. Disponível em: <https://fep.if.usp.br/~profis/arquivos/viienpec/VII%20ENPEC%20-%202009/www.foco.fae.ufmg.br/cd/pdfs/1682.pdf> Acesso em 29 abr. 2023.

LOPES, E. S; UENO-GUIMARÃES, M. H.; MURAMATSU, M., Formação Continuada de Professores e o Encontro USP-Escola. 2019. *In*: **XXIII Simpósio Nacional de Ensino de Física** – SNEF 2019. Disponível em <https://sec.sbfisica.org.br/eventos/snef/xxiii/programa/trabalhos.asp?sesId=4> (acesso em 21 de abril de 2023).

LOPES, E.S; UENO-GUIMARÃES, M.H; CARDOSO, M.V.C. Modern Physics and the Inquiry-based Science Teaching: a possible convergence with Semiotics. 2022. *In*: XX IOSTE 2022, 2022, Recife. **Anais eletrônicos...** Campinas, Galoá, 2022. Disponível em: <<https://proceedings.science/ioste-2022/trabalhos/modern-physics-and-the-inquiry-based-science-teaching-a-possible-convergence-wit?lang=en>> Acesso em: 11 jan. 2023.

LOPES, E. S. **“E o elétron? É onda ou é partícula?”**: Uma proposta para promover a ocorrência da alfabetização científica de física moderna e contemporânea em estudantes do ensino médio. Dissertação (mestrado) – Instituto de Física e Faculdade de Educação da USP, São Paulo, 2013.

MACEDO, L. **O lúdico no processo de aprendizagem da criança**. Folha Educação, março/abril 2003.

MANFREDO, E. C. G; LOBATO, S. C. C. **Análise da própria prática no ensino de Ciências por meio de sequências Investigativas (SIS) envolvendo noções de Física com alunos dos anos iniciais do Ensino Fundamental**. Contexto & Educação, Editora Unijuí, ano 35, nº 110, jan/abr 2020

MASON, P. Gênese a Júpiter. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 6, a17, 1984.

MENEZES, L. C. (org.). **Formação Continuada de Professores de Ciências** – no âmbito ibero-americano. Tradução de Inés Prieto Schimidt, Sônia Salém. - São Paulo: NUPES, 1996.

MENEZES, L. C. Ensinar ciências no próximo século. *In*: Hamburger, Ernst W. (org). **O desafio de ensinar ciências no século XXI**. - São Paulo: EDUSP, 2000.

MODY, C. C. M. **Scientific Practice and Science Education**. Science Education. Vol. 99, No. 6, pp. 1026-1032 (2015).

MONTENEGRO, L.R.; PESSOA Jr, O. Interpretações da Teoria Quântica e as concepções dos alunos do curso de Física. **Investigações em Ensino de Ciências - V7 (2)**, PP. 107 - 126, 2002.

MORAES, T. S. V; CARVALHO; A.M.P. **Proposta de sequência de ensino investigativa para o 1º ano do ensino fundamental**. Espaço Pedagógico v. 25, n. 2, Passo Fundo, p. 407 – 437, maio/ago. 2018.

MOREIRA, M.A.; MASSONI, N.T. **Pesquisa qualitativa em educação em ciências: projetos, entrevistas, questionários, teoria fundamentada, redação científica** – São Paulo: Editora Livraria da Física, 2017.

MUNFORD, D.; LIMA, M.E.C.C. **Ensinar ciências por investigação: em que estamos de acordo?** Revista Ensaio, Belo Horizonte, v. 09, n.01, p. 89-111, jan-jun 2007

NÓVOA, A. **Os professores e a sua formação num tempo de metamorfose da escola**. Educação & Realidade, Porto Alegre, v. 44, n. 3, e84910, 2019.

NÓVOA, A. **Conhecimento profissional docente e formação de professores**. Revista Brasileira de Educação, v. 27, e270129, 2022.

NUSSENZVEIG, H.M. **Curso de Física Básica** – Volume 4: ótica, relatividade, física moderna. – 2ª. Ed. – São Paulo: Blucher, 2014

ODY, L. C.; LONGO, M. **Experimentações e práticas investigativas: reflexões sobre o ensino de ciências nos anos finais do ensino fundamental**. Espaço Pedagógico. V. 25, n. 2, Passo Fundo, p. 438-454, maio/ago 2018.

ÖZTÜRK KASAR, S.; CAN, A. Semiotics of Umberto Eco in a literary translation class: the model reader as the competent translator. **International Journal of Languages' Education and Teaching**, volume 5, issue 2, june 2017, p. 280-289.

PAIVA, J.R.; BARRELO JR, N.; CARVALHO, A.M.P. O uso de desenho na construção de conhecimento científico. *In*: **XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física** – SNEF 2015. Disponível em <https://sec.sbfisica.org.br/eventos/snef/xxi/sys/resumos/T0370-2.pdf> (acesso em 30 de junho 2019).

PELLA, M. O. The Laboratory and Science Teaching. **The Science Teacher**, Vol. 28. No. 5 (September 1961), p. 29 – 31.

PERRENOUD, P. Dez novas competências para uma nova profissão *In: _____*. **Pátio**. Revista Pedagógica (Porto Alegre, Brasil), nº 17, maio - julho, pp. 8-12, 2001.

PESSOA JR, OSVALDO (org). **Fundamentos da Física 1** – Simpósio David Bohm São Paulo: Editora Livraria da Física, 2000.

PESSOA JR, OSVALDO (org). **Fundamentos da Física 2** – Simpósio David Bohm São Paulo: Editora Livraria da Física, 2001.

PESSOA JR, OSVALDO. **Conceitos de Física Quântica- V1-** São Paulo: Editora Livraria da Física, 2003.

