



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

MÁRCIA DA COSTA

**EXPERIMENTOS HISTÓRICOS EM AMBIENTE VIRTUAL:
UMA ABORDAGEM HISTÓRICO-DIDÁTICA A RESPEITO DA
TEORIA ELETROFRACA PARA O ESTUDO DE FÍSICA DE
PARTÍCULAS NO ENSINO SUPERIOR**

MÁRCIA DA COSTA

**EXPERIMENTOS HISTÓRICOS EM AMBIENTE VIRTUAL:
UMA ABORDAGEM HISTÓRICO-DIDÁTICA A RESPEITO DA
TEORIA ELETROFRACA PARA O ESTUDO DE FÍSICA DE
PARTÍCULAS NO ENSINO SUPERIOR**

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática do Centro de Ciências Exatas da Universidade Estadual de Londrina.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Irinéa de Lourdes Batista.

Londrina
2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

da Costa, Márcia.

Experimentos Históricos em Ambiente Virtual: Uma Abordagem Histórico-didática a Respeito da Teoria Eletrofraca para o Estudo de Física de Partículas no Ensino Superior / Márcia da Costa - Londrina, 2019.
423 f: il.

Orientador: Irinéa de Lourdes Batista.

Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, 2019.
Inclui bibliografia.

1. História e Natureza da Ciência - Tese. 2. Ambientes Virtuais - Tese. 3. Experimentos Históricos - Tese. 4. Teoria Eletrofraca - Tese. I. de Lourdes Batista, Irinéa II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. III. Título.

MÁRCIA DA COSTA

**EXPERIMENTOS HISTÓRICOS EM AMBIENTE VIRTUAL:
UMA ABORDAGEM HISTÓRICO-DIDÁTICA A RESPEITO DA TEORIA
ELETROFRACA PARA O ESTUDO DE FÍSICA DE PARTÍCULAS NO
ENSINO SUPERIOR**

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática do Centro de Ciências Exatas da Universidade Estadual de Londrina.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Irinéa de Lourdes
Batista
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Leandro Londero da Silva
Universidade Estadual Paulista – UNESP

Prof^a. Dr^a. Marcia Begalli
Universidade do Estado do Rio de Janeiro –
UERJ

Prof^a. Dr^a. Mariana Ap^a. Bologna Soares de
Andrade
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Jacques Duílio Brancher
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Londrina, 25 de Janeiro de 2019.

Dedico este trabalho, primeiramente, a Deus, que me deu forças para vencer todas as dificuldades. Ao meu pai Ademir R. da Costa (*in memoriam*), com todo meu amor e gratidão. Também dedico à minha família e amigos, portos seguros de meus dias.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer a Deus, que se faz presente em todos os momentos de minha vida, que me deste a proteção e guia de Nossa Senhora Aparecida.

À minha orientadora, Dr^a. Irinéa de Lourdes Batista, por acreditar em minha vontade de aprender, pela paciência e carinho com o qual me orientou por estes anos.

Aos membros da banca, Dr^a. Marcia Begalli, Dr. Leandro Londero da Silva, Dr. Jacques Duílio Brancher e Dr^a. Mariana Ap^a. Bologna Soares de Andrade, pela generosidade e serenidade com que avaliaram este trabalho. Muito obrigada pelas sugestões e críticas que contribuíram para o aprimoramento desta pesquisa.

Aos integrantes do grupo de pesquisa IFHIECEM, que contribuíram com o aperfeiçoamento desta pesquisa. Em especial, Ligia, Suelen, Amanda, Andréia, Walter, Gabriela e Kátia, que contribuíram com esta pesquisa por meios de leituras, materiais, sugestões, decodificações e especialmente com apoio e amizade.

Aos membros da equipe multidisciplinar, que possibilitaram o desenvolvimento das simulações computacionais. Yago e Murilo, vocês foram essenciais para o desenvolvimento desta pesquisa. Obrigada pelo comprometimento e dedicação com os quais desenvolveram esse trabalho. Dr. Jacques Duílio Brancher e Dr^a. Irinéa de Lourdes Batista, obrigada por tornarem isso possível.

Aos alunos que participaram da Oficina de Pesquisa e aos avaliadores das simulações computacionais, obrigada pelas contribuições.

À CAPES, pelo apoio financeiro.

Em especial, mil agradecimentos à minha família, que desde meus primeiros passos nunca deixou de apoiar e incentivar meus sonhos, sempre me oferecendo muito amor e carinho. Em especial, minha irmã Marlice e meu cunhado Edan, pelas leituras e traduções.

Ao meu marido André, por estar do meu lado em todos os momentos dessa caminhada, comemorando as conquistas e oferecendo consolo e incentivo nos momentos menos alegres, por ler meus trabalhos, por cuidar de mim, por ser

meu companheiro na vida!

Aos meus amigos, sejam eles os de perto ou os de bem longe, que de forma direta ou indireta contribuíram para que mais este sonho fosse alcançado. Em especial, Hallynne, por me hospedar e fazer com que eu me sentisse “em casa” em Londrina, pelas conversas, pelas refeições deliciosas, por sua maravilhosa companhia. Etiane, Juliana e Egláia, amigas do Mestrado para a vida!

Essa conquista merece ser compartilhada com todos que fizeram parte desse processo e seria impossível citar todos os envolvidos. Meus eternos agradecimentos a todas e todos.

COSTA, Marcia da. **Experimentos Históricos em Ambiente Virtual: uma Abordagem Histórico-didática a Respeito da Teoria Eletrofraca para o Estudo de Física de Partículas no Ensino Superior**. 2018. 423 f. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2018.

RESUMO

Esta pesquisa investigou as potencialidades e delimitações de uma abordagem histórico-didática a respeito da unificação eletrofraca, baseada em simulações computacionais de experimentos históricos e em aspectos da Aprendizagem Significativa, bem como etapas no processo colaborativo entre uma equipe multidisciplinar que podem ser seguidas na elaboração de simulações computacionais de experimentos históricos. Pesquisas evidenciam que a História e Filosofia da Ciência, da mesma maneira que o estudo de tópicos de Física Moderna e Contemporânea, aliados a recursos didáticos diversificados, podem promover um ensino contextualizado e atrativo, facilitando a Aprendizagem Significativa de conceitos científicos e uma compreensão adequada da natureza do conhecimento científico. Com base nesses argumentos, foram elaboradas simulações computacionais de experimentos históricos que contribuíram no processo de unificação das interações fracas e eletromagnéticas e elas foram inseridas em uma Abordagem Didática que contemplou o estudo da Teoria Eletrofraca. Essa proposta didática foi aplicada com alunos do curso de Licenciatura em Física da Universidade Estadual de Londrina, no estado do Paraná. Foram observados indícios de alterações nas noções dos alunos investigados a respeito da Natureza da Ciência e de conteúdos científicos específicos, bem como o processo de elaboração das simulações computacionais. Foram utilizados os seguintes instrumentos para obtenção de dados: a Abordagem Didática, questionários, Diagramas de Gowin e anotações feitas pela pesquisadora. Optou-se por fazer uso dos procedimentos da Análise de Conteúdo como instrumento de análise dos dados. Esta pesquisa caracteriza-se como qualitativa de cunho interpretativo, cujas principais etapas foram: o levantamento bibliográfico relacionado aos temas envolvidos, elaboração da Composição Histórica, das simulações computacionais e da Abordagem Didática, aplicação da proposta didática, obtenção e análise de dados. Com base nos resultados obtidos, evidenciou-se que a proposta didática contribuiu para a aprendizagem de conteúdos relacionados à Física de Partículas e para a construção de noções científicas e abrangentes a respeito da Natureza da Ciência. Além disso, foi possível obter-se como resultado a sugestão de etapas para a elaboração de simulações computacionais de experimentos históricos, que contribuem como alternativas para o aprimoramento do Ensino de Física.

Palavras-chave: História e natureza da ciência. Experimentos históricos. Física de partículas. Ambientes virtuais. Composição histórica da teoria eletrofraca.

COSTA, Marcia da. **Historical Experiments in Virtual Environment: Historical-Didactic Approach Concerning Electroweak Theory for the Study of Particle Physics in Higher Education.** 2018. 423 p. Thesis (Doctorate's degree in Sciences and Mathematics Teaching Practices) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2018.

ABSTRACT

This research investigated the potentialities and delimitations of a historical-didactic approach regarding electroweak unification, based on computational simulations of historical experiments and aspects of Significant Learning, as well as steps in the collaborative process between a multidisciplinary team that can be followed in the elaboration of computational simulations of historical experiments. Researches show that History and Philosophy of Science, even as the study of Modern and Contemporary Physics topics, allied to diversified didactic resources, can promote a contextualized and attractive teaching, facilitating Significant Learning of scientific concepts and an adequate understanding of the nature of the scientific knowledge. Based on these arguments, there were developed computational simulations of historical experiments that contributed to the process of unification of the weak and electromagnetic interactions were developed and they were inserted in a Didactic Approach contemplating the study of the Electroweak Theory. This didactic proposal was applied with students of the Licenciatura degree in Physics of the State University of Londrina, in the state of Paraná, Brazil. There were observed the possible evidence of alterations in the notions of the investigated students regarding to the Nature of Science and of specific scientific contents was studied during the process of elaboration of the computational simulations. The following instruments were used to obtain data: the Didactic Approach, questionnaires, Gowin Diagrams and notes made by the researcher. We chose to make use of the Content Analysis procedures as an instrument for data analysis. This survey is characterized as a qualitative one with an interpretive style/mark, using the following stages: the bibliographic gathering related to the themes involved, elaboration of Historical Composition, computational simulations and Didactic Approach, application of didactic proposal, data acquisition and analysis. Based on the results obtained, it was show the didactic proposal contributed to the learning of contents related to Particle Physics and to the construction of scientific and comprehensive notions concerning to the Nature of Science. In addition, it was possible to obtain the steps for the elaboration of computational simulations of historical experiments, which contribute as alternatives for the improvement of Physics Teaching.

Keywords: History and nature of science. Historical experiments. Physics of particles. Virtual environments. Historical composition of electroweak theory.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES E HISTOGRAMAS

Figura 01	– Representação gráfica do V de Gowin	103
Figura 02	– Ilustração do “desfile de Vs”.....	111
Figura 03	– Sugestão feita por Moreira (2006) para incluir os aspectos sentimento e contexto	112
Figura 04	– Adaptação do V de Gowin para atividades de modelagem e simulação computacional.....	113
Figura 05	– Exemplificação do V de Gowin utilizado nesta pesquisa.....	114
Figura 06	– Representação do ciclo de desenvolvimento de um <i>software</i> educacional	126
Figura 07	– Recomendações para o relacionamento entre os membros da equipe multidisciplinar.....	133
Figura 08	– Representação de uma transformação de paridade.....	149
Figura 09	– Representação esquemática de uma parte do experimento realizado por Wu <i>et al.</i> (1957).....	154
Figura 10	– Representação de casos de helicidade positiva e helicidade negativa.....	156
Figura 11	– Representação esquemática da visão lateral da câmara Gargamelle.....	173
Figura 12	– Representação dos eventos de NC, CC, AS e B, que podem ocorrer no interior da câmara.....	174
Figura 13	– Fotografia do primeiro evento de correntes neutras registrado e uma ilustração da identificação das partículas.	176
Figura 14	– Representação do processo de produção e aceleração de prótons e antiprótons até o momento da colisão	183
Figura 15	– Representação dos componentes do detector UA1	187
Figura 16	– Exemplo de um dos primeiros registros da detecção do bóson W-.....	191
Figura 17	– Registro do decaimento do bóson Z0 em um par elétron-pósitron, identificados pelos traços azuis	193
Figura 18	– Exemplificação da representação do primeiro esboço das telas das simulações.....	228
Figura 19	– Representação de uma das telas da primeira versão das simulações	230

Figura 20 – Representação do decaimento beta na simulação do experimento do comportamento da paridade nas interações fracas.....	233
Figura 21 – Imagem de uma tela do primeiro experimento simulado, na sua segunda versão.....	234
Figura 22 – Animação de explosão, quando o usuário escolhe uma alternativa errada no processo	235
Figura 23 – Imagem de uma tela da simulação em sua versão para abordagem didática e para avaliação por pares.....	236
Figura 24 – Exemplar do V de Gowin elaborado pelo aluno A5	297
Figura 25 – Exemplar do V de Gowin elaborado pelo aluno A6	298
Figura 26 – Exemplar do V de Gowin elaborado pelo aluno A8	298
Figura 27 – Representação de um ciclo de desenvolvimento das simulações computacionais de experimentos históricos	301
Figura 28 – Exemplar do diagrama de Gowin elaborado por A7	304
Figura 29 – Exemplar do diagrama de Gowin elaborado por A2	304
Figura 30 – Exemplar do diagrama de Gowin elaborado por A1	306
Figura 31 – Exemplar do diagrama V elaborado por A3 para o Ex. 2	308
Figura 32 – Exemplar do V de Gowin elaborado por A5 para o Exp. 3	310
Figura 33 – Exemplar do V de Gowin elaborado por A8 para o Exp. 3	311
Figura 34 – Exemplar do V Final elaborado por A4	313
Figura 35 – Parte 1 do exemplar do V Final elaborado por A7.....	315
Figura 36 – Parte 1 do exemplar do V Final elaborado por A3.....	316
Figura 37 – Parte 2 do exemplar do V Final elaborado por A3.....	317
Figura 38 – Representação de um ciclo de desenvolvimento das simulações computacionais de experimentos históricos	345

HISTOGRAMAS

Histograma 1 – Histograma do número de publicações por Unidade Temática.....	79
Histograma 2 – Número de publicações por unidade temática.....	83
Histograma 3 – Distribuição das publicações nos eventos no período de 2007-2017	88
Histograma 4 – Número de publicações por Unidade Temática nos eventos ENPEC, EPEF e SNEF	89

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	– Sugestão de temas, feitas por Martins (2015), para abordagens de NdC	30
Quadro 2	– Número de artigos publicados a respeito de experimentos históricos no ensino de Física.....	53
Quadro 3	– Sugestão de pontuações para uma avaliação quantitativa do V de Gowin	108
Quadro 4	– Conhecimentos, habilidades e atitudes necessárias à equipe técnica	131
Quadro 5	– Estrutura da Oficina de Pesquisa	200
Quadro 6	– Unidades de Análise das noções de Natureza da Ciência	213
Quadro 7	– Unidades de Análise de noções do conteúdo científico.....	215
Quadro 8	– Unidades de Análise dos Diagramas de Gowin.....	217
Quadro 09	– Perfil dos participantes em relação à sua Formação Inicial.....	244
Quadro 10	– Unitarização dos dados referentes à questão 01.....	252
Quadro 11	– Unitarização dos dados referentes à questão 02.....	253
Quadro 12	– Unitarização dos dados referentes à questão 03.....	257
Quadro 13	– Unitarização dos dados referentes à questão 04.....	259
Quadro 14	– Unitarização dos dados referentes à questão 05.....	262
Quadro 15	– Unitarização dos dados referentes à questão 06.....	264
Quadro 16	– Unitarização dos dados referentes à questão 07.....	266
Quadro 17	– Unitarização dos dados referentes à questão 08.....	274
Quadro 18	– Unitarização dos dados referentes à questão 09.....	276
Quadro 19	– Unitarização dos dados referentes à questão 10.....	278
Quadro 20	– Unitarização dos dados referentes à questão 11.....	281
Quadro 21	– Unitarização dos dados referentes à questão 12.....	283
Quadro 22	– Unitarização dos dados referentes à questão 13.....	284
Quadro 23	– Unitarização dos dados referentes à questão 14.....	286
Quadro 24	– Unitarização dos dados referentes à questão 15.....	287
Quadro 25	– Unitarização dos dados referentes à questão 16.....	289
Quadro 26	– Unitarização dos dados referentes à questão 17.....	290
Quadro 27	– Unitarização dos dados referentes à questão 18.....	292

Quadro 28	– Unitarização dos diagramas de Gowin referentes ao primeiro V de Gowin elaborado pelos alunos	295
Quadro 29	– Unitarização dos diagramas de Gowin referentes ao V de Gowin elaborado após a simulação computacional do Exp. 1	300
Quadro 30	– Unitarização dos diagramas de Gowin referentes ao V de Gowin elaborado após a simulação computacional do Exp. 2.....	305
Quadro 31	– Unitarização dos diagramas de Gowin referentes ao V de Gowin elaborado após a simulação computacional do Exp. 3.....	309
Quadro 32	– Unitarização dos diagramas de Gowin referentes ao V de Gowin elaborado a respeito da Teoria Eletrofraca.....	312
Quadro 33	– Unidades Temáticas em relação à opinião dos alunos a respeito das simulações computacionais utilizadas.....	319
Quadro 34	– Unidades Temáticas em relação à opinião dos alunos a respeito da utilização de experimentos históricos em sala de aula.....	321
Quadro 35	– Unidades Temáticas em relação à opinião dos alunos a respeito da utilização do V de Gowin.....	323
Quadro 36	– Unidades Temáticas em relação à opinião dos alunos a respeito de abordagens histórico-filosóficas	324
Quadro 37	– Unidades Temáticas em relação à opinião dos alunos a respeito da Abordagem Didática.....	326
Quadro 38	– Resumo das respostas do questionário de avaliação das simulações por avaliadores das áreas de Física, Ensino e História da Ciência.....	329
Quadro 39	– Resumo das respostas do questionário de avaliação das simulações por avaliadores da área de <i>Design</i>	333
Quadro 40	– Unidades Temáticas referentes à questão 1	335
Quadro 41	– Unidades Temáticas referentes à questão 3	336
Quadro 42	– Unidades Temáticas referentes à questão 4	337
Quadro 43	– Unidades Temáticas referentes à questão 5	338
Quadro 44	– Unidades Temáticas referentes à questão 6	339
Quadro 45	– Unidades Temáticas referentes à questão 7	340

Quadro 46 – Unidades Temáticas referentes à questão 8	341
Quadro 47 – Relação entre a equipe FEHC e CD	347
Quadro 48 – Relação entre a equipe FEHC, C e D	347
Quadro 49 – Relação entre as equipes e os gerentes do projeto	348

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA	<i>Antiproton Accumulator</i>
ATLAS	<i>A Toroidal LHC ApparatuS</i>
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
BNL	Laboratório Nacional de Brookhaven
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CBPF	Caderno Brasileiro de Ensino de Física
CE	Ciência e Educação
CERN	<i>Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire</i>
CDF	<i>Collider Detector at Fermilab</i>
CMS	<i>Compact Muon Solenoid</i>
ENPEC	Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências
EPEC	Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências
EPEF	Encontro de Pesquisa em Ensino de Física
FERMILAB	<i>Fermi National Accelerator Laboratory</i>
FMC	Física Moderna e Contemporânea
HC	História da Ciência
HFC	História e Filosofia da Ciência
HPWF	Harvard, Pensilvânia, Wisconsin, Fermilab
IENCI	Investigações em Ensino de Ciências
IFHIECEM	Investigações em Filosofia e História da Ciência, Educação Científica e Matemática
ISR	<i>Intersecting Storage Rings</i>
LINAC	<i>Linear Particle Accelerator</i>
NdC	Natureza da Ciência
OCN	Orientações Curriculares Nacionais
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
PET	Programa de Educação Tutorial
PS	<i>Proton Synchrotron</i>
RBEF	Revista Brasileira de Ensino de Física
RBPEC	Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências
SLAC	<i>Stanford Linear Accelerator Center</i>
SNEF	Simpósio Nacional de Ensino de Física
SPS	<i>Super Proton Synchrotron</i>
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação
UA1	<i>Underground Area 1</i>
UA2	<i>Underground Area 2</i>
UT	Unidade Temática

SUMÁRIO

	AS ORIGENS DESSA INVESTIGAÇÃO – MOTIVAÇÃO PESSOAL.....	15
	INTRODUÇÃO	17
1	HISTÓRIA E NATUREZA DA CIÊNCIA NO ENSINO DE CIÊNCIA	21
1.1	Natureza da Ciência e o Ensino de Física de Partículas.....	26
1.1.1	Noções de Natureza da Ciência na Teoria Eletrofraca.....	34
1.2	Experimentos Históricos no Ensino de Física.....	39
1.2.1	As Pesquisas a Respeito de Experimentos históricos: um estudo das publicações científicas.....	50
1.3	Natureza da Ciência e a Formação Docente.....	58
2	A INSERÇÃO DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO DE FÍSICA – FÍSICA DE PARTÍCULAS.....	64
2.1	O Ensino de Física de Partículas.....	67
2.2	Física de Partículas em Teses, Dissertações, Periódicos, Eventos e Ementas	73
2.2.1	Análise de Teses e Dissertações da Área de Ensino	77
2.2.2	Análise de Periódicos com Estrato A1, A2 e B1 da Área de Ensino.....	82
2.2.3	Análise dos Eventos EPEF, SNEF e ENPEC	87
2.2.4	Análise das Ementas dos Cursos De Física Licenciatura as Universidades Públicas Nacionais.....	91
3	APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA	95
3.1	O V de Gowin	101
3.2	Tecnologias de Informação e Comunicação no Ensino de Física	117
3.2.1	Simulações Computacionais para o Ensino	119
3.2.2	Desenvolvimento de um Ambiente Virtual para o Ensino - Simulações Computacionais	125

4	PROCEDIMENTOS TEÓRICO-METODOLÓGICOS	135
4.1	Composição de uma Abordagem Histórica	136
4.1.1	Composição Histórica da Unificação Eletrofraca	138
4.1.1.1	Comportamento da paridade nas interações fracas	148
4.1.1.2	Observação das correntes neutras	170
4.1.1.3	Detecção indireta dos bósons W e Z ⁰	180
4.2	Elaboração dos Questionários	194
4.3	Elaboração da Abordagem Didática	197
4.3.1	Descrição da Abordagem Didática	200
4.4	Análise de Conteúdo	210
4.4.1	Unidades de Análise dos Questionários Prévio e Posterior	212
4.4.2	Unidades de Análise dos Diagramas V	217
4.4.3	Unidades de Análise dos Questionários de Opinião e de Múltipla Escolha.....	218
5	PROCEDIMENTOS EMPÍRICO-METODOLÓGICOS	219
5.1	Elaboração Didática das Simulações e Negociações da Equipe Multidisciplinar.....	219
5.1.1	A Equipe Multidisciplinar.....	219
5.1.2	A Escolha e Descrição Detalhada dos Experimentos.....	220
5.1.3	Ciclo de Desenvolvimento das Simulações.....	223
5.2	Avaliação das Simulações Computacionais.....	241
5.3	Aplicação da Abordagem Didática.....	242
5.3.1	Perfil dos Participantes e Contexto da Oficina de Pesquisa.....	243
6	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES	252
6.1	Análise dos Questionários Prévios e Posteriores em Relação à Natureza Da Ciência.....	252
6.2	Análise dos Questionários Prévios e Posteriores Em Relação ao Conteúdo Científico	274
6.3	Análise dos Diagramas de Gowin.....	295
6.4	Avaliação da Abordagem Didática.....	319
6.5	Avaliação das Simulações	328
6.5.1	Avaliação por Pares dos Aspectos Referentes à Física, Ensino e História da Ciência	329

6.5.2	Avaliação por Pares dos Aspectos Referentes à Design e Programação.....	333
6.5.3	Avaliação das Simulações Realizada pelos Alunos Participantes da Oficina de Pesquisa.....	335
6.6	Análise do Processo Metodológico de Elaboração das Simulações Computacionais.....	343
	CONSIDERAÇÕES	351
	REFERÊNCIAS	358
	APÊNDICES	391
	Apêndice A	392
	Apêndice B	413
	Apêndice C	415
	Apêndice D	416
	Apêndice E	417
	Apêndice F	420
	Apêndice G.....	421
	ANEXOS	422
	Anexo A	423

AS ORIGENS DESSA INVESTIGAÇÃO – motivação pessoal

Pode-se dizer que as motivações para a realização desta pesquisa tiveram início ainda na graduação.

Durante meu período de formação no curso de Física Licenciatura, na Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), de 2006 a 2010, tive a oportunidade de participar de programas institucionais, como Monitoria, Iniciação Científica e Programa de Educação Tutorial (PET). Meu primeiro contato com a pesquisa foi na área de Física Teórica, orientada pelo professor Dr. Eduardo Vicentini, a quem devo enormes agradecimentos por três anos de orientação e iniciação à pesquisa. Foi durante a participação no PET, que tive a oportunidade, pela primeira vez, de participar de um projeto de pesquisa em ensino. Esta experiência foi relevante para que eu tomasse a decisão de abandonar, em partes, os estudos em Física Teórica e me dedicar para outra área de estudos, o Ensino. Porém, como se tratava do último ano da graduação, o tempo dedicado a essa nova área de pesquisa foi pouco e fiquei no anseio de dar continuidade.

Me graduei, em dezembro de 2010, e no ano seguinte comecei a trabalhar em três escolas de Educação Básica. Foi nesse instante que me deparei com os desafios reais de uma sala de aula. No mesmo ano, comecei um curso de Pós-Graduação, Especialização em Ensino de Matemática. Nessa etapa de formação, meu projeto de pesquisa, durante a especialização, tratava do uso de simulações computacionais no Ensino de Física.

Logo que iniciei a especialização, participei de um teste seletivo para ingressar como professora colaboradora, na UNICENTRO. Fui aprovada e comecei a lecionar no Ensino Superior. Foi uma experiência gratificante que, juntamente com meu projeto de pesquisa na especialização, me convenceu a seguir na carreira acadêmica. Procurei por cursos de Pós-Graduação que atendessem meu desejo de investigar alternativas para o Ensino de Física. Foi nessa etapa que conheci o Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática, da Universidade Estadual de Londrina – UEL. Participei do processo de seleção em 2012 e ingressei como mestranda em 2013.

Trouxe comigo a proposta de continuar investigando simulações

computacionais no Ensino de Física. Como o grupo de pesquisa IFHIECEM¹, do qual passei a fazer parte, tem como ênfase a investigação em História e Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências e Educação Matemática, em conversas com minha orientadora surgiu a ideia de pesquisar a respeito de simulações computacionais de experimentos históricos. Essa proposta foi amadurecendo conforme nossos estudos teóricos iniciais e percebemos que o tempo disponível, para o mestrado, não seria suficiente para um estudo esclarecedor em relação ao assunto.

Portanto, optamos por uma investigação viável e que começaria a dar suporte para uma investigação futura em simulação computacional de experimentos históricos. Dessa forma, durante o mestrado, investigamos as potencialidades e delimitações de uma abordagem histórico-didática, com auxílio de multimídias, para o ensino de partículas elementares no Ensino Médio.

Ao término do mestrado, a ideia de retomar a investigação inicial se intensificou e se consolidou com meu ingresso no doutorado em 2015. Assim, tivemos a oportunidade de aprofundar os estudos dos três eixos que conduziram a investigação do mestrado: História e Filosofia da Ciência, Ensino de Física de Partículas e Simulações Computacionais.

A partir desse momento, entre orientações, colaborações, acertos e erros, estudos e discussões, se materializou esta pesquisa, que investiga Simulações Computacionais de Experimentos Históricos de Física de Partículas no Ensino de Física.

¹ Grupo de pesquisa Investigações em Filosofia e História da Ciência, Educação Científica e Matemática (<http://www.uel.br/grupo-pesquisa/ifhiecem>).

INTRODUÇÃO

Em termos do Ensino de Ciências, em especial o Ensino de Física, não é novidade a identificação de problemas ou insucesso em obter aprendizagens em Ciências. Isso tem inquietado muitos professores e pesquisadores que buscam alternativas para solucionar ou amenizar esse problema. De acordo com as investigações da área de Ensino, a falta de contextualização aliada às abordagens tradicionais, que consistem na exposição e memorização de conteúdos sem a utilização de diversificados recursos didáticos, podem ser possíveis motivos para os insucessos no Ensino de Ciências.

De acordo com Batista (2004), na disciplina de Física, muitos alunos apresentam dificuldade de compreensão de fenômenos que exigem abstração, interpretação e reflexão. Quando o professor não contextualiza os conteúdos ou não os apresenta por meio de uma abordagem diferente das tradicionais, o aluno acaba, na maioria das vezes, sentindo-se perdido em relação àquilo que lhe é apresentado, não consegue entender o motivo, o significado e a relevância de determinados conteúdos para sua formação.

Assim, faz-se necessário que os professores abordem os conteúdos de maneiras diferenciadas e contextualizadas, afinal, em uma sala de aula estão presentes indivíduos que aprendem de maneiras diferentes e uma abordagem tradicional pode não favorecer a todos. Além disso, a contextualização pode contribuir para amenizar o “mar de falta de significação” que tem inundado as salas de aula, nas quais fórmulas e equações são recitadas e utilizadas sem que os alunos saibam o que significam (MATTHEWS, 1995).

Além do mais, Batista (2004) alerta para o fato de que se deve ter equilíbrio e coerência no que se ensina e como se ensina na Física, pois a redução da Física à pura técnica, seja experimental ou matemática, pode evitar questionamentos conceituais e gerar uma formação limitada, estreita e acrítica.

Dentre as abordagens investigadas e divulgadas na área de Ensino, a inserção de História e Filosofia da Ciência, Física Moderna e Contemporânea e Simulações Computacionais têm sido identificadas como alternativas para combater a descontextualização e as abordagens tradicionais, uma vez que podem aproximar o conteúdo do cotidiano dos alunos, promover uma reflexão a respeito dos

conteúdos científicos e sua elaboração, bem como diversificar os recursos para aprendizagem. No entanto, para que isso seja possível, antes se faz necessária a devida formação de professores, seja inicial ou continuada.

Assim, esta pesquisa se concentrou na elaboração e investigação de uma abordagem didática que refletisse esses critérios. Dessa forma, foram elaboradas simulações computacionais de experimentos históricos da área de Física de Partículas, englobando na abordagem a História e Filosofia da Ciência, Física Moderna e Simulações Computacionais. Essas simulações foram inseridas em uma Abordagem Didática, proposta para alunos do curso de Licenciatura em Física da Universidade Estadual de Londrina – UEL, no estado do Paraná. Todo o processo de elaboração das simulações computacionais e da Abordagem Didática foi desenvolvido levando em consideração aspectos da Teoria de Aprendizagem Significativa.

Portanto, as seguintes questões nortearam esta investigação científica: *Uma abordagem histórico-didática a respeito da unificação eletrofraca, baseada em simulações computacionais de experimentos históricos e em aspectos da Aprendizagem Significativa, pode proporcionar um entendimento significativo do conteúdo científico e de seu processo de elaboração?* Além disso, no processo de elaboração dessa abordagem, pela ausência de discussões desse tipo na literatura, percebeu-se que seria necessário um estudo metodológico do desenvolvimento do ambiente virtual, que articulasse as diferentes perspectivas que se mostraram necessárias para a construção dessa abordagem, assim, procurou-se responder o seguinte questionamento: *Que etapas no processo colaborativo entre uma equipe multidisciplinar podem ser identificadas na elaboração de simulações computacionais de experimentos históricos, voltadas para o ensino?*

Com base nesses questionamentos foram elaborados objetivos gerais e específicos.

Objetivo Geral: Investigar a inserção de História e Filosofia da Ciência, no Ensino Superior, por meio de experimentos históricos em um ambiente virtual.

Objetivos Específicos: 1) Desenvolver uma Composição Histórica a respeito da Teoria Eletrofraca. 2) Desenvolver e investigar o processo de elaboração de simulações computacionais de experimentos históricos que contribuíssem no

processo de unificação das interações fracas e eletromagnéticas. 3) Desenvolver e investigar uma Abordagem Didática para o estudo da Teoria Eletrofraca no Ensino Superior.

Esta pesquisa está organizada em seis capítulos, sendo os três primeiros relacionados à fundamentação teórica, os dois seguintes aos procedimentos metodológicos teóricos e empíricos e o último deles à apresentação dos dados e discussão das inferências e interpretações dos resultados.

No Capítulo I, **História e Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências**, é discutida a inserção da História e Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências, e em particular na Física. Nesse capítulo são apresentadas discussões a respeito de noções de Natureza da Ciência e as potencialidades de temas de Física de Partículas para essas discussões, os experimentos históricos como uma estratégia para inserção de História e Filosofia em sala de aula, o panorama das investigações a respeito de experimentos históricos no Ensino de Física e as implicações da História e Filosofia da Ciência na formação docente.

No Capítulo II, **A inserção de Física Moderna e Contemporânea no Ensino de Física – Física de Partículas**, são apresentados argumentos a respeito da inserção de temas de Física Moderna e Contemporânea no Ensino de Física, bem como as justificativas para a escolha de um tema de Física de Partículas. Também é apresentado um panorama geral das pesquisas relacionadas ao ensino de Física de Partículas, bem como um estudo realizado nas ementas dos cursos de Licenciaturas nacionais e públicos.

O Capítulo III, **Aprendizagem Significativa**, foi destinado para discutir princípios da Teoria de Aprendizagem Significativa e apresentar com mais detalhes duas das estratégias para facilitação da aprendizagem, o V de Gowin e as Tecnologias de Informação e Comunicação, em especial as simulações computacionais.

Os Capítulos IV e V são destinados para a apresentação dos **Procedimentos Metodológicos Teóricos e Empíricos dessa investigação**. No Capítulo IV é apresentado o procedimento metodológico para as elaborações teóricas da investigação, como a elaboração da Composição Didática, os questionários, a Abordagem Didática e as Unidades de Contexto e Registro para a análise de dados. Já no Capítulo V são apresentados os procedimentos

metodológicos empíricos da pesquisa, como a elaboração das simulações, a avaliação das simulações por pares e a aplicação da abordagem didática.

No Capítulo VI, **Apresentação dos Dados e Resultados**, são apresentados os dados e as interpretações e inferências dos resultados obtidos. Ele foi dividido em seis partes, análise dos questionários prévios e posteriores em relação à Natureza da Ciência, análise dos questionários prévios e posteriores em relação ao conteúdo científico, análise dos diagramas de Gowin, análise da Abordagem Didática, análise das avaliações das simulações computacionais e do processo metodológico de elaboração das mesmas.

Em seguida são apresentadas as considerações, as referências, apêndices e anexos.

1 HISTÓRIA E NATUREZA DA CIÊNCIA NO ENSINO DE CIÊNCIAS

A inserção de História e Filosofia da Ciência (HFC) em sala de aula, é uma das alternativas amplamente discutida em pesquisas científicas da área de Ensino, para o aprimoramento do processo de ensino e aprendizagem. De acordo com essas investigações, o uso de abordagens histórico-filosóficas, de maneira adequada, pode contextualizar o processo de ensino, oportunizando a aprendizagem de conceitos científicos e a respeito do desenvolvimento científico.

Dentre as potencialidades dessas abordagens, Matthews (1995) cita que elas podem humanizar as ciências e aproximá-las dos interesses da comunidade, tornando as aulas de ciências mais desafiadoras e reflexivas, tornando o conhecimento científico interessante e acessível, evitando uma versão demasiadamente matematizada e descontextualizada das ciências, permitindo a formação do pensamento crítico, contribuindo para um entendimento efetivo dos conteúdos científicos e do processo de elaboração do conhecimento científico, além do poder de aprimorar a formação de professores auxiliando no desenvolvimento de uma compreensão da estrutura das ciências, por meio do desenvolvimento de uma autêntica epistemologia da ciência.

Monteiro e Martins (2015), na defesa dessas abordagens, chamam atenção para a possibilidade de conhecimento de noções alternativas, uma vez que ideias de cientistas do passado têm paralelos com aquelas apresentadas por alunos na atualidade. Assim, conhecendo as noções antigas de um determinado conceito, o professor terá maior facilidade em compreender as dificuldades de seus alunos e contorná-las para chegar ao conceito científico atual, pois as ideias de seus alunos podem ser parecidas com as noções que foram utilizadas para representar esse conceito com o passar do tempo. Dentre os argumentos para utilização de HFC em sala de aula, Monteiro e Martins (2015) também citam a contribuição para o entendimento da relação ciência, tecnologia e sociedade e compreensão da ciência como uma atividade cultural (MONTEIRO; MARTINS, 2015). Além disso, contar a história da ciência é ordenar o pensamento científico dos alunos, ajudando a entender as ideias que levaram às evidências científicas.

De acordo com Batista (2007), as abordagens histórico-filosóficas podem contribuir do ponto de vista ontológico e epistêmico, pois:

- Conhecer a evolução das ideias, dos problemas e de suas soluções na ciência, é conhecer um processo de construção interdisciplinar de explicações;
- Entender o objetivo da Ciência é essencialmente entender a capacidade de resolver problemas e de identificá-los, de criar inovações e ainda de entender quais são os domínios e os objetos de estudo de cada ciência;
- Aprender que uma concepção teórica está inserida em um contexto epistêmico e histórico, sujeita a tradições de pesquisa;
- Conhecer uma ciência é conhecer os caminhos metodológicos adotados nas pesquisas de determinada área (BATISTA, 2007, p. 260).

O apelo pela inserção de HFC no Ensino de Ciências, por meio da necessidade da contextualização histórico-social do conhecimento científico, também é encontrado em documentos de orientação para a formação básica, os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), as Orientações Curriculares Nacionais (OCN) e as Diretrizes Nacionais para a Educação Básica, que consideram a inserção de HFC para que os estudantes possam entender as ciências como uma construção humana e consigam relacioná-las com o desenvolvimento da sociedade (BRASIL, 2000; 2006; 2013). Embora nada seja citado no documento, ainda em trâmite de aprovação, da Base Nacional Comum Curricular – BNCC (BRASIL, 2017), o que sugere uma incoerência com os resultados de pesquisa da área.

Além disso, nas Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação de Professores da Educação Básica e Diretrizes Nacionais Curriculares para os Cursos de Física, há a previsão de disciplinas que envolvam História e Filosofia da Ciência (BRASIL, 2001a; BRASIL, 2001b).

Com relação à contextualização, Batista (2016) sugere que as abordagens histórico-filosóficas que visem situações favoráveis à aprendizagem, devem envolver os seguintes elementos:

Detecção e identificação de conhecimentos prévios dos aprendizes; Paralelo entre a estrutura cognitiva/epistêmica coletiva com a individual; Conteúdo empírico e/ou teórico a ensinar; Realidade escolar (tempo didático, identidade estudantil, recursos comunitários, outros); Contexto histórico e/ou filosófico (exemplares, episódios, problematização, argumentação, erros, desdobramentos...); Linguagens (multimeios, matematização, simbologias, recontextualizações etc.); Referências das Didáticas específicas (Ilhas de Racionalidade, Sequências Didáticas, Unidades Temáticas, Unidades Didáticas, Transposições Didáticas, Engenharia Didática, Invariantes operacionais, Modelagem, dentre outros.); Avaliação processual (aluno e professor) (BATISTA, 2016, p. 162-163).

Dessa forma, a inserção da HFC, de acordo com as perspectivas acima discutidas, pode ser considerada um meio de apoio ao professor no processo de facilitação de ambientes de aprendizagem para que o aluno tenha a possibilidade de refletir a respeito do mundo em que vive e do próprio conhecimento. Isso pode proporcionar a necessária alfabetização científica, voltada à preparação dos alunos para a vida em sociedade de forma crítica e responsável, considerando-se as aplicações e implicações da Ciência em seu cotidiano (HIDALDO; LORENCINI JUNIOR, 2016).

Apesar desse consenso no que se refere à relevância do uso didático da HFC, estudos mostram que ainda são escassos os trabalhos de pesquisa que investigam a utilização dessa abordagem em contextos reais de salas de aula (DIAS, 2008; TEIXEIRA; GRECA; FREIRE JUNIOR, 2012; COSTA; BATISTA, 2014). Dentre os aspectos que dificultam a inserção da HFC no ensino pode-se citar: a falta de material didático adequado; dificuldade de leitura e interpretação de textos por parte dos alunos; insuficiência na formação inicial e continuada (MARTINS, 2007).

Assim, faz-se necessário um conjunto de fatores para que se possa superar essas dificuldades. Com relação à falta de material didático, o número de materiais à disposição tem aumentado em quantidade e qualidade com o passar dos anos. No entanto, esses materiais, resultados de projetos de pesquisa em programas de Pós-Graduação, parecem não chegar efetivamente aos professores em atuação profissional. Outra questão pertinente é como fazer uso desses materiais, uma vez que a postura e metodologia adotada pelos professores interferem nos resultados de ensino e aprendizagem.

Ainda em relação às possíveis dificuldades, outro fator é o currículo escolar, pois na maioria das vezes é voltado para os exames vestibulares. Dessa forma, o professor pode sentir-se pressionado a atender uma lista de conteúdos que são cobrados pelas escolas, sejam elas da rede privada ou pública (MONK; OSBORNE, 1997; MARTINS, 2007; HÖTTECKE; SILVA, 2011).

Haja vista essas dificuldades, para Höttecke e Silva (2011), algumas alternativas poderiam ser consideradas para que ocorra uma implementação bem-sucedida da HFC em sala de aula. Os professores deveriam adaptar os materiais para o contexto escolar local, além de estabelecerem parcerias, formando grupos de trabalho; pesquisa e prática devem ser relacionadas por meio da colaboração entre

pesquisadores do assunto e professores, facilitando o desenvolvimento e adaptação de materiais instrucionais; a administração escolar deveria adequar os currículos e regulamentos para apoiar as abordagens histórico-filosóficas no ensino.

Porém, antes de pensar na aplicação em sala de aula, é necessário que se pense na formação inicial e continuada de professores, é relevante que em sua formação eles tenham contato com as diferentes estratégias para inserção de HFC na Educação Científica. Segundo McComas (2013), essas estratégias podem envolver o uso de fontes originais, estudos de caso, dramatização, experimentos históricos, biografia e autobiografias de cientistas, a História da Ciência presente nos livros didáticos.

De acordo com Batista (2016), outra estratégia é a Composição Histórica, na qual se reúnem elementos históricos e historiográficos, epistemológicos, axiológicos e científicos para a inteligibilidade de um conteúdo científico com objetivo pedagógico e de disseminação de conhecimentos histórico-epistemológicos.

Essas abordagens podem ser utilizadas isoladamente ou de forma complementar e representam variadas opções para inserção da HFC em sala de aula. Uma vez estabelecidos os objetivos que o professor pretende atingir, resta escolher a estratégia que melhor se adapte. Nessa pesquisa, optou-se por uma abordagem que consistiu de duas das estratégias acima citadas, experimentos históricos e a composição histórica, que será explicitada em mais detalhes no Capítulo 4.

Embora a inserção de HFC em sala de aula seja defendida, convém, em meio às vantagens do uso, também citar alguns cuidados e críticas. Martins (1998) alerta para possíveis maus usos da História da Ciência no ensino, como a utilização de longas biografias, valorização do sucesso e desconsideração dos conhecimentos prévios. Algumas abordagens, “intituladas” como histórico-filosóficas, são repletas de datas, não apresentam referências à Filosofia e ao contexto das ideias científicas, valorizando os sucessos e omitindo as dificuldades e ideias alternativas ou controversas, promovendo uma ideia distorcida da Ciência. O fato de não considerar a relevância dos conhecimentos prévios dos alunos é um equívoco, à medida que os mesmos podem estar relacionados a alguma etapa do processo de construção dos conceitos estudados.

Desse modo, é possível que existam materiais didáticos com erros de variados tipos e uma das maneiras de selecionar bons trabalhos é conhecer os procedimentos necessários em uma pesquisa de História da Ciência. Nesse caso, recomenda-se a leitura do trabalho de Martins (2005)², que aborda alguns procedimentos de maneira esclarecedora.

De acordo com Martins (2005), os focos das pesquisas em História da Ciência podem ser conceituais ou não conceituais. Uma abordagem conceitual, também conhecida como história interna, discute os fatores científicos, evidências e fatos de natureza científica. Uma abordagem não conceitual, também denominada de história externa, aborda fatores extracientíficos, como a influência dos contextos sociais, políticos, financeiros, entre outros, de forma que compreende-se que o estudo da História da Ciência, que busque um conhecimento integrado e reflexivo, deve ser capaz de envolver estes dois tipos de abordagens, a fim de afastar os reducionismos presentes em conceitos científicos.

Segundo Martins (2005), outro procedimento a ser considerado, em termos de pesquisas em História da Ciência, é o tipo de documentos que são utilizados. Costuma-se classificar esses documentos em fontes primárias, que são os materiais originais, escritos pelos cientistas que estão sendo estudados, ou secundárias, que são estudos historiográficos e obras de apoio a respeito do período e dos cientistas analisados. Outro tipo de fonte são as fontes terciárias, que não fundamentam pesquisas em História da Ciência, mas indicam o caminho para as fontes secundárias e primárias (MARTINS, 2005).

Ao considerar esses procedimentos, já é possível facilitar a seleção de materiais históricos, ou histórico-didáticos para inserção em sala de aula que podem promover, dentre outras possibilidades, um entendimento de noções de Natureza da Ciência (NdC). Isso favorece a alfabetização científica, pois permite que os indivíduos compreendam, além dos conteúdos científicos, o processo de elaboração desses conhecimentos e entendam os fatores envolvidos no desenvolvimento científico, facilitando a formação de cidadãos críticos e capacitados para opinar a respeito de assuntos que envolvem sua vida em sociedade.

A seguir se discute a respeito de algumas noções de NdC que podem ser discutidas no ensino de Física de Partículas, embora não se pretende

² Martins, L. A. P. História da Ciência: objetos, métodos e problemas, **Ciência & Educação**, v. 11, n. 2, p. 305-317, 2005.

afirmar quais noções devem ser evidenciadas, uma vez que esse é um consenso sujeito a mudança. Nesta pesquisa, levou-se em consideração o contexto dos conteúdos, da área de Física de Partículas, para escolher as noções de NdC a serem discutidas na Abordagem Didática.

1.1 NATUREZA DA CIÊNCIA E O ENSINO DE FÍSICA DE PARTÍCULAS

Definir Ciência não é uma tarefa simples e linear. A natureza complexa e multifacetada da dinâmica do empreendimento científico faz com que não exista uma definição única para a Natureza da Ciência (NdC), entretanto, para filósofos, historiadores, sociólogos e educadores de Ciências essa falta de consenso não é um problema (OSBORNE *et al.*, 2003).

De acordo com Martins (2015), não é de hoje que a comunidade de educadores científicos reconhece a relevância do saber a respeito da Ciência para o Ensino de Ciências. Esse tema tem uma longa história na área e permanece sendo um desafio a ser enfrentado. Além dos conteúdos presentes em diversos níveis de ensino, a compreensão de como a Ciência funciona, como o conhecimento científico é elaborado, validado e comunicado, assim como a Natureza da Ciência, no que se refere às suas características epistemológicas, tem sido vista como algo a ser alcançado na Educação Científica.

No entanto, algumas questões precisam ser refletidas para que se alcance esses objetivos. O que ensinar? Como ensinar? Essas são questões debatidas em investigações científicas no decorrer dos últimos anos e que não possuem uma resposta única. Alguns autores, como Martins (2015) e Pérez *et al.* (2001), embora não falem a respeito do que se deve ensinar, falam a respeito do que não deve ser ensinado, visto que, em pesquisas realizadas, alunos e professores costumam apresentar noções equivocadas e ingênuas em relação à NdC.

Dentre essas noções equivocadas, pode-se citar: concepção empírico-indutivista e atórica da Ciência; visão rígida (algorítmica, exata, infalível) da metodologia científica; visão acumulativa e linear da História da Ciência; visão descontextualizada e socialmente neutra da atividade dos cientistas, visão individualista e elitista da Ciência, entre outras (MARTINS, 2015; PÉREZ *et al.*,

2001; TEIXEIRA; FREIRE JUNIOR; EL-HANI *et al.*, 2009). Outro trabalho que também chamou atenção para essas noções foi o de Driver *et al.* (1996), no qual eram apresentadas as noções de que os cientistas trabalham sozinhos, que o principal objetivo da Ciência é buscar soluções para problemas técnicos, dificuldade em perceber o papel de entidades teóricas e modelos nas explicações científicas, entre outras (MARTINS, 2015).

Segundo Martins (2015), esse conjunto de noções compõe, em sua maioria, o que poderia ser caracterizado como uma ideia de senso comum a respeito da Ciência e de seu desenvolvimento, amplamente presente no cotidiano dos indivíduos e propagada em jornais, revistas, TV e até por livros didáticos e professores de Ciências, uma vez que a educação tradicional também tem reforçado a disseminação de uma visão dogmática e preconceituosa da Ciência, ao passo que prioriza abordagens conteudistas com ênfase em memorização dos conteúdos ao invés de apresentar o processo histórico e metodológico do processo de construção do conhecimento científico.

Com relação ao que deveria ser ensinado, ao longo dos últimos anos fala-se da “visão consensual” a respeito de NdC, que estabelece um conjunto de aspectos gerais, quanto ao que se espera que esteja presente nos currículos escolares. No entanto, especialmente nos últimos anos essa ideia de visão consensual vem sendo criticada, ao passo que alguns pesquisadores (CLOUGH, 2007; ALLCHIN, 2011; IRZIK; NOLA, 2011; KAMPOURAKIS, 2016) consideram a Ciência um empreendimento complexo que não é bem representado por uma lista de aspectos gerais.

A falta de consenso a respeito do que deve ser ensinado tem início na dificuldade de caracterizar a Ciência de forma única, uma vez dada sua complexidade e as particularidades de suas diferentes áreas. Isso pode ser percebido em uma tentativa de descrição da NdC feita por McComas, Clough e Almazroa (1998, p. 4):

A natureza da Ciência é uma fértil arena híbrida, que mescla aspectos de vários estudos sociais da Ciência incluindo a história, a sociologia e a filosofia da Ciência, combinados com pesquisas das ciências cognitivas, tal como a psicologia, em uma descrição rica de como a ciência se constitui, de como funciona, da maneira como cientistas se operacionalizam como um grupo social e de como a própria sociedade, tanto dirige quanto reage aos esforços científicos. A interseção dos vários estudos sociais da Ciência é onde a visão mais rica da Ciência é revelada.

A partir dessa descrição pode-se entender a dificuldade de um consenso, dadas as variadas áreas de pesquisa que se articulam na tentativa de uma caracterização da Natureza da Ciência.

No entanto, mesmo com as críticas, não há a necessidade, ao menos por enquanto, de abandonar a ideia de ensino desses aspectos gerais da NdC, pois ela vem sendo articulada e obtendo adeptos (LEDERMAN, 1992; 2007; MCCOMAS; CLOUGH; ALMAZROA, 1998; OSBORNE *et al.*, 2003; MCCOMAS, 2008; ABD-EL-KHALICK, 2012a; 2012b; LEDERMAN; BARTOS; LEDERMAN, 2014).

Para exemplificar alguns dos aspectos de NdC presentes na visão consensual, pode-se citar os aspectos enumerados por McComas, Clough e Almazroa (1998, p. 6-7):

- 1) O conhecimento científico, enquanto durável, tem um caráter experimental;
- 2) O conhecimento científico depende fortemente, mas não inteiramente, da observação, evidência experimental, argumentos racionais e ceticismo;
- 3) Não há como fazer ciência (portanto, não há um passo a passo universal, um método científico);
- 4) A ciência é uma tentativa de explicar fenômenos naturais;
- 5) Leis e teorias desempenham papéis diferentes na ciência, portanto, os alunos devem observar que as teorias não se tornam leis mesmo com evidências adicionais;
- 6) Pessoas de todas as culturas contribuem para a ciência;
- 7) Novos conhecimentos devem ser relatados clara e abertamente;
- 8) Os cientistas exigem manutenção de registros precisos, revisão por pares e replicabilidade;
- 9) As observações são carregadas de teoria; Cientistas são criativos; A história da ciência revela tanto um caráter evolucionário quanto revolucionário;
- 10) A ciência faz parte das tradições sociais e culturais;
- 11) Ciência e tecnologia são impactadas uma pela outra;
- 12) Ideias científicas são afetadas por seu meio social e histórico.

Para fins de explicitação dentre as críticas a esses aspectos, Clough (2007) chama a atenção para o fato de que os aspectos ou princípios de NdC podem ser entendidos como algo a ser transmitido, mais do que investigado, em sala de aula. Propõe que aspectos da Natureza da Ciência sejam abordados como questões, em vez de aspectos gerais, como por exemplo: Em que sentido o conhecimento científico é tentativo/provisório? (MARTINS, 2015)

Allchin (2011) considera que as listas de aspectos gerais são incompletas para uma alfabetização científica funcional, pois não consideram a

função da credibilidade, a interação social entre os cientistas, o processo de revisão por pares, as fraudes, entre outros (ALLCHIN, 2011). Já Irzik e Nola (2011) consideram que a principal fragilidade dos aspectos gerais é a desconsideração das particularidades das diversas áreas das Ciências. Eles sugerem uma abordagem diferente baseando-se na noção de semelhança familiar, ou seja, a ideia de que os membros de uma família podem cada um se assemelhar em alguns aspectos, mas não em outros. Mesmo que haja algumas características comuns a todas as Ciências, elas não podem ser usadas para defini-las (MARTINS, 2015).

Uma leitura mais detalhada de ambas as posições a respeito da visão consensual pode ser obtida no trabalho de Martins (2015).

Nesse caso, defende-se, de acordo com Clough (2006, p. 463-464), que:

Onde o consenso não existe, a chave é transmitir uma pluralidade de pontos de vista para que professores de ciência e estudantes venham a compreender a importância das questões e complexidades relativas à NdC. Mesmo em questões de NdC que tenham ampla concordância, uma compreensão conceitual em vez de um conhecimento declarativo deve ser buscada. Isso é crítico, uma vez que a meta de uma educação progressiva, que inclua uma compreensão da natureza da ciência, não é doutrinar, mas educar estudantes sobre questões relevantes, sua natureza contextual e as razões para diferentes perspectivas.

Quando não há o consenso, umas das alternativas é expor os diferentes argumentos e exemplificar em que contextos eles são válidos (MARTINS, 2015; CLOUGH, 2006; KAMPOURAKIS, 2016). Assim, os professores e estudantes podem ter uma noção da abrangência e complexidade das noções da NdC.

Assim, para fins relacionados à educação científica, alguns aspectos são considerados relevantes para a formação dos estudantes, pois eles devem desenvolver uma compreensão ampla de como a Ciência funciona para interpretar a confiabilidade das afirmações científicas (ALLCHIN, 2013). Esses aspectos podem ser abordados em diferentes níveis de profundidade e complexidade, dependendo do nível de ensino, e principalmente do contexto em que são discutidos, levando em consideração um determinado intervalo de tempo e as posições epistemológicas predominantes desse período (ALLCHIN, 2011; CLOUGH, 2007).

Kampourakis (2016), refletindo a respeito das críticas aos “aspectos gerais”, também faz esse ponderamento, assumindo que esses aspectos têm sido eficazes para introduzir aos alunos noções de NdC, ao passo que em seguida

podem ser direcionados para uma compreensão mais complexa, prestando atenção aos múltiplos contextos e diversidades das disciplinas científicas.

Dessa forma, não se pretende afirmar que há uma lista de aspectos gerais que definem a Ciência, dada sua complexidade, mas entende-se que em termos de Educação Científica há a necessidade que se fale a respeito de aspectos básicos e que, no decorrer da formação, eles podem ser discutidos em diferentes níveis de profundidade, dependendo do contexto em estudo.

Martins (2015), com base no trabalho de Driver *et al.* (1996), identificou dois eixos principais nas abordagens de NdC: o *eixo histórico e sociológico* e o *eixo epistemológico*, sugere temas que poderiam ser explorados.

Com relação aos dois eixos, de acordo com Martins (2015, p. 718),

O primeiro eixo agruparia temas relativos ao papel do indivíduo e da comunidade científica; a intersubjetividade; questões morais, éticas e políticas; influências históricas e sociais; ciência como parte da cultura; comunicação do conhecimento. O segundo eixo, mais amplo, agruparia temas relativos à origem do conhecimento (experiência x razão; papel da observação, da experiência, da lógica e do pensamento teórico; influência da teoria sobre o experimento), aos métodos, práticas, procedimentos e processos da ciência (coleta, análise e avaliação de dados; inferência, correlação e causalidade; modelagem em ciência; papel da imaginação e criatividade; natureza da explicação), e ao conteúdo/natureza do conhecimento produzido (papel de leis e teorias; noção de modelo; semelhanças e diferenças entre ciência e outras formas de conhecimento).

Os temas sugeridos por Martins (2015), seguindo a ideia de Clough (2007), de trabalhar com questões ao invés de afirmações, são descritos no Quadro 01.

Quadro 01 – Sugestão de temas, feitas por Martins (2015), para abordagens de NdC

EIXO SOCIOLÓGICO E HISTÓRICO
Papel dos indivíduos/sujeitos e da comunidade científica
Os cientistas trabalham isoladamente? O conhecimento científico é construído socialmente? Qual o papel do indivíduo? As “descobertas” são individuais ou coletivas? Que episódios históricos reforçam a ideia de trabalho individual ou a do grupo? Ao longo da história da ciência isso mudou?
Intersubjetividade
Há espaço para a subjetividade na ciência? É possível afastar a subjetividade do conhecimento construído pela ciência? Que procedimentos a comunidade científica utiliza para evitar isso? Tais procedimentos foram sempre os mesmos ao longo da história? Como evitar vieses pessoais? Conhecimento coletivo é conhecimento objetivo?
Influências históricas e sociais
Como o contexto histórico influencia a ciência? Quais as características da prática científica ao longo da história da humanidade? É possível dizer quando e onde começou o que chamamos hoje de

ciência? De que forma o contexto social influencia a ciência? É possível isolar a prática da ciência de outras práticas sociais? A ciência é uma prática social?
Questões morais, éticas e políticas
Aspectos morais e éticos orientam a prática científica? Eles diferem entre os países e as culturas? Há uma “ética da ciência”? Ela mudou ao longo da história? A ciência é masculina? Há fraude na ciência? A política influencia ou é influenciada pela ciência? De que maneiras? De que modo a economia afeta e é afetada pela ciência? Ao longo da história da ciência isso mudou?
A ciência como parte de uma cultura mais ampla
Pode-se falar em uma “cultura científica”? A ciência é parte de uma cultura mais ampla? Que diferenças existem entre essas duas posições? Como a cultura científica se relaciona com outras culturas? Há diferenças entre os países, no que se refere a uma “cultura científica”?
Objetivos da ciência / objetivos dos cientistas
Quais os objetivos da ciência? Eles são os mesmos objetivos dos cientistas, considerados isoladamente? Como essas coisas se articulam (hoje em dia e historicamente)? Quem define o que deve ser pesquisado?
Comunicação do conhecimento científico dentro da comunidade científica e em domínio público
De que forma os cientistas comunicam os resultados de suas pesquisas aos seus colegas? Que tipo de procedimentos e padrões existem para fazer isso? De que forma os cientistas se comunicam com o restante da sociedade? Há problemas ou dificuldades de comunicação entre os cientistas e o público em geral? Por que a comunicação dos resultados da ciência é importante?
Controvérsias históricas e contemporâneas na ciência
Os cientistas podem discordar entre si? Quais as possíveis razões para a ocorrência de uma discordância? Houve controvérsias na história da ciência? De que tipo? Ocorrem hoje em dia? De que modo as controvérsias são resolvidas?
Ciência e outros tipos de conhecimento
É possível diferenciar a ciência de outras formas de conhecimento? Que características são relevantes para isso? Essas diferenças sempre foram as mesmas ao longo da história? De que modo o contexto social influencia nessa diferenciação? A ciência pode ser considerada uma visão de mundo? Como ela difere de outras visões de mundo?
Ciência e tecnologia
A ciência gera a tecnologia ou vice-versa? De que modo a história justifica uma ou outra posição? De que maneiras ciência e tecnologia se interrelacionam atualmente? Que papel o contexto social tem nessa relação?
EIXO EPISTEMOLÓGICO
<u>Problema da origem do conhecimento (científico)</u>
Sujeito(s) e objeto(s) do conhecimento científico
Quem é o sujeito e quem é o objeto do conhecimento científico? É possível separá-los claramente? Que “entidades” fazem parte do universo da ciência?
Empírico vs. teórico
A experiência é a base para a construção do conhecimento científico? Qual o papel do pensamento teórico na construção do conhecimento científico? O que vem em primeiro lugar ou é mais importante: teoria ou experiência? Há “descobertas” sem conhecimentos teóricos prévios? É possível construir teorias sem uma base experimental?
Papel da observação, experimentação, lógica, argumentos racionais e pensamento teórico
Todos esses aspectos têm peso igual na construção do conhecimento científico? Qual o papel dos argumentos racionais e da lógica na interpretação de observações e experimentos? E o papel dos experimentos na sustentação de argumentos racionais e do pensamento teórico?
Influências teóricas sobre observações e experiências
A teoria influencia a observação dos fenômenos e/ou a análise de experimentos? Como isso pode ser evidenciado? Há observações “neutras”?
Ciência e outros tipos de conhecimento
É possível diferenciar a ciência de outras formas de conhecimento? Que características são relevantes para isso, em termos de sujeitos e objetos do conhecimento? Como a ciência e outras formas de conhecimento fazem uso de experiências e teorias?
Diferenças entre as áreas / disciplinas científicas

<u>Métodos, procedimentos e processos da ciência</u>
Coleta, interpretação, análise e avaliação dos dados
Como dados são coletados? Há uma ou diversas maneiras de tomar dados? Como definir amostras e identificar variáveis? Como os dados podem ser interpretados? Há várias maneiras de interpretar um mesmo conjunto de dados? Que técnicas e procedimentos existem para a análise de dados? Qual a natureza, as fontes e consequências da incerteza? Como avaliar a qualidade de um conjunto de dados? Quais as possíveis fontes de erros? Como evitar ou diminuir vieses na obtenção e no tratamento de dados?
Modelagem
O que é um “modelo científico”? O que significa “modelar” um fenômeno? Por que esse é um procedimento importante na ciência?
Observação e inferência
Que diferenças existem entre observação e inferência? Que papel elas têm na construção do conhecimento científico?
Hipóteses, previsões e testes
O que é uma hipótese? Qual a sua importância para a construção do conhecimento científico? Como testar hipóteses? Um teste tem caráter definitivo? O que fazer quando uma predição se mostra incorreta? O que se pode concluir quando uma predição é confirmada por testes?
Correlação e causalidade
Que diferenças existem entre correlação e causalidade? Como diferenciá-las?
Natureza da explicação em ciência
O que é uma explicação científica? Como ela se diferencia de outras formas de explicação da realidade? Como as explicações científicas se relacionam com as evidências empíricas e os argumentos teóricos?
Avaliação de teorias
Como avaliar uma teoria? É possível comparar teorias diferentes com referência ao mesmo conjunto de fenômenos? Como decidir entre elas?
Papel das analogias, imaginação e criatividade
O pensamento por analogia é usado em ciência? De que maneira? Os cientistas são criativos e imaginativos? Todos as etapas do trabalho do cientista envolvem imaginação e criatividade? Há diferenças entre a imaginação e criatividade na ciência e em outras áreas
Visão do senso comum sobre o método científico (sequência passo-a-passo)
A ciência segue um método padrão em sua prática? Há alguma espécie de roteiro passo-a-passo que oriente o cientista no seu dia-a-dia? Que etapas seriam essas?
Ciência e outros tipos de conhecimento
É possível diferenciar a ciência de outras formas de conhecimento? Que características são relevantes para isso, em termos de métodos e procedimentos usados? Qual a relação entre os métodos e procedimentos da ciência e o grau de confiabilidade que podemos ter no conhecimento científico?
<u>Conteúdo / natureza do conhecimento produzido</u>
Leis e teorias
O que caracteriza uma lei científica? O que caracteriza uma teoria científica? Leis e teorias, uma vez estabelecidas, são definitivas? Existe algum tipo de hierarquia entre “lei” e “teoria”? Que diferenças existem entre o uso científico e o uso, na linguagem comum, dos termos “lei” e “teoria”?
Postulados
A ciência faz uso de postulados? Em que situações? Qual a função dos postulados na construção do conhecimento científico? Qual a diferença entre postulado e hipótese?
Noção de modelo científico
O que é um “modelo científico”? Qual a relação entre um modelo e o objeto em si? Qual a função dos modelos para o desenvolvimento de teorias? Quais os limites de aplicabilidade de um modelo?
Papel da Matemática
A matemática é a linguagem da ciência? Pode-se fazer ciência sem matemática?
Poder e limitações do conhecimento científico

O conhecimento científico é verdadeiro? Ele pode ser provado? Ele é definitivo ou pode sofrer alterações ao longo do tempo? Quais os seus limites de aplicabilidade? Qual o papel do ceticismo na ciência?
Ciência e outros tipos de conhecimento
É possível diferenciar a ciência de outras formas de conhecimento? Que características são relevantes para isso? Em que aspectos o conteúdo e o discurso da ciência aproximam-se e afastam-se de outras perspectivas?
Ciência e tecnologia
Quais as principais diferenças entre ciência e tecnologia? De que maneiras ciência e tecnologia se interrelacionam? O conhecimento científico, em seu conteúdo, incorpora o conhecimento tecnológico? Até que ponto?

Fonte: Martins (2015, p. 721-724)

Isso contempla, de certa forma, a flexibilidade necessária à incorporação da pluralidade de visões acerca dos aspectos de NdC, e evita uma formulação prematura de “aspectos gerais” a respeito de NdC (MARTINS, 2015).

Agora, outra questão a ser refletida é como ensinar? Como articular essas questões aos conteúdos científicos? Assim como no caso da questão “O que ensinar?”, não há uma metodologia específica, existem várias abordagens que podem ser utilizadas.

O processo pode ocorrer dos conteúdos científicos para os temas de NdC, no qual se escolhe um conteúdo e estuda-se quais os possíveis temas que podem ser discutidos junto com esse conteúdo, ou também dos temas de NdC para os conteúdos científicos, no qual após a escolha do tema ou temas, elege-se o conteúdo científico que melhor se adapte para articular esses temas.

Além disso, são variadas as estratégias didáticas que podem ser seguidas: composições históricas, uso de fontes originais, experimentos históricos, estudos de caso, dramatização, biografia e autobiografias de cientistas, a História da Ciência presente nos livros didáticos, entre outras.

Outra característica a ser considerada é quanto à natureza da abordagem, se será implícita ou explícita. Uma abordagem é considerada implícita quando utiliza instrução a respeito de habilidades relacionadas à prática científica ou engajamento em atividades investigativas como um meio para a melhoria das visões sobre a Natureza da Ciência. Já as abordagens explícitas, são aquelas em que o ensino dá ênfase diretamente nos conteúdos epistemológicos ou emprega elementos de história e filosofia das ciências no tratamento de conteúdos específicos (EL-HANI; TAVARES; ROCHA, 2004). De acordo com Teixeira, Freire Junior e El-Hani (2009), as abordagens explícitas têm sido relativamente mais bem-

-sucedidas do que abordagens implícitas na promoção de melhorias das visões a respeito da Natureza da Ciência.

A seguir, serão dados exemplos de temas de NdC que podem ser explorados no caso de um conteúdo específico de Física de Partículas: o processo de Unificação da Interação Eletrofraca.

1.1.1 Noções de Natureza da Ciência na Teoria Eletrofraca

O conteúdo científico escolhido para abordagem histórica dessa pesquisa foi a Unificação Eletrofraca. Nesse caso, após a escolha do conteúdo e estudo bibliográfico para a composição histórica, foram sendo escolhidos os temas de NdC que, ao que se percebeu, poderiam ser explorados na abordagem. Novamente, não se deseja indicar quais temas de NdC são relevantes para a discussão do conteúdo escolhido, mas sim alternativas e exemplos, que não são os únicos, mas foram os utilizados nessa pesquisa.

A área de Física de Partículas já foi mencionada como uma área frutífera para exemplificar o processo de construção do conhecimento científico, pois, de acordo com Ostermann (1999), episódios históricos que envolvem essa área de pesquisa revelam o quanto os físicos teóricos e experimentais uniram competências para procurar compreender a natureza da matéria. Foram necessários grandes investimentos intelectuais, tecnológicos e financeiros para que se chegasse aos conhecimentos atuais.

Nesse momento não serão abordados em detalhes os termos técnicos da parte de Física relacionados ao conteúdo escolhido, pois esse detalhamento se encontra no capítulo 4. O foco consiste em tratar de exemplos de noções de NdC que poderiam ser abordadas por meio da discussão do processo de unificação das interações fracas e eletromagnéticas.

Ao tratar da Unificação Eletrofraca, as discussões que deram início ao processo de unificação já exemplificam algumas noções de NdC. O problema inicial foi a questão da conservação, ou não, da paridade nas interações fracas. Até meados da década de 1950, a Teoria de Fermi era utilizada para descrever as interações fracas e por meio de extrapolação de resultados da interação

eletromagnética e forte, acreditava-se que a paridade se conservasse nas interações fracas (BATISTA, 1999).

Porém, com o surgimento do problema $\theta - \tau$, essa conservação começou a ser questionada. Em 1956, Lee e Yang, físicos teóricos, levantaram a hipótese da não conservação e em parceria com uma equipe experimental, chegaram à conclusão de que ocorria, de fato, a violação da paridade nas interações fracas. Resultado esse que foi corroborado por outras equipes posteriormente (LEE; YANG, 1956; WU, 1996).

Tiomno, um Físico brasileiro, em sua pesquisa de doutorado também mostrou em uma parte de sua pesquisa, que ao adotar uma combinação de operadores o resultado era a violação da paridade nas interações fracas, mas ele optou por não usar esse resultado (BATISTA, 1999; BASSALO, 1994).

Cox *et al.* (1928) e Chase (1930), também tinham indícios da violação da paridade em seus resultados, mas não perceberam. Ao passo que um grupo de cientistas da Itália também obteve indícios dessa violação, mas preferiram ser discretos na publicação (BATISTA, 1999; FRANKLIN, 1986; 1990).

Ao analisar esses casos, pode-se identificar aquele no qual os cientistas ou grupos de cientistas se deparam com um problema ou com um grupo de dados e resolvem tomar caminhos diferentes, pois os cientistas possuem uma base teórica que acaba influenciando sua tomada de decisões. Assim, podem chegar em conclusões e interpretações diferentes, mesmo observando um mesmo evento, isso sem mencionar a influência da comunidade científica, uma vez que abandonar um princípio de conservação, na Física, nunca foi uma tarefa fácil.

Ao discutir esses exemplos, pode-se combater uma visão empírico-indutivista e ateórica da Ciência, que ressalta o papel da observação e da experimentação “neutras”, não contaminadas por ideias “*a priori*”, esquecendo o papel das hipóteses como focos de pesquisa e das teorias disponíveis que orientam todo o processo (FERNÁNDEZ *et al.*, 2002).

Outro fator importante é a colaboração entre os físicos teóricos e a equipe experimental. A equipe foi liderada pela física Chien-Shiung Wu, que era especialista em decaimento beta. Como o experimento proposto pelos físicos teóricos necessitava de técnicas de criogenia para funcionar, Madame Wu, como costumava ser chamada, convidou especialistas da área de criogenia e decaimento

beta para compor a equipe experimental (FRANKLIN, 1986; 1990; HAMMOND, 2010).

Nesse caso, convém ressaltar duas noções, a primeira delas é a participação feminina na Ciência, uma vez que a Ciência é um empreendimento humano desenvolvido por mulheres e homens cientistas. Infelizmente, no processo histórico da produção do conhecimento científico, por muitas vezes as mulheres foram desconsideradas nesse processo. Discutindo essa noção da participação feminina da Ciência, espera-se que seja dado o devido reconhecimento a essas mulheres que participaram ativamente de elaborações do conhecimento científico e que esses exemplos ajudem a desconstruir o estereótipo de Ciência como uma profissão masculina (ANDERSON, 2011).

No que se refere à visão estereotipada do cientista, pode-se aproveitar a ocasião para discutir outros estereótipos ingênuos, como a ideia de que um cientista é geralmente representado por um homem de idade mais avançada, desleixado, de jaleco em seu laboratório executando algum experimento. Uma vez que os cientistas citados eram, relativamente, jovens e alguns deles teóricos, ou seja, não necessariamente um cientista é caracterizado como alguém realizando experiências em laboratórios.

Além disso, outra noção que pode ser discutida, no exemplo citado acima, é a colaboração entre os cientistas, eles não são gênios que fazem tudo sozinhos, em alguns casos se faz necessária a parceria entre membros da mesma equipe (uma equipe experimental ou teórica com membros que colaboram) e de outras equipes (colaboração entre equipes teóricas e experimentais). O que fica ainda mais intenso quando se fala dos demais experimentos que contribuíram para o processo de unificação, uma vez que foram experimentos com uma colaboração entre cientistas, universidades e países, até aquele momento nunca vistos (WU, 1957; HASERT *et al.*, 1973a; UA1 COLLABORATION, 1983a).

Nesse caso, combate-se a visão individualista e elitista da Ciência, na qual os conhecimentos científicos aparecem como obra de gênios isolados, ignorando-se o papel do trabalho coletivo e do intercâmbio entre equipes. Além disso, de acordo com essa visão, deixa parecer que os resultados obtidos por um só cientista ou equipe podem bastar para testar uma hipótese ou mesmo consequências de uma teoria. Frequentemente se insiste que o trabalho científico é

um domínio reservado a minorias especialmente dotadas, transmitindo expectativas negativas para a maioria dos estudantes, com clara discriminação de natureza social e de gênero.

Além disso, ao discutir os planejamentos dos experimentos, desde as previsões teóricas até sua execução, pode-se discutir o papel dos cientistas no planejamento, desenvolvimento, construção e realização do experimento, desconstruindo a ideia de que um cientista é alguém que está realizando experimentos em um laboratório. São necessárias mais que habilidades teóricas ou experimentais para ser um cientista, é necessário que eles estejam atentos aos órgãos fomentadores de pesquisa, precisam convencer esses órgãos para obterem recursos financeiros. Precisam convencer as instituições de pesquisa, laboratórios e possíveis colaboradores de que sua pesquisa é relevante.

No caso dos cientistas envolvidos no processo de unificação, alguns físicos teóricos que trabalhavam no CERN (*Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*), com a Teoria Eletrofraca, convenceram físicos da colaboração Gargamelle da necessidade de buscas experimentais de evidências das correntes neutras. O próprio Weinberg, um dos físicos teóricos propositores da Teoria Eletrofraca, convenceu físicos experimentais do FERMILAB (*Fermi National Accelerator Laboratory*) a procurarem por evidências das correntes neutras (PICKERING, 1984). Assim, mostra-se que o desenvolvimento científico depende de fatores externos e que a atividade científica é mais abrangente do que comumente se pensa, vai além da ideia de um cientista teórico ou experimental trabalhando em sua zona de conforto. É necessário que ambos estejam dispostos a buscar parcerias para o desenvolvimento de suas pesquisas.

No entanto, não é o objetivo afirmar que os físicos teóricos convencem físicos experimentais a buscar por evidências de suas teorias, uma vez que elas são apresentadas e em seguida discutidas pela comunidade científica e a partir disso buscam-se as evidências pelo mecanismo proposto pelas teorias. O que se pretende indicar é que esses físicos teóricos também influenciaram o interesse das equipes experimentais na busca pelas correntes neutras.

Outro dos estereótipos, tradicionalmente disseminado em diferentes níveis de ensino, refere-se à imagem da investigação e da produção do conhecimento pautadas em um método científico, representando uma visão rígida,

exata, infalível (PÉREZ *et al.*, 2001; FERNÁNDEZ *et al.*, 2002). Em uma perspectiva positivista, a experimentação faz parte desse método e é entendida como um meio para refutar ou corroborar uma teoria. Essa noção gera dificuldades quanto à compreensão da relação entre hipótese e experimentação no desenvolvimento científico (RAICIK; PEDUZZI, 2015). Vinculada à visão empírico-indutivista, convém lembrar que esta ideia atribui a essência da atividade científica à experimentação.

Moreira (2011) alerta para o caso de que a Física de Partículas está cheia de exemplos de interdependência entre teoria e experimentação. Se por um lado postulam-se novas partículas para explicar resultados experimentais, por outro lado procuram-se experimentalmente partículas previstas teoricamente. Inclusive, o experimento que levou à detecção dos bósons mediadores da interação fraca, foi todo projetado para essa finalidade.

No caso da unificação das teorias eletromagnética e fraca, pode-se discutir a relevância dos formalismos teórico-matemáticos na elaboração do conhecimento científico, uma vez que foi somente depois de demonstrado matematicamente que a Teoria Eletrofraca era renormalizável, que a busca por evidências experimentais ganhou força. Além do mais, todas as evidências experimentais que colaboraram com o processo da unificação eletrofraca tiveram suas buscas incentivadas pelas previsões teóricas e foram detectadas em instrumentos elaborados com objetivos específicos, o que revela a inter-relação entre teoria e experimentação.

Outra noção que também pode ser discutida com base na evidência da violação da paridade é a respeito da provisoriedade do conhecimento científico e em que casos um conhecimento deixa de ser válido. Deixar claro que a Ciência está em construção e que não existem verdades absolutas. Na elaboração de um conhecimento científico o processo pode passar por controvérsias científicas, teorias rivais, complexos processos de mudança e não mostrar esse caminho pode passar a ideia de um desenvolvimento científico como resultado de um crescimento linear e puramente cumulativo (PÉREZ, *et al.*, 2001).

Dado esse argumento de que a Ciência está em construção e que alguns conhecimentos aceitos hoje podem não ser válidos no futuro, pode-se discutir a noção equivocada e, muitas vezes, inconsciente que os alunos podem apresentar a respeito dos termos testar, provar e comprovar relacionados ao papel da

experimentação. Como já foi destacado no trabalho de Costa (2015), os termos provar e comprovar, de acordo com Köhnlein e Peduzzi (2002), possuem uma origem indutivo-verificacionista e o termo testar vem de uma raiz dedutivo-refutacionista. Assim, um experimento não é capaz de provar ou comprovar uma teoria, lei ou hipótese, pois, para que isso fosse possível essas instâncias deveriam assumir a responsabilidade de explicar todas as possíveis mudanças do fenômeno que se propõem a descrever, o que é impraticável, visto que, futuramente, esse fenômeno pode vir a se comportar de maneira não correspondente às previsões. Assim, essas instâncias nunca assumirão o *status* de “comprovadas” (KÖHNLEIN; PEDUZZI, 2002; LEDERMAN *et al.*, 2002; CAREY, 1989). Vale também ressaltar que somente podem ser testadas as hipóteses e consequências de leis e teorias, não se testa uma lei ou uma teoria diretamente.

Ainda em relação aos experimentos, pode-se falar dos imprevistos e das dificuldades enfrentadas tanto para construção dos experimentos como na execução, tomada e análise de dados. O que exemplifica a ideia de que a Ciência não é construída da noite para o dia, que não é um processo em que tudo ocorre perfeitamente como planejado, a atividade científica é uma atividade humana, sujeita a erros, imprevistos e acertos.

Esses são exemplos de como podem ser abordadas algumas noções de NdC ao explorar os conteúdos do processo de unificação das interações fraca e eletromagnéticas. Não foram citados todos os exemplos possíveis, uma vez que algumas noções se repetem no decorrer da Composição Histórica, mas espera-se que os casos citados exemplifiquem parte das possibilidades que conteúdos relacionados à Física de Partículas podem oferecer na discussão de noções de NdC.

A seguir, é discutida com mais detalhes uma das possíveis estratégias para inserção de HFC e noções de NdC, na qual a experimentação e a História e Filosofia da Ciência são exploradas na perspectiva dos experimentos históricos.

1.2 EXPERIMENTOS HISTÓRICOS NO ENSINO DE FÍSICA

A Experimentação e a História e Filosofia da Ciência são reconhecidas como abordagens que podem promover o estímulo, motivação,

desafios e com isso aprimorar o ensino e aprendizagem de Ciências, especialmente na Física. Partindo de pressupostos diferentes, ambas as abordagens têm o mesmo objetivo: tornar as aulas de Ciências em ambientes que promovam a aprendizagem de Ciências de forma não mecânica, promovendo a argumentação e a participação dos alunos.