PESSOA JR, OSVALDO. **Conceitos de Física Quântica- V2-** São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

PESSOA JR., O. A representação pictórica de entidades quânticas da Química. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**, n. 7, 2007.

PIAGET, J. **A formação do símbolo na criança**: imitação, jogo e sonho, imagem e representação – tradução Álvaro Cabral e Christiano Monteiro Oiticica – 3ª. Ed. - Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1971.

PIAGET, J. **A noção de tempo na criança** – Tradução Rubens Fiúza - Rio de Janeiro: Distribuidora Record de serviços de imprensa S.A., 197-.

PIAGET, J. **A construção do real na criança**. – Tradução Ramon Américo Vasques – São Paulo: Editora Ática, 2003

PIAGET, J. INHELDER, B. **O desenvolvimento das quantidades físicas na criança**: conservação e atomismo – tradução Christiano Monteiro Oiticica – Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1971.

POPPER, K.R. **A Teoria dos Quanta e o cisma na Física**. – Tradução de Nuno Ferreira da Fonseca. – Lisboa: Publicações Dom Quixote, 1992.

PORTO, C. M. A Revolução Copernicana: aspectos históricos e epistemológicos. **Revista Brasileira de Física**, vol. 42, e20190190 (2020).

POSPIECH, G. Uncertainty and complementary: the heart of quantum physics. **Physics Education**, v. 35, n.6, p. 393-399, 2000.

PRESTES, Z. R. **Quando não é quase a mesma coisa**: Análise de traduções de Lev Semionovitch Vigotiski no Brasil – Repercussões no campo educacional. Tese (Doutorado). Universidade de Brasília Faculdade de Educação Programa de Pós-Graduação em Educação, Brasília: 2010.

ROBERTS, D. A. Scientific Literacy / Science Literacy. In: Abell, S. K.; Lederman, N. G. (editors) **Handbook of research on science education**. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates, Inc. Publishers, 2007

RODRIGUÉZ, J.J.G.; LEÓN,P.C. ¿Cómo enseñar? Hacia uma definición de las estrategias de enseñanza por investigación. **Investigación em la Escuela**, nº 25, 1995

SAAD, F.D. **Laboratório de Física Básica** - Laboratório Circulante. São Paulo: IFUSP, 1987.

SAAD, F.D.; REIS, D. G; YAMAMURA, P. **Explorando o mundo das ciências através de experimentos simples**, São Paulo: IFUSP, 1995

SACA, L. Y. **Discurso e Aspectos Epistêmicos: análise de aulas de Ensino por Investigação**. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Educação da USP, São Paulo, 2017.

SANTAELLA, L. **O que é semiótica** – 1ª. Ed. – São Paulo: Brasiliense, 1983.

SANTAELLA, L. **Umberto Eco** – um gênio polivalente. 2011. Disponível em: <http://portal.metodista.br/mutirao-do-brasileirismo/cartografia/verbetes/europa/umberto-eco> (Acesso em 14/9/ 2021).

SANTAELLA, L. **Semiótica Aplicada**. – São Paulo: Cengage Learning, 2018. 240p.

SANTAELLA, L.; NÖTH, W. **Introdução à Semiótica**: passo a passo para compreender os signos e a significação. – São Paulo: Paulus, 2017. – Coleção Introduções.

SANTOS, C.A.B; CURI, E. Registros de representação semiótica e suas contribuições para o ensino de Física. **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v. 14, n. 03, pp. 85-95, set-dez, 2012.

SÃO PAULO (estado). **Currículo Paulista** – Etapa Ensino Fundamental. São Paulo: SE, 2019.

SÃO PAULO (estado). **Currículo Paulista** – Etapa Ensino Médio. São Paulo: SE, 2020.

SÃO PAULO (estado). **Novo Ensino Médio**. São Paulo: SEDUCSP, 2021 a. Disponível em: <https://novoensinomedio.educacao.sp.gov.br/> (acesso em 23/04/2022)

SÃO PAULO (estado). **Itinerários Formativos** - Catálogo das Ementas detalhadas dos Aprofundamentos Curriculares. São Paulo: SEDUCSP, 2021 b. Disponível em: https://novoensinomedio.educacao.sp.gov.br/#section_02 (acesso em 23/04/2022)

SÃO PAULO (estado). **Matrizes Novo Ensino Médio**. São Paulo: SEDUCSP, 2021 c. Disponível em: https://novoensinomedio.educacao.sp.gov.br/#section_02 (acesso em 23/04/2022).

SÃO PAULO (estado). **Práticas experimentais e investigativas** – Ciências da Natureza Ensino Médio volume I. – São Paulo: SEDUCSP, 2021d. Disponível em: https://efape.educacao.sp.gov.br/curriculopaulista/wp-content/uploads/2022/01/Praticas-Experimentais-de-Ci%C3%A4ncias-da-Natureza_EM_Vol1.pdf (acesso em 12/10/2022).

SÃO PAULO (estado). **Práticas experimentais e investigativas** – Ciências da Natureza – Ciências – Ensino Fundamental Anos Finais volume único. – São Paulo: SEDUCSP, 2021e. Disponível em: https://efape.educacao.sp.gov.br/curriculopaulista/wp-content/uploads/2022/01/Praticas-Experimentais-de-Ci%C3%A4ncias-da-Natureza_EF_Anos-Finais.pdf (acesso em 12/10/2022).

SASSERON, L.H. **Alfabetização Científica no Ensino Fundamental: Estrutura e Indicadores deste processo em sala de aula**. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

SASSERON, L.H. Alfabetização científica, ensino por investigação e argumentação: relações entre ciências da natureza e escola. **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v.17, número especial, p. 49-67, novembro, 2015.

SASSERON, L.H.; CARVALHO, A.M.P. Almejando a alfabetização científica no Ensino Fundamental: a proposição e a procura de indicadores do processo. **Investigações em Ensino de Ciências** - V13 (3), PP. 333 - 352, 2008.

SASSERON, L.H.; CARVALHO, A.M.P. Construindo argumentação na sala de aula: a presença do ciclo argumentativo, os indicadores de Alfabetização Científica e o padrão de Toulmin. **Ciência e Educação (UNESP)**, v. 17, p. 97 – 114, 2011.

SCHENBERG, MÁRIO. **Pensando a Física**. São Paulo: Nova Stella Editorial, 1990.

SOARES, J.C.B; TREVISAN, E.P. Ensino de Física e a Teoria dos Registros de Representação Semiótica. **Revista Eventos Pedagógicos** – Número Regular: Formação de Professores no Ensino de Ciências e Matemática, Sinop, v. 8, n. 1, (21ª edição), pp. 443-468, jan. / jul. 2017.

SOUZA, R.T.Y.B; SOUZA, L.O.; OLIVEIRA, S. R.; TAKAHASHI, E.L.H. Formação continuada de professores de ciências utilizando a Aquaponia como ferramenta didática. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 25, n. 2, p. 395-410, 2019.

SPERANDIO, M.R.C.; ROSSIERI, R.A.; ROCHA, Z.F.D.C. O Ensino de Ciências por Investigação no processo de Alfabetização e Letramento de Alunos dos anos iniciais do Ensino Fundamental. **Experiências em Ensino de Ciências**, V. 12, No. 4, 2017

TANG, KS; TAN, CC. Intertextuality and Multimodal Meanings in High School Physics: Written and Spoken Language in Computersupported Collaborative Student Discourse. **Classroom Discourse**, 2017 VOL . 8, NO. 1, 19–35

TARDIF, M. **Saberes docentes e formação profissional** – tradução Francisco Pereira – 14^a ed. – Petrópolis: Vozes, 2012.

THOMSON, J.J. On the Structure of the Atom: na Investigation of the Stability and Periods of Oscillation of a number os Corpuscles arranged at equal intervals aronud the Circunference of a Circle; with Application of the results to the Theory of Atomic Structure. **Philosophical Magazine**. Series 6, Vol. 7, No. 39, March 1904.

TIPLER, P.A.; LLEWELLYN, R. A. **Física Moderna**. Tradução de Ronaldo Sérgio de Biasi. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

UENO-GUIMARÃES, M. H.; MURAMATSU, M. Um enfoque investigativo para o resultado de uma medida física. **Taller de Enseñanza de la Física**. Vol. VIII. Año 2017. Número 6. Edición Especial.

VIENNOT, L., CHAUVET, F., COLIN, P., REBMANN, G. Designing strategies and tools for Teacher Training: the role of Critical Details, exemples in Optics. **Wiley Periodicals**, **89**: 13-27, 2005.

WARTHA, J.E. **Processos de ensino e aprendizagem de conceitos de Química Orgânica sob um olhar da Semiótica Peirceana**. 2013. Tese (Doutorado). – Instituto de Química, Universidade de São Paulo, 2013

WARTHA, J.E; REZENDE, D.B. As representações no ensino de química na perspectiva da semiótica peirceana. **Rede Latino-Americana de Pesquisa em Educação Química - ReLAPEQ**. V. 1, n. 1, 2017.

WHEELER, J. A; ZUREK, W. H. (orgs). **Quantum Theory and Measurement**. Princeton: Princeton University Press, 1983

ZÔMPERO, A.F.; LABURÚ, C.E. Atividades investigativas no Ensino de Ciências: aspectos históricos e diferentes abordagens. **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v. 13, n. 03, pp. 67-80, set-dez 2011

Ensinar exige respeito aos saberes dos educandos

Por isso mesmo pensar certo coloca ao professor ou, mais amplamente, à escola, o dever de não só respeitar os saberes com que os educandos, sobretudo os das classes populares, chegam a ela – saberes socialmente construídos na prática comunitária – mas também, como há mais de trinta anos venho sugerindo, discutir com os alunos a razão de ser de alguns desses saberes em relação com o ensino dos conteúdos.

(FREIRE, 1996, p. 30)

ANEXO 1 – RESPOSTAS DOS PROFESSORES 1, 3, 5, 6 E 28

É importante notar que as respostas estão em ordem, e estão relacionadas às questões iniciais de padronização e de pesquisa e questões finais, perfazendo seis respostas para cada professor. Lembramos que as questões foram, respectivamente, as seguintes:

Questões iniciais:

1. O que vem à sua mente quando você se depara com o termo: “CADEIRA”;
2. O que vem à sua mente quando você se depara com o termo: “AMOR”;
3. O que vem à sua mente quando você se depara com o termo: “ÁTOMO”;
4. Como você explicaria o termo “ÁTOMO” para alunos do nono ano do Ensino Fundamental?

Questões finais:

5. O que vem à sua mente quando você se depara com o termo: “ÁTOMO”?
6. Como você explicaria o termo “ÁTOMO” para alunos do nono ano do Ensino Fundamental?

RESPOSTAS DO "PROFESSOR 1"

. *descansa*

Apais

particula

partícula muito pequena, forma substâncias.

Átomo é a menor partícula de um material, sem perder as suas propriedades.

Como explicar
Por meio de modelos e experimentos.

RESPOSTAS DO "PROFESSOR 3"

. Cadeira → veio à mente o objeto

· Amor → esposa

· Atomo → partícula

- Átomo → É a menor partícula de que é constituída a matéria. Quando falamos em matéria estamos falando de tudo o que existe na natureza.

Átomo → minha posição agora é de que há muitas possibilidades de explicação do átomo no sentido da divisibilidade.