De acordo com Heering e Wittje (2012), os experimentos são essenciais para uma educação científica e têm desempenhado um papel relevante no Ensino de Ciências desde o século XVIII. Assim, os experimentos históricos podem ser considerados como uma oportunidade para associar os benefícios da História da Ciência e das atividades experimentais em sala de aula. Essa combinação tem a vantagem de envolver tanto os estudantes que se interessam pelos relatos históricos como aqueles que preferem as atividades experimentais (SOUZA; SILVA; ARAÚJO, 2014).

Por experimento histórico deve-se entender “toda e qualquer tentativa bem-sucedida em estabelecer um marco de referência conceitual e/ou metodológica na definição e/ou solução de um determinado problema específico” (RIBEIRO JUNIOR; CUNHA; LARANJEIRAS, 2012, p. 4602-1). Também pode ser interpretado como experiências que surgem a partir do estudo da Ciência do passado (CHANG, 2011).

Nesta pesquisa, parafraseando Ribeiro Junior, Cunha e Laranjeiras (2012), interpreta-se o termo “tentativa bem-sucedida”, como bem-sucedida historicamente. Não se relaciona com a ideia de que foi um experimento em que tudo deu certo, inclusive adota-se a perspectiva de mostrar as dificuldades encontradas nos processos experimentais.

De acordo com Cavicchi (2008a), enquanto a maioria dos currículos de Ciências marginalizava a experiência histórica em notas de rodapé e glossários, algumas alternativas centravam-se na recriação de experimentos históricos, debates e aparatos. Durante o final da década de 1960 e início da década de 1970, Devons e Hartman (1970) e Hoddeson (1971) foram pioneiros em um laboratório de estudantes que continha trinta montagens de experimentos históricos. Ao contrário dos exercícios de laboratório padrão “enlatados”, eles perceberam que experimentos feitos com materiais históricos levantavam problemas genuínos que desafiam as habilidades de observação e o raciocínio dos alunos. Esses trabalhos pioneiros

serviram de ponto de partida para outros pesquisadores que passaram a investigar os experimentos históricos para fins educacionais, cujos objetivos principais se concentram em uma compreensão da prática experimental, para que os aprendizes entendam esse processo de construção do conhecimento científico, de maneira que as experiências não parecem ser dispositivos simples para responder a uma pergunta, mas permitem relatos detalhados a respeito de como as manipulações instrumentais e materiais na Ciência interagem com entidades teóricas e culturais (HEERING; HÖTTECKE, 2014; CHANG, 2011).

Já em atividades de grande escala, um grupo da Universidade alemã de Oldenburg, liderado por Falk Riess, é a principal referência em experimentação histórica que, concentrado na parte histórica e educacional, promoveu diversos cursos de formação para professores. O grupo tem trabalhado principalmente na reconstrução da história da eletricidade e da termodinâmica nos séculos XVIII e XIX. A característica da abordagem de Oldenburg é a replicação exata dos experimentos históricos e da prática experimental (HEERING, 2002; HÖTTECKE, 2000).

Para ter uma visão clara da ampla variedade de esforços na experimentação histórica, é útil ter uma tipologia de experimentos históricos. Chang (2011) elenca a possibilidade de, pelo menos, três tipos diferentes. Existem dois tipos que podem se qualificar como “replicação” (reprodução, repetição, recriação ou reencenação), que são distinguidos uns dos outros por Höttecke (2000). Um deles se preocupa com a reprodução mais fiel possível de um instrumento histórico. Nessa perspectiva:

Reconstruir um aparato histórico significa construir um aparelho que corresponda o mais próximo possível a todas as informações dadas pelas fontes primárias. Fontes não são apenas as publicações originais, mas também poderiam ser cadernos de laboratório, manuscritos, cartas e instrumentos que têm sobrevivido, por exemplo, em museus ou em coleções universitárias. Com base em todas as informações a reconstrução do instrumento é realizada (HEERING, 2005, p. 319).

Enquanto que o outro dá mais ênfase para a reprodução fiel dos fenômenos físicos alcançados pelo experimento. Dessa forma, os aparatos experimentais não são reproduzidos com tanta meticulosidade quanto no caso anterior, mas reproduzem os princípios físicos originais, como descreve Chang (2011, p. 320):

O principal objetivo é reproduzir os fenômenos físicos que foram criados e observados em experimentos do passado. [...] Na replicação física usam-se instrumentos convenientes e procedimentos que ajudarão a criar o fenômeno de interesse, e a fidelidade aos detalhes do experimento original é de interesse secundário. O desafio filosófico na replicação física não é a verificação da exatidão de repetição, mas a caracterização do fenômeno a ser replicado.

Nesse segundo caso, a fidelidade aos detalhes originais da experiência é de interesse secundário. Assim, uma delas pode ser chamada de replicação histórica e a outra uma replicação física.

Agora, quando os praticantes da replicação histórica dizem que tentam “chegar o mais perto possível do original”, o fazem com uma clara consciência de limites intrínsecos à fidelidade. Nem sempre é possível combinar exatamente os instrumentos e operações anteriores descritos em documentos históricos. Às vezes é simplesmente impraticável recriar o que os cientistas do passado tinham; muitas vezes é impossível saber exatamente o que eles tinham. Mesmo quando os instrumentos e substâncias empregados nas experiências passadas foram preservados, quase não há garantia de que eles sobreviveram intactos. As descrições que sobrevivem do passado também precisam ser complementadas com o preenchimento dos espaços em branco, nos quais alguns aspectos dos instrumentos e operações não são explicitamente especificados. As descrições dos experimentos do passado, na maioria das vezes omitem detalhes que, para os cientistas da época, eram óbvios e que para o leitor de hoje pode gerar dúvidas. No entanto, apesar de todas essas limitações, a esperança na replicação histórica de experimentos é que as reproduções de experimentos originais produzam alguns *insights* valiosos a respeito do trabalho de cientistas do passado (CHANG, 2011).

Além de qualquer tipo de replicação, existe o tipo de trabalho que Chang (2011) caracterizou como extensão; como o termo implica, isso geralmente surge como um acompanhamento da replicação. Tendo realizado qualquer experimento, histórico ou não, é difícil resistir à curiosidade natural (“*Mas o que acontece se eu fizer isso?*”), estimulando o experimentador ao experimento seguinte, que pode ser uma variação do original ou um experimento totalmente diferente, projetado para buscar uma questão adicional que surge de observações feitas no experimento original. Essa extensão nem sempre serve ao propósito da

compreensão histórica, mas é um tipo de experimentação histórica que é inspirada no passado e não ocorreria sem esse conhecimento.

Dentre os argumentos para utilização dos experimentos históricos no ensino, Chang (2011) cita três deles:

Primeiro, experimentos históricos podem de fato avançar nossa compreensão do passado da Ciência. Replicações históricas bem-sucedidas podem nos levar a dimensões de trabalhos científicos passados que não estão disponíveis em descrições existentes, elas ajudam o historiador a aprender o conhecimento tácito que foi pressuposto e usado nos experimentos passados, e também ter uma noção melhor do que ele chama de “dimensão temporal” do trabalho científico, o fato de que um experimento é um processo. Assim, através de replicações históricas de experimentos passados, a compreensão da história pode se tornar mais profunda, mais imediata e mais completa. Nesse contexto, o que se havia notado anteriormente como limitações inerentes à replicação histórica também se tornaram oportunidades para um melhor entendimento histórico: como a replicação histórica inevitavelmente requer o preenchimento de lacunas, ela apresenta oportunidades para tentativas criativas e ativas de completar o cenário do passado de formas não arbitrárias (HÖTTECKE, 2000).

Experiências históricas também podem ajudar a avaliar as intenções por trás dos textos que os cientistas do passado escreveram, pois, se a replicação falha apesar de sérios esforços, isso poderia levar a uma análise das intenções e até mesmo da honestidade dos cientistas do passado. Deve-se notar que a replicação histórica não é o único tipo de experimentação histórica que pode ajudar a compreensão histórica. A replicação física ou mesmo a extensão também podem nos ajudar a ter uma noção melhor do que era possível e plausível (CHANG, 2011).

O segundo é de que experimentos históricos podem ser usados para refinar noções da natureza da Ciência. Envolver-se com experimentos históricos, na maioria das vezes, ensina aos alunos e professores que as coisas são mais complicadas do que se acreditava, mais especificamente, experimentos históricos ajudarão a superar as descrições simplistas da atividade científica, muitas vezes encontradas em livros didáticos.

O terceiro argumento proposto por Chang (2011) é que os experimentos históricos podem aprimorar o próprio conhecimento científico, uma vez

que permite possibilidade de investigações não percebidas ou deixadas de lado no passado e não exploradas no presente. Às vezes, quando são feitas extensões de outros experimentos históricos, pode-se estar apenas refazendo os passos dados por cientistas do passado, nesses casos, não se obtém nenhum conhecimento novo da natureza. Entretanto, às vezes pode-se fazer extensões que não seguem as direções que a história realmente tomou e se esses experimentos produzirem resultados interessantes ou dignos de nota, então terão feito contribuições originais genuínas para o conhecimento científico, não apenas recuperado algum conhecimento perdido.

Ainda no que diz respeito às tipologias, levando em consideração o fato de que os professores podem ter acesso limitado a recursos e métodos historiográficos, Metz e Stinner (2007) apresentam as reconstruções históricas. Trata-se de uma adaptação do processo de replicação descrito por Heering (2005), essa abordagem dos experimentos históricos é guiada por uma narrativa histórica, na qual os estudantes têm a oportunidade de interagir com a narrativa por meio de experimentos elaborados com materiais alternativos e de baixo custo, pelos próprios estudantes. Compatível com a teoria da aprendizagem, a narrativa deve ativar o conhecimento prévio do aluno para que esse aproveite suas ideias. Os alunos realizam atividades alternando entre suas ideias e a narrativa histórica à medida que formulam novas hipóteses, novos testes e comparam e contrastam suas ideias com o trabalho original. Os dados são interpretados e aspectos da Natureza da Ciência que surgem naturalmente do contexto histórico são abordados explicitamente.

Outros autores também argumentam em favor dos experimentos históricos no ensino e apresentam resultados e características dessas atividades.

De acordo com Cavicchi (2008a), a História da Ciência com seu legado experimental ainda precisa ser sondada como um recurso educacional para combater a fragmentação do conhecimento científico. De acordo com a autora, os exemplos históricos fornecem aos alunos oportunidades para considerar como os experimentadores coordenavam o funcionamento e os limites de seus aparatos com o que estava acontecendo. As dimensões históricas da experimentação científica afirmam a autenticidade de múltiplas possibilidades que são essenciais para a investigação genuína, ainda que sejam rotineiramente suprimidas sob as exigências da maioria dos laboratórios de Ciências como realmente conduzidas nas escolas

(HOFSTEIN; LUNETTA, 2003). Ao envolver a história com o laboratório educacional, abre-se um caminho de possibilidades para a investigação experimental dos alunos (CAVICCHI, 2008b).

A reprodução de experimentos históricos, de acordo com Souza, Silva e Araújo (2014), apresenta várias possibilidades de exploração de perspectivas epistemológicas e metodológicas, pois o processo de reconstrução do experimento, o levantamento de hipóteses, as propostas elaboradas para resolver os problemas, bem como a análise dos resultados obtidos, mostram a complexidade do conhecimento científico e o papel dos experimentos.

Segundo Golin (2002), as experiências históricas realizadas em um laboratório de física escolar são úteis e atraem o interesse dos estudantes. Esses experimentos podem mostrar a relevância da engenhosidade e do pensamento criativo do experimentador, sua capacidade de trabalhar usando equipamentos simples e meios improvisados. Além disso, é útil discutir o contexto científico e social no qual o experimento foi realizado pela primeira vez. Pode-se formular tarefas e problemas que foram resolvidos posteriormente, devido aos resultados do experimento. Assim, os alunos são levados a avaliar experiências históricas do ponto de vista de sua relevância para a Ciência e a prática científica subsequentes.

Heering e Müller (2002) e Heering e Höttecke (2014), entre outros, também atentam para o ensino informal, uma vez que os experimentos históricos também podem fazer parte de exposições em museus de Ciência. Assim, os visitantes poderiam manipular réplicas de experimentos e instrumentos científicos, sem danificar os originais, ou em casos que os originais nem existem, as réplicas conseguem passar uma representação do que teria sido o experimento ou instrumento original.

Höttecke (2000) defende que o método de replicar experimentos científicos históricos torna possível entender a Ciência como um trabalho prático que ocorre em laboratórios. Permite que os aprendizes tenham uma ideia do significado da experimentação na história da Ciência. Isso compreende as dificuldades de experimentar, o desenvolvimento de habilidades experimentais, bem como a possibilidade de experiências sensoriais.

Além disso, o estudo da recepção e interpretação de um experimento mostra que a avaliação de experimentos ocorre dentro da comunidade

científica. Os dados obtidos em um experimento tornam-se argumentos em controvérsias científicas. Torna-se claro que a Ciência não é apenas um processo social que ocorre em laboratórios, mas também além. A forma como as experiências foram avaliadas depende não apenas da qualidade de um experimento e dos dados que ele produziu. Acima de tudo, os produtos da Ciência são determinados por meio de negociação na comunidade científica (HÖTTECKE, 2000).

Dessa maneira, os aprendizes entendem partes de processos históricos na Ciência. É possível representar as Ciências como uma ação intelectual e habilidosa. Daí se segue que os aprendizes têm uma ideia do que os cientistas fazem quando produzem conhecimento científico: é muito mais que trabalho intelectual, mas um trabalho que é também determinado por aspectos sociais e práticos. Assim, essas experiências no ensino têm se mostrado abordagens frutíferas, devido ao alto grau de autenticidade e contextualização (HÖTTECKE; HENKE; RIESS, 2012).

De acordo com Kipnis (1996), os alunos demonstram satisfação ao obterem resultados apresentados pelos cientistas do passado e perceberem que são capazes de repetir os passos desses cientistas, o que contribui para sua autoconfiança. Eles também se consolam com histórias das vezes em que os cientistas falharam na escolha de variáveis e procedimentos, o que mostra o lado humano do processo. Uma excursão à História da Ciência mostraria aos professores que algumas de suas exigências relativas a experimentos são infundadas e arbitrarias. Por exemplo, uma obsessão com experimentos quantitativos negligencia o fato de que até meados do século XIX a física era primariamente uma Ciência qualitativa. Exigir que os alunos obtenham resultado com precisão de 5% não faz sentido para quem sabe que algumas leis famosas da física foram originalmente estabelecidas com incertezas da ordem de 10-15%. Finalmente, a História da Ciência nos fornece uma série de histórias interessantes que mostram o lado humano da Ciência (KIPNIS, 1994).

Koponen e Mantyla (2006) acreditam que as atividades com experimentos históricos podem ajudar a evitar armadilhas do indutivismo e a ideia ingênua do papel verificatório dos experimentos. Além de manter aspectos da experimentação que oferecem um ponto de partida para a construção do conhecimento pelos próprios alunos. Porém, também chamam atenção para o uso

dos experimentos em sala de aula não como cópias dos experimentos científicos, mas como uma reconstrução didática (NERSESSIAN 1995; IZQUIERDO-AYMERICH; ADURIZ-BRAVO 2003). A reconstrução epistemológica do papel dos experimentos na física, adequada a propósitos pedagógicos e didáticos, e que torna os experimentos significativos para os alunos.

Heering (2005) descreve o método de replicação em três fases: a construção do aparelho, a recriação do procedimento experimental e a contextualização da experiência. De acordo com Heering, a construção do aparelho é guiada por trabalhos originais, incluindo notas de laboratório, manuscritos e cartas; e por quaisquer instrumentos que tenham sobrevivido e possam estar localizados em museus ou coleções universitárias. A intenção é produzir um instrumento que corresponda exatamente ao original em *design*, função e composição. Apesar de atenção estrita à autenticidade, Heering observa problemas que podem surgir nessa prática. Em manuscritos originais ou notas de laboratório, certos detalhes de construção, como colagem e acabamento, podem ter sido considerados óbvios ou sem importância na época. Além disso, ele relata que instrumentos preservados podem ter sido alterados ou podem ser apenas um dos vários modelos usados para realizar as investigações durante um período de tempo.

Na segunda fase do método de replicação, o procedimento experimental é reproduzido. No entanto, como Heering (2005) observa, os experimentos não são realizados a fim de verificar os resultados iniciais, mas a fim de desenvolver uma melhor compreensão das habilidades necessárias e condições gerais do experimento. Desta forma, a replicação não só se torna uma investigação científica histórica, mas também uma atividade pedagógica.

A terceira fase do método de replicação, contextualização, é integrada com as duas primeiras fases. De acordo com Heering (2005), esta fase coloca o experimento em um contexto histórico e filosófico, cultural, social, tecnológico ou político mais amplo. Dentro desses contextos estão inseridas muitas das questões a respeito da Natureza da Ciência. Como é produzida a explicação científica? Quais são os métodos da Ciência? Qual é o papel do observador na experimentação? Qual é a diferença entre dados e evidências?

Independentemente do tipo de experimento histórico que se pretende realizar, segundo Höttecke (2000), ao fazer a réplica de uma experiência

histórica muitas fontes históricas devem ser consultadas a fim de recolher todas as informações possíveis a respeito do experimento original. Essas fontes podem ser publicações originais, diários ou cadernos de laboratório, monografias e atas de reuniões científicas. Essas fontes históricas fornecem informações a respeito da configuração experimental, a sintonia dos diferentes componentes do arranjo, os materiais, os procedimentos de ação que ocorreram durante o experimento, a sala onde o experimento ocorreu (dimensões, temperaturas, exposição etc.) ou a hora (do dia e do ano). Essas informações são úteis e necessárias para reconstruir a situação experimental da forma mais fidedigna possível. Dessa forma, a replicação poderá fornecer uma ideia do contexto vivido pelo cientista na realização do experimento.

Entretanto, a busca por essas informações não é uma tarefa fácil, pois as fontes primárias, que são consultadas para embasar as atividades, nem sempre detalham suficientemente o processo de experimentação, as etapas e técnicas dos experimentos não são todas registradas nos artigos de forma escrita ou em imagens. Assim, fica difícil encontrar as informações para a descrição detalhada dos experimentos, bem como entender perfeitamente todos os procedimentos para a realização dos experimentos. Problemas que também são citados por Heering (2005). As descrições sobreviventes do passado, geralmente, possuem lacunas que não especificam os vários aspectos dos instrumentos e operações. Portanto, a replicação de experimentos históricos pode proporcionar um aprimoramento nos detalhes de textos históricos originais, além de promover oportunidades para a aprendizagem de conhecimentos científicos e de noções a respeito da Natureza da Ciência (HÖTTECKE, 2000; CHANG, 2011).

Outro item para ser levado em consideração, que também torna o processo de replicação difícil, é a parte manual da replicação, pois necessita de habilidades artesanais, materiais e condições específicas etc. Na maioria das vezes os recursos à disponibilidade do professor e suas desenvolvuras artesanais não são suficientes, o que acaba tornando a replicação dos experimentos complicada. Uma alternativa para resolver esse problema é optar pela simulação computacional desses experimentos (COSTA, BATISTA, 2016).

Nas últimas três décadas, a pesquisa em História e Filosofia da Ciência tem enfatizado o papel dos experimentos, instrumentos e procedimentos na

Ciência e sua estreita relação com o desenvolvimento de ideias teóricas. Dentre as abordagens histórico-investigativas, Heering e Höttecke (2014) falam de algumas possibilidades, entre elas: narrativas históricas, diários de laboratório, instrumentos históricos, investigação histórica com materiais modernos e investigações históricas por meio de museus de Ciência e coletâneas instrumentais. Nesse caso, também podem ser incluídos os casos de simulação computacional.

De acordo com Bevilacqua *et al.* (1990), a simulação computacional de experimentos históricos não permite que se conserve todos os aspectos da experiência original, no entanto permite a preservação dos aspectos mais relevantes para a compreensão dos fenômenos de interesse. Isso significa que os computadores podem oferecer aos alunos uma possibilidade de interagirem com experimentos virtuais de fenômenos físicos, inviáveis de replicação em sala de aula.

Nessa pesquisa, optou-se por trabalhar com a simulação computacional dos experimentos históricos que contribuíram com o processo de unificação das interações eletromagnéticas e fraca. Essa escolha se deu justamente pela dificuldade de replicação dos experimentos reais, sejam elas de ordem financeira, temporal, de espaço físico e artesanal. No entanto, dados os argumentos favoráveis às atividades didáticas com experimentos históricos, essa foi a solução mais viável pelo tempo de pesquisa e recursos disponíveis.

Além disso, nessa pesquisa uniram-se três abordagens, trazidas na literatura como alternativas para aprimorar o ensino de Física: abordagens histórico-filosóficas, experimentação e Tecnologias de Informação e Comunicação.

Assim, as abordagens podem ser escolhidas e associadas de acordo com o ambiente de aprendizagem, como por exemplo, aprendizagem formal na escola ou aprendizagem informal em um museu de Ciências, e quais objetivos de ensino serão direcionados, tendo como exemplo, NdC, conhecimento conceitual ou habilidades de processo.

A seguir são apresentados resultados de uma revisão de literatura a respeito de experimentos históricos, com o objetivo de obter um panorama de investigações científicas dessa área, mapear lacunas e resultados para contribuir na elaboração de futuras investigações.

1.2.1 As pesquisas a respeito de experimentos históricos: um estudo das publicações científicas

Um trabalho de revisão de literatura dos autores Jardim e Guerra (2017), mapeou pesquisas a respeito de experimentos históricos no ensino de Física em algumas revistas nacionais: Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF), Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF), Ciência e Educação (CE), Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (EPEC), Investigações em Ensino de Ciências (IENCI) e Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (RBPEC), todos esses classificados no estrato A1 e A2 do webqualis CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), na área de Ensino.

Entre os resultados obtidos percebe-se que o trabalho pautado nos experimentos históricos, voltados ao ensino, se baseia em sua maioria no método da replicação, seja com material original (como o grupo de Oldenburg) ou materiais modernos e adaptados, mesmo que possam ter desdobramentos diferentes, tais como a exploração de uma narrativa ou a utilização de uma simulação. O foco, destacado nos artigos analisados na revisão, é a respeito do experimento em si. Em outras palavras, na análise dos materiais e equipamentos utilizados, nas técnicas diretamente relacionadas à coleta e interpretação de dados, nas questões que o experimento pretendeu responder, nos problemas oriundos da confecção do mesmo e nas respostas ou problemas que o experimento suscitou.

De acordo com a revisão, as questões relativas ao contexto sociocultural em que o experimento analisado estava imerso não se configuraram como elementos de destaque nos trabalhos analisados. Assim, práticas científicas como os modos de publicitação dos resultados, as exigências estabelecidas no rigor das medições e dos seus cálculos, os critérios usados para estabelecer os ruídos a serem desprezados, os processos de validação do experimento desenvolvido e a questão da autoria não estão no foco das discussões a serem travadas com os estudantes (JARDIM; GUERRA, 2017).

Com a finalidade de ir além de publicações nacionais e também investigar as publicações em eventos relevantes na área de Física e produções acadêmicas de programas de pós-graduação nacionais, essa revisão foi ampliada tendo como fontes: periódicos nacionais e internacionais classificados com estrato A1, A2 e B1, na área de Ensino; Anais dos seguintes eventos científicos: Simpósio

Nacional de Ensino de Física (SNEF), Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF) e Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC) e o Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES.

Não foi estipulado um período de tempo com o objetivo de obter o maior número de publicações possível. Embora saiba-se que os critérios de seleção podem excluir periódicos que contenham essas publicações e que nem todas as teses e dissertações defendidas encontram-se disponíveis para acesso *online*, pois alguns autores não permitem a publicação de seus trabalhos imediatamente após a defesa, com objetivo de publicar antes em periódicos da área. No entanto, entende-se que os registros encontrados representam, em grande maioria, as eventuais produções científicas que ficaram de fora da análise.

A busca foi feita nos *sites* dos periódicos e dos eventos científicos, bem como na base de dados da plataforma Sucupira. Os trabalhos foram procurados por meio das palavras-chave, experimentos históricos, *historical experiments*, instrumentos históricos e *historical instruments*. Em seguida foram selecionados os trabalhos que abordavam especificamente o ensino de Física. Pesquisou-se todos os trabalhos publicados em datas anteriores a junho de 2017

Entre teses e dissertações foram registrados seis trabalhos, dos quais dois deles não disponibilizaram o texto na íntegra para consultas, disponibilizaram apenas título e resumo, são eles: Rocha (2018), que utiliza experimentos históricos no Ensino Fundamental e Vaz (2017), que aborda experimentos históricos e eletromagnetismo. No caso, como são publicações recentes, o que pode ter acontecido é que os autores não autorizaram a publicação de seus trabalhos de imediato para publicarem seus resultados em periódicos da área. Tratam-se de duas dissertações.

Os outros quatro trabalhos são de Paula (2006), Boss (2011), Quintal (2008) e Duque (2009).

Desses trabalhos, três deles são dissertações e uma tese, três são voltados para o Ensino Médio e um deles não especifica um público-alvo, mas como se tratam de traduções comentadas de experimentos históricos de eletricidade e sugestão de construção dos mesmos, pode-se inferir que sejam voltados para o Ensino Superior ou para professores (BOSS, 2011).

Das propostas didáticas apresentadas em três trabalhos, dois deles testam e apresentam resultados em sala de aula e apenas um dos trabalhos utiliza simulações computacionais como alternativa para trabalhar com os experimentos históricos (PAULA, 2006). E apenas um deles utiliza uma teoria de aprendizagem para embasar a proposta (QUINTAL, 2008).

Com relação aos conteúdos científicos abordados, um deles aborda o plano inclinado e os outros três abordam conteúdos de eletromagnetismo, o que indica uma tendência de abordagem de conteúdos de eletromagnetismo e Física Clássica.

Já em relação aos anais dos eventos científicos analisados, foram registrados 14 trabalhos, desses nove são do SNEF, três do ENPEC e dois do EPEF. Três trabalhos eram voltados para o Ensino Médio e três para o Ensino Superior, enquanto os demais não indicaram um público-alvo.

No que diz respeito à natureza desses trabalhos, cinco deles apresentaram e testaram uma abordagem didática (BARROS; SARAIVA; SCHMIEDECKE, 2017; BOSS, *et al.* 2012; FREITAS; BARROS, 2015; FREITAS; FREIRE JUNIOR, 2005; QUINTAL; GUERRA, 2009a), seis deles somente apresentaram uma proposta didática (FREITAS; FREIRE JUNIOR, 2003; GOMES; FORATO; SILVA, 2011; KITAGAWA; GASPAS, 2011; MEDEIROS; MONTEIRO JUNIOR, 2001; PAULA; LARANJEIRAS, 2005; PAULINO; MELO, 2017) e dois deles eram teóricos (COSTA; BATISTA, 2017; GONZALES; CALUZI, 2018) e um deles investigou a opinião dos alunos em relação ao uso de experimentos históricos (TAKAHASHI *et al.*, 2013).

Quanto aos assuntos abordados, sete deles trataram de assuntos de eletromagnetismo, três a respeito de plano inclinado, um de ótica e um de temperatura e calor. O que também indica uma tendência para assuntos de Eletromagnetismo e Física Clássica.

No que se refere aos anos de publicação desses trabalhos, foram registrados trabalhos desde 2001 até 2018, com maior número de publicações em 2017, somando quatro registros. O que pode sinalizar um aumento do interesse nessa linha de pesquisa, tendo em vista que as investigações nacionais, ao que pôde-se perceber até aqui, são escassas.

Em referência aos artigos, foram encontrados 49 registros, dos quais 15 são nacionais e 34 internacionais. Eles são advindos de 18 periódicos, sendo 8 nacionais e 10 internacionais. O número de artigos de cada periódico é apresentado no Quadro 02.

Quadro 02 – Número de artigos publicados a respeito de experimentos históricos no ensino de Física

Periódico	Artigos	Periódico	Artigos
European Journal of Physics	2	Scientia Studia	1
Enseñanza de la Física	1	Caderno Brasileiro de Ensino de Física	4
Physics Education	9	Revista Brasileira de Ensino de Física	4
Science & Education	15	Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências	1
American Journal of Physics	1	Ensaio	1
Physics Teacher	1	Revista Brasileira de História da Ciência	1
Enseñanza da las Ciências	1	Investigações em Ensino de Ciências	2
Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias	1	Latin - American Journal of Physics Education	1
Eureka	2	Ciência e Educação	1

Fonte: a própria autora

Como pode-se perceber no quadro acima, embora o número de periódicos nacionais e internacionais que publicaram trabalhos a respeito dessa temática seja quase igual, o número de publicações internacionais ainda é superior ao nacional, com destaque para o periódico *Science & Education*, no qual foi registrado o maior número de artigos entre os periódicos.

Com relação à natureza dos trabalhos analisados, pôde-se registrá-los em três Unidades Temáticas (UT).

UT1: Registros que tratam teoricamente o tema experimentos históricos, ou um experimento histórico específico: (CHANG, 2011; CUARTAS, 2006; GOLIN, 2002; HEERING; MÜLLER, 2002; HEERING, 2006; HÖTTECKE, 2000; JARDIM; GUERRA, 2017; 2018; RAICIK; PEDDUZI, 2016; 2017; RAICIK; PEDDUZI; ANGOTTI, 2017; RODRIGUES JUNIOR *et al.*, 2015; SILVA; MARTINS, 2003; SILVA, 2009; BOIDO, 1993; CASSANI; LEVINAS, 2005; KIPNIS, 1996; MIHAS, 2008; METZ; STINNER, 2007; OLIVEIRA; SILVA, 2014; DREWES; PALMA, 2006; TEICHMANN, 1991).

UT2: Apresentam a reconstrução/replicação de um experimento histórico e/ou uma proposta didática a respeito: (BOZZO; BONANO; SAPIA, 2017; GERMANO; LIMA; SILVA, 2012; LONGHORN; HUGHES, 2015; PINCELLI *et al.*, 2018; GUÉMEZ; FIOLEAIS; FIOLEAIS, 2002a; 2002b; MAYER; VARAKSINA,

2014; RIBEIRO JUNIOR; CUNHA; LARANJEIRAS, 2012; SILVA, 2013; SOUZA; SILVA; ARAÚJO, 2014; STRAULINO, 2008).

UT3: Apresentam a reconstrução/replicação de um experimento histórico e evidenciam resultados de sala de aula: (CAVICCHI, 2003; 2008; EGGEN *et al.*, 2012; HEERING, 2000; HEERING; KLASSEN, 2010; KOPONEN; MANTYLA, 2006; KUBLI, 2001; PANTANO; TALAS, 2010; PINTO; SILVA; FERREIRA, 2017; QUINTAL; GUERRA, 2009b; RIESS, 2000; RINALDI; GUERRA, 2011; SANTOS; VOELTZKE; ARAÚJO, 2012; SEROGLU; KOUMARAS; TSELFES, 1998; SICHAU, 2000; BEVILACQUA *et al.*, 1990).

Ainda prevalecem os artigos na natureza teórica (22 artigos), embora entre os artigos que propõem uma replicação ou proposta didática e aqueles que além de apresentar ainda testam em sala de aula, há a soma de 27 artigos, sendo que 16 deles apresentam resultados de metodologias envolvendo experimentos históricos em sala de aula.

Dos artigos que apresentaram uma proposta didática, somente 6 deles apresentaram a proposta com base em fundamentos teórico-didáticos: Cavicchi (2003; 2008) discute a Exploração Crítica de Eleanor Duckworth, derivada de Piaget e Inhelder. A Exploração Crítica incentiva envolver a curiosidade dos alunos com algo complexo, incentivando-os a interagir com eles direta e reflexivamente e fornecendo novos materiais e perguntas que adicionam mais opções para fazer e refletir. Koponen e Mantyla (2006), Kubli (2011) e Pinto, Silva e Ferreira (2017) utilizam referenciais do construtivismo. Silva (2013) utiliza os momentos pedagógicos de Delizoicov e Angotti. Dos artigos teóricos, Metz e Stinner (2007) abordam o "*Inquiry-based learning*". Isso demonstra uma lacuna nessas pesquisas, pois os referenciais teórico-metodológicos deveriam alicerçar a maioria das investigações, principalmente ao tratar de abordagens didáticas.

Com relação aos conceitos físicos que foram discutidos nos artigos, 16 deles são a respeito de conteúdos de Eletromagnetismo, 11 de Mecânica, 4 de Óptica, 3 de Física Moderna (Relatividade, Radiação Infravermelha e o Experimento de Millikan da gota de óleo). Assim como nas teses, dissertações e eventos, a predominância é de trabalhos que abordam conteúdos de Eletromagnetismo, seguidos de Mecânica e Óptica, ao passo que os conteúdos de Física Moderna ainda aparecem de forma discreta.

O fato de investigar experimentos históricos não exige, especificamente, que os experimentos sejam antigos, pois de acordo com a definição dada por Ribeiro Junior, Cunha e Laranjeiras (2012), as experiências que estabeleceram um marco de referência conceitual e/ou metodológica são vistas como experimentos históricos. Assim, experimentos de Física Moderna podem ser explorados dentro dessa perspectiva, com a possibilidade de contribuir para o ensino dos conceitos dessa disciplina, que por si só já exigem abordagens diferenciadas.

Já em relação ao nível de Ensino, 10 artigos indicaram o Ensino Superior, 11 o Ensino Médio e 1 a Educação Infantil. Cinco artigos que apresentaram replicações de experimentos não indicaram o público-alvo, o que indica a necessidade de mais investigações em sala de aula, como já sugerido nas análises acima.

Quanto à forma como os experimentos históricos foram abordados nos artigos, foi possível identificar 8 tipos diferentes de utilização:

Simulação computacional de experimentos históricos: (BEVILACQUA *et al.*, 1990; RIBEIRO JUNIOR; CUNHA; LARANJEIRAS, 2012).

Reconstrução de experimentos históricos com materiais modernos ou de baixo custo: (BOZZO; BONANO; SAPIA, 2017; HEERING; KLASSEN, 2010; LONGHORN; HUGHES, 2015; PINTO; SILVA; FERREIRA, 2017; QUINTAL; GUERRA, 2009b; RINALDI; GUERRA, 2011; SILVA, 2013; SOUZA; SILVA; ARAÚJO, 2014; STRAULINO, 2008; MAYER; VARAKSINA, 2014; GERMANO; LIMA; SILVA, 2012).

Replicação histórica, o mais próximo possível do original: (CAVICCHI, 2003; 2008; EGGEN *et al.*, 2012; HÖTTECKE, 2000; SICHAU, 2000; GUÉMEZ; FIOLEHAS; FIOLEHAIS, 2002a; 2002b; HEERING, 2000; KUBLI, 2001; MIHAS, 2008; NEVES *et al.*, 2008; OLIVEIRA; SILVA, 2014; DREWES; PALMA, 2006; PINCELLI *et al.*, 2018; RIESS, 2000; SANTOS; VOELTZKE; ARAÚJO, 2012; TEICHMANN, 1991).

Experimentos complementares: (CHANG, 2011).

Experimentos históricos e museus de Ciências: (HEERING; MÜLLER, 2002; PANTANO; TALAS, 2010).

Experimentos abertos na perspectiva histórica: (KIPNIS, 1996).

Representações históricas: (METZ; STINNER, 2007).

Reconstrução epistemológica: (KOPONEN; MANTYLA, 2006).

Dessas diferentes formas de abordar os experimentos históricos, percebe-se que as replicações e as reconstruções históricas com instrumentos modernos ou de baixo custo são as mais investigadas pela literatura, enquanto as demais aparecem de forma discreta.

Isso justifica investigações científicas, por exemplo, a respeito das simulações computacionais de experimentos históricos. Dada a escassa literatura que aborda esse assunto, é necessário que se investigue a respeito das potencialidades e limitações desse tipo de abordagem em sala de aula.

Dentre os resultados apresentados pelas pesquisas analisadas, destacam-se as seguintes:

Bevilacqua *et al.* (1990) sugerem que as simulações computacionais de experimentos históricos, quando incorporadas em um programa cuidadosamente planejado, podem ser eficazes como meio de diagnóstico das dificuldades dos alunos na compreensão de conceitos físicos, melhorar a aprendizagem desses conceitos e envolver o aluno de forma ativa no seu aprendizado, em uma escala que não é alcançada pelas abordagens tradicionais.

Participar de atividades com experimentos históricos ampliou o que os alunos poderiam manipular, bem como o que havia para observar e refletir. Essas ações colocam os estudantes no papel de cientistas, daqueles que originalmente manipularam materiais como o que os alunos estão em contato. Incluir a replicação de experimentos em sala de aula, faz com que os alunos sejam capazes de levantar seus próprios questionamentos, perante ambiguidades e confusões do contexto histórico. Isso os incentiva a tomarem decisões a respeito do experimento e acaba os ajudando a se tornarem investigadores independentes, o que não acontece com frequência em aulas de laboratórios tradicionais (CAVICCHI, 2003; 2008).

De acordo com Heering (2000), não é suficiente discutir os desenvolvimentos históricos em uma única aula, é preciso que se dedique tempo, semanas ensinando Física através dessa abordagem para que se possa obter resultados significativos.

Pinto, Silva e Ferreira (2017) relatam que após as atividades os alunos passaram a compreender melhor o papel atribuído ao trabalho experimental,

deixaram de seguir uma postura ingênua, de um cientista que analisa os fenômenos e encontra explicações a partir dos experimentos, para compreender que a própria escolha experimental está relacionada com aquilo que já está presente nas noções dos cientistas.

De acordo com Quintal e Guerra (2009b), o acompanhamento da execução da proposta mostrou que os experimentos históricos foram essenciais para atrair a atenção dos estudantes para os debates histórico-filosóficos em sala de aula, além disso, evidenciou as dificuldades dos cientistas na realização dos mesmos.

Além do mais, o conhecimento e a manipulação de aparatos históricos pode ser um caminho que possibilite trazer à sala de aula discussões que diminuam o distanciamento entre o ensino de Física e a tecnologia. Assim, essas aulas podem se tornar ambientes que permitam aos alunos entenderem que o conhecimento discutido em sala não está dissociado do mundo em que vivem (RINALDI; GUERRA, 2011).

Resumindo, as abordagens teóricas e práticas centradas na História e Filosofia da Ciência e experimentação oferecem subsídios relevantes para a prática pedagógica dos professores e para a aprendizagem dos alunos.

Com relação aos resultados de Jardim e Guerra (2017), essa revisão abrangendo publicações nacionais e internacionais corrobora com o fato de que o maior número de investigações a respeito dessa temática trata das replicações históricas, sejam aquelas mais próximas ao experimento original ou aquelas reconstruídas com materiais alternativos.

Nesse caso, também o foco da maioria dos artigos estava voltado para o experimento em si. Somente três trabalhos discutiram o contexto sociocultural em que o experimento original foi realizado (JARDIM; GUERRA, 2018; RAICIK; PEDDUZI, 2015; SICHAU, 2000).

O número de trabalhos, no geral, ainda é pequeno, considerando o número de periódicos analisados e o fato de não ter sido estipulado um intervalo de tempo. O que sugere que novas pesquisas devem investigar novas propostas didáticas e que as possibilidades de abordagem metodológica dos experimentos históricos possam ser testadas, uma vez que somente a abordagem com replicação histórica dos experimentos é a mais discutida na literatura.

Nesta pesquisa, são problematizadas duas das lacunas observadas nessa revisão, o uso de simulações computacionais de experimentos históricos e a abordagem de conteúdos de Física Moderna. Enquanto a tipologia dos experimentos históricos, neste trabalho, foram levadas em consideração características das tipologias definidas por Heering (2005), Chang (2011) e Metz e Stinner (2007), segundo os quais, os experimentos históricos reproduzidos podem representar, da forma mais fiel possível que se conseguir, os experimentos originais e/ou os fenômenos físicos por eles abordados. Além de serem auxiliados por uma narrativa histórica que permite a interação do estudante por meio da experimentação que, nesse caso, se desenvolve com a simulação computacional.