21 (26)

Para o 9º ano propõe-se uma maneira lúdica nas explicações sobre o átomo; isso seria uma forma de iniciação.

RESPOSTAS DO "PROFESSOR 5"

Codeço
Sentar, depois e um objeto

"Amor"

116

Algo a bestado que ninguém vê, sente uma emoção
que contágia.

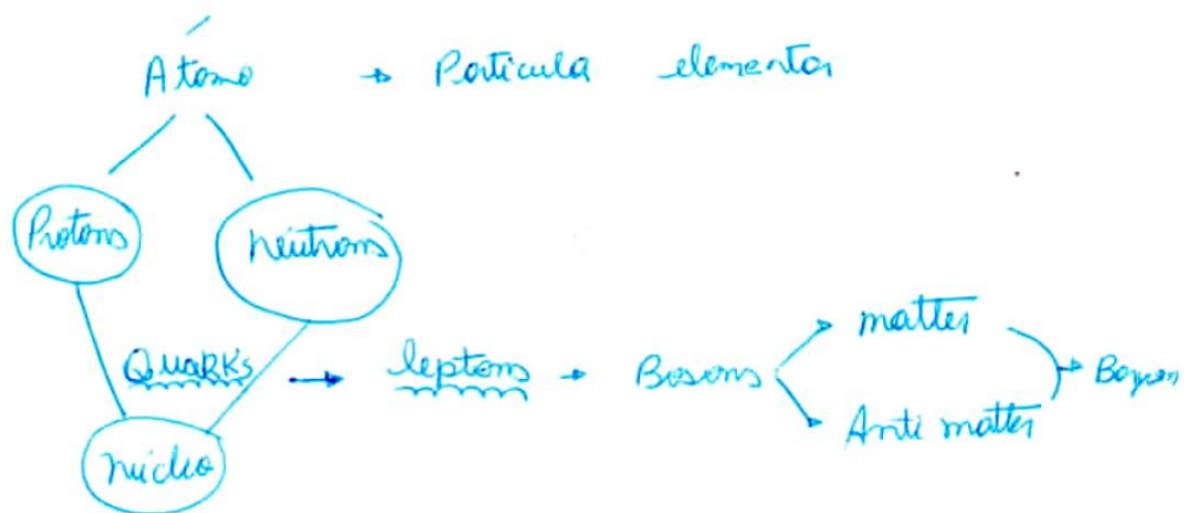
'Átomo'



Está em Judo

12 (13)

- Como explicar Átomo 9º ano do EF
- É uma sementinha que está em tudo.
É formado por um núcleo, prótons, elétrons e nêutrons
É o conceito principal de todo o fenômeno da natureza.



Imaginar algo muito grande como a praia, e os grãos de areia, isto seria o átomo, partículas elementares são pequenos.

○ que é átomo?

○ átomo é formado por núcleo, prótons, nêutros e elétrons 

Possui a carga elétrica, é uma partícula que é considerada elementar.

Esta partícula é trabalhada com firmeza a necessidade de desenvolvimento tecnológico e científico

RESPOSTAS DO "PROFESSOR 6"

- Cadeira de
balanço



- Espreguifadeira

"Amor"



atomo



Átomo para 9º ano

A menor parte que você pode imaginar de uma matéria; a substância.

Átomo; conceito "primitivo" onde se imaginava ser a menor partícula da matéria. Hoje já entendemos que existem menores "partes".

Como explorar o conceito:

21 ☺

usando paralelos. Assim como a célula tem suas partes, podemos dizer que o átomo também.

Paralelo entre um inteiro que é composto por frações

RESPOSTAS DO "PROFESSOR 28"

- *imagem de uma cadeira*

• sensação de aconchego, aquecimento

- imagen dos modelos atômicos
"muito pequeno", micro-escala

Imagine que você ~~de~~ possa dividir um objeto qualquer ao meio, de novo, de novo, de novo... e assim infinitamente até chegar a uma pequeníssima porção da matéria, quase indivisível, isso é o átomo.

Um dos menores constituintes da matéria que compõem as outras átomos formam as moléculas.

Átomo :- modelos de átomo (imagens) ao
- mundo quântico leção da história

Átomo é uma das menores partículas da matéria. Imagine que você divida algo ao meio, de novo, de novo e, assim sucessivamente até que você chegue à menor porção desse algo, ~~isso~~ isso é uma molécula. Separando os componentes dessa molécula, você terá os átomos, que são compostos de um núcleo muito pequeno (10^{-14} m) e massivo rodeado de elétrons na sua eletrosfera.

ANEXO 2 – RESPOSTAS DOS PROFESSORES SOBRE A RELAÇÃO ENTRE O TEMA DO CURSO E A APLICAÇÃO DESSE TEMA NAS ATIVIDADES DO PRÓPRIO CURSO

RESPOSTAS DO “PROFESSOR 3”

① Você aplicava as atividades ...

Com certeza vou trabalhar o que foi desenvolvido no curso, o campo de futebol tanto o de pelotas com o de água, estudo de Óptica e região investigativa. E dos colegas são bastante úteis e benéficos. Boas ideias para trabalhar/Atividade.

② Descreva as dificuldades ...

A maior dificuldade foi o jogo de cartas sobre o Quartz, até o momento não compreendi direito, não sei ~~como~~ como trabalhar com tal material. Facilidade em compreender a diferença entre partícula e onda.

③ Gosto muito de ensinar e aprender com experimentos, torna a aula mais prática.

17/04/2020

a) Sim. Feitas adequações, eu usaria as atividades trabalhadas no curso e as apresentadas pelos colegas.

b) As dificuldades para a aplicação das atividades vistas no curso se referem a inexistência de alguns equipamentos na escola em que leciono. As facilidades são a coerência com o currículo escolar e o fato de muitas atividades serem de fácil replicação e baixo custo.

c) Julgo ser excelente o fato do curso conciliar um grande número de experimentos e diferentes abordagens de trabalho em sala de aula. No intuito de promover um ensino com equidade e qualidade, o uso de sequências de ensino por investigação é uma ferramenta preciosa e poderosa para uma aprendizagem significativa.