Na seção a seguir serão discutidas algumas contribuições da História e Filosofia da Ciência na formação docente, uma vez que, para que os professores possam utilizar essas abordagens em sala de aula, eles devem estar cientes de sua eficiência, ser capazes de montar seu material ou escolher dentre os que já estão prontos, bem como escolher as estratégias que melhor se adaptem aos objetivos educacionais a serem alcançados.

1.3 NATUREZA DA CIÊNCIA E A FORMAÇÃO DOCENTE

Nas seções anteriores já se comentou a respeito da relevância da inserção de História e Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências, porém, para que isso seja alcançado, é preciso que se invista na formação de professores, pois são eles os implementadores das atualizações do currículo escolar.

No Ensino Superior as Diretrizes Curriculares Nacionais do curso de graduação em Física, Ciências Biológicas e Química (BRASIL, 2001b; 2001c; 2001d), já orientam a respeito da necessidade de os profissionais dessas áreas compreenderem a Ciência como um processo histórico de construção de conhecimento. Aparentemente, os cursos de graduação nas áreas de Ciências têm contemplado em seus currículos pelo menos uma disciplina a respeito dessa temática (MARTINS, 2006; PEREIRA; MARTINS, 2011), embora estas ainda busquem um espaço mais significativo nos cursos de graduação, uma vez que poderiam ser abordados aspectos histórico-filosóficos no desenvolvimento das disciplinas clássicas de formação.

No entanto, segundo Teixeira e Freire Júnior (2007), tem sido comum nos currículos dos cursos de graduação em Física no Brasil, uma subestimação dos aspectos históricos e epistemológicos da ciência. Esses currículos costumam relevar, em sua maioria, o aspecto operacional da Física, o que se caracteriza como um ensino em Física, mas não a respeito da Física. O ensino, geralmente, praticado segue a forma tradicional, essencialmente formal e baseado na exclusiva “matematização” de um conteúdo linear e fragmentado, exigindo apenas a memorização de equações sem que se esclareçam os seus significados e contextualização (LONDERO, 2015).

Assim, percebe-se a necessidade de que alunos de Licenciatura em Física, futuros professores, devem possuir entendimento de conhecimentos a respeito da natureza científica e uma compreensão conceitual da ciência. Perante isso, Londero (2015, p. 31) destaca a necessidade de “reflexões em relação aos momentos e tempos didáticos destinados às disciplinas que contemplam conteúdos históricos, filosóficos, sociológicos e epistemológicos da ciência”.

Assim como para a inserção do ensino de Física Moderna, a inserção de HFC em sala de aula exige a preparação dos professores, para que contribuam na formação dos estudantes e evitem a disseminação de noções ingênuas a respeito da atividade científica, a fim de que os aprendizes compreendam, além dos conteúdos científicos, os processos de desenvolvimento desses conteúdos.

Para isso, antes o professor precisa conhecer a respeito de sua Ciência. A formação de professores é um ponto convergente na literatura a respeito da inserção da HFC no ensino e, na medida em que esse discurso alcança mais adeptos, torna-se mais visível a necessidade de uma preparação dos professores para o trabalho nesta perspectiva (HIDALDO; LORENCINI JUNIOR, 2016). A inserção da HFC no processo de formação de professores é amplamente defendida por autores que se dedicam ao estudo dessa inserção. Um exemplo é dado por Matthews, que apresenta o seguinte argumento:

Seria, no mínimo, esquisito imaginar um bom professor de literatura que não tivesse conhecimento dos elementos da crítica literária: a tradição que discute o que tem, ou não, valor literário, como a literatura se relaciona com a sociedade, a história dos gêneros literários etc. Da mesma forma, também deve ser estranho imaginar um bom professor de ciências que não detenha um conhecimento razoavelmente sólido da terminologia de sua própria

disciplina causa, lei, explicação, modelo, teoria, fato; ou nenhum conhecimento dos objetivos muitas vezes conflitantes de sua própria disciplina descrever, controlar, compreender; ou mesmo nenhum conhecimento da dimensão cultural e histórica de sua disciplina (MATTHEWS, 1995, p. 188).

Dessa forma, tem-se o pressuposto que um professor que conhece a disciplina com a qual está trabalhando reconhece a complexidade da construção dos conceitos desta disciplina, que envolve vários contextos, dentre eles, histórico, epistemológico, metodológico e pedagógico (BATISTA, 2009).

O professor é um investigador de sua prática pedagógica e que a inserção de enfoques, elementos e materiais didáticos com fundamentação histórico-filosófica devem sofrer adaptações e transformações pedagógicas (programática, didática e metodológica) para uma aplicação em sala de aula que obtenha resultados de boa qualidade (BATISTA, 2007, p. 265).

Já em relação à forma como os professores vão receber essa formação, é oportuno colocar a seguinte questão: que tipo de cursos de HFC são apropriados? De acordo com Matthews (1995), a literatura recente contém registros de inúmeros cursos com esse objetivo, além de reflexões a respeito do grau de adequação de cada um. No entanto, há um consenso de que, para que esses cursos sejam de relevância para o futuro professor, eles devem ser cursos aplicados ou práticos.

Dentre as potencialidades desses cursos, deve estar a oportunidade de oferecer aos professores uma formação em noções de Natureza da Ciência, a fim de que os professores possam trabalhar essas questões em sua prática pedagógica, pois, de acordo com McComas, Clough e Almazroa (1998), a Natureza da Ciência é utilizada para descrever a interseção de questões derivadas da Filosofia, História, Sociologia e Psicologia da Ciência, e sua inserção em sala de aula gera impacto no ensino e aprendizagem da ciência. Assim, a natureza do conhecimento científico é um domínio fundamental para guiar os professores de Ciências numa correta descrição da ciência aos estudantes (ALMEIDA; FARIAS, 2011).

Dessa forma, os currículos para formação de professores e para a Educação Básica deveriam ser dirigidos não só ao conhecimento científico, mas também devem incluir como a ciência chegou a esse conhecimento.

No entanto, os currículos de Ciências tendem a se concentrar principalmente no conteúdo conceitual, regidos pela lógica interna da Ciência, mas

esquecem de dar treinamento a respeito da própria Ciência, ou seja, o que é Ciência, como funciona internamente, como se desenvolve, como ela constrói seu conhecimento, como ela se relaciona com a sociedade, quais valores os cientistas usam em seu trabalho profissional etc., aspectos que constituem o que se conhece como Natureza da Ciência (ACEVEDO-DIAS *et al.*, 2007).

Dessa forma, de acordo com Almeida e Farias (2011), como consequência, a imagem da Ciência veiculada pelo ensino tradicional é deformada, pois corresponde a de um conhecimento acabado, definitivo e, por consequência, dogmático, autoritário e incontestável.

Segundo Pérez *et al.* (2001), as visões que os professores possuem a respeito do trabalho científico conduzem sua prática educativa, refletindo direta ou indiretamente suas noções a respeito de NdC. Além disso, as ideias dos professores a respeito da natureza do conhecimento científico tendem a se refletir em seus discursos e ações e podem influenciar até que ponto os alunos acham a Ciência interessante, desafiadora e compreensível. As ideias que os professores têm, a respeito da atividade científica, possuem relevância educacional, pois eles lidam com a tarefa de introduzir a Ciência para as novas gerações como uma das principais realizações humanas intelectuais.

Isso também pode se refletir na maneira de ensinar. Por exemplo, pensar que os estudantes podem aprender Ciência “descobrimo” as coisas por si só é consistente com a ideia infundada de que os resultados de uma única observação podem ser interpretados sem qualquer referência a uma estrutura conceitual precedente. Ideias a respeito da Ciência e pontos de vista pedagógicos associados podem ter uma profunda influência nas atividades que os professores proporcionam aos alunos, como eles organizam e gerenciam suas salas de aula, que papel eles adotam, como usam equipamentos e materiais, e os critérios usados para avaliar o sucesso do trabalho (GUERRA-RAMOS, 2012).

Segundo Fernández *et al.* (2002), as noções docentes a respeito de NdC retratam a expressão de uma visão comum, que professores de Ciências aceitam devido à falta de uma reflexão crítica e uma educação científica que se limita a uma simples transmissão de conhecimentos já elaborados. Isso oculta características essenciais da atividade científica, vindo a contribuir para reforçar

algumas deformações, como a suposta “exatidão” da Ciência (ALMEIDA; FARIAS, 2011).

Uma das possíveis alternativas para resolver esse problema é trazer à sala de aula reflexões em torno da NdC e trabalhar os temas científicos por meio de uma abordagem histórico-filosófica. Neste processo, indicam-se as abordagens externalistas que possibilitariam aos futuros professores uma formação diferenciada e mais sólida a respeito dos conteúdos (REIS; GUERRA; BRAGA, 2010; ALMEIDA; FARIAS, 2011).

É relevante que professores participem de discussões, conheçam exemplos de estratégias didáticas de HFC para a abordagem de conteúdos *de Ciência* e a respeito *da Ciência*, desenvolvam competências que lhes permitam adaptá-las, bem como elaborar intervenções apropriadas aos seus contextos (GATTI; NARDI; SILVA, 2004; HÖTTECKE; SILVA, 2011; FORATO; MARTINS, PIETROCOLA, 2012).

De acordo com Henke e Höttecke (2015), os professores são “porteiros” de suas salas de aula; eles decidem se, e em que medida adotam uma inovação educacional específica. Suas decisões dependem de quão competentes e confortáveis elas se sentem com os requisitos específicos de uma dada inovação.

Para desafiar e mudar a forma como os professores abordam a NdC, para que passem a encarar como um objeto de aprendizagem e a desenvolver práticas explícitas, os programas de desenvolvimento profissional e a formação de professores precisam ajudar os professores enquanto refletem a respeito de seu ensino. Esse processo deve ocorrer durante um longo período de tempo e fornecer material para as atividades e avaliação de NdC, bem como estratégias para o desenvolvimento dessas e novas atividades (LEDEN, 2015).

Outra parte importante da formação de professores, destacada por Herman, Clough e Olson (2013), é ajudar os professores a conectar a NdC a outros conteúdos científicos para que ela possa se tornar parte do ensino de Ciências não apenas quando cuidadosamente planejada, mas também no impulso do momento.

No que se refere à relação aos experimentos históricos e à formação de professores, Riess (2000) afirma que as experiências no nível universitário podem ser resumidas da seguinte forma: o método experimental histórico ajuda os alunos e professores a obterem um novo acesso a fenômenos, termos, leis e teorias

que não se baseiam apenas na ordem sistemática da Ciência. Eles ficam surpresos ao saber que há mais de uma maneira de explicar fenômenos e fatos, e que essas diferentes formas de conhecimento dependem de circunstâncias históricas, sociais e pessoais. Eles compreendem que a introdução de experimentos históricos pode resolver parte dos problemas de motivação de alunos, mas queixam-se da falta de material didático.

Nesse sentido, Riess (2000) sugere três passos para melhorar a educação científica com a ajuda da História da Ciência: a História da Ciência deve tornar-se uma parte obrigatória dos currículos de Ciências e na formação de professores, não necessariamente no formato de uma disciplina, pode ser abordada no contexto de outras disciplinas; os historiadores da Ciência e os educadores de Ciências devem desenvolver materiais de ensino e de aprendizagem adequados; os laboratórios científicos nas escolas devem ser complementados por oficinas leigas que permitam aos professores e alunos produzirem parte do seu próprio equipamento experimental, especialmente no que diz respeito a aparelhos e instrumentos históricos.

Nesse sentido, essa pesquisa contribui com a discussão de NdC na formação de professores, apresentando aos estudantes uma abordagem envolvendo experimentos históricos, além de disponibilizar um material didático, resultado da pesquisa, para professores, alunos e interessados em uma página na web³.

Além disso, discute-se na abordagem conteúdos de Física Moderna, para fornecer subsídios aos futuros professores a fim de atacar a problemática, de que o ensino de Física no Ensino Médio não ultrapassa a segunda metade do século XIX, deixando de lado todo o conhecimento da Física Moderna e Contemporânea.

No capítulo a seguir é discutida a relevância do ensino de Física Moderna para o Ensino de Física e apresentado um cenário das investigações a respeito do ensino de Física de Partículas.

³ Essa página será disponibilizada após a defesa e a publicação do material da página em periódico da área de Ensino. Para mais informações entrar em contato pelo e-mail: marciarscosta@hotmail.com.

2 A INSERÇÃO DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO DE FÍSICA – FÍSICA DE PARTÍCULAS

Ao analisar a literatura da área de Ensino, especificamente Ensino de Física, percebe-se um grande número de trabalhos que discutem a necessidade da implantação da atualização curricular da disciplina de Física e sugerem maneiras de inserção no currículo escolar, para que os professores possam abordar temas de Física Moderna e Contemporânea (FMC) em sala de aula e com isso promover um ensino contextualizado, desafiador e motivador, uma vez que os conteúdos a serem explorados se aproximam do cotidiano dos alunos e da maioria dos recursos tecnológicos disponíveis na sociedade.

A Ciência tem exercido uma influência cada vez maior no cotidiano das pessoas. Vive-se em uma sociedade repleta de tecnologias que tornaram possíveis os desenvolvimentos científicos e tecnológicos alcançados. Além do mais, teorias científicas romperam velhas maneiras de pensar a natureza, a Relatividade Geral e a Mecânica Quântica deram origem a novos campos de conhecimento e investigação, produzindo rumos inesperados nas pesquisas científicas e permitindo a ascensão de novas tecnologias (PESSANHA; PIETROCOLA, 2016).

Dessa forma, é relevante que o currículo atenda a necessidade de incorporar os desenvolvimentos recentes da Física, fazendo com que a Física que é ensinada em sala de aula se aproxime, o máximo possível, da Física que está sendo desenvolvida atualmente (BORGES *et al.*, 1997).

Além disso, de acordo com Ostermann e Cavalcanti (1999), discutir esses assuntos em sala de aula ajuda a despertar a curiosidade dos alunos e os ajuda a reconhecer a Física como um empreendimento humano, o que pode possibilitar a atração de jovens para os cursos de Física, os quais poderão ser futuros professores e pesquisadores.

Ainda entre dos motivos para inserção de FMC nos currículos escolares, acredita-se que o ensino de tópicos de FMC para alunos do Ensino Médio e Superior, bem como na formação continuada de professores, assume um papel relevante, uma vez que a introdução de conceitos atuais de Física pode contribuir para uma imagem mais adequada da Ciência e da própria natureza do trabalho científico (PÉREZ; SENENT; SOLBES, 1987; 1988; PÉREZ; SOLBES, 1993).

No entanto, para que essa atualização se torne realidade, faz-se necessário que os professores sejam devidamente preparados em sua formação inicial, ou em serviço, para que se sintam capacitados para trabalhar com assuntos relacionados a FMC em suas aulas.

Portanto, apesar de constar nos documentos educacionais oficiais brasileiros a presença de temas de Física Moderna e Contemporânea na Educação Básica, para que esses assuntos sejam discutidos no Ensino Médio, é preciso que os professores estejam preparados, pois, de acordo com Monteiro, Nardi e Bastos Filho (2009; 2012), há uma lacuna na formação dos professores de Física em relação ao ensino de tópicos de FMC. Em alguns casos a formação inicial não contempla o estudo desses tópicos e quando contempla, na maioria das vezes, está pautado em perspectivas teóricas que não promovem o desenvolvimento da autonomia dos professores para promoverem a discussão desses tópicos em sua futura atuação profissional em sala de aula.

Nesse contexto, Sacristán (2000, p.37) afirma que, “no currículo universitário se destaca a adequação dos currículos ao progresso da ciência, de diversos âmbitos do conhecimento e da cultura, e à exigência do mundo profissional”. Logo, a presença de temas de Física de Partículas é relevante nos currículos dos cursos de Licenciatura em Física, uma vez que é um assunto de Física Moderna e Contemporânea e está presente no cotidiano dos alunos para os quais os futuros professores lecionarão. Ou seja, são temas relacionados com o progresso da ciência e também fazem parte da cultura atual (KIKUCHI, 2016).

De acordo com Sacristán (2000), não faz sentido pensar em atualização curricular, sem antes pensar na formação dos professores, ou seja, para enfrentar o desafio da atualização curricular de uma forma mais eficaz e com um caráter multiplicativo, um dos meios recomendados é inseri-la pela via da formação do professor, tanto inicial quanto continuada, pois é necessário que o professor seja preparado para essa atualização, em termos conceituais e metodológicos, isto é, além do ponto de vista conceitual deve-se refletir a respeito de como esses conteúdos deveriam ser trabalhados em sala de aula.

Nesse sentido, segundo Ostermann e Moreira (2000), é essencial investir na produção de materiais didáticos a respeito de temas de FMC acessíveis aos professores e aos alunos de Ensino Médio, além de formar professores críticos

em relação ao currículo de Física e com ferramentas que possibilitem enfrentar a questão da atualização curricular, o que só é possível com uma preparação adequada.

Ainda nessa perspectiva, Oliveira, Vianna e Gerbassi (2007) afirmam que não é suficiente a introdução da discussão de problemas atuais da Física se não houver a preparação dos alunos de licenciatura e se o profissional em exercício não tiver a oportunidade de se atualizar, pois são eles os atores principais da atualização curricular, eles que a implementarão em suas práticas pedagógicas.

Com base nessas reflexões, esta pesquisa apresenta uma problematização de tópicos de FMC na formação inicial de futuros professores de Física e traz um exemplar de como discutir o processo de unificação das interações eletromagnéticas e fracas na Licenciatura de Física, que pode ser também explorada na formação continuada dos professores de Física da Educação Básica.

Esse exemplar leva em consideração aspectos do conteúdo científico, princípios da Teoria de Aprendizagem Significativa e noções de Natureza da Ciência, evidenciando o processo de elaboração da Teoria Eletrofraca, pois, de acordo com Monteiro, Nardi e Bastos Filho (2012), dentre as dificuldades encontradas pelos professores para inserção de FMC no Ensino Médio está o fato de que em sua formação inicial as abordagens a respeito de FMC visavam, predominantemente, a exposição dos conceitos. Em outras palavras, não contemplavam o processo de construção dos conceitos, seus aspectos epistemológicos e ontológicos e tampouco suas possíveis implicações.

Dentre os possíveis temas de FMC, nesta pesquisa foi abordado o tema de Física de Partículas, pois trata-se de uma área da Física que está em constante desenvolvimento, proporciona a ideia de que ciência está sempre em construção, é elaborada coletivamente e cujas pesquisas ativam a curiosidade dos alunos, pois envolve assuntos como a estrutura da matéria, os aceleradores de partículas, o *Large Hadron Collider* – LHC, *Bóson de Higgs*, entre outros.

A seguir é abordado com mais detalhes o Ensino de Física de Partículas, suas justificativas e um panorama das investigações dessa temática desde seu surgimento no Brasil até os dias atuais.

2.1 O ENSINO DE FÍSICA DE PARTÍCULAS

Depois do consenso da necessária atualização curricular da disciplina de Física, uma das discussões era a respeito de quais tópicos de FMC deveriam ser ensinados. Um estudo realizado por Ostermann e Moreira (1998) no Brasil, feito a partir de uma metodologia de consulta a especialistas (técnica Delphi) – físicos, pesquisadores em ensino de Física e professores brasileiros de Física do Ensino Médio – relatou quais foram os tópicos indicados por esses especialistas a serem incorporados ao currículo das escolas. Os temas, por eles recomendados, foram variados. Efeito fotoelétrico, átomo de Bohr, leis de conservação, radioatividade, dualidade onda-partícula, fissão e fusão nuclear, origem do universo, raios-X, laser, supercondutores, partículas elementares e relatividade restrita foram alguns dos temas propostos.

Dentre esses tópicos, nesta pesquisa foi abordado o tópico de partículas elementares, estudado pela área de Física de Partículas, que é a área da Física responsável por estudar as partículas elementares que constituem a matéria, além da radiação que emitem, a interação entre elas e suas aplicações. Também é chamada de Física de Altas Energias, pois muitas partículas elementares só podem ser criadas a energias elevadas, assim a detecção dessas partículas só é possível a altas energias provocadas por intensas acelerações.

Em meio às potencialidades desse tema, Ostermann (1999) destaca a oportunidade que ele oferece para a compreensão do processo de produção do conhecimento científico, pois episódios históricos que envolvem essa área de pesquisa mostram o quanto os físicos teóricos e experimentais uniram esforços para procurar compreender a natureza da matéria. Foram necessários grandes investimentos tecnológicos e financeiros para que se chegasse ao Modelo Padrão atual. “O caráter construtivo, inventivo e não definitivo do conhecimento também pode ser ilustrado, a partir de uma leitura histórica dessa fascinante área da Física” (OSTERMANN, 1999, p. 434).

Siqueira (2006) também defende a abordagem de Física de Partículas, pois segundo ele essa área de pesquisa fornece uma nova visão de mundo: o mundo subatômico, levando um conhecimento atual a respeito dos constituintes da matéria com potencial para promover uma nova leitura do mundo ao

redor. Além disso, de acordo com Siqueira (2006), como uma Ciência contemporânea, ela pode contribuir para a visão menos ingênua da Ciência, contribuindo para uma reinterpretação da Física Clássica e mostrando como a Ciência é dinâmica, como ela se desenvolve, a contribuição de diferentes pesquisadores para se elaborar um conceito e como a experimentação se torna crucial e difícil de ser realizada, sendo necessário o investimento financeiro e cooperativo de diversos países e cientistas.

A Física de Partículas é uma área da Física muito ativa, que está em uma constante busca pelos constituintes da matéria, investigando sua natureza. “Investigar a natureza da matéria tem sido uma obsessão para os físicos que, obstinadamente, buscam novos modelos para a natureza íntima da matéria” (MOREIRA, 1989, p. 125). E, atualmente, isso vem sendo feito com mais intensidade, levando a novas questões, na tentativa de elaborar modelos da natureza (SIQUEIRA, 2006).

Assim, a Física de Partículas torna-se uma temática adequada para discutir o processo científico de elaboração de teorias, bem como o funcionamento da Ciência atual na busca pela compreensão da natureza. Esse argumento também é respaldado nas orientações complementares aos parâmetros nacionais, pois de acordo com o documento é necessário “compreender aspectos da evolução dos modelos da Ciência para explicar a constituição do Universo (matéria, radiação e interações) através dos tempos, identificando especificidades do modelo atual” (BRASIL, 2002, p. 79).

Além disso, o ensino da Física de Partículas poderá esclarecer melhor a tecnologia moderna, estreitando o contato do jovem com alguns aparatos. Isso, juntamente com a discussão dos conceitos científicos da área, pode promover uma compreensão das informações veiculadas pelas mídias de divulgação científica que estão à disposição dos interessados e suscitar nos alunos um posicionamento mais crítico em relação ao conhecimento científico. Desta forma, esse conhecimento terá uma conexão maior com o dia a dia do aluno e, assim, ele poderá entender e discutir melhor as questões a respeito da Ciência (SIQUEIRA, 2006).

Alvarenga (2000) também defende a inserção do Ensino de Física de Partículas, indicando os seguintes motivos:

Os conhecimentos de Física de partículas possibilitam ao estudante certo aprofundamento dos estudos de Cosmologia, levando-o a uma visão mais racional do mundo em que vivemos, a discussões mais equilibradas sobre a origem e o fim do Universo, colaborando para afastamento das crenças e superstições, muito comuns entre os jovens. O assunto pode ser tratado historicamente, com apresentação das diversas teorias que se sucederam, levando os alunos a perceberem que os conhecimentos científicos não são verdades absolutas (aspecto importante da visão atualizada das ciências). O sucesso das pesquisas nesta área, altamente dependentes das tecnologias avançadas, que possibilitaram várias descobertas, evidenciaram a interdependência entre o desenvolvimento dos conhecimentos científicos e tecnológicos, sem priorização de um deles (ALVARENGA, 2000, p. 191).

Além disso, de acordo com essa autora, tratam-se de tópicos fundamentais e sua aprendizagem facilita a compreensão de outros assuntos, trata-se de um conhecimento que pode relacionar diferentes áreas e ciências.

Ao tratar das implicações dessa área de pesquisa, além da diversidade das evidências científicas que estão pautadas neste tema, também há um desenvolvimento de sofisticadas tecnologias com grande impacto na sociedade como na área da comunicação, nanotecnologia, computação, medicina, energia, entre outras. As principais técnicas de diagnóstico e de terapias médicas atuais, por exemplo, estão baseadas nas pesquisas de Física de Partículas nos séculos XX e XXI. No campo da tecnologia da computação o desenvolvimento e pesquisa na área de Física de Partículas possibilitou a criação da internet pelo CERN, que impulsionou a comunicação entre os países do mundo todo. São atividades científicas que lidam com a produção de conhecimento e trazem inúmeros benefícios para a sociedade (MOURA, 2016; SOUZA, 2017).

A busca pelas partículas elementares da matéria e da compreensão da formação do universo levou a comunidade científica a engenhar grandes e poderosas máquinas com o uso de instrumentos de alta complexidade tecnológica, capazes de desvendar os constituintes básicos e elementares da matéria. Todas essas aplicações servem para fazer os estudantes do Ensino Médio compreenderem a grandeza e a relevância da Ciência, pois o desenvolvimento científico pode beneficiar até mesmo áreas que aparentemente não têm ligação com os assuntos pesquisados. Isso pode promover a aprendizagem, pois a mesma é facilitada à medida que os alunos entendem a relevância desses conceitos para a sociedade, dando significado ao que estão estudando (MOURA, 2016; SOUZA, 2017).

Esse entendimento da área de Física de Partículas pode, entre outros fatores, despertar nos estudantes o interesse pelos cursos de Física. Segundo Ostermann e Cavalcanti (1999, p.267):

A tendência em inserir tópicos de FMC justifica-se, entre outras razões, pela necessidade de atrair jovens para as carreiras científicas. São eles os futuros pesquisadores e professores de Física. É fundamental também despertar a curiosidade dos estudantes e ajudá-los a reconhecer a Física como empreendimento humano, portanto, mais próximo a eles.

Mais um motivo para a discussão de temas de Física de Partículas, pois esse tópico aparece entre os três primeiros tópicos que incentivaram os alunos de graduação em Física a escolherem essa carreira (STANNARD, 1990; KALMUS, 1992).

Dentre os temas de Física de Partículas que poderiam ser abordados no Ensino Médio, Lozada e Araújo (2007) alertam para possíveis discussões relevantes para reflexões, entre elas:

1) *A questão dos modelos*, na qual é preciso deixar claro para os alunos o que é um modelo científico, que a Física de Partículas está se desenvolvendo, evidencia a ideia de que a Ciência está em construção, oportunizando discussões de História e Filosofia da Ciência.

2) *A Física de Partículas e Tecnologia* – embora as pesquisas dessa área tenham contribuído significativamente com os avanços tecnológicos, abrindo espaço para discussões com enfoque CTS (Ciência Tecnologia e Sociedade), é necessário deixar claro que o objetivo principal é estudar a estrutura da matéria e os eventuais avanços tecnológicos que compõem o reflexo dessas pesquisas.

3) *Os cientistas brasileiros e a sua contribuição para a área de Física de Partículas* – ensinar Física de Partículas no Ensino Médio é uma oportunidade para abordar a contribuição de físicos brasileiros para essa área de pesquisa, como exemplo: Cesar Lattes, José Leite Lopes, Roberto Salmeron, Jayme Tiomno, Marcelo Damy de Souza Santos, Mario Shenberg, entre outros. Isso pode promover a ideia de que a Ciência não é apenas construída em outros países, mas uma colaboração de pessoas de diferentes nacionalidades.

4) *Aceleradores de Partículas* – as evidências de algumas das partículas elementares só foram possíveis devido a engenhosidade dos

aceleradores de partículas, assim, é relevante discutir como se dá o processo de aceleração e detecção dessas partículas.

Além das questões sugeridas por Lozada e Araújo (2007), percebe-se outras possibilidades de discussão em abordagens de tópicos de Física de Partículas.

A participação feminina na Física de Partículas, uma vez que em muitos casos a participação feminina foi ignorada pelos divulgadores e formadores científicos. Que seja dado a elas o devido reconhecimento, assim como é dado aos homens, como poderia ter sido citada acima a pesquisadora Elisa Frota Pessoa, que introduziu a técnica de emulsões nucleares no Brasil e junto com Neusa Margem, foram as autoras do primeiro artigo publicado pelo CBPF (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas). Este trabalho obteve, pela primeira vez, resultados que poderiam ser considerados significativos para apoiar experimentalmente a teoria V – A (LIMA, 2004).

O *caráter não empirista*, uma vez que, na maioria das vezes, os testes empíricos ocorrem muitos anos após as elaborações teóricas, dada a complexidade dos experimentos que precisam ser preparados para esses testes. Enquanto isso os pesquisadores trabalham com os modelos científicos.

Não são essas as únicas questões possíveis de serem abordadas, mas a ideia é propor reflexões que possam inspirar os professores em suas práticas de sala de aula.

Existem publicações de pesquisadores brasileiros, a respeito de temas relacionados à Física de Partículas, que podem ser utilizadas pelos professores para aprender mais a respeito do assunto ou até mesmo para ajudar no preparo de suas aulas. Trata-se de livros e artigos escritos por pesquisadores da área de Ensino e de Física de Partículas (OSTERMANN, 1999; OSTERMANN; CAVALCANTI; 2001; MOREIRA, 2004; 2007; 2009; 2011; 2017; ABDALA, 2005; 2006; CARUSO; SANTORO, 1994; CARUSO; OGURI; SANTORO, 2012; PIRES; CARVALHO; 2014).

Ainda dentre os possíveis materiais para consulta dos professores, pode-se citar aqueles recomendados nas revisões de literatura que já foram feitas em relação a essa temática. Vale ressaltar os trabalhos de Ostermann e Moreira

(2000) e Pereira e Ostermann (2007; 2009), que analisaram as publicações científicas relacionadas à Física de Partículas e temas relacionados à FMC.

No artigo de revisão de Ostermann e Moreira (2000) os trabalhos foram classificados em seis grandes grupos: *justificativas para a inserção de Física Moderna e Contemporânea (FMC) no ensino médio; questões metodológicas, epistemológicas, históricas referentes ao ensino de FMC; estratégias de ensino e currículos; concepções alternativas dos estudantes acerca de tópicos de FMC; temas de FMC apresentados como divulgação ou como bibliografia de consulta para professores de nível médio; propostas testadas em sala de aula com apresentação de resultados de aprendizagem; livros didáticos de nível médio que inserem temas de FMC*. Essa revisão evidenciou que as publicações dos temas referentes à FMC concentravam-se em forma de divulgação, ou como bibliografia de consulta para professores do Ensino Médio. Poucas pesquisas relatavam propostas testadas em sala de aula com apresentação de resultados de aprendizagem.

Nesse trabalho os autores apresentam uma lista de temas e suas respectivas referências, inclusive do tema Partículas Elementares (HOLTON *et al.*, 1970; RYDER, 1976; LEDERMAN, 1982; FUNDAMENTAL PARTICLES AND INTERACTIONS CHART COMMITTEE, 1988; MOREIRA, 1989; GALETTI, 1990; FARMELO, 1992; JONES, 1992; SWINBANK, 1992; BARLOW, 1992; ALLDAY, 1997; CONTEMPORARY PHYSICS EDUCATION PROJECT, 1998; FERMILAB, 1998; PARTICLE PHYSICS AND ASTRONOMY RESEARCH COUNCIL, 1998; ALVARENGA; MÁXIMO, 1997; AMALDI, 1995; RYDER, 1992).

Pereira e Ostermann (2007; 2009) realizaram uma revisão de literatura a respeito das publicações relacionadas à FMC nas principais revistas da área de Ensino de Ciências, no período de 2001 a 2006. Essa revisão evidenciou que, mesmo tendo aumentado o número de publicações nessa temática, ainda é escasso o número de publicações que relatam investigações em sala de aula. Além disso, poucas pesquisas levaram em consideração uma fundamentação teórica das teorias de aprendizagem para as estratégias didáticas. O que justifica a necessária investigação das experiências vivenciadas em sala de aula, que envolvam essas temáticas contemporâneas.

A partir dos trabalhos consultados, os autores conseguiram classificá-los em quatro grandes categorias: 1) propostas didáticas testadas em sala

de aula; 2) levantamento de concepções; 3) bibliografia de consulta para professores; 4) análise curricular.

Dentre os trabalhos classificados como Propostas didáticas testadas em sala de aula, foi possível identificar, grosso modo, cinco linhas de pesquisa: 1) estratégia para abordar FMC no Ensino Médio; 2) mudanças no ensino de FMC em nível superior; 3) uso de tecnologias de informação e comunicação; 4) abordagem ciência, tecnologia e sociedade; 5) articulação com a história e a filosofia das ciências.

Já, entre os trabalhos classificados como Bibliografias de consulta para professores, foi possível identificar quatro diferentes tipos de produção acadêmica: 1) textos didáticos; 2) novos recursos didáticos; 3) novas propostas e estratégias didáticas; 4) divulgação científica.

Dos 102 artigos publicados no período de 2001 a 2006, em revistas na área de Ensino de Ciências, oito deles estavam diretamente relacionados aos tópicos de Física de Partículas. Um trabalho foi classificado na categoria “Propostas didáticas testadas em sala de aula” (JOHANSSON *et al.*, 2001) e sete na categoria “Bibliografias de consulta para professores” (DUNNE, 2001; 2002; WILLIAMS, 2005; DANIEL, 2006; OSTERMANN; CAVALCANTI, 2001; PASCOLINI; PIETRONI, 2002; SCOTT, 2004).

A pesquisa revelou um aumento nas publicações a respeito de FMC. A maioria dos artigos ainda se refere à bibliografia de consulta para professores e apresenta um número razoável de propostas didáticas inovadoras. Porém, poucos são os trabalhos que investigam os mecanismos envolvidos no processo de construção de conhecimentos relativo a temas em sala de aula.

Para continuar esse trabalho de revisão de literatura, a seguir é apresentado um panorama atual das investigações científicas e ementas curriculares que envolvem a Física de Partículas no Ensino de Física.

2.2 FÍSICA DE PARTÍCULAS EM TESES, DISSERTAÇÕES, PERIÓDICOS, EVENTOS E EMENTAS

Com relação à contribuição dos trabalhos de revisão de literatura para a área de Ensino de Ciências, Cachapuz (2004) argumenta a favor desses estudos, uma vez que há a necessidade de desenvolver estudos de sistematização

das investigações já desenvolvidas. Trata-se de analisar os estudos que permitam responder, ainda que tentativamente, questões como: Quais as perspectivas de pesquisa que são dominantes? Quais os quadros teóricos de referência? Quais as linhas de pesquisa dominantes?

No que se refere às revisões de literatura, especificamente do ensino de Física de Partículas, pode-se citar os trabalhos de Londero e Mosinahti, que publicaram revisões a respeito desse tópico em eventos científicos e na Revista *Enseñanza de la Física*.

Londero e Mosinahti (2015a) apresentaram, no X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (X ENPEC), uma revisão a respeito do ensino de Física de Partículas Elementares nos anais dos eventos SNEF, EPEF e ENPEC. Eles analisaram todas as edições até 2015. Eles reuniram os trabalhos em 08 categorias: Elaboração/Aplicação de Propostas de Ensino e recursos didáticos (27 trabalhos), Divulgação Científica/Espaços não formais (10 trabalhos), Formação de professores inicial e continuada (06 trabalhos), Concepção de professores (04 trabalhos), Análise curricular (04 trabalhos), Análise de Materiais impressos ou digitais (03 trabalhos), Formação de Conceitos/Avaliação de Aprendizagem (02 trabalhos), Concepção de alunos e/ou professores (01 trabalho). Dentre essas categorias, a que enquadrou o maior número de trabalhos foi a de Elaboração/Aplicação de Propostas de Ensino e recursos didáticos, que em sua maioria eram voltados ao Ensino Médio. Nesse mesmo trabalho indicam referenciais teóricos, resultados e sugestões dos autores dos trabalhos analisados.

Londero e Mosinahti (2015b) também apresentaram no X ENPEC uma revisão a respeito do ensino de Física de Partículas Elementares em trabalhos do Banco de Teses e Dissertações da Capes, observando o período de 1995 até 2014. Os 16 trabalhos mapeados foram reunidos em 06 categorias: Elaboração/Aplicação de Propostas de Ensino e Recursos Didáticos (08 trabalhos), Formação de Professores Inicial e Continuada (nenhum registro), Concepção de Professores e/ou estudantes (03 trabalhos), Análise de Materiais impressos ou digitais (01 trabalho), Formação de Conceitos/Avaliação de Aprendizagem (02 trabalhos), Análise curricular (01 trabalho) e Divulgação Científica/Espaços não formais (02 trabalhos). O maior número de trabalhos se concentrou na categoria de Elaboração/Aplicação de Propostas de Ensino e Recursos Didáticos, no entanto não

é informado para qual nível de ensino essas propostas são dirigidas. Os autores também apresentam os referenciais teóricos e uma síntese dos resultados e das sugestões feitas pelos autores dos trabalhos analisados.

Esses dois trabalhos foram agrupados e publicados em 2015 na Revista Enseñanza de la Física (MOSINAHTI; LONDERO, 2015). Nessa publicação os autores agruparam os trabalhos em 06 categorias: Elaboração/Aplicação de Propostas de Ensino e Recursos Didáticos, Formação de Professores (Inicial e Continuada), Concepção de Professores e/ou estudantes, Análise de Livro Didático, Formação de Conceitos/Avaliação de Aprendizagem e Divulgação Científica/Espaços não formais. Assim, sintetizaram as informações das duas publicações de 2015 em um único trabalho.

Também em 2017, Mosinahti e Londero (2017) publicaram uma revisão a respeito do ensino de Física de Partículas Elementares em periódicos científicos, de um conjunto de 15 periódicos da área de Educação em Ciências: A Física na Escola (V. 1 ao V. 13), Alexandria – Revista de Educação em Ciência e Tecnologia (V. 1 ao V. 9), Caderno Brasileiro de Ensino de Física (V. 1 ao V. 33), Ciências em Foco (Nº 1 ao Nº 4), Ciência em Tela (V. 1 ao V. 8), Ciência & Educação (V. 1 ao V. 22), Ciência & Ensino (V. 1 ao V. 4), Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências (V. 1 ao V. 17), Experiências em Ensino de Ciências (V. 1 ao V. 11), História da Ciência e Ensino: construindo interfaces (V. 1 ao V. 13), Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia (V. 1 ao V. 8), Revista Brasileira de Ensino de Física (V. 1 ao V. 38), Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (V. 1 ao V. 16), Tear: Revista de Educação, Ciência e Tecnologia (V. 1 e V. 5), Investigações em Ensino de Ciências (V. 1 ao V. 21). De acordo com os autores esses periódicos foram escolhidos adotando o critério da representatividade dentro da área de Ensino de Física e Educação em Ciências, no cenário brasileiro e/ou a presença no Qualis CAPES, independente da avaliação obtida.

Eles mapearam 12 trabalhos e classificaram nas seguintes categorias: Elaboração/Aplicação de Propostas de Ensino e Recursos Didáticos (6 trabalhos), Formação de Professores (Inicial e Continuada) (2 trabalhos), Concepção de Professores e/ou estudantes (nenhum registro), Análise de Materiais impressos ou digitais (nenhum registro), Divulgação Científica/Espaços não formais (3 trabalhos) e Análise Curricular (1 trabalho).

Reunindo as informações obtidas pelos autores nas três revisões, a maioria das publicações se concentrou na categoria de elaboração ou aplicação de propostas de ensino ou recursos didáticos, o que atende a necessidade de se proporcionar materiais didáticos a respeito de tópicos de Física de Partículas, para que os professores possam utilizá-los em suas práticas pedagógicas.

Com o objetivo de apresentar um panorama atual da área de Física de Partículas no Ensino, foi realizada uma pesquisa em teses e dissertações, periódicos com estrato A1, A2 e B1 e nos eventos nacionais EPEF (Encontro de Pesquisa em Ensino de Física), SNEF (Simpósio Nacional de Ensino de Física) e ENPEC (Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências), no período de 2007 até 2017, visto que já haviam revisões de Ostermann e Moreira (2000), Pereira e Ostermann (2007; 2009), Londero e (2015a; 2015b) e Mosinahti e Londero (2015; 2017), que traziam informações dessa área de pesquisa nos anos anteriores, ou informações parciais, uma vez que Londero e Mosinahti pesquisaram o cenário brasileiro e este trabalho se estende para a literatura internacional e para publicações mais recentes, fazendo uma comparação dos dados obtidos nessa revisão e nas revisões anteriormente citadas.

Essa revisão foi separada em quatro partes, 1) análise de teses e dissertações da área de Ensino; 2) análise de periódicos com estrato A1, A2 e B1 da área de Ensino; 3) análise dos eventos EPEF, SNEF e ENPEC, 4) análise das ementas dos cursos de Física Licenciatura das universidades públicas nacionais.

Em todos os casos, objetivou-se analisar aspectos qualitativos e quantitativos referentes a essas produções científicas, buscando sintetizar os temas e assuntos recorrentes, o foco das pesquisas, as abordagens metodológicas, os aportes teórico-metodológicos, o público-alvo, o ano de publicação, resultados que possam ser aplicados ou evitados e as lacunas que podem sugerir a produção de novas pesquisas.

Para contribuir com a pesquisa em Ensino de Ciências e, mais especificamente, com o Ensino de Física de Partículas e com a sistematização do conhecimento produzido a respeito desse tema, as sessões seguintes apresentam uma revisão de literatura das pesquisas referentes ao Ensino de Física de Partículas.

2.2.1 Análise de teses e dissertações da área de Ensino

Essa investigação teve por objetivo realizar uma revisão de literatura analisando aspectos quantitativos e qualitativos referentes à produção acadêmica a respeito do Ensino de Física de Partículas, tomando como fonte de informações teses e dissertações, defendidas em programas de pós-graduação da área de Ensino, que tratam deste tópico.

A revisão feita em teses e dissertações da área de Ensino foi realizada por meio do Catálogo de Teses e Dissertações da Capes, com as palavras-chave: Ensino de Física de Partículas, Ensino de Partículas Elementares e Ensino do Modelo Padrão. Nesse período de 2007 a 2017 foram encontrados 25 trabalhos de pesquisa envolvendo temas de Física de Partículas.

Esses 25 trabalhos foram elaborados em todas as regiões brasileiras, sendo a maioria delas da região Sudeste, com 15 trabalhos, seguido da região Sul com 6 trabalhos, região Nordeste com 2 trabalhos e regiões Norte e Centro-Oeste com um trabalho cada. Percebe-se uma maior concentração na região Sudeste, que contempla universidades como a Universidade de São Paulo, USP, de onde se originaram 4 dos trabalhos aqui citados. O que também foi evidenciado na pesquisa de Londero e Mosinahti (2015b).

Dentre essas publicações, uma delas era tese de doutorado (PESSANHA, 2014) e 24 dissertações de mestrado, das quais 13 eram de mestrados acadêmicos (LOZADA, 2007; RODRIGUES, 2014; D'ANDREA, 2014; MOURA, 2016; CALHEIRO 2014; COSTA, 2015; MARQUES FILHO, 2011; PAIVA, 2010; JESUS NETO, 2015; PRADO, 2015; SOUZA, 2017; WATANABE, 2012; SARAN, 2012) e 11 de mestrados profissionais (MAIA, 2011; PINHEIRO, 2011; LUDOVICO, 2017; SILVA NETO, 2011; SILVA, 2015; SILVA JUNIOR, 2015; SOUSA M., 2016; JERZEWSKI, 2015; NOVAES, 2017; SAMPAIO, 2017; SOUSA W., 2016).

Essa busca resultou em mais trabalhos do que aqueles que foram listados por Londero e Mosinahti (2015b), o que pode ser justificado pelo período de tempo diferente e pela atualização do sistema de dados do Banco de Teses e Dissertações, uma vez que alguns autores só permitem a publicação de suas pesquisas dois ou mais anos após suas defesas públicas de dissertações ou teses.

A publicação desses trabalhos ocorreu em todos os anos, de 2007 a 2017, exceto em 2008 e 2013. Com predominância em 2015, com seis publicações, 2014, com cinco publicações, 2011 e 2017, com quatro publicações, 2016, com três publicações, 2012, com duas publicações e 2007, 2009 e 2010, com uma publicação cada.

Os assuntos abordados nessa pesquisa foram: Modelo Padrão (4), Masterclasses (3), Partículas Elementares (7), Estrutura da Matéria (5), Raios Cósmicos (2), Física de Partículas (5), Interações Fundamentais (2), Violação CP (1) e Aceleradores de Partículas (2). Percebeu-se que algumas pesquisas abordam mais de um assunto e que os principais assuntos tratados são bem amplos, como Modelo Padrão, Partículas Elementares, Física de Partículas e Estrutura da Matéria.

Londero e Mosinahti (2015b) não indicam quais são os conteúdos abordados nas pesquisas que eles analisaram, mas analisando os quatro trabalhos que não entraram no *corpus* de análise desse trabalho (SIQUEIRA, 2006; MARTIN, 2005; SILVA, 2002; PEREIRA, 1997), percebe-se que o tema Física de Partículas é o foco de três desses trabalhos, enquanto um deles trabalha especificamente com o tema de raios cósmicos.

Isso sugere uma tendência nas investigações, geralmente optam por abordar temas mais amplos, indicando uma abordagem geral a respeito desses assuntos, sem dar ênfase para tópicos específicos dentro desses assuntos mais abrangentes. Assim, identifica-se uma lacuna que pode ser resolvida em investigações futuras, a abordagem de temas mais específicos da área de Física de Partículas, uma vez que ambas as abordagens são essenciais na formação dos estudantes, seja de nível Médio ou Superior.

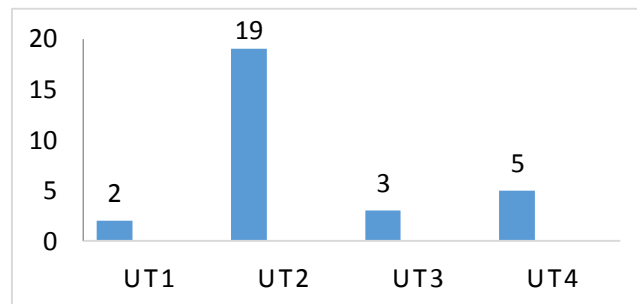
O público-alvo dessas pesquisas em sua maioria foi o Ensino Médio (16), seguido da formação inicial e/ou continuada (5), Ensino Informal (3) e Ensino Fundamental (1). Resultados esses que são semelhantes àqueles obtidos na pesquisa de Londero e Mosinahti (2015b).

Com base na atualização curricular do Ensino Médio, o fato da maioria dos trabalhos estar voltada para esse nível de ensino é um fator positivo, no entanto, não é dada a devida atenção à formação inicial e continuada de professores, algo que, de acordo com a literatura, se faz necessário para que haja uma atualização curricular eficiente. Os dois trabalhos referentes ao Ensino informal

tratam especificamente de casos de divulgação científica e sua contribuição para o Ensino de Física.

Com relação ao que foi apresentado nessas pesquisas, foi possível agrupar os focos das investigações em quatro Unidades Temáticas (UT) de acordo com a natureza das pesquisas: UT1) apresentação de uma proposta didática; UT2) apresentação e avaliação de uma proposta didática; UT3) divulgação científica/Ensino Informal; e, UT4) formação de professores. Em seguida é apresentado um histograma dessas publicações por unidade temática.

Histograma 01: Histograma do número de publicações por Unidade Temática.



Fonte: a própria autora

Como é possível observar no Histograma 01, é bem visível o destaque da UT2, na qual 19 pesquisas (MAIA, 2011; PINHEIRO, 2011; LOZADA, 2007; MOURA, 2016; LUDOVICO, 2017; CALHEIRO 2014; COSTA 2015; SILVA 2015; MARQUES FILHO 2011; PAIVA, 2010; SILVA JUNIOR, 2015; PRADO, 2015; SOUSA W., 2016; JERZEWSKI, 2015; SOUZA, 2017; SAMPAIO, 2017; SOUSA M. 2016; PESSANHA, 2014; SARAN, 2012) apresentaram uma proposta didática e testaram em sala de aula. Dessas propostas 14 são voltadas para o Ensino Médio, 4 para o Ensino Superior e uma para o Ensino Fundamental.

Isso significa que o cenário descrito por Ostermann e Moreira (2000), em relação à falta de propostas didáticas testadas em sala de aula, tem mudado, uma vez que a maioria das pesquisas se concentrou nessas investigações. Esse resultado também foi evidenciado por Londero e Mosinahti (2015b), de 16 trabalhos mapeados por eles, 8 tratavam da elaboração ou aplicação de propostas didáticas.

Nesse trabalho dividimos as pesquisas que apresentavam e avaliavam as propostas didáticas e as que somente apresentavam, pois tinha-se o

interesse de mapear essas informações para eventual comparação com resultados anteriores.

Duas pesquisas (SILVA NETO, 2011; D'ANDREA, 2014) somente apresentaram uma proposta didática ou recurso (UT1). Três pesquisas (RODRIGUES, 2014; NOVAES, 2017; WATANABE, 2012) tratam de divulgação científica e Ensino Informal (UT3) e cinco pesquisas (PRADO, 2015; SILVA JUNIOR, 2015; JESUS NETO, 2015; MARQUES FILHO, 2011; SILVA, 2015) são a respeito da formação de professores (UT4).

A Unidade Temática 4, relacionada com a formação de professores, foi inserida dentre as unidades de análise para que se pudesse discutir o cenário da formação de professores em temas relacionados à Física de Partículas, uma vez que a literatura evidencia a relevância desse processo.

As poucas investigações agrupadas nessa Unidade Temática sugerem a necessidade de atenção para a formação de professores, dada a relevância desse critério para que os professores em formação inicial ou continuada possam ter subsídios necessários para promoverem o ensino de tópicos de FMC em suas abordagens didáticas.

Outra lacuna relacionada aos níveis de formação está na escassez de trabalhos voltados ao Ensino Fundamental, dado que, de acordo com Lozada (2007), isso é possível desde que sejam abordados assuntos introdutórios e se leve em consideração a faixa etária dos estudantes.

No entanto, ainda há um fator para ser levado em consideração quando a pesquisa aborda uma proposta didática e/ou sua análise: qual o referencial teórico adotado para guiar a elaboração, execução e análise dessas propostas? Dentre os trabalhos aqui listados, apenas 14 adotaram e explicitaram um referencial teórico para as propostas didáticas, sete deles utilizaram a Teoria de Aprendizagem Significativa, três deles a Teoria Sociointeracionista de Vygotsky, dois deles utilizaram a Teoria da Transposição Didática de Chevallard, um deles os Obstáculos de Aprendizagem de Brousseau e Bachelard, um deles utilizou a proposta de um ensino investigativo de Cañal.

Vale observar que dentre os trabalhos que apresentaram e testaram, somente apresentaram ou somente testaram uma proposta didática, que foram 21, apenas 14 adotaram um referencial para guiar a elaboração e avaliação das

propostas didáticas. Isso demonstra uma lacuna nessas pesquisas, pois os referenciais teóricos metodológicos deveriam alicerçar essas investigações.

Ainda em relação às propostas didáticas, uma das características observadas foi a utilização de multimídias, sendo que a maioria dos trabalhos fez uso de algum recurso diferenciado, como vídeos, simulações e *sites*, o que indica uma preocupação com a diversificação dos recursos didáticos utilizados, sendo esse um dos princípios da Aprendizagem Significativa. Outra característica foi a utilização de uma abordagem histórico-filosófica, sendo que nesse caso somente nove dos trabalhos utilizaram essa metodologia, o que indica a necessidade de mais investigações a respeito disso, dadas as potencialidades de abordagens histórico-filosóficas já indicadas na literatura.

Com relação aos resultados apresentados pelas pesquisas analisadas, pode-se citar os seguintes: a apresentação do Modelo Padrão utilizando uma história fictícia proporcionou indícios de aprendizagem e tornou o processo mais atrativo e estimulante; o evento Masterclasses pode fomentar uma postura crítica perante a Ciência; os alunos demonstram interesse em propostas baseadas em princípios de Aprendizagem Significativa e História da Ciência; o ensino de tópicos de Física de Partículas é viável no Ensino Fundamental; a construção de um instrumento didático auxiliar para o ensino da FMC é factível, embora demandando esforço e boa vontade por aqueles que se propõem a realizá-la; uma sequência didática adequadamente planejada pode favorecer aspectos da Alfabetização Científica e Técnica; foi possível evidenciar as potencialidades dos jogos como ferramentas didáticas, principalmente para abordagem de temas de difícil compreensão; os professores devidamente instruídos possuem interesse em transpor conteúdos de Física de Partículas para suas aulas; o trabalho com representações pictóricas é uma possibilidade de introdução ao mundo da Física de Partículas; as imagens podem assumir o papel de uma metodologia facilitadora, que servem para representar e ilustrar, sem necessária ligação com a realidade e que podem gerar conhecimentos não científicos; faz-se necessário investir em cursos de formação que propiciem uma formação teórico-conceitual, ampliando a autonomia docente; a disponibilização de conteúdos de Física de Partículas em *websites* é bem aceita; o uso de *softwares* que envolvem experimentos de Física de Partículas gerou práticas positivas; os alunos também podem aprender a respeito da ciência com

visitas em laboratórios de pesquisa e conversas com pesquisadores desses laboratórios.

Resumindo os resultados dessa revisão da produção acadêmica nacional a respeito do ensino de Física de Partículas, a maioria dos trabalhos apresenta e testa uma proposta didática, ainda que nem todas sejam alicerçadas por um referencial teórico e metodológico, cujo público-alvo, em sua maioria, é o Ensino Médio. Dentre os assuntos abordados, percebe-se que os temas gerais como Modelo Padrão, Partículas Elementares e Física de Partículas são mais recorrentes.

Percebeu-se uma significativa utilização de multimídias e dos pontos que ainda podem ser aprimorados em pesquisas futuras, seguem alguns exemplos: maior diversificação dos conteúdos abordados nas propostas didáticas, para que seja possível aos professores tratarem de assuntos pontuais, como alguns itens do Modelo Padrão ao invés do modelo todo; um rigor teórico-metodológico mais presente nas investigações de propostas didáticas; maior atenção dada para a formação de professores, uma vez que ainda são poucas as investigações que priorizam esse nível de formação e é necessário que se dê aos professores a oportunidade de aprender a respeito desses tópicos e refletir como esses conteúdos podem ser inseridos em suas práticas pedagógicas; incluir mais discussões de História e Filosofia da Ciência nas propostas didáticas ou nas investigações teóricas.

Não se esgotam aí os possíveis pontos a serem aprimorados, mas já ficam indicados esses para possíveis investigações futuras.

2.2.2 Análise de Periódicos com Estrato A1, A2 e B1 da área de Ensino

Essa investigação teve por objetivo realizar uma revisão de literatura analisando a produção acadêmica a respeito do Ensino de Física de Partículas presente em artigos nacionais e internacionais publicados na área de Ensino, com estrato A1, A2 e B1. A busca foi feita nos *sítes* dos periódicos por meio das palavras-chave: Ensino de Física de Partículas, Ensino de Partículas Elementares e Modelo Padrão, em português, inglês e espanhol.

A seleção dos periódicos foi feita por meio da plataforma Sucupira, pela classificação de periódicos do quadriênio 2013-2016, da área de Ensino. Porém, como essa área engloba o ensino de variadas ciências, depois que se

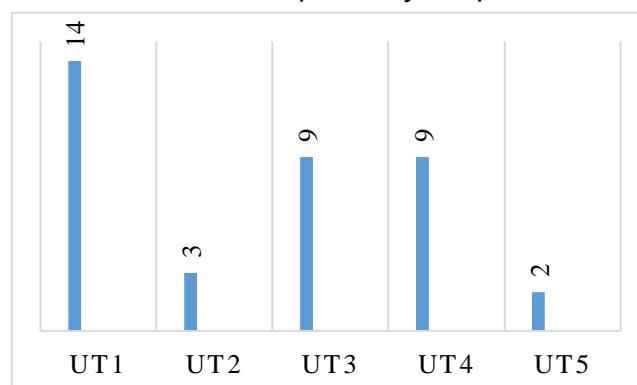
obteve a lista de periódicos A1, A2 e B1, o segundo corte foi feito selecionando apenas os periódicos cujo título remetesse ao Ensino de Física ou Ciências. Dessa forma foi feita uma busca nos *sites* de 97 periódicos, 34 periódicos A1, 25 periódicos A2 e 38 periódicos B1.

Os artigos mapeados são oriundos dos seguintes periódicos: *Latin – American Journal of Physics Education* (3); Revista Brasileira de Ensino de Física (9); *Physics Education* (14); *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* (1); Investigações em Ensino de Ciências (1); Ciência e Educação (1); Revista Brasileira de Pesquisa em Ensino de Ciências (1); *Revista de Enseñanza de la Física* (2); Caderno Brasileiro de Ensino de Física (1); Experiências em Ensino de Ciências (2); e, *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias* (1).

Percebe-se um número maior de publicações no periódico *Physics Education*, que possui um espaço reservado para o Ensino de Física de Partículas, denominado “*Focus on*” Foco na Física Nuclear e de Partículas, que visa tornar notável o impacto positivo que a Física Nuclear e de Partículas tem no Ensino de Física e fornecer novas ideias de ensino, divulgando resultados de ponta.

Dessa busca, resultaram 37 artigos que foram agrupados em cinco Unidades Temáticas (UT) de acordo com a natureza dos artigos: UT1) artigo teórico a respeito de conceitos de Física de Partículas ou revisões de literatura; UT2) artigos de divulgação científica/Ensino Informal; UT3) artigos de avaliação de propostas didáticas; UT4) artigos que apresentam uma proposta ou recursos didáticos; e, UT5) artigos relacionados com a formação de professores. Em seguida é apresentado o Histograma 02 a respeito dessas publicações.

Histograma 02 – Número de publicações por unidade temática.



Fonte: a própria autora

Como é possível perceber, a maioria dos artigos ficou agrupada na UT1, unidade temática na qual quatorze trabalhos apresentam, de forma teórica, algum conteúdo relacionado à Física de Partículas ou revisão de literatura (DIDIŞ; ERKOÇ, 2009; PIMENTA *et al.*, 2013; JOHANSSON, 2013; VIDAL; MANZANO, 2010; BASSALO, 2014; MASSIMI; BHIMJI, 2011; PLEITEZ, 2008; FORTES; TIJERO; PLEITEZ, 2007; MOREIRA, 2009; NÓBREGA; MACKEDANZ, 2013; PETRÔNIO, 2014; WIENER, *et al.*, 2016; WOITHE; WIENER; VAN DER VEKEN, 2017; MOSINAHTI; LONDERO, 2017).

Ao analisar somente as publicações em periódicos, os resultados ainda são semelhantes aos encontrados por Ostermann e Moreira (2000), Pereira e Ostermann (2007; 2009), nos quais prevalecia a presença de trabalhos teóricos para consulta de professores e interessados.

No entanto, tem aumentado significativamente o número de trabalhos que fazem análise de propostas didáticas ou propõem uma alternativa para inserção de Física de Partículas em sala de aula, como pode ser notado nos trabalhos agrupados nas Unidades Temáticas UT3 e UT4, que somaram 18 trabalhos.

Nove artigos apresentaram avaliação de propostas didáticas (CALHEIRO; GARCIA, 2014; PESSANHA; PIETROCOLA, 2016; CLAVIJO; SERRANO; CATALÁN, 2014; GOURLAY, 2017; PAVLIDOU; LAZZERONI, 2009; WIENER; SCHMELING; HOPF, 2017; PINHEIRO; COSTA, 2009; CUNNINGHAM, 2017, COSTA; BATISTA, 2017), enquanto nove trabalhos apresentaram uma proposta didática a respeito de Física de Partículas (KNEUBIL, 2013; ORGANTINI, 2017; LONG, 2011; KOURKOUMELIS; VOURKAIS, 2014; GANGNON, 2011; VIDAL; CID; VRETENAR, 2016; BIESOT *et al.*, 2016; BARNETT *et al.*, 2012; AUBRECHET, 2016).

Esse cenário é motivador ao ponto que se tem oportunizado novas alternativas para a inserção de tópicos de Física de Partículas no Ensino de Física, oferecendo aos professores materiais didáticos e ideias para discussões. Dentre os recursos apresentados estão *sites*, *softwares*, *textos*, entre outros. Dos *softwares* listados, vale ressaltar o Hypatia, que é gratuito, disponível no *site* do ATLAS, que possibilita a visualização de eventos reais, gerados no CERN. Por meio de suas funcionalidades é possível que os alunos visualizem as trajetórias de partículas

geradas em colisões e identifiquem as partículas que originaram essas trajetórias, além de permitir que se faça uma estimativa das massas das partículas que foram geradas nas colisões e decaíram. Por exemplo, é possível identificar os bósons da interação fraca e o bóson de Higgs por meio dos produtos de seus decaimentos.

Esse *software* é utilizado em um evento científico⁴, com natureza de divulgação científica, que ocorre em diversas universidades em vários países, inclusive no Brasil. Geralmente, as universidades que participam desse evento têm um pesquisador ou pesquisadores que são membros de um dos experimentos do LHC e esse(s) organiza(m) o evento. Caso isso não ocorra a universidade pode convidar um pesquisador, que seja membro de um dos experimentos do LHC, de outra universidade, para que possa sediar edições que ocorrem simultaneamente com universidades de outros países. Esse evento é direcionado para alunos de Ensino Médio, professores de Física e alunos do curso de Física que tenham interesse em aprender a respeito dessa área de pesquisa. Geralmente são apresentadas palestras por cientistas da área de Física de Partículas, realizadas atividades com o *software* Hypatia e ao final é feita uma videoconferência com pesquisadores do CERN, para discutir os resultados obtidos com o *software* e satisfazer curiosidades.

Ainda a respeito desse evento foram registrados dois artigos (WATANABE; GURGEL; MUNHOZ, 2014; WATANABE *et al.*, 2016) dentre os artigos da UT2, que agrupou trabalhos a respeito de divulgação científica e ensino informal. O outro trabalho dessa unidade é de Watanabe e Kawamura (2017), que trata da relação entre os físicos de partículas e a divulgação científica.

Apenas dois dos artigos abordaram a formação de professores, o que novamente sugere a necessidade de novas investigações que explorem a formação de professores relacionada a esse tópico de FMC.

Os assuntos discutidos nos artigos foram variados, sendo que o tema mais abordado foi acelerador de partículas (8), seguido por *Bóson de Higgs* (5), Física de Partículas (4), Modelo Padrão (3), Partículas Elementares (3), divulgação científica (3), estrutura da matéria (3), detectores (2), *quarks* (2), correntes neutras, spin, simetrias, interações fundamentais com um artigo por

⁴ *International Masterclasses: Hands on Particle Physics*. Para mais informações a respeito das instituições e universidades brasileiras que oferecem esse evento acessar o site: <http://physicsmasterclasses.org/index.php?cat=country&page=br>.

assunto. Nesse caso, percebe-se que a maioria dos artigos trata dos aceleradores de partículas e o *Bóson de Higgs*, assuntos que geram curiosidade dos alunos e podem ser abordados de diferentes formas em sala de aula, o que pode justificar o motivo de destaque desses temas. Novamente, percebe-se a abordagem de temas amplos, como Física de Partículas, Partículas Elementares, Modelo Padrão e estrutura da matéria.

Um dos fatores relevantes em relação às propostas didáticas é o referencial teórico-metodológico adotado nas investigações. Os referenciais que apareceram foram: Aprendizagem Significativa (6), Sociointeracionismo de Vygotsky (1) e *Design Based Research* (Pesquisas Baseadas em *Design*) (2), sendo que oito delas não indicaram o referencial utilizado. As demais, não tratavam de propostas didáticas.

Dentre os públicos especificados nas investigações, onze deles eram voltados para o Ensino Médio, dois para formação de professores e dois a respeito do Ensino Fundamental. O restante não especificou um público-alvo, pois eram investigações teóricas a respeito de algum tópico de Física de Partículas, podendo servir para públicos variados.

As publicações anuais ficaram assim distribuídas: 2007 (1), 2008 (1), 2009 (4), 2010 (1), 2011 (3); 2012 (1), 2013 (4), 2014 (6), 2016 (7) e 2017 (8). Assim, percebe-se que nos últimos anos, com exceção de 2015, o número de publicações aumentou em relação aos primeiros anos investigados. Isso pode significar um aumento de materiais disponíveis a respeito do assunto com potencialidade de divulgação desse tópico entre os alunos e professores.

Em resumo, com essa revisão pode-se perceber que a publicação de trabalhos envolvendo o ensino de Física de Partículas tem aumentado no decorrer dos anos, mas a maioria dos trabalhos publicados ainda é voltada para temas teóricos a respeito de Física de Partículas, enquanto se defende que são necessárias mais investigações em sala de aula. No entanto, também é visível o aumento do número de propostas para sala de aula, que nessa revisão somam 19, entre as testadas em sala de aula e somente apresentadas. Esse cenário é positivo, uma vez que o acesso a materiais didáticos a respeito dos temas de FMC torna mais favorável a inclusão desses tópicos em práticas pedagógicas.

Também fica evidente a necessidade de maior rigor teórico-metodológico em relação à elaboração e avaliação de propostas didáticas, uma vez que nem todas essas abordagens didáticas estão alicerçadas em um referencial específico de Didática das Ciências.

Assim como no caso das teses e dissertações, também são poucos os trabalhos que exploram os aspectos histórico-filosóficos relacionados à área de Física de Partículas, voltados para o Ensino de Física, ou Ensino de Ciências, o que sugere a necessidade de investigações desses aspectos, uma vez que a literatura da área deixa claro as potencialidades dessa área da Física para discutir aspectos da Natureza da Ciência.

Outro aspecto que precisa ser discutido em investigações futuras é a questão da formação de professores, dada a evidência de que é pouco discutida e o Ensino de Física de Partículas é aconselhado em nível de formação inicial e continuada para que os professores e futuros professores possam se apropriar de conhecimentos dessa área da Física e sentirem-se seguros para utilizá-los em sala de aula.

2.2.3 Análise dos Eventos EPEF, SNEF e ENPEC

Com objetivo de analisar as produções acadêmicas a respeito do ensino de Física de Partículas, essa parte da investigação consistiu em revisar tais produções registradas nos anais dos seguintes congressos: Encontro de Pesquisa em Ensino de Física – EPEF, Simpósio Nacional de Ensino de Física – SNEF e Encontro Nacional de Educação em Ciências – ENPEC. Foram escolhidos os anais desses eventos em virtude de serem os eventos de maior expressividade em Ensino de Física no Brasil.

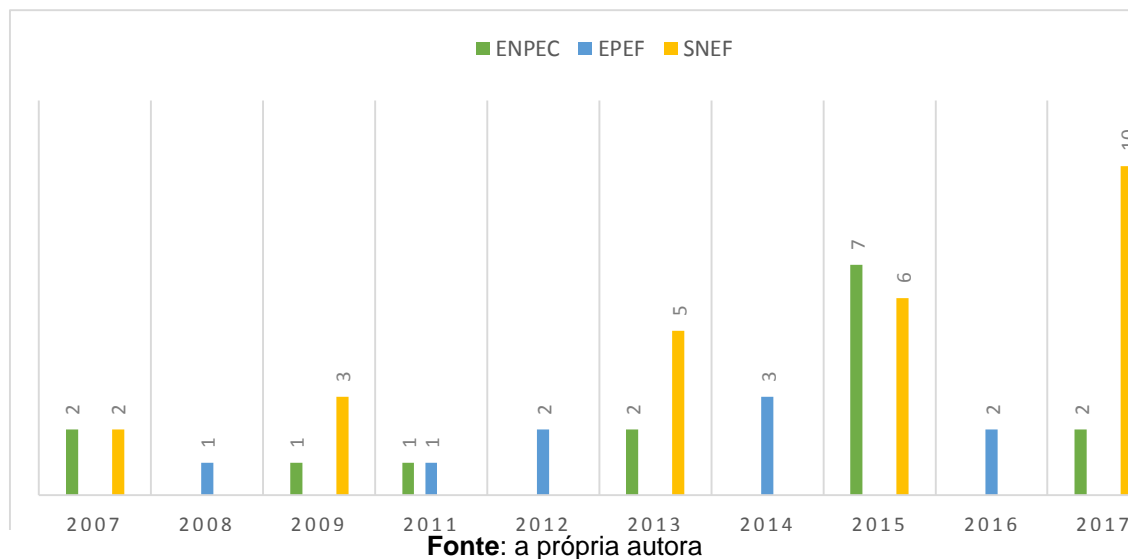
No período de 2007 até 2017 foram analisadas seis edições do ENPEC, cinco edições do EPEF e seis edições do SNEF. Ao todo foram selecionados 50 trabalhos, 15 do ENPEC, 09 do EPEF e 26 do SNEF, distribuídos ao longo das edições, conforme ilustra o Histograma 03.

Percebe-se que o maior número de publicações está nos anais do evento SNEF, seguido do ENPEC e EPEF. Além disso, o número de publicações tem aumentado no decorrer das edições do SNEF, enquanto que nas edições do

ENPEC e EPEF esse número não sofreu significativas mudanças.

Esse aumento no número de publicações ocorreu após 2012, ano em que se anunciou a possível evidência do *Bóson de Higgs*. O interesse por esse assunto, ou temas relacionados, pode ter motivado essas investigações, uma vez que aparece em 09 publicações alguma menção aos aceleradores de partículas, em especial o LHC.

Histograma 03 – Distribuição das publicações nos eventos no período de 2007-2017

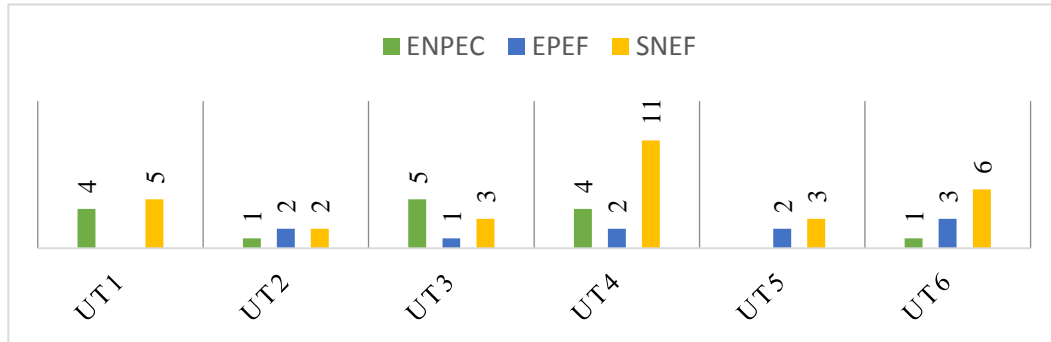


Com relação à natureza dos trabalhos publicados, foi possível agrupá-los em seis Unidades Temáticas (UT): UT1) trabalhos teóricos e de revisão de literatura; UT2) análise de materiais: livros didáticos, paradidáticos e revistas; UT3) divulgação científica e ensino informal; UT4) avaliação de proposta didática; UT5) apresentação de uma proposta ou recurso didático; e, UT6) formação de professores. Logo em seguida é possível observar o número de trabalhos por evento em cada uma das Unidades Temáticas, ilustrados no Histograma 04.

Como pode ser observado no Histograma 04, a UT4 que trata da avaliação de propostas didáticas é a unidade com mais trabalhos, 17 ao todo (LOZADA; ARAÚJO, 2011; SHIINO *et al.*, 2013; BANHEZA; JARDIM, 2015; MOSINAHTI; LONDERO, 2017; SIQUEIRA; PIETROCOLA, 2008; PEREIRA, *et al.*, 2012; SIQUEIRA; PIETROCOLA; UETA, 2007; PAIVA *et al.*, 2009; RODRIGUES; WATANABE; GURGEL, 2013; PEREIRA; LONDERO, 2013; GOMES *et al.*, 2013; JESUS NETO; SILVA, 2015; ALVES; PARIZOTTO; GENOVESE, 2015;

JERZEWSKI; MACKEDANZ, 2015; MOURA *et al.*, 2015; BOTINI *et al.*, 2017; SANTOS *et al.*, 2017;), com participação significativa nos anais do SNEF e menos expressivas nos demais eventos.

Histograma 04 – Número de publicações por Unidade Temática nos eventos ENPEC, EPEF e SNEF



Fonte: a própria autora

Os trabalhos que somente apresentaram uma proposta ou recurso didático somam 5 trabalhos (REIS *et al.*, 2016; SILVA; NASTEVA, 2016; PINHEIRO; COSTA; MOREIRA, 2009; SHIINO *et al.*, 2013a; COSTA; ALLERSDORFER; BEGALLI, 2017).

Os trabalhos teóricos e de revisão de literatura (REIS; SIQUEIRA; BATISTA, 2015; LONDERO; MOSINAHTI, 2015a; LONDERO; MOSINAHTI, 2015b; JESUS; JARDIM, 2017; BALTHAZAR; OLIVEIRA, 2009; SHELLARD, 2015; ARAÚJO; DIAS, 2017; MOSINAHTI; LONDERO, 2015; VIDEIRA; FRANCISQUINI, 2017; JESUS NETO; SILVA; 2017) somam 9 trabalhos e os trabalhos a respeito de formação de professores (LOZADA, ARAÚJO, 2007a; 2007b; LONDERO; TEÓFILO, 2014; SOARES *et al.*, 2014; RODRIGUES; WATANABE; GURGEL, 2013; JESUS NETO; SILVA, 2015; CAMARGO; ZANOTELLO; TAKAI, 2017; GUEDES *et al.*, 2017; WATANABE *et al.*, 2010), contam com 10 trabalhos na unidade.

Nesse caso, o número de trabalhos que abordam a formação de professores é maior, porém isso pode ser justificado pelo número da amostra de trabalhos ser maior que as duas anteriores. Ao analisar o público-alvo das pesquisas, 25 delas são voltadas para o Ensino Médio, enquanto 9 são voltadas para o Ensino Superior, 5 para o ensino informal, 1 para o Ensino Fundamental e as demais não especificam o público, por se tratar de pesquisas gerais.

Isso ilustra a pouca atenção dada para a formação de professores, bem como para o nível de Ensino Fundamental. Enquanto o ensino informal, assim como nas revisões anteriores, também é discutido nas pesquisas.

Dos trabalhos analisados, 5 trataram de análises de materiais (GOMBRADÉ; LONDERO, 2017; SILVA; NEY, 2013; PEREIRA; LONDERO; ALMEIDA, 2012; SOUSA *et al.*, 2012; FREITAS; SCARINCI, 2015) e 9 deles a respeito de divulgação científica e ensino informal (WATANABE; MUNHOZ, 2009; 2007; OLIVEIRA, 2013; SHIINO *et al.*, 2013; WATANABE; KAWAMURA, MUNHOZ, 2015; ABREU, 2015; ARAÚJO; DIAS, 2017; GUEDES *et al.*, 2017; WATANABE *et al.*, 2010).

Alguns trabalhos foram classificados em mais de uma UT, em virtude disso a soma total é superior a 50.

Com relação aos referenciais teórico-metodológicos utilizados para compor as propostas didáticas, os que apareceram foram: Teoria da Transposição Didática de Chevallard (8), Três Momentos Pedagógicos de Delizoicov e Angotti (3), Engenharia Didática (1), Bachelard (2), Vygotsky (3), CTS (1), *Teaching Learning Sequences* (1) e Tardif (1).

Os assuntos tratados nos trabalhos foram: Aceleradores (12), Modelo Padrão (6), Física de Partículas (7), Partículas Elementares (13), Física Nuclear (2), estrutura da matéria (1), interações fundamentais (2), espalhamento de partículas (1), Masterclasses (2); raios cósmicos (3) e raios X (1). Novamente, aparece o tema aceleradores como um dos destaques, junto com os temas amplos de Partículas Elementares, Física de Partículas e Modelo Padrão.

Novamente aparecem poucos trabalhos que tratam os aspectos histórico-filosóficos, apenas nove trabalhos. Em outras palavras, essa é uma linha de pesquisa que também precisa ser explorada em mais detalhes por investigações futuras, principalmente na formação de professores, pois, de acordo com Monteiro, Nardi e Bastos Filho (2012), dentre as dificuldades encontradas pelos professores para inserção de FMC no Ensino Médio está o fato de que em sua formação inicial as abordagens a respeito de FMC visavam, predominantemente, a exposição dos conceitos, ou seja, não contemplavam o processo de construção dos conceitos, seus aspectos epistemológicos e ontológicos e tampouco suas possíveis implicações.

Resumindo as principais informações, o SNEF é o evento com mais

trabalhos a respeito do Ensino de Física de Partículas, a maioria dos trabalhos é a respeito de avaliações de propostas didáticas, sendo a maioria delas planejada para o Ensino Médio, com a discussão de temas como aceleradores, Física de Partículas, Partículas Elementares e Modelo Padrão. O referencial teórico-metodológico mais utilizado nas investigações foi a Teoria da Transposição Didática de Chevallard.

2.2.4 Análise das Ementas dos Cursos de Física Licenciatura das Universidades Públicas Nacionais

Como uma das condições para que a atualização curricular aconteça com eficiência e com caráter multiplicativo é a devida formação dos professores, buscou-se nas ementas dos cursos de Licenciatura em Física, nacionais, os possíveis indícios de que os temas relacionados à Física de Partículas estavam sendo oportunizados na formação inicial.

Foram consultados *sites* das 114 universidades públicas nacionais que oferecem o curso de Licenciatura em Física, sendo que algumas delas oferecem mais de um curso, assim foi investigado um total de 136 cursos. Ao todo, estavam disponíveis as ementas de 115 cursos, das quais 86 delas tinham previsto em seus conteúdos algum tópico de Física de Partículas e 29 não contemplavam esses tópicos. Em 21 cursos não se obteve acesso direto pelos *sites*.

O quadro com a relação dos cursos e suas respectivas ementas, que contemplam tópicos de Física de Partículas, está disposto no Apêndice A.

Não foi possível consultar as ementas dos cursos das seguintes universidades: UVA, UESPI, UENF, UFT, URCA, UESB, UNIMONTES, UEG, UTFPR, CESVASF, UEA, FACAL, FFCL, FAFOPA, UFJF, UNIFESSAPA, IFMA Santa Inês, IFCE Aracaju, UFPA Abaetuba, UFPB e IFES.

Os cursos que apresentaram ementas e não tinham previsto conteúdos relacionados à Física de Partículas são das seguintes universidades: UFLA, UFCG, IFMT Confresa, IFMA São Luís – Monte Castelo, IFCE Sobral, IFCE Crateús, IFSERTÃO Serra Talhada, UFSCAR Araras, UFABC, UEFS, UERN, UFMS, UEMA, UFOP, UFOPA, IFB, IFMG, UEMS, UERR, IFNMG Januária, IFPR Ivaiporã, IFSUL, UFOB, UFTM, IFSC Araranguá, UFAC, IFAM, IFRO e UFAM.

Ao analisar esse quadro de ementas, foi possível identificar quatro Unidades Temáticas:

Unidade Temática 1: *Conteúdo de Física de Partículas em ementas de disciplinas obrigatórias e optativas:* USP, UFSCAR São Carlos, UNB, UFS, UFPA, UFMT, UFPEL, IFPI, IFRJ, IF FARROUPILHA, UFSC, UEL, UERJ, UNIFEI, IFMA Imperatriz, UFFS Cerro Largo, com 16 cursos.