RESPOSTAS DO "PROFESSOR 38"

1. No meu caso não tenho alunos, mas caso venha a ter aplicaria sim, tanto a do meu grupo quanto a dos outros, com as devidas adaptações para se adequar aos alunos e a escola e a proposta do curso.

2. Acredito que o educador deva escolher as teorias de ensino a aplicar conforme o caso da escola e alunos de forma a obter o melhor resultado possível. Estas teorias de ensino são como "ferramentas", assim se o educador conhecer várias teorias ele vai poder aplicar a que melhor ~~se~~ se adequar a cada caso.

3. Acredito que cursos com experimentos que provocam no aluno a ação de fazer o experimento acontecer e a ação de entender o fenômeno mostrado e de discutir no grupo o que aconteceu, são muito mais eficientes para que os alunos adquiram os conceitos de forma a não esquecer, e de incorporar o conhecimento.

ANEXO 3 – QUESTIONÁRIO LÚDICO (PESSOA JR, 2003)

APÊNDICE: Questionário Lúdico:

Qual é seu Grau de Realismo?

- 1) Uma árvore grande que caiu em um bosque desabitado emitiu um som ao cair?
- a) Sim.
 - b) Não.
 - c) Esta pergunta não faz sentido.
 - d) Esta pergunta faz sentido mas não tem resposta.
 - e) Não sei.
- 2) “Partículas virtuais” são necessárias para explicar fenômenos em eletrodinâmica quântica, mas elas são rapidamente emitidas e absorvidas, e nunca podem ser observadas. Elas existem?
- a) Supondo que a teoria está correta, sim.
 - b) Mesmo supondo que a teoria é correta, não.
 - c) Esta pergunta não faz sentido.
 - d) Não sei.
- 3) Considere uma teoria física que consegue prever corretamente os resultados de medições, em um certo domínio experimental (por exemplo através de fórmulas empíricas descobertas por tentativa e erro). Porém, esta teoria não fornece nenhum modelo ou explicação de como a realidade funciona (neste domínio). Esta é uma boa teoria?
- a) Sim.
 - b) Não.
 - c) Não sei.
- 4) A verdade, com relação ao mundo da física, muda de época para época, ou ela é sempre a mesma, mesmo que a desconheçamos?
- a) Muda de época para época.
 - b) Ela é sempre a mesma.
 - c) Esta pergunta não faz sentido.
 - d) Não sei.

- 5) Existe Deus?
- a) Sim.
 - b) Não.
 - c) Esta pergunta não faz sentido.
 - d) Esta pergunta faz sentido, mas nunca saberemos a resposta.
- 6) Partindo do princípio de que existem árvores individuais, existiria "árvore", enquanto termo universal?
- a) Sim, "árvore" existe.
 - b) Não, "árvore" é só um conceito em nossas mentes; existem apenas árvores particulares.
 - c) Não, "árvore" é só um nome, um termo lingüístico, e nem é uma entidade mental; só existem árvores particulares.
 - d) Esta pergunta não faz sentido.
- 7) No contexto da física, você concorda com a seguinte afirmação: "Só é válido definir uma grandeza se ao mesmo tempo fornecermos o procedimento experimental para medi-la" ?
- a) Sim.
 - b) Não.
 - c) Esta pergunta não faz sentido.
 - d) Não sei.
- 8) É aceitável que a teoria quântica *não* descreva uma realidade independente do observador, mas apenas a realidade enquanto ela é observada?
- a) Sim. De fato, este é um traço que deve ser bem-vindo!
 - b) Sim. Se não houver outra saída, paciência...
 - c) Não é aceitável. Devemos tentar sanar esta situação.
 - d) Não sei.
- 9) Um objeto físico (por exemplo, este papel) é um conjunto de sensações, ou é a causa externa de um conjunto de sensações?
- a) Um conjunto de sensações.
 - b) A causa externa de um conjunto de sensações.
 - c) Esta pergunta não faz sentido.
 - d) Não sei.

10) Podemos obter verdades sobre o mundo externo apenas a partir do pensamento (de maneira "a priori"), sem levar em consideração nenhuma observação empírica relevante?

- a) Sim. De fato, este é o método mais seguro e adequado.
- b) Sim. Apesar da observação ser importante, há verdades que podem ser obtidas desta maneira a priori.
- c) Não. Toda informação sobre o mundo externo é obtida através da observação.
- d) Esta pergunta não tem sentido.
- e) Não sei.

11) Depois que você morrer (se você morrer), o mundo continuará existindo?

- a) Sim.
- b) Não.
- c) Esta pergunta não faz sentido.
- d) Não sei.

12) Se toda a humanidade morresse (ou todos os seres pensantes do universo), e não houvesse tempo de uma nova civilização pensante evoluir, o mundo continuaria existindo?

- a) Sim.
- b) Não.
- c) Esta pergunta não faz sentido.
- d) Não sei.

13) Suponha que toda a humanidade morreu (nas condições da questão anterior), e um núcleo transurânico teoricamente possível (por exemplo, de número atômico 135) nunca tivesse sido fabricado. Este núcleo tem realidade?

- a) Sim.
- b) Mais ou menos. Digamos que tem uma realidade "potencial".
- c) Mais ou menos. Digamos que tinha uma realidade "potencial" enquanto havia homens, mas depois deixou de ter.
- d) Não. Não tem realidade, e nunca teve.
- e) Esta pergunta não faz sentido.
- f) Não sei.