Unidade Temática 2: *Conteúdo de Física de Partículas somente em ementas de disciplinas obrigatórias:* UFRJ, UNICAMP, UFPE, UFPR, UFSM, UFES, UFBA, UEM, UFPI, UFU, UEPG, UFSJ, UFAL, UESC, UNIFAL, UFRR, CEFETRJ, FURG, UNICENTRO, UNITAU, UNIFAP, IFSP São Paulo, IFSP Birigui, IFSP Caraguatatuba, IFSP Registro, IFSP Votuporanga, IFSP Itapetininga, IFRJ Nilópolis, IFPE, IFRS, IFS, IFTO, UFGD, IFFLUMINENSE, IFG Goiânia, IFG Jataí, UFFS Realeza, UFG, UNESP, UDESC, IFBA, IFSEMG, IFCE Fortaleza, IFCE Tianguá, IFCE Cedro, UFSCAR (Sorocaba), UFRN, UEPB, UNIFAL-MG, IFPR Foz do Iguaçu, IFPR Paranaguá, IFPR Telêmaco Borba, UNIPAMPA, IFSC Jaraguá, IFCATARINENSE Concórdia, IFCATARINENSE Rio do Sul, IFPB, IFPA, IFNMG Salinas, com 59 cursos.

Unidade Temática 3: *Conteúdo de Física de Partículas somente em ementas de disciplinas optativas:* IFMT, UFMG, IFRJ Volta Redonda, UFC, UFF, UECE, UNILAB, IFSERTÃO Petrolina, IFSERTÃO Salgueiro, IFRN, UFRB, com 11 cursos.

Unidade Temática 4: *Disciplina obrigatória especificamente de tópicos de Física de Partículas:* IFRS, UFG, IFFARROUPILHA, IFSP São Paulo, IFSP Birigui, IFSP Caraguatatuba, com 6 cursos.

Pelo nome das disciplinas, pode-se perceber que a maioria delas não é específica de Física de Partículas, mas sim disciplinas relacionadas à Física Moderna, que discutem, entre outros assuntos, algum ou alguns tópicos de Física de Partículas.

Dentre os cursos aqui apresentados, somente seis deles oferece uma disciplina obrigatória específica de Física de Partículas: IFRS (Física Nuclear e de Partículas), UFG (Introdução à Física Nuclear e de Partículas), IFRARROUPILHA (Física Nuclear e Partículas) e IFSP (Física nuclear e de partículas).

Dentre as 85 ementas que previam conteúdos de Física de Partículas, 11 delas são disciplinas optativas, ou seja, não há garantias de que os licenciandos terão essa formação. E mesmo com as disciplinas obrigatórias, seriam

as ementas cumpridas em sua totalidade? Com qual profundidade os conteúdos relacionados à Física de Partículas são tratados? É refletido a respeito de como esses conteúdos poderiam ser levados para uma sala de aula de Ensino Médio? São questões que uma análise das ementas das disciplinas não ajuda a responder, sendo necessário um estudo à parte só para tratar desses questionamentos.

Como relatado por Martin (2005), em entrevista com professores responsáveis pelas disciplinas com conteúdos de Física de Partículas, nem sempre os professores conseguem cumprir integralmente as ementas, a execução da disciplina nem sempre sai como planejado inicialmente.

Outro fator, também indicado por Martin (2005), é que as disciplinas optativas em alguns casos são oferecidas em períodos diferentes do período normal dos licenciandos em Física (que geralmente é o noturno). Assim, algumas vezes, mesmo tendo interesse nesses conteúdos eles ficam impossibilitados de fazer a disciplina por incompatibilidade de horários com sua atividade profissional.

Pela análise feita nas ementas, percebe-se que são raras as disciplinas que são voltadas especificamente para o ensino de tópicos de Física de Partículas, geralmente o conteúdo está inserido na ementa das disciplinas de Física Moderna e Estrutura da Matéria, assim esses conteúdos são vistos de forma agregada aos demais conteúdos. Isso pode levar a uma abordagem superficial, sem muita profundidade nas discussões.

Nesse caso, não se pretende afirmar que é necessária uma disciplina específica desse tópico, mas sim que o mesmo seja inserido de maneira efetiva nos cursos de graduação, independente da disciplina em que seja abordado. A Física de Partículas engloba assuntos de Física Geral e Física Moderna para explicação de alguns fenômenos e essa pode ser uma oportunidade para a inserção de tópicos de Física de Partículas nessas disciplinas.

Isso sugere a necessidade de que se pesquisem meios de inserção de tópicos de Física de Partículas nas licenciaturas em Física, seja em disciplinas mais amplas, como Física Moderna, Estrutura da Matéria e Física Geral, em disciplinas específicas de Física de Partículas ou ainda as disciplinas de cunho pedagógico, que podem ajudar os alunos a refletirem a respeito de como esses tópicos podem ser levados para sala de aula de Ensino Médio.

Porém, para que uma abordagem didática seja bem fundamentada, em especial sob ações de pesquisas na área de Ensino, pressupõe-se que uma teoria de aprendizagem lhe dê suporte. No caso desta pesquisa, a teoria que fundamentou a elaboração da abordagem didática, bem como das simulações históricas, foi a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (2003) e a Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica de Moreira (2000; 2010).

No próximo capítulo serão expostos fundamentos dessas teorias e estratégias facilitadoras da Aprendizagem Significativa, entre elas o V de Gowin e a diversificação de materiais didáticos.

3 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Quando se trata do ensino, independentemente do nível educacional, a expectativa é que os alunos adquiram e se apropriem de conhecimentos disponibilizados. No entanto, há casos em que os alunos apenas memorizam o conhecimento com a finalidade de reproduzi-los nas avaliações, esquecendo facilmente logo em seguida. Esse problema pode ser reduzido, desde que se utilizem adequadamente teorias de aprendizagem para fundamentar as práticas didáticas, tomando como exemplos os resultados de pesquisas da área de ensino que apresentam alternativas para resolver esse problema.

Ausubel propôs, em 1962, uma teoria cognitiva de Aprendizagem Significativa em oposição a uma aprendizagem por memorização e a visão comportamentalista. A teoria consistia na ideia de que a aquisição e a retenção de conhecimentos são produtos de um processo ativo, integrador e interativo entre o material de instrução e a estrutura cognitiva do aprendiz (NOVAK, 1993).

Dessa forma, a aprendizagem cognitiva é o resultado do armazenamento organizado de informações na mente do aprendiz. Essa estrutura organizada é denominada de estrutura cognitiva, na qual o novo conhecimento se integra à rede cognitiva existente. Em outras palavras, a Aprendizagem Significativa ocorre quando uma nova informação se relaciona com os conhecimentos que os aprendizes já possuem em sua estrutura cognitiva. Esses conhecimentos são denominados subsunçores, eles servem de ancoradouros para novas informações e quando o processo se dá de maneira não arbitrária e não literal, diz-se que houve uma Aprendizagem Significativa (AUSUBEL, 2003). Assim, as novas informações são assimiladas pela estrutura cognitiva e passam a ser conhecimentos prévios para próximas experiências de aprendizagem.

Por isso, Ausubel considera que aquilo que o aprendiz já sabe é o fator isolado mais relevante e influente no processo da Aprendizagem Significativa. Em suas próprias palavras,

A estrutura cognitiva existente – a organização, estabilidade e clareza de conhecimentos de um indivíduo numa determinada área de matérias, em determinada altura – considera-se o principal fator a influenciar a aprendizagem de novos materiais de instrução potencialmente significativos na mesma área de conhecimentos (AUSUBEL, 2003, p. 62).

Dessa forma, essa interação entre os novos conhecimentos e os subsunçores já existentes favorece a aquisição e organização de significados na estrutura cognitiva do aprendiz. O produto desse processo, além de resultar em um novo significado envolve a modificação das ideias prévias que ancoraram o novo conceito. Isso quer dizer que, além dos novos conhecimentos adquirirem significados, os conhecimentos prévios se tornam mais elaborados e estáveis cognitivamente, facilitando, assim, uma futura Aprendizagem Significativa de outros conhecimentos (AUSUBEL, 2003; LEBOEUF; BATISTA, 2013).

De acordo com Ausubel (2003), existem duas condições que favorecem a Aprendizagem Significativa. Uma delas é que o material seja potencialmente significativo para o aluno, ou seja, conceitualmente claro e com linguagem e exemplos relacionados com seu conhecimento prévio. Essa exigência requer outras duas: a primeira é de que o material de aprendizagem possa se relacionar de forma não arbitrária e não linear com qualquer estrutura cognitiva apropriada; a segunda é de que a estrutura cognitiva do aluno possua conceitos ou proposições relevantes com as quais a nova informação possa ancorar-se. A segunda condição é a disponibilidade pessoal para o aprendizado, ou seja, a predisposição do sujeito para aprender significativamente. Dessa forma, o professor pode promover condições para ocorrência de Aprendizagem Significativa, mas quem decide aprender significativamente é o aprendiz. Nas palavras de Gowin isso significa que “o verdadeiro aprendizado é causado pela ação do aprendiz, não do professor” (GOWIN, 1981, p. 54). O aprendiz pode optar por utilizar um “mecanismo de aprendizagem mecânica”, memorizando as novas informações de maneira arbitrária e literal.

Ausubel (2003) apresenta quatro indicativos de que o aprendiz assumiu uma postura ativa na própria aprendizagem:

- 1) Quando ele aceita a tarefa de aprender ativamente, procurando compreender o material de instrução que lhe ensinam.
- 2) Quando tenta, de forma genuína, integrá-los nos conhecimentos que já possui.
- 3) Quando não evita o esforço ou a batalha por novas aprendizagens difíceis e não exige que o professor “lhe faça a papa toda”.
- 4) Quando decide fazer as perguntas necessárias a respeito do que não compreende (AUSUBEL, 2003, p. 36).

Essas atitudes são denominadas por Ausubel de mecanismo de Aprendizagem Significativa, de maneira que os aprendizes precisam manifestar esse

mecanismo para que a Aprendizagem Significativa possa ocorrer. Em outras palavras, eles precisam apresentar uma predisposição para aprender significativamente (LEBOEUF; BATISTA, 2013).

Dentre os fatores que podem levar os aprendizes a apresentar uma disposição para a aprendizagem por memorização, ao invés da Aprendizagem Significativa, está o fato de que aprenderam em experiências passadas que as respostas que não estivessem exatamente de acordo com o que o professor ou o material de instrução afirmaram, não tinham validade ou crédito para professores. Além disso, os alunos podem desenvolver um mecanismo de aprendizagem por memorização quando são pressionados para ter fluência e ocultarem ao invés de admitirem e remediarem as deficiências de compreensão, ou seja, para não admitir que não entenderam um conceito eles são levados a “decorar” para apresentar nas avaliações.

No que diz respeito à relação à forma como a aprendizagem pode acontecer, Ausubel (2003) sugere que elas podem ocorrer de forma subordinada, superordenada e combinatória.

Na aprendizagem subordinada, os conceitos ou proposições potencialmente significativas são ancorados ou incluídos em ideias mais amplas da estrutura cognitiva. A nova informação tratar-se de um exemplo específico de um conceito ou proposição da estrutura cognitiva, diz-se que é uma aprendizagem subordinada derivativa. Porém, se a nova informação for uma extensão, elaboração ou modificação de conceitos ou proposições já aprendidas, diz-se que ocorreu uma aprendizagem subordinada correlativa.

A aprendizagem superordenada ocorre quando é aprendido um conceito ou proposição mais abrangente do que os já existentes na estrutura cognitiva. À medida que o novo conceito é assimilado, os já existentes assumem a condição de subordinados.

Já as novas informações que não geram nem uma relação subordinada nem uma relação superordenada com subsunçores existentes, dão origem à aprendizagem combinatória. Ou seja, essas novas informações são abrangentes demais para serem absorvidas pelos subsunçores, e não suficientemente amplas para absorvê-los.

No Brasil, o precursor dessa teoria de aprendizagem foi o pesquisador Marco Antônio Moreira, que inclusive propõe um aperfeiçoamento da teoria para que a aprendizagem seja, além de significativa, também crítica.

De acordo com Moreira (2010), a Aprendizagem Significativa crítica

[...] é aquela perspectiva que permite ao sujeito fazer parte de sua cultura e, ao mesmo tempo, estar fora dela. [...] É através da Aprendizagem Significativa crítica que o aluno poderá fazer parte de sua cultura e, ao mesmo tempo, não ser subjugado por ela, por seus ritos, mitos e ideologias. É através dessa aprendizagem que ele poderá lidar construtivamente com a mudança sem deixar-se dominar por ela, manejar a informação sem sentir-se impotente frente à sua grande disponibilidade e velocidade de fluxo, usufruir e desenvolver a tecnologia sem tornar-se tecnófilo. Por meio dela, poderá trabalhar com a incerteza, a relatividade, a não causalidade, a probabilidade, a não dicotomização das diferenças, com a ideia de que o conhecimento é construção (ou invenção) nossa, que apenas representamos o mundo e nunca o captamos diretamente (MOREIRA, 2010, p. 7).

Ou seja, é necessário que, além de viver em comunidade e dela fazer parte, os indivíduos sejam críticos. E para que a aprendizagem seja crítica, antes ela tem que ser significativa.

Com o objetivo de promover a Aprendizagem Significativa, Ausubel propõe que se atue de forma planejada sobre a estrutura cognitiva. Ele enfatiza cinco estratégias pedagógicas para facilitar esse processo: o uso de organizadores prévios, a diferenciação progressiva, a reconciliação integradora, a organização sequencial e a consolidação.

Uma vez que nem sempre se pode depender da disponibilidade espontânea de conceitos de subsunção relevantes e próximos na estrutura cognitiva dos aprendizes, uma maneira de facilitar a aprendizagem e a retenção, nestas circunstâncias, é introduzir-se subsunçores adequados, conhecidos como *organizadores prévios*, ou “organizadores avançados” e torná-los parte da estrutura cognitiva existente antes da apresentação real da tarefa de aprendizagem.

Estes organizadores, de acordo com Ausubel (2003), consistem em materiais introdutórios a um nível mais elevado de abstração, generalidade e inclusão do que a própria tarefa de aprendizagem, com objetivo de funcionar para uma variedade de indivíduos, uma vez que eles possuem estruturas cognitivas diferentes. A função do organizador é proporcionar um suporte para a incorporação e retenção estáveis do material a ser aprendido.

De acordo com Ausubel (2003), a fundamentação lógica para a utilização dos organizadores baseia-se essencialmente em:

1) A importância de se possuírem ideias relevantes, ou apropriadas, estabelecidas, já disponíveis na estrutura cognitiva, para fazer com que as novas ideias logicamente significativas se tornem potencialmente significativas e as novas ideias potencialmente significativas se tornarem realmente significativas (i.e., possuírem novos significados), bem como fornecer-lhes uma ancoragem estável. 2) As vantagens de se utilizarem as ideias mais gerais e inclusivas de uma disciplina na estrutura cognitiva como ideias ancoradas ou subsunçores, alteradas de forma adequada para uma maior particularidade de relevância para o material de instrução. Devido à maior aptidão e especificidade da relevância das mesmas, também usufruem de uma maior estabilidade, poder de explicação e capacidade integradora inerentes. 3) O facto de os próprios organizadores tentarem identificar um conteúdo relevante já existente na estrutura cognitiva (e estarem explicitamente relacionados com esta) e indicar, de modo explícito, a relevância quer do conteúdo existente, quer deles próprios para o novo material de aprendizagem (AUSUBEL, 2003, p. 12).

Assim, apresenta-se um organizador prévio a um aprendiz antes de confrontar o mesmo com o próprio material de instrução. Não só tem de ser mais geral, inclusivo e abstrato do que o material de instrução, como também deve considerar ideias potencialmente relevantes existentes na estrutura cognitiva do aprendiz para servir de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que ele deveria saber para que o material a ser apresentado seja potencialmente significativo (AUSUBEL, 2003; MOREIRA, 2010).

A estratégia de *diferenciação progressiva* segue o princípio de que quando se programa a matéria, primeiro apresentam-se as ideias mais gerais e inclusivas da disciplina e, depois, estas são progressivamente diferenciadas em termos de detalhes e especificidades. Nessa perspectiva assume-se dois pressupostos:

1) É menos difícil para os seres humanos apreenderem os aspectos diferenciados de um todo, anteriormente apreendido e mais inclusivo, do que formular o todo inclusivo a partir das partes diferenciadas anteriormente aprendidas; e, 2) A organização que o indivíduo faz do conteúdo de uma determinada disciplina no próprio intelecto consiste numa estrutura hierárquica, onde as ideias mais inclusivas ocupam uma posição no vértice da estrutura e subsumam, progressivamente, as proposições, conceitos e dados factuais menos inclusivos e mais diferenciados (AUSUBEL, 2003, p. 166).

De acordo com Moreira (2010), trata-se de uma abordagem na qual o que é mais relevante deve ser introduzido no início e, logo em seguida, trabalhado por meio de exemplos, situações e exercícios.

Além da diferenciação progressiva, a programação da matéria deve levar em consideração a *reconciliação integradora*, que por sua vez é alcançada quando se explora, explicitamente, relações entre conceitos e proposições, chama-se a atenção para diferenças e semelhanças e reconciliam-se inconsistências reais e aparentes. Segundo Moreira (2010), Ausubel propõe estes dois princípios programáticos da matéria, que correspondem a dois processos da dinâmica da estrutura cognitiva, pois, em busca de organização cognitiva o aprendiz vai, simultaneamente, diferenciando progressivamente e reconciliando integrativamente os conhecimentos adquiridos.

Com relação à *organização sequencial*, Ausubel (2003) chama atenção para o fato de que se pode maximizar a disponibilidade dos subsunçores para a Aprendizagem Significativa, aproveitando as vantagens de dependências sequenciais naturais entre as divisões temáticas de uma disciplina, pois a compreensão de um determinado tópico muitas vezes requer a prévia compreensão de um tópico anterior. Na aprendizagem escolar sequencial os materiais apresentados em primeiro lugar desempenham um papel de organizadores para os próximos, pois uma das vantagens da disposição sequencial e gradativa de dificuldades, é que se assegura que cada progresso alcançado se torne uma base para as tarefas seguintes.

Por fim, Ausubel (2003) apresenta a estratégia de *consolidação*, que consiste em assegurar que os assuntos estudados sejam dominados pelos alunos antes da introdução de um novo assunto. Para tal, são necessárias atividades, revisões e repetições do conteúdo estudado em quantidade e espaçamento suficientes, com práticas diferenciadas em torno do material de aprendizagem. O princípio da consolidação contribui para que os assuntos já aprendidos se organizem com clareza e estabilidade na estrutura cognitiva do aluno, o que propicia melhores ancoragens e discriminações de novos assuntos.

Assim como Ausubel, Moreira (2010) também cita princípios ou estratégias que deveriam ser levados em conta durante o planejamento e execução

de uma abordagem didática que tenha intenção de facilitar a Aprendizagem Significativa e crítica. Neste sentido, os princípios são apresentados a seguir:

1) Aprender que aprendemos a partir do que já sabemos (Princípio do conhecimento prévio). 2) Aprender/ensinar perguntas ao invés de respostas (Princípio da interação social e do questionamento). 3) Aprender a partir de distintos materiais educativos (Princípio da não centralidade do livro de texto). 4) Aprender que somos observadores e representantes do mundo (Princípio do aprendiz como observador/representador). 5) Aprender que a linguagem está totalmente implícita em qualquer e em todas as tentativas humanas de perceber a realidade (Princípio do conhecimento como linguagem). 6) Aprender que o significado está nas pessoas, não nas palavras (Princípio da consciência semântica.) 7) Aprender que o ser humano aprende corrigindo seus erros (Princípio da aprendizagem pelo erro). 8) Aprender a desaprender, a não usar conceitos e estratégias irrelevantes para a sobrevivência (Princípio da des-aprendizagem). 9) Aprender que as perguntas são instrumentos de percepção e que definições e metáforas são instrumentos para pensar (Princípio da incerteza do conhecimento). 10) Aprender a partir de distintas estratégias de ensino (Princípio da não utilização do quadro de giz). 11) Aprender que simplesmente repetir a narrativa de outra pessoa não estimula a compreensão (Princípio do abandono da narrativa) (MOREIRA, 2010, p. 20).

Além disso, de acordo com Moreira (2000), para facilitar aprendizagens dessa natureza pode-se recorrer a instrumentos que já se mostraram eficazes, como por exemplo, os Mapas Conceituais e os Diagramas V. Nessa pesquisa, de acordo com os objetivos pretendidos, optou-se pela inclusão dos diagramas V e a seguir é abordado com mais detalhes esse tipo de instrumento.

3.1 O V DE GOWIN

O Diagrama V é um organizador gráfico na forma de um V, também conhecido como V heurístico, pelo fato de facilitar os processos heurísticos, V epistemológico, por ter subjacente uma epistemologia construtivista, V do conhecimento, por ajudar a compreender a estrutura do processo de produção do conhecimento, ou V de Gowin, por ter sido concebido, na década de 70, por D. Bob Gowin (VALADARES, 2014).

De acordo com Gowin e Alvarez (2005), o diagrama foi idealizado na Universidade de Cornell em 1977, após décadas de pesquisa em ciência, educação científica, filosofia da ciência e filosofia da educação. O objetivo desse diagrama era ajudar os alunos a reconhecerem a complexidade e também a simplicidade do processo de construção do conhecimento. O diagrama foi desenvolvido, em

princípio, para ajudar os estudantes e os professores a clarificar a natureza e os objetivos do trabalho experimental em Ciências, ele derivou do método das “cinco perguntas”, um esquema desenvolvido por Gowin para “desempacotar” o conhecimento numa área determinada (NOVAK; GOWIN, 1984).

As cinco perguntas originais propostas por Gowin, para aplicar a qualquer exposição ou documento no qual se apresente algum tipo de conhecimento eram:

1) *Qual é a “questão determinante”?* (Esta questão é aquela que direciona o trabalho de investigação e aponta o que deve ser procurado. Pode ser uma ou mais questões.)

2) *Quais são os conceitos-chave?* (Estes são os conceitos ou a estrutura conceitual de determinada área que são necessários à compreensão da investigação.)

3) *Quais são os métodos de investigação* (modos de proceder) que se utilizam? (Esta questão se refere ao encaminhamento metodológico e à coleta e análise dos dados.)

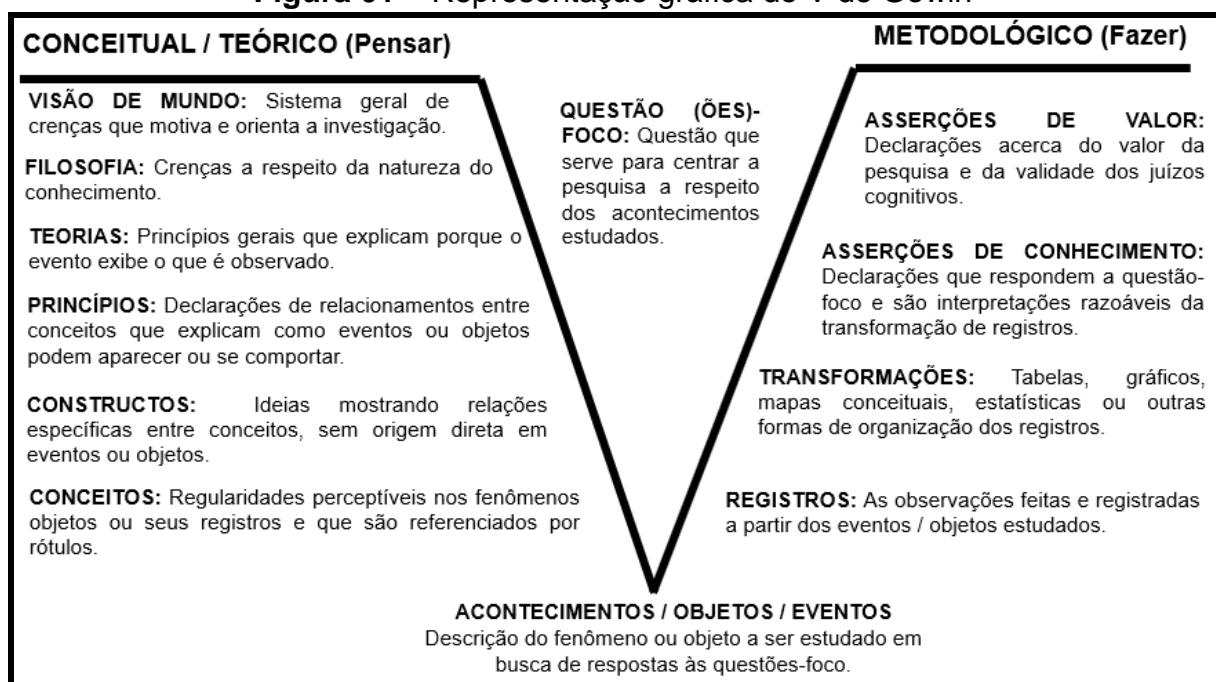
4) *Quais são os principais juízos cognitivos?* (Estas são as afirmações dadas pelo pesquisador como respostas válidas às questões-foco da investigação).

5) *Quais são os juízos de valor?* (Estas são as asserções, explícitas ou implícitas, acerca do julgamento de valor da investigação e das respostas encontradas.)

Dessa forma, trata-se de um metaconhecimento, isto é, o conhecimento a respeito do modo como se produz o próprio conhecimento (NOVAK; GOWIN, 1984). As explicações de cada uma dessas questões, que foram colocadas entre parênteses, foram elaboradas por Lebouef e Batista (2013). Essas perguntas deram origem ao organizador gráfico que pode ser observado na Figura 01, na qual vemos os 12 elementos que compõem a estrutura do V de Gowin. A questão-foco, presente no meio do diagrama, deve ser respondida com base em um acontecimento/objeto ou evento, que aparece no vértice do diagrama. No lado esquerdo aparecem os aspectos teórico e conceituais, como a visão de mundo, filosofia, teorias, princípios, constructos e conceitos e do lado direito do V aparecem as questões metodológicas, como os registros, a transformação dos registros em

dados, as asserções de conhecimento e de valor. Dessa maneira, pode ficar evidente um pressuposto fundamental na elaboração do V de Gowin, que o conhecimento não é absoluto, mas é dependente dos conceitos, teorias e metodologias com as quais se vê o mundo (GOWIN; ALVAREZ, 2005).

Figura 01 – Representação gráfica do V de Gowin



Fonte: adaptado de Gowin e Alvarez (2005)

Assim, a interação entre os elementos presentes no diagrama pode auxiliar e ampliar a compreensão da estrutura do conhecimento, envolvida em determinada investigação. A *questão-foco* ou questão de pesquisa direciona a investigação e, de acordo com Gowin e Alvarez (2005) possui duas funções: aumentar a precisão, delimitando o evento de estudo, e deixar os detalhes mais claros.

As questões são respondidas a partir de um acontecimento/objeto ou evento, que é algo que pode ser planejado, acontece, pode acontecer ou está no campo das possibilidades de ocorrência (GOWIN; ALVAREZ, 2005). Não importa se a questão é definida com base nos acontecimentos ou se os acontecimentos definem as questões, o que importa é que exista coerência entre esses dois elementos.

O elemento *teoria* agrupa um conjunto de fundamentos que tem o objetivo de explicar, elucidar e interpretar os eventos, ou, nas palavras de Gowin e Alvarez (2005, p. 52), “uma boa teoria nos fornece respostas que explicam”. Esse elemento reúne uma teoria ou teorias que, até o fenômeno acontecer, podem ajudar na predição e explicação de comportamentos.

Já os *princípios* são proposições de relações entre conceitos que explicam como se espera que eventos e objetos se comportem ou apareçam, em outras palavras, princípios são declarações escritas de regularidades em evento. Essas declarações escritas são abstraídas e derivadas de muitas afirmações anteriores a respeito de regularidades do evento estudado (GOWIN; ALVAREZ, 2005).

Os “*conceitos*” são elementos centrais na estrutura do conhecimento, eles são definidos como regularidades ou padrões percebidos em eventos ou objetos e são representados por um signo ou símbolo, geralmente uma palavra. De acordo com Gowin e Alvarez (2005), define-se conceito como um nome (por exemplo, rótulo, sinal, palavra ou significante) para uma regularidade em eventos ou objetos. Por exemplo, A palavra “vento” é um nome para um evento de algum tipo de movimento regular do ar. Assim, conceitos nomeiam eventos e objetos da experiência vivenciada.

No lado direito do Diagrama V, os *registros* são os instrumentos utilizados para monitorar o que acontece nos eventos que estão sendo estudados. Eles podem variar desde simples descrições de observações até registros realizados por instrumentos complexos. É importante que os registros reflitam com precisão o que está ocorrendo durante os eventos que estão sendo monitorados, assim, instrumentos confiáveis precisam ser selecionados para registrar os fatos que ocorrerão a partir dos eventos de interesse (GOWIN; ALVAREZ, 2005). Em outras palavras, os registros são os dados brutos, todas as informações relevantes do evento, que ao passarem pelo processo de transformação podem responder à questão-foco.

É no processo de *transformação* que os registros efetuados são transformados visando à sua análise e interpretação. Essas transformações envolvem a tarefa de fazer julgamentos na tentativa de compreender o que está acontecendo, trata-se de um procedimento metodológico para ir dos registros até as

possíveis asserções de conhecimento (GOWIN; ALVAREZ, 2005). Algumas transformações de registros geralmente utilizadas são as tabelas, quadros, gráficos, estatísticas, mapas conceituais e agrupamentos diversos. E assim como os registros, as transformações também são guiadas pelos elementos teóricos conceituais do V.

As *asserções de conhecimento* são as respostas às questões levantadas inicialmente. Pensar e interpretar a respeito das transformações levam a fazer asserções com base nas perguntas feitas, sendo necessário uma resposta direta para cada pergunta feita no início do estudo. Cada asserção de conhecimento deve ser claramente explicada com argumentos que sustentam as interpretações realizadas durante o processo investigativo. Assim, uma retomada das questões, dos eventos, dos conceitos, dos registros e das transformações pode auxiliar na reconciliação entre as ideias e os fatos com base nos instrumentos e resultados (GOWIN; ALVAREZ, 2005).

Já as asserções de valor são sentenças baseadas nas asserções de conhecimento que declaram o valor ou o mérito do estudo. Elas podem ser de natureza utilitária, científica, educacional, moral, social, estética, havendo inúmeros valores associados à produção de um conhecimento (ARAÚJO; VEIT; MOREIRA, 2012). A pesquisa tem implicações práticas na área estudada? As evidências da pesquisa ajudam a entender melhor algum tópico? A pesquisa poderia ser feita de uma maneira menos dispendiosa? As asserções de valor são respostas a questões de valor e, acredita-se que cinco questões de valor são suficientes para abranger o campo das reivindicações de valor (GOWIN; ALVAREZ, 2005).

1. Questão de Valor Instrumental. X é bom para Y? Por exemplo, "Os mapas conceituais são bons para o pensamento teórico?".
2. Questão de Valor Intrínseco. O X é bom em si mesmo? Por exemplo, "A ciência é suficientemente boa em si mesma?".
3. Questão de Valor Comparativo. X é melhor que Y? Por exemplo, "A ciência é melhor que a filosofia?".
4. Pergunta de valor de decisão. X está certo? Deve-se escolher X? Por exemplo, "Você deve escolher diagramas V?". "A análise V de todos os produtos de pesquisa está correta?".
3. Questão de Valor Ideal. O X é tão bom quanto pode ser, ou pode ser melhorado de maneira ideal? Por exemplo, "O V de Gowin é tão bom quanto poderia ser?". "Podemos torná-lo melhor?" (GOWIN, ALVAREZ, 2005, p. 61).

Assim, as asserções de valor dão respostas a respeito dos seguintes questionamentos: isso é bom ou mau? Quais os benefícios que traz? Está correto? Deveríamos escolhê-lo? Podemos melhorá-lo? Ao responder a essas questões, é possível identificar as asserções de valor que o pesquisador ou os estudantes fazem em relação à investigação realizada (NOVAK; GOWIN, 1984).

Os elementos *visão de mundo, filosofia e constructos* são menos intuitivos para uma primeira abordagem com o V de Gowin, e podem gerar dificuldades de exemplificação entre alunos e professores (LEBOEUF; BATISTA, 2013). Porém, isso não impede que se faça uso da estrutura do diagrama, uma vez que o mesmo pode ser adaptado e na literatura encontram-se diversas versões, com omissão de alguns elementos e inserção de outros (NOVAK; GOWIN, 1984; GOWIN; ALVAREZ, 2005; 2006; VALADARES, 2014; ARAÚJO; VEIT; MOREIRA, 2012).

Por que uma técnica heurística em forma de “V”? De acordo com Novak e Gowin (1984), não há nada sagrado ou absoluto nisso, eles perceberam que a forma em V era valiosa por várias razões. Em primeiro lugar, o V “aponta” para os acontecimentos, objetos ou eventos que estão na base de toda a produção do conhecimento, e é fundamental que os alunos estejam plenamente conscientes dos acontecimentos, objetos ou eventos que pretendem experimentar e com base nos quais constroem o conhecimento.

Em segundo lugar, perceberam que a forma do V ajuda os estudantes a reconhecerem a tensão e a interação que existe entre o conhecimento disciplinar que se vai construindo e modificando ao longo do tempo e o conhecimento que uma investigação de momento lhes permite construir. Embora os elementos conceituais da parte esquerda do V iluminem as possíveis indagações, eles são construções que tem se desenvolvido ao longo do tempo, enquanto os elementos da parte direita se constroem em função da investigação. Embora os novos juízos cognitivos possam dar lugar à formação de conceitos novos e até mesmo de novas teorias, este é um processo que demora anos ou décadas na maior parte das disciplinas (NOVAK; GOWIN, 1984).

Assim, seu formato é uma maneira estruturada e visual de relacionar os aspectos metodológicos de uma investigação com seus aspectos conceituais e teóricos. A parte esquerda e a parte direita do V interagem entre si, interação essa

de grande relevância para a construção do novo conhecimento (VALADARES, 2000). A parte crucial do processo de investigação surge quando se dá a conexão entre o evento/objeto em estudo, o quadro conceitual teórico que o pesquisador domina e os fatos que ele registra do evento/objeto. Dessa forma, a importância desta conexão levou Gowin à ideia do formato em V para seu organizador gráfico. Este formato pretende evidenciar a indissociabilidade entre a teoria e a prática (VALADARES, 2014).

Com relação às possíveis aplicações do V de Gowin, o diagrama V não deve ser respondido com se fosse um questionário, mas construído e analisado com idas e vindas por todos os tópicos. E entre suas potencialidades, Moreira (2007) sugere que o diagrama V pode ser utilizado como recurso útil no ensino, na aprendizagem e na avaliação. Ele pode ser útil como ferramenta de análise de artigos, teses, dissertações, atividades práticas, planejamentos, ensaios, produções literárias, enfim, qualquer forma de conhecimento (GOWIN; ALVAREZ, 2005; MOREIRA, 2007). No entanto, não deve ser encarado como um questionário a ser preenchido, pois isso seria uma completa distorção e um grande desperdício de sua potencialidade instrucional e curricular (MOREIRA, 2007).

Além disso, o V de Gowin também pode ser útil no preparo das aulas, pois ao invés de simplesmente ensinar um conteúdo por ele estar presente no livro didático o professor pode, antes da instrução, procurar responder às cinco questões, propostas por Gowin, a respeito daquilo que ele pretende ensinar. Buscar identificar o ponto central da aula, os conceitos básicos envolvidos, a metodologia, os conhecimentos relevantes, o valor desse conhecimento. Essa é uma análise do currículo no sentido proposto por Gowin (NOVAK; GOWIN, 1984; MOREIRA, 2006).

Quanto à avaliação, refletindo uma perspectiva de aprendizagem como construção de significados e de ensino como o compartilhamento de significados, usando materiais educativos do currículo, a mesma deve ser pensada de maneira diferente. Ou seja, novos instrumentos são necessários, a avaliação não pode continuar limitada a procedimentos diagnósticos, formativos e somativos baseados em testes objetivos de conhecimento, solução de problemas ou outros instrumentos que não buscam, explicitamente, evidências de Aprendizagem Significativa (MOREIRA, 1996). Dessa forma, procedimentos e instrumentos de avaliação consistentes com o enfoque construtivista devem ser usados e

pesquisados. Os mapas conceituais, o V de Gowin, as questões de Gowin, entrevistas, ou combinações desses instrumentos são possibilidades nesse sentido (MOREIRA, 2006).

A respeito do uso do V de Gowin como instrumento de avaliação, Novak e Gowin (1984) o apresentam como uma valiosa ferramenta, uma vez que, apesar da natureza desafiadora da construção do V, os alunos reagem positivamente perante a atividade, em especial quando comparada à elaboração dos tradicionais relatórios. Esse instrumento auxilia os alunos na organização das ideias e eles reconhecem que essa atividade os ajuda a compreender melhor os conteúdos.

Uma avaliação tradicional na maioria das vezes implica em uma quantificação, uma nota. Como avaliar quantitativamente instrumentos como os diagramas e mapas conceituais? É possível fazer uma avaliação quantitativa, agregando um valor para os “acertos” dos estudantes, porém esses instrumentos fornecem dados essencialmente qualitativos e como tal deveriam ser analisados sob uma perspectiva qualitativa, interpretativa. Isto é, os trabalhos dos alunos deveriam ser interpretados ao invés de quantificados (MOREIRA, 2006). A ênfase da avaliação com este instrumento deve estar na interpretação do nível de domínio da compreensão do conhecimento que os estudantes exibem ao elaborar esse instrumento, em que medida os significados que eles externalizam são aqueles que o professor pretende que eles atribuam a esses conteúdos científicos (GOWIN; ALVAREZ, 2005; NOVAK; GOWIN, 1984; MOREIRA, 2006; VALADARES, 2014).

No entanto, caso se deseje uma avaliação quantitativa, Gowin e Alvarez (2005) e Novak e Gowin (1984) sugerem algumas pontuações, que são apresentadas no Quadro 03.

Quadro 03 – Sugestão de pontuações para uma avaliação quantitativa do V de Gowin.

Questão-foco	
Nenhuma questão-foco é identificada.	0
Uma questão é identificada, mas não se concentra no evento principal ou ao lado conceitual do V.	1
Uma questão-foco é identificada; inclui conceitos, mas não sugere objetos ou o evento principal ou os objetos e eventos identificados estão incorretos.	2
Uma questão-foco é identificada; inclui conceitos a serem usados e se relaciona diretamente com o evento principal ou objeto.	3
Eventos/objetos	
Nenhum evento ou objeto é identificado.	0

O evento principal ou os objetos são identificados, mas são inconsistentes com a questão-foco.	1
O evento principal ou os objetos são identificados e são consistentes com a questão-foco.	2
Conceitos	
Nenhum conceito é identificado.	0
Conceitos são identificados, mas não estão relacionados à questão-foco e/ou aos eventos/objetos.	1
Conceitos são identificados relacionados à questão-foco e/ou aos eventos/ objetos.	2
Registros	
Nenhum registro é identificado.	0
Os registros são identificados, mas são inconsistentes com a questão-foco ou com o evento principal.	1
Os registros são identificados para o evento principal e são consistentes com a questão-foco.	2
Visão de Mundo	
Nenhuma visão de mundo é identificada.	0
É identificada uma visão de mundo que se relaciona uma questão-foco bem formulada.	1
Filosofia	
Nenhuma filosofia é identificada.	0
É identificada uma filosofia que se relaciona com uma questão-foco bem definida.	1
Teoria	
Nenhuma teoria é identificada.	0
Uma teoria é identificada, mas não se relaciona com o lado conceitual do V ou com a questão-foco e os eventos.	1
Identificada uma teoria relevante que relaciona o lado conceitual do V com a questão-foco e os eventos.	2
Princípios	
Nenhum princípio é identificado.	0
Princípios são identificados e relevantes para a teoria.	1
Transformações	
Nenhuma transformação é identificada.	0
As transformações são inconsistentes com a questão- foco e os dados coletados dos registros.	1
As transformações são consistentes com a questão-foco e os dados coletados dos registros.	2
Asserções de Conhecimento	
Nenhuma asserção de conhecimento é identificada.	0
As afirmações de conhecimento são inconsistentes com a questão-foco.	1
As afirmações de conhecimento são derivadas dos registros e transformações.	2
As declarações de conhecimento são consistentes com os dados coletados nos registros e representados nas transformações.	3
A asserção de conhecimento contém os componentes do item anterior e leva a uma questão de pesquisa.	4
Asserções de Valor	
Nenhuma asserção de valor é identificada.	0
A asserção de valor é identificada, indicando o valor da investigação	1

Fonte: adaptado de Gowin e Alvarez (2005) e Novak e Gowin (1984)

Com base nas explicações dadas anteriormente, tanto os mapas conceituais como o V de Gowin podem ser utilizados tanto como instrumentos de análise do currículo, quanto como instrumentos de avaliação, ou recursos de ensino e aprendizagem. Ensino, currículo, aprendizagem, juntamente com o contexto, formam o que Schwab (1973) chama de lugares comuns da educação, pois de forma

direta ou indireta estão envolvidos em todo processo educacional (MOREIRA, 1996). Dessa forma, é responsabilidade do professor planificar a agenda de atividades e decidir que conteúdos e em que sequências devem ser ensinados, ao passo que é responsabilidade do aluno optar por aprender. O currículo deve compreender o conhecimento, as capacidades e os valores da experiência educativa e o contexto meio que influencia a maneira como os professores e alunos compartilham os significados do currículo. Assim, Gowin mostra a influência positiva que o diagrama V pode ter nesses quatro lugares comuns da educação.