14) Isto que você está vendo agora está em sua retina, ou está no mundo exterior?

- a) Apenas em minha retina. A partir desta imagem, infiro fatos externos.
- b) Nos dois. Em minha retina e no mundo externo.
- c) Apenas no mundo exterior.
- d) Esta pergunta não faz sentido.
- e) Não sei.

15) A Mecânica Newtoniana é verdadeira?

- a) Não, ela é falsa.
- b) Ela é verdadeira em certos domínios, mas em outros não.
- c) Ela era verdadeira no século XVIII, mas hoje é falsa.
- d) Ela era absolutamente verdadeira no século XVIII, mas hoje só é verdadeira em certos domínios.
- e) Não sei.

- 16) A Mecânica Relativística (Restrita e Geral) é verdadeira?
- a) Não, ela é falsa. (Não dá pra falar em proximidade com a verdade.)
 - b) Ela é falsa, mas está *mais próxima da verdade* do que a mecânica newtoniana.
 - c) Ela é verdadeira hoje, mas no futuro provavelmente não será mais.
 - d) Parece que ela é verdadeira, sim. Ela conseguiu atingir a verdade.
 - e) Não tenho opinião.
- 17) Qual é o objetivo primeiro da ciência?
- a) Atingir a verdade.
 - b) Dar conta das observações de maneira econômica.
 - c) Resolver problemas.
 - d) Gerar tecnologia.
 - e) Não há um único objetivo principal.
- 18) Existe um espírito, ou uma consciência (ou talvez uma "alma") que seja independente da matéria?
- a) Sim. O espírito sobrevive fora do corpo.
 - b) Sim, o espírito é livre. Porém, com a morte, o espírito desaparece.
 - c) Não. O espírito é causado pela matéria.
 - d) Esta pergunta não faz sentido.
 - e) Não quero opinar.
- 19) É possível observar uma coisa de maneira desinteressada, neutra, sem alterar de nenhum modo a percepção devido a opiniões e conhecimentos teóricos?
- a) Sim.
 - b) Não. Toda observação está impregnada de suposições teóricas.
 - c) Esta pergunta está mal formulada.
 - d) Não sei.

20) Como você gosta de interpretar a Física Quântica?

- a) Existem ondas, pacotes de onda, colapsos etc.
- b) Existem partículas, com ondas associadas, que interagem à distância.
- c) Há um dualismo complementar entre onda e partícula: ora observamos um, ora outro, conforme o experimento.
- d) A teoria é incompleta.
- e) Não sei.

**“Gabarito” do Questionário Lúdico:
Qual é seu Grau de Realismo?**

Para cada pergunta, apresentamos o tema sendo questionado, e o nome da posição associada a cada resposta. Para a estimativa do “grau de realismo”, deve-se somar 5 pontos para as respostas correspondentes à letra R (realismo), 2,5 pontos para as respostas indicadas por $\frac{1}{2}R-\frac{1}{2}P$ (neutra) e 0 pontos para as respostas P (positivismo). A soma das vinte perguntas equivale a uma porcentagem que mede o “grau de realismo”. Este é um questionário lúdico, que apenas auxilia a discussão do Cap. XIV.

1) REALISMO ONTOLÓGICO.

- (a) Realismo ontológico. R
- (b) Idealismo subjetivista. P
- (c) Positivismo lógico. P
- (d) Cético. P
- (e) Um “perfeccionismo”, oposto ao falibilismo. $\frac{1}{2}R-\frac{1}{2}P$

2) TERMOS TEÓRICOS.

- (a) Realismo científico. R
- (b) Positivismo “negador”. P
- (c) Positivismo lógico. P
- (d) $\frac{1}{2}R-\frac{1}{2}P$

3) INSTRUMENTALISMO.

- (a) Instrumentalismo. P
- (b) Realismo Científico. R
- (c) $\frac{1}{2}R-\frac{1}{2}P$

4) VERDADE.

- (a) Verdade pragmática: relativismo. P
- (b) Verdade por correspondência: realismo científico. R
- (c) Alguma forma de positivismo. P
- (d) $\frac{1}{2}R-\frac{1}{2}P$

5) DEUS.

- (a) Teísmo. R
- (b) Ateísmo. Realismo ontológico ou um positivismo “negador”. $\frac{1}{2}R-\frac{1}{2}P$
- (c) Positivismo lógico. P
- (d) Agnosticismo. $\frac{1}{2}R-\frac{1}{2}P$

6) NOMINALISMO.

- (a) Realismo de universais, uma forma das quais é o realismo platônico. R
- (b) Conceitualismo. P
- (c) Nominalismo. P
- (d) Positivismo lógico. P

7) OPERACIONISMO.

- (a) Operacionismo. P
- (b) Realismo científico. R
- (c) Algum positivismo. P
- (d) $\frac{1}{2}R-\frac{1}{2}P$

8) IDEALISMO NA FÍSICA QUÂNTICA.

- (a) Um positivismo “eufórico”. P
- (b) Um positivismo “moderado”. P
- (c) Realismo epistemológico. R
- (d) $\frac{1}{2}R-\frac{1}{2}P$

9) SENSACIONISMO.

- (a) Sensacionismo ou empirismo radical. P
- (b) Realismo, mesmo um fisicalismo. R
- (c) Positivismo lógico. P
- (d) $\frac{1}{2}R-\frac{1}{2}P$

10) RACIONALISMO.

- (a) Racionalismo cartesiano. R
- (b) Apriorismo kantiano. R
- (c) Empirismo clássico. P
- (d) Alguma forma de positivismo. P
- (e) $\frac{1}{2}R-\frac{1}{2}P$

11) SOLIPSISMO.