De acordo com Gowin e Alvarez (2005), os diagramas V servem ao duplo propósito de reconhecer a complexidade e a simplicidade básica do processo de construção do conhecimento. Eles permitem ao usuário pensar criativamente quando interage com os elementos apresentados no V. Esses instrumentos podem ser usados individualmente e também em configurações de grupo.

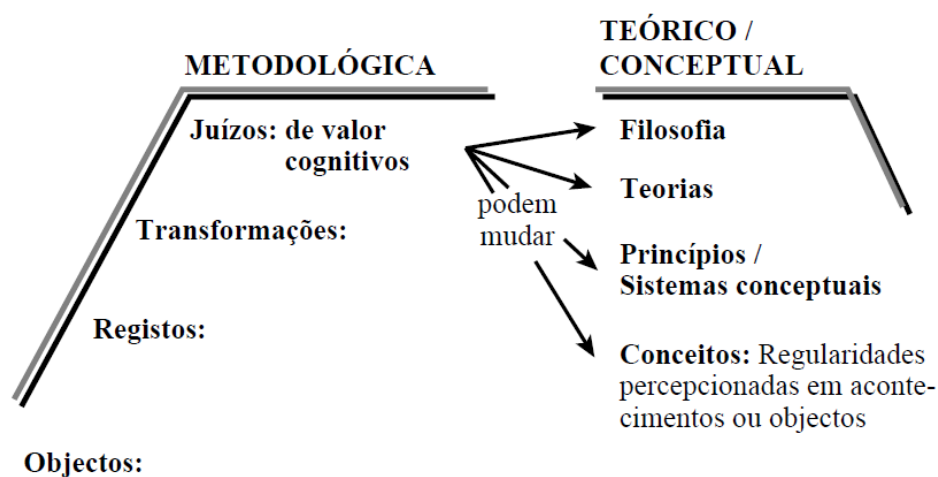
Em termos da Aprendizagem Significativa, não é suficiente saber a respeito do assunto, é preciso entender por que e como as novas informações estão relacionadas ao que já é conhecido. Assim, o diagrama V é um instrumento que pode ser usado para permitir que os alunos se concentrem em eventos educativos com base no conhecimento prévio existente. Dessa forma, ajuda a observar a interação entre o que é conhecido e o que precisa ser conhecido ou entendido e também a focalizar ideias, reorganizando e revisitando os elementos do V antes, durante e depois de um estudo (GOWIN; ALVAREZ, 2005).

Muito pensamento é necessário para elaborar um V. Esse processo de elaboração força a olhar para os eventos, a pensar, prestar atenção em acontecimentos que não estão totalmente sob controle. O V é um instrumento de raciocínio que requer mais do que apenas uma forma de preparação “pegue e faça”. Ele requer que a mente recorra a experiências passadas para pensar a respeito do conhecimento existente com um dado problema ou situação (GOWIN; ALVAREZ, 2005). Assim, ele é mais complexo, do ponto de vista epistemológico e cognitivo, do que os mapas conceituais. Inclusive, é possível integrar os mapas no bloco epistemológico dos conceitos do V de Gowin. Essa complexidade faz com que esse instrumento seja menos utilizado do que os mapas conceituais, mas sua utilização promove uma aprendizagem enriquecedora ao passo que permite uma aprendizagem a respeito da Natureza da Ciência e não apenas da Ciência, pois

trata-se de um instrumento fundamentado em uma visão construtivista e humanista da produção do conhecimento (MOREIRA, 2012; VALADARES, 2014).

Além disso, como espelho de uma investigação científica, a elaboração dos diagramas V pode exemplificar o processo contínuo de construção da Ciência, uma vez que uma investigação pode gerar novos questionamentos e as respostas a esses questionamentos geram novas perguntas. Assim, um “desfile de Vs” representa o caminho que uma investigação segue à medida que ela evolui. Essa representação lado-a-lado dos “Vs” ilustra que a construção do conhecimento é um processo contínuo, em que o novo conhecimento contribui com novos conceitos, princípios e teorias e influencia futuras investigações. Na Figura 02 ilustra-se essa situação.

Figura 02 – Ilustração do “desfile de Vs”



Fonte: Novak e Gowin (1984, p. 168)

Dessa forma, as asserções de conhecimento e de valor podem gerar novos questionamentos e modificarem o quadro teórico conceitual, gerando novos conhecimentos ou modificando os já existentes, que levam a uma nova investigação e assim se segue o desfile de Vs na investigação.

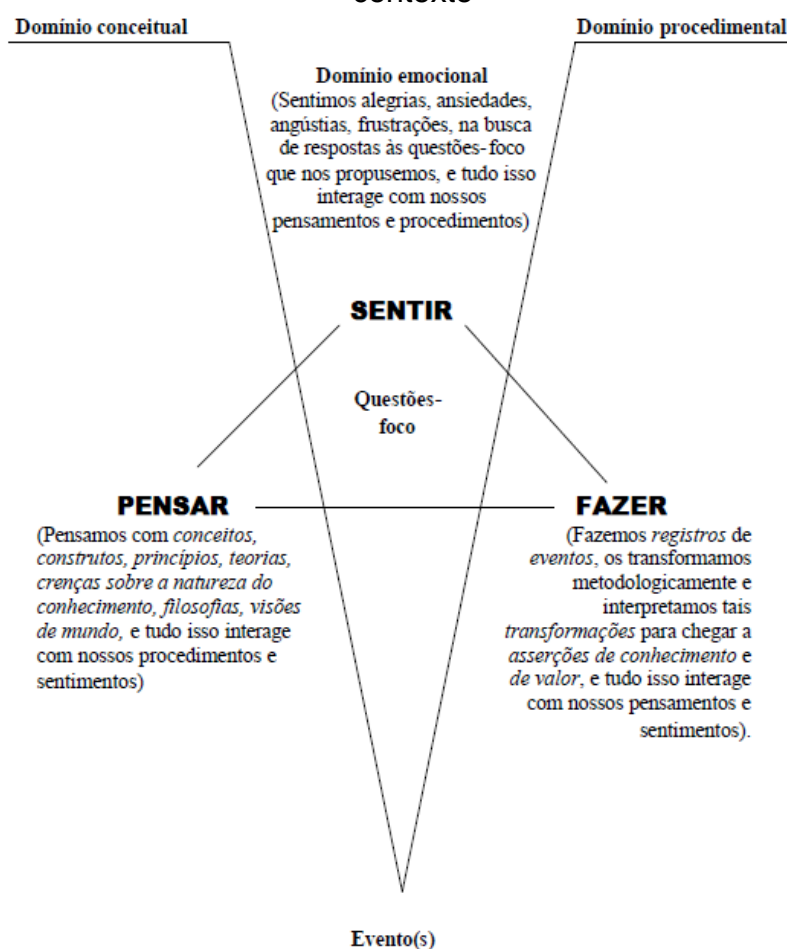
Além disso, em termos de aprendizagem, o V pode ser útil como um instrumento de meta-aprendizagem, ou seja, de aprender a aprender (NOVAK; GOWIN, 1984). O aluno que aprende a aprender entende que não só o conhecimento científico é construído, mas também que seu próprio conhecimento é alcançado por meio de um processo de construção (MOREIRA, 1996). Assim, ao invés de armazenar mecanicamente novos conhecimentos ele vai procurar analisar

a estrutura desses conhecimentos e tentar relacioná-los aos conhecimentos que já possui em sua estrutura cognitiva. E é nessa análise da estrutura do conhecimento que está a utilidade do V de Gowin (MOREIRA, 2006; VALADARES, 2014).

Visto que se trata de um instrumento com potencial de facilitação da Aprendizagem Significativa, vale ressaltar que não existe um padrão rígido em relação aos elementos epistemológicos que devem ser abordados nas atividades educativas ou investigativas, pois na literatura há exemplos em que se omitem alguns elementos e se acrescentam outros, como citado anteriormente, com a finalidade de atender aos objetivos de uma investigação específica.

Um exemplo é a crítica feita por Moreira (2006), que sugere uma alternativa para inserir aspectos relacionados ao sentimento e ao contexto. Como pode ser observado na Figura 03.

Figura 03 – Sugestão feita por Moreira (2006) para incluir os aspectos sentimento e contexto

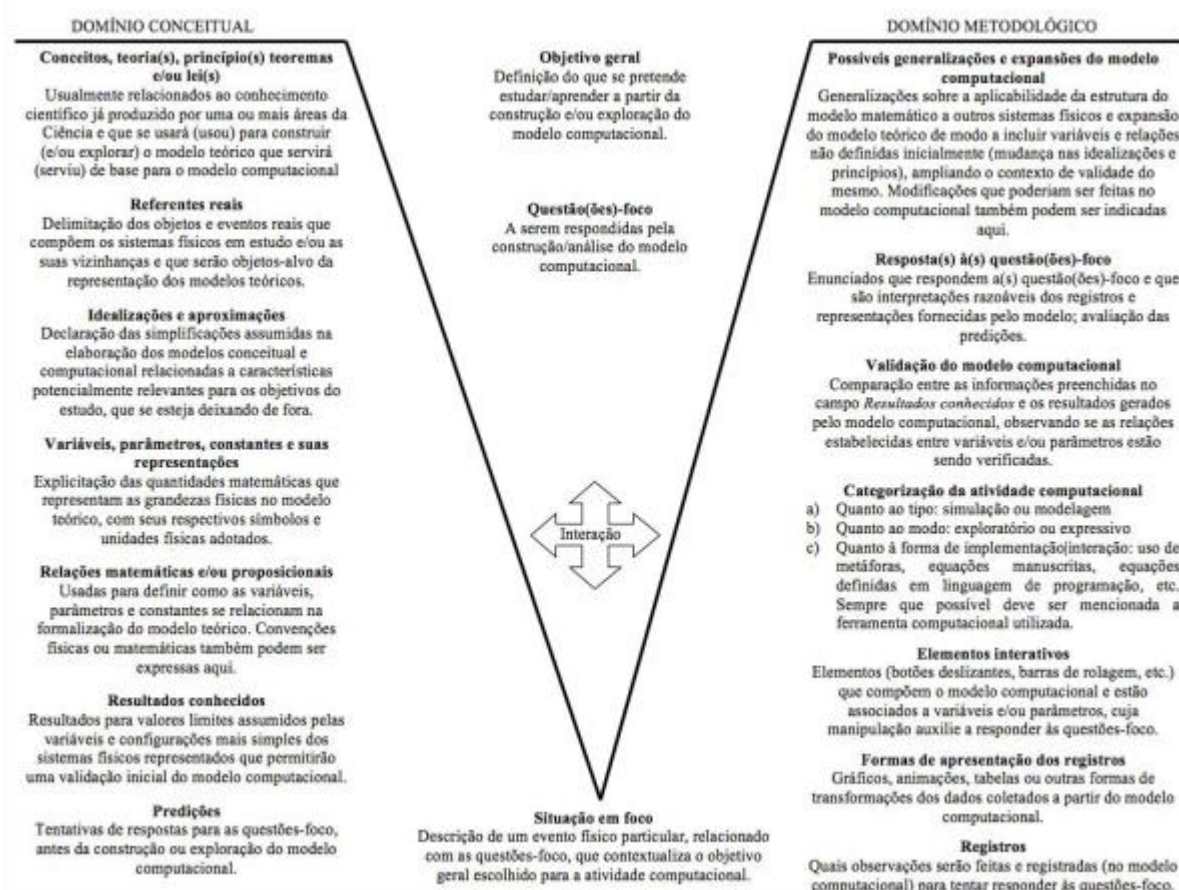


Contexto: a produção de conhecimento ocorre dentro de um contexto (sócio-histórico, cultural, institucional, econômico, político, ...) que a influencia.

Fonte: Moreira (2006, p. 86)

Outro exemplo disso é uma aprimoração do diagrama de Gowin feito por Araújo, Veit e Moreira (2006), para utilizar em atividades de modelagem e simulação computacional. Esses autores propõem um diagrama AVM (Adaptação do V de Gowin para a Modelagem), que é representado na Figura 04.

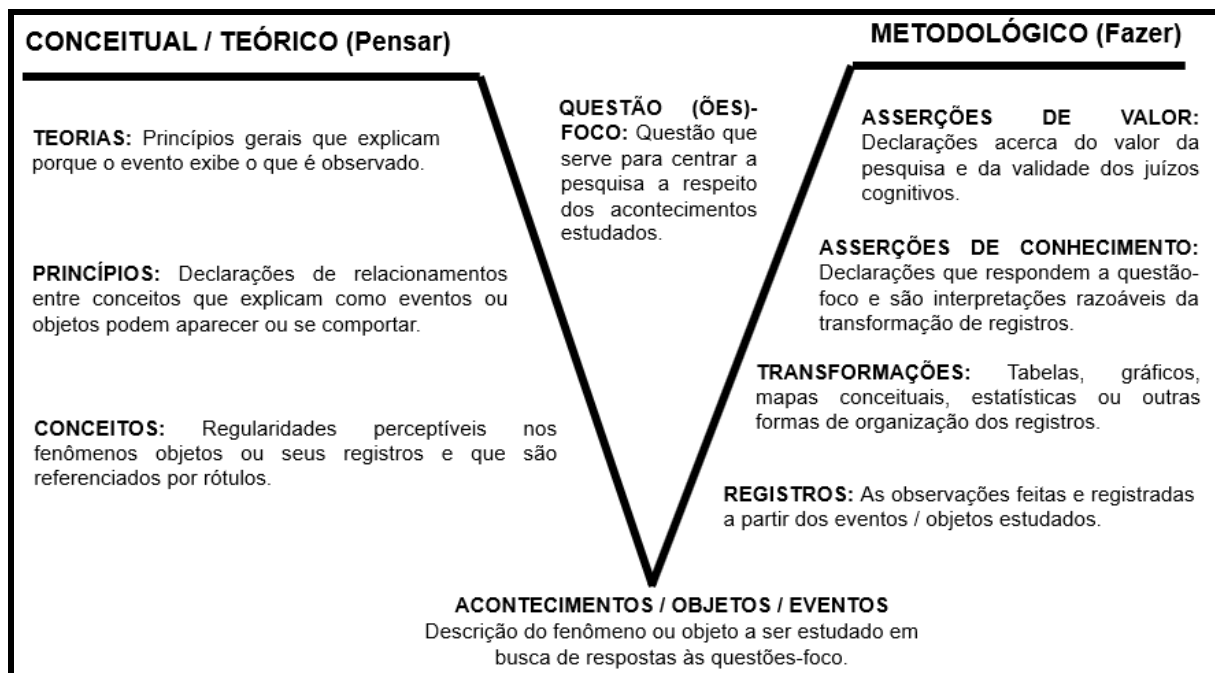
Figura 04 – Adaptação do V de Gowin para atividades de modelagem e simulação computacional



Fonte: Araújo, Veit e Moreira (2012, p. 354)

Diante disso, nessa pesquisa, por se tratar da primeira vez que os sujeitos investigados teriam contato com esse tipo de instrumento, optou-se por omitir os elementos, visão de mundo, filosofia e constructos e utilizou-se a seguinte versão do V de Gowin, representada na Figura 05.

Figura 05 – Exemplificação do V de Gowin utilizado nesta pesquisa



Fonte: a própria autora

Entre as possíveis estratégias para ensinar os estudantes a se familiarizarem com esse instrumento, Moreira (2006) e Valadares (2014) sugerem alguns passos que podem facilitar o primeiro contato dos indivíduos com o diagrama. Os procedimentos são os seguintes:

1. Escolher um evento de laboratório ou de campo, ou um objeto que seja relativamente simples de observar e para o qual uma ou mais questões-foco possam ser facilmente identificadas. Alternativamente, um trabalho de pesquisa com características semelhantes também pode ser utilizado.

2. Começar com uma discussão a respeito do evento ou objeto que está sendo observado. Assegurar-se de que o que é identificado é o evento ou objeto para os quais registros serão feitos.

3. Identificar e escrever o(s) melhor(es) enunciado(s) da(s) questão(ões)-foco. Novamente, certificar-se que a(s) questão(ões)-foco se relaciona(m) com o evento ou objeto estudado e com os registros a serem feitos.

4. Discutir como a(s) questão(ões) serve(m) para focalizar a atenção em aspectos específicos do evento ou objeto e requer(em) que certos tipos de registros sejam feitos para respondê-la(s). Mostrar como uma pergunta diferente sobre o mesmo evento ou objeto implicaria fazer registros distintos.

5. Discutir a origem da(s) questão(ões), ou a escolha do evento ou objeto a ser observado. Ajudar os alunos a verem que, em geral, são os conceitos, princípios ou teorias que levam a escolher o que observar e perguntar.

6. Discutir a validade e fidedignidade dos registros. Há maneiras de obter registros mais válidos e fidedignos?

7. Discutir como podem ser transformados os registros a fim de responder à(s) questão(ões)-foco. Será que certos gráficos, tabelas ou estatísticas serão transformações úteis?

8. Discutir como os conceitos, princípios e teorias dirigem as transformações dos registros. A estrutura de qualquer gráfico ou tabela, ou a escolha de certas estatísticas, é influenciada por tais conceitos, princípios e teorias.

9. Discutir a construção de asserções de conhecimento. Ajudar os alunos a verem que questões diferentes poderiam levar a fazer registros distintos e fazer outras transformações dos registros. A consequência disso poderia ser um outro conjunto de asserções de conhecimento a respeito do evento ou objeto estudado.

10. Discutir as asserções de valor. São enunciados de valor do tipo X é melhor do que Y, ou X é bom, ou devemos procurar atingir X. Notar que as asserções de valor devem derivar das asserções de conhecimento, mas não são a mesma coisa.

11. Mostrar como conceitos, princípios e teorias são usados para moldar as asserções de conhecimento e podem influenciar as asserções de valor.

12. Explorar maneiras de como melhorar uma pesquisa examinando qual elemento do V parece ser o ponto mais fraco na cadeia de raciocínio.

13. Ajudar os alunos a verem que estão trabalhando com uma epistemologia construtivista para construir asserções a respeito da maneira como veem o mundo funcionando, não como uma epistemologia empirista ou positivista que prova alguma verdade a respeito do funcionamento dos eventos.

14. Ajudar os alunos a verem que uma “visão de mundo” é o que motiva e dirige o pesquisador naquilo que ele ou ela escolhe para tentar entender e controlar a energia que despende nessa tentativa. Cientistas se preocupam com valores e procuram sempre melhores maneiras de explicar racionalmente como

funciona o mundo. Astrólogos, místicos, criacionistas e outros não se engajam no mesmo empreendimento construtivista.

15. Comparar, contrastar e discutir diagramas V feitos por diferentes alunos para o mesmo evento ou objeto. Discutir como esta variedade ajuda a ilustrar a natureza construtiva do conhecimento.

Dadas as potencialidades desse instrumento, as diversas versões em que pode ser utilizado e as estratégias para que possa ser ensinado, o seu uso irá depender exclusivamente dos objetivos pretendidos, sejam eles de análise de currículo, instrumento de ensino, aprendizagem e avaliação.

No caso desta pesquisa, utilizou-se o V de Gowin como instrumento de ensino, aprendizagem e avaliação, bem como para apresentar a investigação realizada. Na abordagem didática investigada nesta pesquisa o V de Gowin foi utilizado para análise de textos e atividades experimentais simuladas computacionalmente. Como se tratava do primeiro contato dos sujeitos investigados, e o foco da pesquisa não era a modelagem computacional, ao invés do diagrama AVM, optou-se por utilizar a versão já mencionada acima.

Além da utilização do V de Gowin como facilitador da Aprendizagem Significativa, outras estratégias podem ser utilizadas e, dentre elas, nessa pesquisa optou-se pela estratégia da diversificação dos recursos didáticos, investigando as potencialidades das simulações computacionais de experimentos históricos.

Gowin e Alvarez (2005), alerta para a ensino eletrônico como uma possibilidade de ir além das paredes da sala de aula ou laboratório e permite que o significado seja negociado eletronicamente de maneiras que vão além dos formatos convencionais de papel e lápis. Tecnologias de Informação e Comunicação espalham informações que podem ser úteis para a educação, mas é preciso uma teoria de aprendizagem para orientar o processo.

A seguir são discutidas as potencialidades e limitações das simulações computacionais como estratégias facilitadoras da Aprendizagem Significativa.

3.2 TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA

Acredita-se que o contexto educacional deve oferecer condições propícias para que o processo de ensino contribua para uma Aprendizagem Significativa. As Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) implementadas no ensino, como as ferramentas informáticas, possuem características interacionistas e construtivistas que podem favorecer o desenvolvimento de uma Aprendizagem Significativa. Dessa forma, espera-se que os professores possam fazer usos desses instrumentos para promover interações entre os conhecimentos já existentes na estrutura cognitiva dos estudantes, os conhecimentos prévios, e os novos conhecimentos (TAVARES, 2006).

Nos últimos anos, as metodologias de ensino e aprendizagem vêm sofrendo grande influência da revolução tecnológica. E isso fez com que a informática e as tecnologias de informação e comunicação, em geral, passassem a ser um assunto amplamente discutido em ambientes de pesquisa, periódicos, eventos e produções científicas em programas de pós-graduação na área de Ensino, promovendo debates a respeito dos possíveis usos dessas tecnologias na educação (SILVA; FURTADO, 2012).

No entanto, a eficácia da inserção e utilização do computador no espaço educacional depende, dentre outros fatores, dos professores estarem comprometidos com as discussões a respeito da relevância e da necessidade de se introduzir os recursos da informática na escola. É essencial para esse sucesso, que os professores tenham o máximo de conhecimento a respeito das possibilidades, modalidades e limitações de uso do computador e quais implicações levam a aplicação dessa ferramenta (SILVA; FURTADO, 2012). Quanto mais se reflete a respeito dos possíveis usos do computador em sala de aula, mais se evidenciam quais as vantagens e desvantagens desse instrumento para o ensino e aprendizagem (VALENTE, 1998; CACHAPUZ *et al.*, 2005; HEIDEMANN; ARAÚJO; VEIT, 2014).

Como já evidenciado por Gowin e Alvarez (2005), é necessário que teorias de aprendizagem guiem esse processo de inserção das novas tecnologias em sala de aula, pois, de acordo com José M. Moran (1994), somente quando as tecnologias estão inseridas em um projeto bem fundamentado e inovador é que

[...] sensibilizam para novos assuntos, trazem informações novas, diminuem a rotina, nos ligam com o mundo, com as outras escolas, aumentam a interação (redes eletrônicas), permitem a personalização (adaptação do trabalho ao ritmo de cada aluno) e se comunicam facilmente com o aluno, porque trazem para a sala de aula as linguagens e meios de comunicação do dia a dia (MORAN, 1994, p. 34).

Assim, pode-se entender que essas tecnologias, por si só, não garantem o bom desempenho dos alunos. Elas aumentam as possibilidades do desenvolvimento de trabalhos com atenção mais centrada, mas é falho acreditar que, sozinhas, são sinônimas de qualidade no processo de ensino e aprendizagem (TEDESCO, 2004; MEDEIROS; MEDEIROS, 2002).

As tecnologias disputam a atenção dos estudantes perante a rotina das aulas escolares e o resultado desse enfrentamento, quando a escola não abre espaço para utilização dessas tecnologias em sala de aula, é que esse ambiente deixa de ser atraente. Os estudantes vivem imersos no mundo das tecnologias e sentem-se dispostos a utilizá-las, dessa forma, deve-se aproveitar uma das condições para ocorrência de Aprendizagem Significativa, que é quando o estudante está disposto a aprender. Ou seja, os estudantes mostram-se dispostos a interagir com as tecnologias em sala de aula e isso deveria ser aproveitado para oportunizar situações de aprendizagem.

Além disso, as tecnologias permitem novas possibilidades em relação a espaço e tempo a respeito da sala de aula, pois é possível que o tempo de aula seja estendido, bem como o espaço de aprendizagem assuma características presenciais e virtuais. Outro item relevante na discussão de tecnologias de aprendizagem é a interação, uma vez que o processo de ensino e aprendizagem é fundamentado nas relações e ações efetuadas entre professores, alunos e o ambiente de aprendizagem. Além disso, não basta utilizar recursos tecnológicos em sala de aula, é necessário que esses recursos sejam planejados ou escolhidos levando em consideração aspectos que ofereçam oportunidades de aprendizagem (MORAN, 2001).

Assim, deve-se oportunizar que a interação dos alunos com as tecnologias de aprendizagem crie um ambiente construtivista, no qual o aluno terá a chance de se tornar protagonista de seu próprio aprendizado. Isso reflete características da Teoria da Aprendizagem Significativa que, segundo Ausubel

(2003), prioriza um ambiente no qual o aluno seja ativo no processo educacional da construção de seu conhecimento.

Sabe-se que a Física possui diversos conceitos abstratos e, para que os alunos possam compreendê-los, muitas vezes um experimento pode facilitar o processo ensino e aprendizagem. Entretanto, há situações em que o professor não dispõe de tempo e nem recursos financeiros para a elaboração de experimentos. Por outro lado, o computador vem conquistando cada vez mais espaço nas instituições de ensino do País, cujas principais modalidades do uso, no ensino de Física, são: aquisição de dados por computador; modelagem e simulação; material multimídia; realidade virtual; e, busca de informações na internet (FIOLHAIS; TRINDADE, 2003).

Nesta pesquisa, ao tratar de experimentos complexos e de difícil acesso optou-se pela utilização das simulações computacionais, dentre as inúmeras possibilidades de abordagem das TICs.

3.2.1 Simulações computacionais para o Ensino

Ensinar e aprender Física, tanto nas escolas como em universidades, não é uma tarefa fácil e várias são as causas, segundo Medeiros e Medeiros (2002). Um dos motivos é o fato de que essa disciplina trabalha com vários conceitos, dos quais muitos são abstratos, fazendo com que a Matemática se torne uma ferramenta essencial no desenvolvimento dessa Ciência. Além do mais, ela estuda fenômenos ou conceitos que, frequentemente, estão fora do alcance dos sentidos do ser humano, como por exemplo: partículas subatômicas, corpos com altas velocidades entre outros processos dotados de grande complexidade. E isso, quando abordado com métodos de ensino desajustados das teorias de aprendizagens recentes, muitas vezes, faz com que os estudantes se sintam entediados e perdidos com o estudo da Física.

Isso porque uma abordagem tradicional de “quadro e giz” pode não ser suficiente para motivar ou responder à curiosidade da maioria dos estudantes, tendo em vista que eles aprendem, individualmente e à sua maneira, nem todos ao mesmo tempo e com as mesmas metodologias. No caso específico da disciplina de Física, existem conteúdos com alto grau de abstração que exigem mais do que uma abordagem oral e tradicional para que sejam compreendidos. Assim, as simulações

computacionais se configuram como uma alternativa para tornar o ensino de Física mais atrativo, interessante e compreensível, uma vez que podem permitir aos alunos a observação de sistemas complexos que não conseguem imaginar apenas escutando o professor ou lendo textos. Dessa forma, a exploração de simulações pode ajudar os alunos a estruturarem esses sistemas complexos em sua mente ao invés de apenas memorizá-los (TOVAL; FLORES, 1987).

Martins, Fiolhais e Paiva (2003) defendem o uso das simulações computacionais, pelo fato de aumentarem a atratividade das aulas e estimularem a aprendizagem dos alunos, mesmo considerando que elas não substituem as atividades experimentais. Porém, uma de suas potencialidades é complementar as atividades práticas, uma vez que nem sempre é possível realizar experimentos de determinados conteúdos. Assim, as simulações podem permitir a visualização de aspectos teóricos, que não podem ser observados experimentalmente, como é o caso da visualização das linhas de força no estudo da eletrostática, a representação de campos elétricos e magnéticos variando em uma onda eletromagnética, por exemplo.

As simulações computacionais são abordadas na literatura científica, pelo menos desde quatro décadas anteriores. Elas podem ser utilizadas no contexto científico e escolar, oferecendo alternativas para resolução de problemas. No âmbito científico, elas assumem um papel mais relevante do que o de uma ferramenta, constituindo uma nova forma de produção científica. Esse novo modo de produzir conhecimento científico aumentou o número de fenômenos que podem ser modelados e aumentou significativamente a capacidade de testar hipóteses de modelos que são inviáveis de testes reais (GRECA; SEOANE; ARRIASSECQ, 2014).

Dentre as vantagens do uso de simulações computacionais para o ensino de Física, listados na literatura, pode-se citar os seguintes argumentos:

- O foco no fenômeno de interesse: uma simulação computacional pode isolar um fenômeno para estudo, o que pode não ser alcançado em laboratórios;
- A prevenção de acidentes: as simulações computacionais podem preparar os estudantes para lidarem com situações perigosas de um

laboratório, ou ainda permitir a realização de experimentos que pudessem colocar em risco os estudantes;

- Praticar conforme a necessidade: os estudantes podem testar suas hipóteses quantas vezes acharem necessário, inclusive fora da escola, o que seria inviável em laboratórios;

- Comparar situações reais e irreais: há a possibilidade de manipular parâmetros que não podem ser modificados no mundo real, por exemplo, como seria o comportamento da força gravitacional se a dependência da distância entre os corpos fosse diferente?

- Participação ativa do aluno: os alunos participam ativamente do processo de aprendizagem;

- A interatividade: as simulações promovem a interatividade dos alunos com o objeto de estudo e possivelmente com os colegas e professores;

- Motivação e desafio: os alunos podem se sentir mais motivados e desafiados, pois passam a ser agentes do processo de aprendizagem;

- Úteis na representação de eventos astronômicos e subatômicos: resolve problemas de escalas, permitindo uma exploração desses fenômenos;

- Úteis em problemas com escala temporal: permite a visualização e estudo de fenômenos em escala muito demorada, como a evolução de espécies, e de processos muito rápidos, como decaimentos de partículas;

- Pode transformar o que é intangível em tangível: pode representar casos que não são visíveis como o caso de linhas de campo de uma onda eletromagnética, distribuição de temperaturas em uma sala, bem como fenômenos de subatômicos abstratos;

- Controle de parâmetros: o grau de interatividade das simulações pode permitir que os alunos alterem parâmetros essenciais para a compreensão dos fenômenos simulados;

- Baixo custo e grande acessibilidade: permitem a realização de atividades que poderiam ser financeiramente impossíveis no cenário de sala de aula;

- Minimiza problemas com a falta de estrutura: muitos laboratórios podem não apresentar uma estrutura com variados experimentos, ou pode conter experimentos que precisam de manutenção. Dessa forma as simulações computacionais podem amenizar esses problemas;

- Exploração da Natureza da Ciência: as simulações podem proporcionar discussões a respeito da construção do conhecimento científico, como é o caso da simulação de experimentos históricos, que fornecem possibilidades de interação com experimentos que foram cruciais na história dos processos de construção dos conhecimentos científicos e que antes disso só podiam ser descritos por vídeos, imagens e textos.

Assim, as simulações computacionais constituem um recurso com potencialidade de trazer contribuições para o ensino e aprendizagem, uma vez que permitem a observação de situações virtuais e representação de fenômenos, cuja observação real por meio da experimentação se torna inviável ou impossível de acontecer. Além disso, possibilita uma mudança no papel desempenhado pelo aluno, pois as simulações exigem dele respostas e tomadas de decisões, contribuindo para que os alunos façam parte da construção de seu próprio conhecimento (FIGUEIRA, 2005). Características essas que convergem para as possibilidades das atividades investigativas (AZEVEDO, 2004; ZOMPERO; LABURÚ, 2011).

Essas vantagens oferecidas pelas simulações computacionais estão de acordo com algumas das teorias de aprendizagens discutidas atualmente, como Aprendizagem Significativa (AUSUBEL, 2003), Sociointeracionismo (VYGOTSKY, 2002), entre outras.

Nesse contexto vale ressaltar que conceber as tecnologias computacionais como recursos didáticos, na perspectiva da temática de ensino e aprendizagem, pressupõe a discussão a respeito da relevância das teorias que fundamentam o processo pedagógico. As pesquisas afirmam que, como qualquer outra ferramenta educacional, elas são dependentes da forma como são usadas. Nesse sentido, de acordo com Lara K. Smetana e Randy L. Bell (2012), a literatura enfatiza o papel do professor na orientação e apoio, bem como a relevância de abordagens educacionais planejadas e estruturadas de acordo com um referencial teórico adequado ao contexto de aplicação.

Além disso, é necessário chamar a atenção contra visões simplistas que veem no uso das novas tecnologias o princípio de renovações radicais do ensino e aprendizagem, contemplando a introdução da informática como uma solução aos problemas do ensino, como uma autêntica tendência inovadora

(PÉREZ, 1998). Esta pretensão esconde, mais uma vez, a suposição ingênua de que a transformação efetiva do ensino pode ser algo simples, resultado da receita adequada, como, neste caso, a “informatização” (CACHAPUZ *et al.*, 2001).

Dessa forma, não se pode deixar de lado algumas limitações das simulações computacionais, pois elas devem ser levadas em consideração no processo de ensino. As simulações não substituem a realidade, elas são resultado de modelos simplificados e não substituem a realização dos experimentos em laboratório, pois não conseguem abranger a complexidade de todas as variáveis de um experimento real (MEDEIROS; MEDEIROS, 2002; DORNELES; ARAÚJO; VEIT, 2012).

Isso ressalta a relevância da presença do professor, o qual precisa saber dessas simplificações e dos possíveis exageros dos efeitos apresentados e possibilitar que os alunos também tomem conhecimento dessas limitações. De maneira que essas limitações devem ser consideradas desde a escolha das simulações até seu uso em sala de aula (MEDEIROS; MEDEIROS, 2002).

Outra limitação é que nem sempre é evidente quando a realidade para de ser representada na simulação e dá lugar a um modelo simplificado. Além disso, é preciso estar atento aos limites de representação, quando um átomo é representado, é preciso deixar claro que não se trata de uma representação real. E infelizmente, não se trata de um recurso didático totalmente democrático, pois as pessoas com deficiência sensorial podem não se beneficiar totalmente delas.

Ao analisar as vantagens e desvantagens das simulações no Ensino de Física, percebe-se que o cenário é favorável à sua implementação em salas de aulas, uma vez que as limitações não diminuem os méritos das simulações enquanto recurso didático, dado que oportunizam a aprendizagem em um ambiente construtivista, então, o que falta para que isso seja realidade nas salas de aula?

De acordo com Leonardo A. Heidemann, Ives S. Araújo e Eliane A. Veit (2014), além dos aspectos relacionados com a infraestrutura das escolas e a capacitação dos professores, um dos fatores que influencia o uso, ou não uso, das simulações computacionais em sala de aula é o conhecimento teórico que os professores têm a respeito das potencialidades e limitações dessa alternativa.

Nesse contexto, José A. Valente (1997) considera que durante a formação acadêmica os futuros professores devem se deparar com vivências

utilizando as tecnologias de comunicação para o desenvolvimento de seus saberes e perceber a relevância dessas tecnologias no desenvolvimento do processo de ensino e de aprendizagem. As reflexões a respeito dessas vivências tendem a fazer o professor perceber as potencialidades das TICs para estruturar as suas noções de ensino, fundamentando sua futura prática docente.

Assim, deve-se preparar o futuro docente, teórico-metodologicamente, para agir por meio desses diversificados instrumentos, com a finalidade de proporcionar um ensino democrático, pois a aprendizagem é um fenômeno complexo e, portanto, exige estratégias e recursos múltiplos e variados.

De acordo com Sebastian Dormido (2003, p. 317),

Os educadores devem ter uma atitude aberta para as novas tecnologias. Eles devem, de forma sensata, incorporar novos desenvolvimentos tecnológicos para evitar o risco de ensinar a estudantes de hoje, a forma de resolver problemas de amanhã, com ferramentas de ontem.

Além disso, quando se trata de Aprendizagem Significativa, além dos conhecimentos prévios dos estudantes, outro fator relevante é que os materiais utilizados sejam potencialmente significativos. Dessa maneira, as atividades experimentais e as simulações computacionais podem ser exemplos de materiais potencialmente significativos. Além do mais, o uso deles pode permitir que os estudantes estejam predispostos a trabalhar de modo ativo, na busca de soluções para os problemas que lhes são propostos.

Com relação à interatividade promovida pelas simulações computacionais as atividades podem ser definidas, de acordo com Araújo, Veit e Moreira (2012), como exploratórias ou expressivas. As exploratórias são aquelas que se caracterizam pela observação, análise e interação do sujeito com os modelos já construídos, elas permitem a alteração de parâmetros que facilitam a interpretação dos fenômenos. Já as atividades expressivas são aquelas em que o usuário elabora os modelos computacionais a partir da configuração e ajuste de propriedades de macroelementos, ou seja, o aluno programa a própria simulação para facilitar o entendimento do fenômeno.

Nesta pesquisa, o uso das simulações computacionais se caracterizou como uma atividade exploratória, uma vez que elas foram previamente

programadas e os usuários fizeram uso por meio da exploração, testando suas hipóteses com a alteração de parâmetros.

Quando o foco é a aprendizagem dos alunos, deve-se levar em consideração a maneira como as simulações computacionais são planejadas, pois uma simulação computacional pode apresentar os mesmos resultados de uma aula tradicional, caso não seja planejada com os adequados fundamentos educacionais e computacionais. Assim, deve-se pensar a respeito da elaboração dessas simulações para que atinjam seus objetivos de ensino e aprendizagem.

3.2.2 Desenvolvimento de um ambiente virtual para o Ensino – simulações computacionais

Com a leitura de pesquisas científicas a respeito de simulações computacionais, percebe-se que pouco se discute a respeito do processo de elaboração de uma simulação computacional e em alguns casos não se especificam quais os objetivos pretendidos, em que teoria de aprendizagem estão fundamentados e se foram levadas em consideração princípios de usabilidade de *softwares*. Isso pode ser percebido com a leitura de pesquisas nessa área.

No que se refere às metodologias para elaboração de um *software* educacional, não há um método ou técnica específica para ser adotada. Na literatura existem variados modelos de elaboração que se adaptam aos objetivos de diferentes tipos de *softwares*, usuários e equipes desenvolvedoras.

De acordo com Squires e Preece (1996) e Tchounikine (2011), o termo “*Software* educacional” é usado para se referir a um *software* projetado especificamente para desenvolver atividades favoráveis a alcançar os objetivos pedagógicos, apoiar a aprendizagem e o ensino. Assim, alunos e professores podem ser beneficiados por essa alternativa que possibilita experiências novas e mais atrativas do que as oferecidas pelas abordagens tradicionais.