- (a) Realismo ontológico, consistente com formas moderadas de positivismo. R
- (b) Idealismo solipsista. P
- (c) Positivismo lógico. P
- (d) Alguma forma de ceticismo. P

12) IDEALISMO SUBJETIVISTA.

- (a) Realismo ontológico. R
- (b) Idealismo subjetivista. P
- (c) Positivismo lógico. P
- (d) Alguma forma de positivismo. P

13) O POSSÍVEL.

- (a) Realismo "de potencialidades". R
- (b) Idem. R
- (c) Um positivismo "de potencialidades". P
- (d) "Atualismo". $\frac{1}{2}-\frac{1}{2}$.
- (e) Positivismo lógico. P
- (f) $\frac{1}{2}R-\frac{1}{2}P$

14) SENSACIONISMO.

- (a) Sensacionismo, com realismo ontológico. P
- (b) Realismo. R
- (c) Um realismo ingênuo. R
- (d) Alguma forma de positivismo. P
- (e) $\frac{1}{2}R-\frac{1}{2}P$

15) VERDADE.

- (a) Realismo com verdade por correspondência, podendo ser um realismo convergente. R
- (b) Atitude que pode incorporar uma noção de verdade aproximada. P
- (c) Verdade por convenção (pragmática). P
- (d) Itens b e c. P
- (e) $\frac{1}{2}R-\frac{1}{2}P$

16) REALISMO CONVERGENTE.

- (a) Um ceticismo. P
- (b) Realismo convergente. R
- (c) Verdade por convenção (pragmática). P
- (d) Realismo talvez ingênuo. R
- (e) $\frac{1}{2}R-\frac{1}{2}P$

17) OBJETIVO DA CIÊNCIA.

- (a) Realismo científico. R
- (b) Instrumentalismo (forte e fraco). P
- (c) Pragmatismo (tipo Laudan). P
- (d) Pragmatismo. P
- (e) Pluralismo e/ou anarquismo epistemológico. P

18) MATERIALISMO.

- (a) Espiritismo, dualismo mente-cérebro. R
- (b) Um dualismo mais materialista. R
- (c) Materialismo. R
- (d) Uma forma de positivismo. P
- (e) $\frac{1}{2}R-\frac{1}{2}P$

19) IMPREGNAÇÃO TEÓRICA (*theory ladenness*) DA OBSERVAÇÃO.

- (a) Empirismo puro, "ingênuo". P
- (b) Negação do empirismo puro. R
- (c) $\frac{1}{2}R-\frac{1}{2}P$
- (d) $\frac{1}{2}R-\frac{1}{2}P$

- 20) INTERPRETAÇÃO DA FÍSICA QUÂNTICA.**
- (a) Realismo da interpretação ondulatória. R
 - (b) Realismo da interpretação da dupla solução. R
 - (c) Positivismo da interpretação da complementaridade. P
 - (d) Realismo da interpretação dos coletivos estatísticos. R
 - (e) $\frac{1}{2}R-\frac{1}{2}P$

ANEXO 4 – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

ESTUDO: O Ensino de Ciências por Investigação de Conceitos de Física Moderna nas aulas de Ciências dos anos finais do Ensino Fundamental (título provisório)

Você está sendo convidado (a) a participar do projeto de pesquisa acima citado. O documento abaixo contém todas as informações necessárias sobre a pesquisa que estamos fazendo. Sua colaboração nesse estudo será de muita importância para nós.

Eu,,
profissão, residente e domiciliado (a)
na, portador (a)
da Cédula de Identidade, RG, inscrito (a) no
CPF, nascido (a) em ___/___/___, abaixo assinado, concordo de
livre e espontânea vontade em participar do estudo “**O Ensino de Ciências por Investigação de Conceitos de Física Moderna nas aulas de Ciências dos anos finais do Ensino Fundamental**” (título provisório) e esclareço que obtive todas as informações. Estou ciente de que:

- I) O estudo se faz necessário para ampliar o conhecimento que temos sobre o quadro teórico “Ensino de Ciências por Investigação” quando estudamos como conceitos de Física Moderna podem ser trabalhados em turmas do nono ano do Ensino Fundamental, na visão de professores dessas turmas;
- II) Como metodologia do estudo, serão realizadas atividades dentro do contexto de um curso no Encontro USP Escola e analisaremos apenas e tão somente as respostas escritas fornecidas durante as atividades, juntamente com pesquisas sobre o perfil do cursista;
- III) A participação nessa pesquisa não envolve riscos físicos;
- IV) Tenho a liberdade de desistir ou interromper a colaboração nesse estudo no momento em que desejar, sem necessidade de qualquer explicação;
- V) Os resultados obtidos durante essa pesquisa serão mantidos em sigilo, mas concordo que sejam divulgados em publicações científicas, desde que os dados pessoais que permitam minha identificação, não sejam mencionados;
- VI) Caso eu deseje, poderei tomar conhecimento dos resultados, ao final desta pesquisa. **SIM** (...) Desejo conhecer os resultados desta pesquisa e meu endereço de e-mail é: _____ (....) **NÃO** desejo conhecer os resultados desta pesquisa.

VII) Tenho ciência que não utilizaremos fotografias, gravações em áudio ou vídeo

VIII) Os dados colhidos serão armazenados sob a responsabilidade do (a) Instituto de Física - USP e sob a guarda do professor Mestre Elcio de Souza Lopes pelo período mínimo de 5 (cinco anos) após o término da pesquisa, de acordo com o Artigo 28 da Resolução 510/2016 do Conselho Nacional de Saúde.

São Paulo, de de 20.....

Assinatura do (a) Participante

Elcio de Souza Lopes – doutorando do
Programa de Pós-Graduação Interunidades em
Ensino de Ciências - USP

No caso de haver dúvidas sobre aspectos éticos desse estudo, você poderá consultar:

Pesquisador (a) responsável: Elcio de Souza Lopes

Endereço: Instituto de Física – Departamento de Física Geral – sala 2058 - Universidade de São Paulo

Rua do Matão, 1371 CEP 05508-090 - Cidade Universitária, São Paulo - Brasil

e-mail: elcioslopes@usp.br

Telefone para contato: (11) 3091 - 6772

Orientador(a): Mikiya Muramatsu

Endereço: Instituto de Física – Departamento de Física Geral – sala 2058 - Universidade de São Paulo

Rua do Matão, 1371 CEP 05508-090 - Cidade Universitária, São Paulo - Brasil

e-mail: mmuramatsu@if.usp.br

Telefone para contato: (11) 3091 – 6772

ANEXO 5 – QUESTIONÁRIO USP-ESCOLA – PERFIL DO PARTICIPANTE

Questionário - USP-Escola

1 – Nome completo _____

2 – Idade.

até 20 anos de 21 a 30 anos de 31 a 40 anos
 de 41 a 50 anos de 51 a 60 anos acima de 60 anos

3 – Ensino Fundamental (pode marcar mais de uma opção)

Escola pública municipal Escola pública estadual Escola particular

4 – Ensino Médio.

Escola pública municipal Escola pública estadual Escola particular
 Escola técnica
 Outras opções. Especifique _____

5 – Formação:

A) Graduação:

Instituição Pública Instituição Privada
 Licenciatura Bacharelado Tecnólogo

B) Pós-Graduação:

Lato sensu Stricto Sensu Mestrado Doutorado

Outras informações: _____

6 – Tempo na profissão.

ainda em estágio – não formado
 até 5 anos de 5 a 10 anos de 11 a 15 anos
 de 16 a 20 anos de 21 a 25 anos acima de 25 anos

7 – Onde leciona e há quanto tempo trabalha nesta instituição:

A) privado: _____

até 1 ano de 1 a 5 anos de 6 a 10 anos mais que 10 anos

B) público municipal: _____

até 1 ano de 1 a 5 anos de 6 a 10 anos mais que 10 anos

C) público estadual: _____

até 1 ano de 1 a 5 anos de 6 a 10 anos mais que 10 anos

8 – Qual (ais) disciplina (s) leciona? (pode marcar mais de uma opção)

Física Ciências Filosofia
 Biologia Geografia Ed Física
 Química História Artes
 Matemática Sociologia Língua Portuguesa
 Língua Estrangeira
 Outras, especifique: _____

9 – O que o (a) levou a escolher ser professor (a)? (pode marcar mais de uma opção)

- Remuneração Gosta de ensinar
 Importância social Ser formador de opinião
 Imposição da família Estabilidade
 Ideologia
 Outros, especifique: _____

10 – Quantas vezes você já esteve no USP-Escola? (pode marcar mais de uma opção)

- Primeira vez Três vezes
 Duas vezes Quatro vezes
 _____ (marque o número de vezes)

11 – Por que você escolheu esse minicurso?

- Ampliar minha formação Conhecer outra área do conhecimento
 Atualizar minha formação Fazer novas amizades
 Encontrar amigos Trocar experiências
 Outros, especifique: _____

12 – O que espera encontrar aqui nesses dias? (pode marcar mais de uma opção)

- Novidades na minha área específica de formação
 Novidades na área de educação
 Experiências que possam ser aplicadas nas minhas aulas diretamente
 Trocar experiências
 Fazer novos amigos
 Conhecer outras áreas do conhecimento
 Outras, especifique: _____

Para aqueles que já estiveram em outras edições do USP-Escola.

13 – O que o fez retornar ao USP-Escola? (pode marcar mais de uma opção)

- Ampliar minha formação
 Conhecer outra área do conhecimento
 Atualizar minha formação
 Fazer novas amizades
 Encontrar amigos
 Trocar experiências
 Novidades na minha área específica de formação
 Novidades na área de educação
 Experiências que possam ser aplicadas nas minhas aulas diretamente
 Outras, especifique: _____

14 - Por favor, queremos que detalhe mais a sua experiência com o USP Escola e seus minicursos:

A) Você realizou alguma atividade apresentada nos minicursos? () SIM () NÃO

B) Se sim, por que realizou?

- Apoio da escola Você comprou o material
 Tinha material disponível Foi desafiante, mesmo sem recursos
 Fazia parte do currículo do currículo oficial
 Outros, especifique: _____

C) Se não, por que não realizou?

Faltou apoio na escola

Não fazia parte do currículo oficial

Não tinha material disponível

Não era desafiante, mesmo com recursos

Outros, especifique: _____

15 – Você pretende participar do próximo Encontro USP-Escola, em Julho de 2018?

SIM

NÃO

16 – Você conhece o ensino investigativo?

SIM

NÃO

17 – Em caso afirmativo: Você gostaria de participar de uma pesquisa, envolvendo o que será visto no curso, o Ensino Investigativo e as suas aulas?

SIM

NÃO

18 – Em caso afirmativo: Queremos apoiar suas atividades de duas formas, uma por meio de um acompanhamento à distância, utilizando uma ferramenta virtual (Moodle, Rede Social etc.) e outra, caso seja possível, em dois encontros presenciais, durante dois sábados a serem definidos pelos participantes da pesquisa. Dessa forma, você teria disponibilidade para estes dois encontros aos sábados, a serem definidos?

SIM

NÃO

19 - Você poderia participar de uma entrevista mais detalhada sobre os Encontros USP Escola e os minicursos que são oferecidos?

SIM

NÃO

Se você respondeu SIM para uma das perguntas 18 e 19, por favor, informe seu número de telefone ou endereço de e-mail, para que possamos entrar em contato:

Telefone (whatsapp): (_____) _____

e-mail: _____