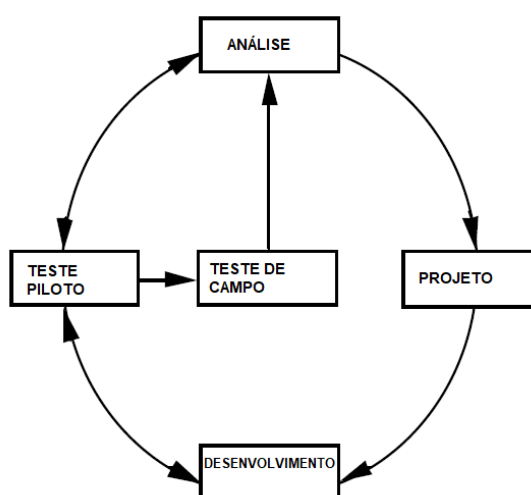
O processo de desenvolvimento de um *software* educacional se diferencia de outros pelo fato de que, durante sua elaboração, a maneira como os alunos aprendem e os fatores de usabilidade devem ser levados em consideração (SQUIRES; PREECE, 1996).

Embora não exista um método específico de desenvolvimento, de acordo com Galvis (1992), são preservados os passos ou etapas de um processo

sistemático para o desenvolvimento desses materiais (análise, projeto, desenvolvimento, teste e ajuste, implementação). No entanto, no caso de materiais educativos, é dada uma ênfase particular aos seguintes aspectos: a solidez da análise, como ponto de partida; o domínio de teorias substantivas a respeito da aprendizagem e comunicação humana, como base para a concepção de ambientes educativos informatizados; a avaliação permanente e sob critérios predefinidos, em todas as etapas do processo, como meio de melhoria contínua do material; a documentação adequada e detalhada do que é feito em cada estágio, como base para a manutenção que o material exigirá ao longo de sua vida útil (GALVIS, 1992).

De acordo com Galvis (1992), o ciclo de desenvolvimento de um *software* educacional pode ser dado pela representação da Figura 06.

Figura 6 – Representação do ciclo de desenvolvimento de um *software* educacional



Fonte: adaptada de Galvis (1992)

Convém ressaltar que esse é um dos ciclos propostos e que existem outros publicados na literatura, de acordo com as especificidades do *software* desenvolvido. A descrição desse ciclo, apresentada a seguir, é baseada no propositor desse ciclo, Galvis (1992).

A parte de análise consiste em estudar quais os problemas ou situações problemáticas que existem, suas causas e possíveis soluções e então determinar qual das soluções é aplicável e pode gerar os melhores resultados. Em outras palavras, significa identificar um problema ou desafio educacional e analisar

possíveis soluções que podem ser obtidas por meio da utilização de um *software* educacional, para, em seguida, desenvolvê-lo.

A etapa final da análise é a formação da equipe multidisciplinar que desenvolverá o *software* educacional.

Na etapa do projeto são definidas algumas características, relacionadas à análise efetuada. Nesse passo são definidos os conteúdos que serão abordados, o público-alvo, a adequação do conteúdo ao público-alvo, os conhecimentos prévios necessários ao usuário, os aspectos da teoria de aprendizagem que nortearão a elaboração do *software*, os objetivos que se espera que os usuários alcancem com ele, quais as condições em que o usuário poderá utilizá-lo, quais as especificações técnicas que ele vai possuir, como avaliar o aprendizado do usuário, como ocorrerá a comunicação do usuário com o *software*, que estrutura de dados é necessária para que ele funcione, recursos humanos e financeiros, equipamentos e *softwares* que serão utilizados, características da equipe desenvolvedora etc.

A fase final de um projeto consiste em elaborar um protótipo com base no que foi estabelecido e analisar se o que foi planejado é coerente com os objetivos a serem alcançados. Segundo Galvis (1992), a maneira mais elementar de fazer um protótipo é fazer esboços no papel de cada um dos ambientes que serão usados, definindo as capturas de tela que operacionalizam a estrutura lógica e as ações associadas aos eventos que podem ocorrer neles.

A partir do protótipo, já é possível começar o desenvolvimento do projeto. Independentemente da estratégia seguida para produzir o material, é essencial que o desenvolvedor tenha que programar, de maneira estruturada e legível, bem como documentar seu trabalho. Isso permitirá, quando necessário, fazer o uso adequado do *software* educacional e adaptá-lo às novas necessidades.

Para facilitar eventuais manutenções, é fundamental definir desde o início do desenvolvimento os critérios ou padrões a respeito de como nomear os procedimentos, arquivos, constantes e variáveis. Além disso, objetivando racionalizar e otimizar o esforço de programação, é conveniente que antes de iniciar a codificação, o desenvolvedor identifique quais procedimentos são de uso comum e se já existem nas bibliotecas como utilitários aplicáveis. Assim, pode-se reaproveitar códigos e estruturas, além de promover uma interface padronizada para os usuários.

Após essa padronização o desenvolvedor, ou desenvolvedores, poderá fazer a programação de cada módulo de forma estruturada, utilizando o ambiente de desenvolvimento escolhido, com base nos critérios estabelecidos na análise.

A fase de desenvolvimento não termina com a elaboração do *software* educacional, é preciso revisar, com base no projeto, se o que foi previsto foi implementado e se há necessidade de eventuais alterações.

Essa revisão pode ser feita, inicialmente, pela própria equipe. Mas é necessário que ao final ela passe pela avaliação de especialistas externos a elaboração do projeto, de preferência especialistas das diferentes áreas que compõem a elaboração do projeto. Esse processo de avaliação externa é necessário, pois, de acordo com Galvis (1992), um pai não acha o filho defeituoso. Dessa forma, a equipe pode não perceber erros ou alternativas mais eficientes.

Também se recomenda que esse teste seja feito com possíveis usuários desse *software*, pois eles são os únicos que podem decidir se esse recurso atingiu, ou não, os objetivos pretendidos.

Ao término do desenvolvimento, o processo passa pela fase do teste-piloto, no qual o *software* educacional é utilizado por uma amostra dos possíveis usuários desse material. Para realizá-lo adequadamente, é necessário preparar e administrar uma implementação didática, bem como analisar os resultados, a fim de obter evidências de que o *software* educacional está, ou não, cumprindo a missão para a qual foi desenvolvido.

Para simular um ambiente próximo das condições normais de utilização do *software*, o teste-piloto deve ser realizado em circunstâncias mais próximas possível do uso esperado do material: no momento em que o assunto deve ser estudado e com os recursos e limitações possíveis.

Normalmente, uma avaliação formativa procura estabelecer o quão eficaz e eficiente o *software* educacional é na perspectiva da aprendizagem, bem como quais deficiências são detectadas e interferem na aprendizagem. A eficácia está relacionada com o quanto os usuários aprendem usando o *software*, ou o quanto isso contribui para a aprendizagem, no contexto em que é utilizado. A eficiência pode ser entendida como quais recursos humanos, temporais, computacionais e organizacionais devem ser dedicados para atingir o nível esperado

de eficácia. Já as deficiências são os problemas ou elementos perfectíveis que, na opinião dos usuários, interferem na realização da aprendizagem.

De acordo com Galvis (1992), depois dessa etapa, de acordo com os resultados obtidos, pode-se abandonar o material devido aos resultados negativos, refazer o projeto, ou ajustar pequenos detalhes e disponibilizá-lo para o público-alvo e seguir para a próxima etapa que é denominada teste de campo, na qual é observado se o que foi notado no teste-piloto ainda prevalece. Essa fase vai além da disponibilização atualizada do *software*, ela requer que se propicie as condições necessárias para seu uso adequado.

Assim, encerra-se o ciclo de desenvolvimento do *software* educacional.

Outro fator pouco discutido na literatura, e que é fundamental para o desenvolvimento dos *softwares* educacionais, é o processo de interação entre os membros da equipe multidisciplinar. Como a elaboração de um *software* educacional, dependendo do nível de complexidade, depende de diferentes competências, por exemplo, de conteúdo, ensino, programação e *design*, faz-se necessária, na maioria dos casos, uma equipe multidisciplinar para a elaboração desses materiais.

Meurer (2008) defende que os professores deveriam ser responsáveis, também, pela elaboração de *softwares* educacionais, pois ninguém melhor que ele para saber a respeito da estrutura cognitiva de seus alunos. Dessa forma, há na literatura algumas plataformas de desenvolvimento de *softwares* educacionais, que não exigem um conhecimento aprofundado de programação e *design* (FIGUEIRA, 2005). No entanto, nem sempre a qualidade técnica e os fenômenos que se deseja explorar são fáceis de serem simulados sem os conhecimentos técnicos de programadores e *designers*.

Além disso, de acordo com Cataldi *et al.* (2003), existem poucas informações publicadas em linguagem de fácil acesso para docentes não especializados em capacidades técnicas de programação. Assim, uma das soluções é a colaboração de uma equipe multidisciplinar. Cataldi *et al.* (2003) sugerem que essa equipe seja dividida em quatro grupos, um de professores e especialistas em ensino para determinar os conteúdos e as teorias de aprendizagem (profissionais da área que se deseja elaborar o *software*), um de analistas e programadores

(profissionais que desenvolverão o *software*), coordenadores do projeto e uma equipe de *design* gráfico (COSTA, 2012).

Com relação à colaboração entre os membros da equipe, quanto maior o nível de colaboração, maiores são as possibilidades de obter melhores resultados, pois podem rentabilizar o trabalho com base no esforço e competências de cada elemento, identificar antecipadamente as inconsistências e falhas no decorrer do desenvolvimento, debater ideias e resolver problemas, além de facilitar o processo criativo, incrementando qualidade ao recurso desenvolvido (COSTA, 2012).

Essa diversidade de membros na equipe, em algumas ocasiões, pode significar que nem todos podem se reunir presencialmente para as reuniões de trabalho, por motivos que podem ser geográficos, de agenda, entre outros. Dessa maneira, as tarefas de desenvolvimento do *software* podem, também, ocorrer a distância. Isso leva à necessidade de ferramentas que permitam a interação entre os membros da equipe multidisciplinar, que podem ser chamados de *softwares* colaborativos. Um espaço *online* que disponibiliza um conjunto de ferramentas e materiais, que pode ser utilizado como um sistema de comunicação, espaços de compartilhamento de informação ou coordenação de processos, são exemplos de *softwares* colaborativos (COSTA, 2012).

Em uma equipe multidisciplinar, recentemente criada, a primeira preocupação é em relação às atribuições de cada elemento. De acordo com Torrezan e Behar (2016), é difícil encontrar uma metodologia de construção de materiais educacionais digitais, que envolva orientações técnicas, gráficas e pedagógicas. Isso pode sugerir a necessidade de integração de distintas metodologias, o que implica em complexidade para a prática da equipe desenvolvedora, de forma que um dos maiores desafios está na articulação entre as funções dos membros da equipe multidisciplinar.

Torrezan e Behar (2016) sugerem que essas dificuldades possam ser amenizadas com a identificação e setorização das atividades relacionadas a cada integrante da equipe. Elas apresentam um mapeamento, que será apresentado no Quadro 04, no qual são explicitadas algumas responsabilidades dos profissionais que compõem a equipe, para que possam desenvolver um processo metodológico interativo, colaborativo e focado.

Quadro 04 – Conhecimentos, habilidades e atitudes necessários à equipe técnica

Competências para a Construção de Materiais Educacionais Digitais (MED)			
Competências	Conhecimentos	Habilidades	Atitudes
Competência Geral			
Competência de Trabalho em Equipe	<ul style="list-style-type: none"> •Ética 	<ul style="list-style-type: none"> •Gerir equipe. •Interagir com outras áreas. •Fornecer e receber feedbacks •Adequar o projeto às necessidades das outras equipes. •Comprometer-se com resultados. •Ter iniciativa. •Encontrar-se aberto ao diálogo. •Saber negociar decisões. •Avaliar resultados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Comunicativo • Observador • Pesquisador • Criativo • Perseverante • Gerenciador • Administrador • Negociador • Organizado • Colaborativo • Flexível
Competência de Pesquisa	<ul style="list-style-type: none"> •Metodologia de pesquisa 	<ul style="list-style-type: none"> •Pesquisar elementos e materiais análogos que poderão auxiliar o planejamento e a execução do MED. •Ter iniciativa. •Listar requisitos/necessidades 	<ul style="list-style-type: none"> • Observador • Investigativo • Criativo
Competência do Design Pedagógico	<p><i>Todas as equipes</i></p> <ul style="list-style-type: none"> •Design pedagógico. <p><i>Equipe Pedagógica</i></p> <ul style="list-style-type: none"> •Educação por competências •Experiência estética. <p><i>Equipe Gráfica</i></p> <ul style="list-style-type: none"> •Interatividade homem-máquina. •Estética digital. •Arte interativa. •Experiência estética. <p><i>Equipe Técnica</i></p> <ul style="list-style-type: none"> •Interatividade homem-máquina. •Experiência estética. 	<p><i>Equipe Pedagógica</i></p> <ul style="list-style-type: none"> •Abordar o conteúdo na forma de práticas educacionais que possibilitem ao aluno a investigação do objeto de estudo por meio da elaboração de estratégias de ação e testagem de hipóteses. •Planejar dinâmicas pedagógicas que possibilitem ao aluno o desenvolvimento de conhecimentos, habilidades e atitudes. •Abordar a experiência estética em práticas educacionais. <p><i>Equipe Gráfica</i></p> <ul style="list-style-type: none"> •Integrar diferentes mídias. •Possibilitar interação entre aluno, professor e conteúdo por meio da interatividade das interfaces gráficas. <p><i>Equipe Técnica</i></p> <ul style="list-style-type: none"> •Programar o sistema de modo a disponibilizar uma interatividade usuário-MED baseada em feedbacks que apoiem a ação crítica e a testagem de hipóteses por parte do aluno. 	<ul style="list-style-type: none"> • Criativo • Comunicativo • Pesquisador
Competências Técnicas			
Competência de Navegação	<ul style="list-style-type: none"> •Usabilidade. •Acessibilidade. •Estilos de navegação. •Mapa do site. 	<ul style="list-style-type: none"> •Executar o projeto do MED. •Avaliar o protótipo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Criativo

Competência de Programação	<ul style="list-style-type: none"> ● Linguagem de programação informática. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Programar 	<ul style="list-style-type: none"> ● Criativo ● Pesquisador ● Perseverante ● Objetivo
Competências Gráficas			
Competência de Planejamento e Desenvolvimento do Material Digital	<ul style="list-style-type: none"> ● Metodologia de projeto. ● Softwares de edição gráfica. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Planejar e executar o processo de construção do material digital. ● Avaliar constantemente o processo e readequá-lo sempre que necessário. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Comunicativo ● Observador ● Gerenciador ● Administrador
Competência de Identidade Visual	<ul style="list-style-type: none"> ● Composição visual. ● Carga cognitiva. ● Ergonomia. ● Comunicação visual. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Integrar o planejamento visual ao objetivo pedagógico do MED. ● Realizar o planejamento gráfico do Material. ● Preparar elementos gráficos apropriados à(s) mídia(s) abordada(s). 	<ul style="list-style-type: none"> ● Comunicativo ● Criativo
Competências Pedagógicas			
Competência Didática	<ul style="list-style-type: none"> ● Comunicação Didática. ● Teorias do conhecimento. ● Planejamento Pedagógico. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Selecionar o conteúdo. ● Planejar a abordagem pedagógica do conteúdo. ● Planejar situações de aprendizagem em que o aluno possa atuar com uma postura autônoma e investigativa. ● Selecionar as mídias mais adequadas à abordagem do conteúdo. ● Definir estrutura de avaliação. ● Avaliar constantemente o processo e readequá-lo sempre que necessário. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Criativo ● Pesquisador ● Objetivo

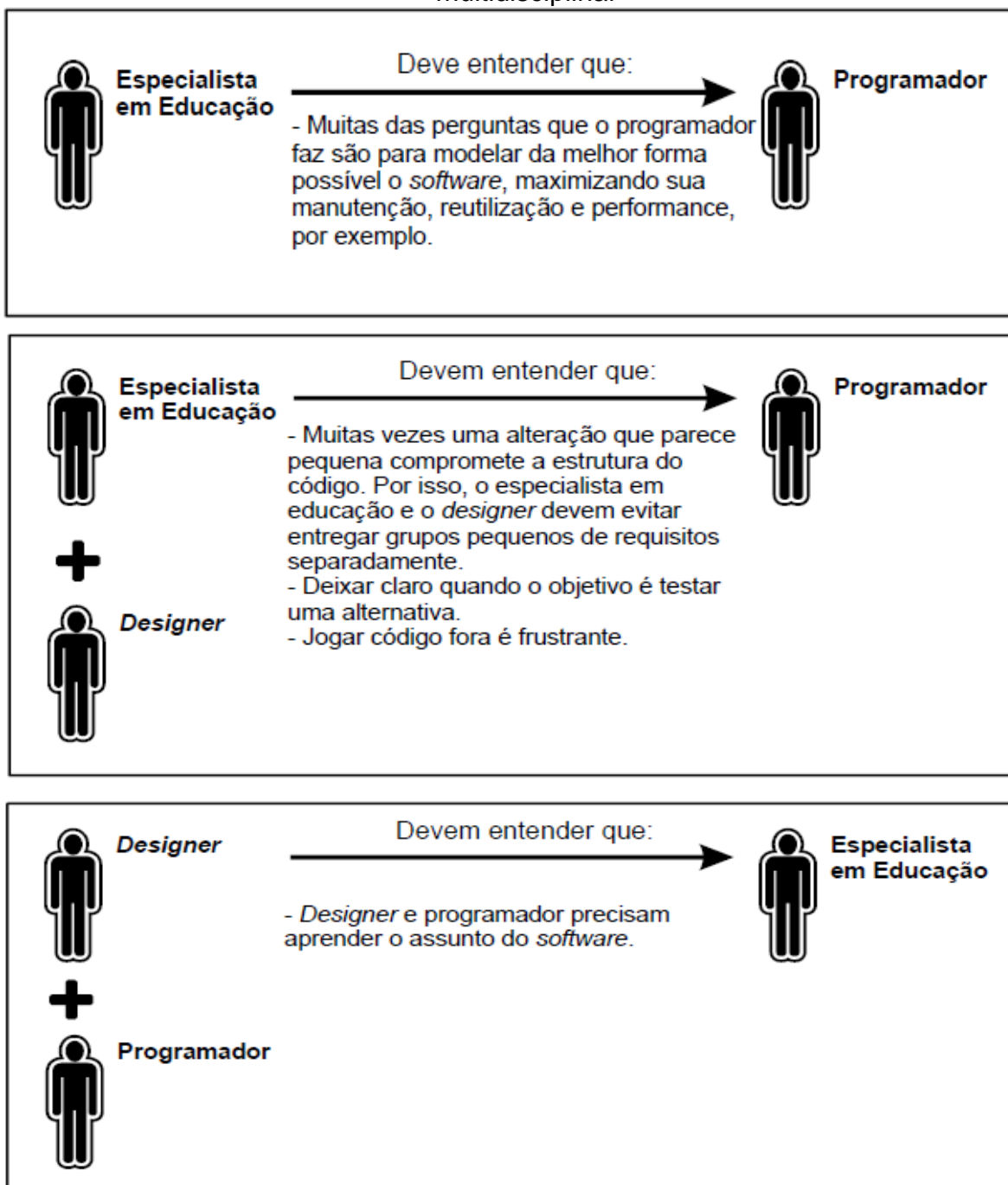
Fonte: Torrezan (2014, p. 148)

Torrezan e Behar (2016) destacam que essas competências são voltadas para as equipes desenvolvedoras e não há a necessidade de que uma única pessoa desenvolva todos os elementos identificados. É por meio da interação entre os integrantes que ocorrerá a troca de conhecimentos e o intercâmbio entre os referidos elementos de competências, assim como a articulação entre as diferentes funções de cada profissional.

Com relação às atribuições dos membros da equipe, Galvis (1992) indica que o desenvolvimento recairá sobre o especialista em informática, o programador, mas os outros membros têm a responsabilidade de analisar o que está sendo feito, com a finalidade de ajustar o que for necessário. O especialista, ou especialistas, em conteúdo e ensino tem a responsabilidade de fornecer as informações para o programador e *design*, com a finalidade de que ambos os requisitos sejam satisfeitos no *software* educacional.

Ainda em relação ao relacionamento entre os membros da equipe, Perry (2005) sugere um esquema para representação de algumas recomendações para os profissionais que compõem a equipe. Essas recomendações podem ser observadas na Figura 07.

Figura 07 – Recomendações para o relacionamento entre os membros da equipe multidisciplinar



Forte: Perry (2005, p. 64)

No decorrer do processo de desenvolvimento de um *software* educacional específico, como no caso de simulações computacionais de experimentos históricos, acredita-se que essas recomendações possam ser aprimoradas com a experiência de colaboração em equipe, bem como, outros profissionais podem fazer parte do processo.

Dentre os possíveis problemas que podem ser encontrados no desenvolvimento desse tipo de *software*, vários autores citam o item comunicação, pois em uma equipe com profissionais de diferentes áreas o vocabulário não é comum e pode ocorrer dificuldade em compreender a relevância dos objetivos dos demais especialistas para o projeto. Ainda são citados, entre as dificuldades, a falta de organização, mudança de requisitos, falta de documentação. Além disso, quando o projeto é desenvolvido em meio acadêmico, geralmente por alunos de graduação e pós-graduação, pode resultar na interrupção prematura do projeto, ou desistência de alguns membros (SPALTER; VAM DAM, 2003; COSTA, 2012; DALMON; BRANDÃO, 2013).

Nesta pesquisa as simulações foram desenvolvidas com a colaboração de uma equipe multidisciplinar e todo o processo de desenvolvimento, tanto das simulações como da abordagem didática, e da investigação científica em si, é descrito nos próximos dois capítulos, nos quais se apresentam os procedimentos teórico-metodológicos e empírico-metodológicos que nortearam o desenvolvimento deste trabalho.

4 PROCEDIMENTOS TEÓRICO-METODOLÓGICOS

Esta investigação caracteriza-se na perspectiva da pesquisa qualitativa de cunho interpretativo, conforme a caracterização de Bogdan e Biklen (1994), na qual geralmente o pesquisador frequenta os locais em que ocorrem os fenômenos nos quais está interessado.

As cinco principais características de uma investigação qualitativa, de acordo com Bogdan e Biklen (1994), podem ser resumidas a seguir:

1) A fonte direta dos dados é o ambiente natural, constituindo o investigador o instrumento principal, ou seja, os locais de estudo são frequentados para se levar em conta o contexto, sendo as ações melhor compreendidas se observadas em seu ambiente natural. Dessa forma, a pesquisadora desenvolveu a pesquisa no ambiente acadêmico frequentado pelos alunos e foi a principal interlocutora no processo de elaboração e aplicação da oficina de pesquisa.

2) Trata-se de uma investigação descritiva, os dados recolhidos não são trabalhados de forma analítica, assim, desde o início da investigação, todos os processos são detalhadamente descritos, entendendo a necessidade desse processo na pesquisa.

3) Os investigadores qualitativos interessam-se mais pelo processo do que simplesmente pelos resultados ou produtos, dessa forma, valoriza-se o processo que leva os indivíduos a apresentarem determinadas respostas, ao invés de valorizar somente as respostas.

4) Os investigadores tendem a analisar seus dados de forma indutiva, não se colhe dados tentando comprovar uma hipótese, são os dados que levarão à hipótese. Assim, mesmo trabalhando com hipóteses prévias, de acordo com um referencial teórico, entende-se que não se pode prever todas as ocorrências, dada a natureza dinâmica de uma investigação científica.

5) O significado é de importância vital, interessa saber como diferentes pessoas dão significado às coisas, como interpretam determinados fatos e por que os interpretam de tal forma. Assim, procurou-se deixar claro aos alunos que não se buscavam respostas certas ou erradas, e sim como eles davam significado aos conceitos estudados.

De acordo com Bogdan e Biklen (1994), não é uma regra que toda investigação qualitativa obedeça a todas essas características, no entanto, durante todo o processo desta investigação, buscou-se atender, na medida do possível, essas particularidades.

Neste capítulo serão apresentados os aportes teórico-metodológicos que nortearam a investigação. Dessa maneira, serão expostas as investigações teóricas que fundamentaram a elaboração da composição histórica, da abordagem didática, dos instrumentos de obtenção de dados e da análise dos dados. Em outras palavras, o objetivo deste capítulo consiste em apresentar o desenvolvimento teórico-metodológico que fundamentou o processo de investigação.

Assim, as próximas seções pretendem explicitar o que caracteriza uma composição histórica, apresentar a composição histórica da Unificação Eletrofraca, elaborada para a abordagem didática, e os aportes teóricos levados em consideração na elaboração das simulações computacionais dos experimentos históricos e da abordagem didática, bem como as unidades de análise dos dados oriundos dessa investigação.

4.1 COMPOSIÇÃO DE UMA ABORDAGEM HISTÓRICA

Ao justificar a relevância da contextualização no Ensino de Ciências, que pode ser obtida por meio de abordagens históricas, filosóficas e sociológicas, entre outras, não se pode ignorar a discussão a respeito da disponibilidade dessas abordagens para a formação e atuação profissional dos professores, pois eles não têm à disposição reconstruções histórico-epistemológicas a respeito dos variados assuntos das ciências, e algumas das reconstruções disponíveis foram elaboradas em outros idiomas, o que dificulta o acesso a essas alternativas.

Isso justifica a elaboração desses materiais nos programas de pós-graduação, no contexto educacional nacional, oferecendo a possibilidade, aos professores e estudantes, de consultar reconstruções histórico-epistemológicas que podem promover um ensino contextualizado, democrático e motivador.

Neste trabalho foi elaborada uma composição histórica a respeito da Unificação Eletrofraca, com objetivo de proporcionar, aos estudantes de Física e aos

professores que atuam em salas de aula, uma alternativa para abordar conceitos de Física Moderna por meio de uma Abordagem Histórica.

O termo composição histórica foi definido por Batista (2016), como uma construção textual que reúne elementos históricos e historiográficos, epistemológicos, axiológicos e científicos para a inteligibilidade de um conteúdo científico com objetivo pedagógico e de disseminação de conhecimentos histórico-epistemológicos. De acordo com a autora, o termo “composição” foi escolhido pelo seu significado “o modo pelo qual os elementos constituintes de um todo se dispõem e integram”, além disso ele possui a mesma tradução em inglês, espanhol e francês. O objetivo do processo metodológico de composição é elaborar uma abordagem histórico-epistemológica que explicita a epistemologia de um fenômeno ao longo de seu entendimento, ao mesmo tempo em que faz uma análise comparada problematizadora da explicação contemporânea e científica para esse mesmo fenômeno, usando possíveis paralelos e semelhanças entre episódios históricos e o raciocínio dos alunos na sala de aula. Assim os conceitos condutores dessa construção textual são a inteligibilidade, os valores cognitivos e a fidedignidade histórica da informação que será abordada (BATISTA, 2016).

Acredita-se que o desenvolvimento da composição textual pode contribuir com explicitações e aprofundamentos na integração da História e Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências e Educação Matemática, bem como pode agir como um instrumento frutífero para a formação de professores, seja ela inicial ou em serviço, os tornando capazes de propiciar uma transformação do senso comum para uma justificação científica, preparados para ensinar teorias científicas utilizando uma estrutura histórico-filosófica-cognitiva, aptos a desenvolverem estratégias didático-pedagógicas com enfoque histórico-filosófico, com uma argumentação que favoreça um ensino crítico e a autonomia intelectual, entre outras características que possam colaborar na construção do conhecimento desses profissionais (BATISTA, 2016; 2009).

Com base nesses argumentos, é apresentada a seguir uma composição histórica a respeito da unificação das Interações Eletromagnéticas e Fracas, que pode auxiliar os estudantes na compreensão de temas científicos que envolveram essa unificação, também pode ser utilizado, com as devidas adequações, como recurso didático nas aulas de Física, bem como alternativa de disseminação científica de temas relacionados à Física de Partículas.

4.1.1 Composição histórica da unificação eletrofraca

Ao estudar o desenvolvimento da Física, pode-se perceber que com o passar do tempo ela consegue unificar fenômenos que pareciam distintos. A unificação, na Física, representa uma maneira de compreender como fatos aparentemente diferentes podem ser interpretados como aspectos de um fenômeno fundamental (SALAM; DIRAC; HEISENBERG, 1991).

A seguir é descrita uma parte da primeira das lições proferidas em 1988 em memória de Paul Dirac, na qual Salam fala a respeito das unificações das interações fundamentais.

A primeira unificação, na Física, refere-se às leis que determinam os movimentos terrestres e celestes. Al-Biruni, de acordo com Salam (1991), foi o primeiro pensador a afirmar que os fenômenos físicos no Sol, na Terra e na Lua obedeciam às mesmas leis, por volta de 990 a.C. Essa mesma ideia foi afirmada e demonstrada por Galileu, em 1610, utilizando um telescópio para observar as sombras na Lua. Ele observou que as leis para o aparecimento de sombras na Lua eram as mesmas da Terra. Depois, em 1680, Newton estabeleceu que a força gravitacional terrestre, que faz com que objetos sejam atraídos para o centro da Terra, e a força gravitacional celeste, que faz com que os planetas se mantenham em movimento em torno do Sol, são as mesmas.

A próxima unificação, entre forças, deu-se 150 anos mais tarde, com as interações elétricas e magnéticas. Antes de 1820, essas forças eram vistas como distintas e Faraday e Ampère foram os primeiros a apresentá-las como aspectos de uma única interação, a Eletromagnética. Por exemplo, se observar um elétron parado pode-se perceber, colocando outro elétron nas proximidades, a presença de uma força elétrica repulsiva. No entanto, se colocar esse elétron em movimento pode-se observar a presença de uma força magnética. O que difere uma da outra é um fator ambiental determinado pela situação de repouso ou movimento desse elétron. Essa unificação promoveu a base da tecnologia das correntes elétricas, base dos motores elétricos que levaram à construção de estações de produção de eletricidade.

Maxwell, estudando o eletromagnetismo, sugeriu que se uma carga

elétrica fosse acelerada ela emitiria uma energia na forma de energia eletromagnética. Usando um dispositivo experimental, ele evidenciou que a velocidade da radiação eletromagnética poderia ser expressa em termos de duas constantes que descreviam as propriedades elétricas e magnéticas do vácuo, como ele havia predito teoricamente. Essa foi uma evidência indireta da unificação do Eletromagnetismo e da Óptica, a evidência direta da radiação eletromagnética produzida por cargas aceleradas foi obtida, dez anos após a morte de Maxwell, por Hertz. Essa unificação tornou-se a base da tecnologia do século XX, com o rádio, televisão, raios-X, entre outros.

Outro personagem relevante nas unificações da Física foi Einstein. Com a Teoria da Relatividade Restrita, em 1905, ele relacionou tempo e espaço em uma equação da dilatação do tempo, que indica que um corpo vive mais tempo, do ponto de vista de um observador em repouso, quando se desloca com uma velocidade próxima à velocidade da luz. Outra consequência desse trabalho é a relação entre massa e energia. Em 1915, na Teoria da Relatividade Geral, Einstein geometrizou a física de forma que a gravidade seria determinada pela curvatura do espaço e do tempo, ou seja, o efeito da interação gravitacional é provocado pela curvatura do espaço-tempo gerada nas proximidades de corpos massivos. Embora a ideia fosse original na época, essa interpretação de Einstein já tinha incomodado Gauss, cerca de 100 anos antes. Gauss também havia pensado que o espaço poderia ser curvo e chegou a fazer um experimento para testar sua hipótese, porém como tratou de distâncias na ordem de quilômetros não foi possível obter resultados que validassem sua hipótese (SALAM, 1991).

Os próximos passos foram dados pelo astrofísico Friedmann, que sugeriu, com base nas teorias de Einstein, que o universo estaria em expansão. Ao investigar essas hipóteses, Hubble realizou experimentos que evidenciaram que as galáxias distantes estão se afastando aos poucos, como previsto teoricamente.

Apesar dos sucessos da Teoria da Relatividade Geral e da explicação da gravidade como curvatura do espaço-tempo, Einstein se interrogava a respeito de uma possível ligação entre as interações eletromagnética e gravitacional, uma vez que elas apresentam uma simetria, obedecem à mesma lei do inverso do quadrado, embora suas intensidades, comparadas às mesmas distâncias, sejam diferentes. Faraday, em 1849, também procurou por uma relação entre essas

interações em experimentos, não obtendo sucesso. A unificação da Relatividade Geral e do Eletromagnetismo foi uma das ambições teóricas de Einstein. Ele dedicou anos de pesquisa nesse questionamento e ao final não obteve resultados bem-sucedidos. Isso levou alguns cientistas, como Dirac, a pensarem que não era possível a unificação das forças fundamentais (SALAM, 1991).

Também vale ressaltar a tentativa de Kaluza e Klein, que propuseram um espaço-tempo com cinco dimensões com a finalidade de unificar a Gravidade e o Eletromagnetismo. Essa quinta dimensão deveria ser muito fina, comprimida da ordem de 10^{-33} cm, denominado comprimento de Planck⁵. Kaluza escreveu um artigo a respeito de sua proposta e antes de encaminhar para publicação enviou para Einstein, o que provocou um atraso de dois anos na publicação. No entanto, Kaluza não deu continuidade à sua pesquisa nessa área, e a ideia de dimensões do espaço-tempo adicionais não foi tomada como hipótese por outros pesquisadores daquela época. No entanto, atualmente, foi retomada a ideia de múltiplas dimensões na teoria das supercordas, que sugere a existência de dez dimensões, de modo a acomodar todas as forças fundamentais em uma única força fundamental (SALAM, 1991).

Em termos de unificação, para Morrison (2000) uma teoria unificada é simplesmente uma teoria que explica vários fenômenos diferentes usando as mesmas leis. Os exemplos de teorias unificadas que devemos considerar têm duas características comuns: (1) incorporam uma estrutura matemática dos fenômenos, que fornece um quadro abstrato e geral capaz de unir diversos fenômenos sob uma única teoria; (2) essa estrutura, geralmente, contém um parâmetro, quantidade ou conceito teórico que “representa” o mecanismo unificador – ou seja, um parâmetro que funciona como peça necessária da estrutura teórica que facilita ou representa a unificação de fenômenos distintos.

Nos exemplos de unificação, distingue-se dois tipos diferentes de unidade: unidade redutora, na qual dois fenômenos são identificados como sendo do mesmo tipo (processos eletromagnéticos e ópticos); unidade sintética, que envolve a integração de dois processos ou fenômenos distintos em uma teoria, como é o caso da unificação das interações eletromagnéticas e fraca (MORRISON, 2000). No

⁵ O comprimento de Planck corresponde à escala de comprimento em que a gravidade deve ser tratada quanticamente, em outras palavras, a escala em que ocorreria a unificação final (SALAM; HEISENBERG; DIRAC, 1993).

decorrer do desenvolvimento do processo de unificação essas características serão exemplificadas.

As interações eletromagnéticas e gravitacionais eram discutidas por serem as únicas interações conhecidas até o início do século XX. As interações fraca e forte foram conhecidas no decorrer daquele século.

Ao final do século XIX, com a observação dos primeiros fenômenos relacionados à radioatividade, criou-se um novo campo de pesquisa na Física que proporcionou um acesso a conhecimentos a respeito da constituição e propriedades fundamentais da matéria (BATISTA, 1999).

Em 1898, Rutherford já havia distinguido dois dos tipos de radiação, Alfa e Beta, e em 1900 já estava estabelecido que as partículas Beta eram elétrons provenientes dos núcleos atômicos instáveis (BATISTA, 1999). Porém, havia algo instigando os pesquisadores. No processo de decaimento beta, o produto do decaimento não apresentava a mesma quantidade de energia do núcleo original.

Mediante esse problema, alguns cientistas cogitaram a ideia da violação do princípio da conservação de energia, enquanto outros defendiam o surgimento de uma nova partícula, hoje conhecida como neutrino. Pauli foi quem, primeiro, propôs essa hipótese e foi Fermi que elaborou uma teoria para a explicação desse fenômeno.

Fermi, em uma tentativa de explicar o decaimento beta em 1933, apresentou uma teoria⁶ chamada Interação Fermi, que introduzia a produção de neutrinos e na qual surgiam as primeiras noções a respeito da interação fraca (BATISTA, 2005).

Essa teoria tinha como objetivo explicar o que ocorria no decaimento beta e como a interação que provocava esses decaimentos se comportava. Fermi assumiu a existência do neutrino, proposto por Pauli, e admitiu que o núcleo continha apenas prótons e nêutrons e que o elétron e o neutrino (na época não se sabia que se tratava do antineutrino) foram criados no instante do decaimento. Em analogia com a teoria eletromagnética, e porque seus cálculos estavam de acordo com experimentos, ele escolheu usar apenas a forma vetorial (V) da interação.

A recepção a essa teoria ocorreu de duas maneiras, a positiva, na

⁶ Salienta-se que em Batista (1999), a “teoria” de Fermi é interpretada como uma proto-teoria, uma vez que mostrou originalidade, força e eficácia, mas também deficiências e limitações que foram corrigidas com o desenvolvimento teórico da Física.

qual procurava-se aprofundar os estudos do decaimento beta e expandi-la para explicação de outros fenômenos e a negativa, na qual colocavam-se dúvidas a respeito da nova partícula proposta e da abordagem teórica (BATISTA, 1999).

Dentre os estudos que aceitaram a proposta de Fermi, Heisenberg, em 1934, propôs que o par elétron-neutrino seria o responsável pela interação entre os núcleons, e investiu na possibilidade de a Teoria de Fermi ser utilizada como uma teoria universal das interações nucleares fortes. Mais tarde, Yukawa proporia uma teoria concorrente à proposta de Heisenberg, também para explicar as interações nucleares.

Estudos tentaram mostrar algumas falhas na Teoria de Fermi, como o caso do trabalho de Konopinski e Uhlenbeck. Porém, na tentativa de resolver uma falha cometeram erros e a Teoria de Fermi permaneceu em seu modo original por mais de vinte anos e foi aperfeiçoada, mais tarde, por Sudarshan, Marshak, Lee, Yang, Feynman, Gell-Mann e outros cientistas contemporâneos, na década de 1950, estendendo seu campo de aplicação (BATISTA, 1999).

A Interação Fraca é responsável pela desintegração radioativa e pela fusão nuclear de partículas subatômicas, por exemplo, ela desempenha um papel decisivo na produção de energia pelo Sol, no qual a fusão de hidrogênios produz deutério e hélio liberando a energia que alimenta o processo termonuclear do Sol. Além disso, é ela que ajuda a transmutar os elementos para construir a riqueza da tabela periódica. Essa interação é chamada assim porque é 10^5 vezes menos intensa que a interação eletromagnética e seu alcance não passa de 10^{-16} cm, que é menor que o alcance da interação forte, por um fator de 1000 (SALAM, 1991).

Já em relação à Interação Forte, embora ela não tenha sido formalizada na época, foi proposta em uma teoria elaborada por Yukawa em 1935, para explicar a coesão do núcleo atômico. No início Yukawa pretendia explicar todas as interações nucleares por meio dessa teoria. Mais tarde, Bethe (1940) e Bethe e Nordheim (1940) mostraram que isso não era possível (BATISTA, 1999).

É a interação forte que mantém o núcleo unido, evitando que os prótons destruam o núcleo por repulsão eletromagnética. Assim, é uma das forças responsáveis pela existência da matéria como se conhece, sem ela os nêutrons e prótons não se manteriam coesos no núcleo e, conseqüentemente, impossibilitando a formação dos átomos constituintes da matéria.

A interação forte foi, finalmente, formalizada, independentemente, por Politzer e Gross e Wilczek em 1973, com a teoria da Cromodinâmica Quântica, que é uma teoria capaz de explicar os fenômenos nucleares (BASSALO, 1994). O intervalo entre esses episódios teóricos foi marcado por discussões que possibilitaram um entendimento mais aprofundado a respeito da interação fraca e a aplicação da Teoria de Fermi.

Yukawa, em 1935, tinha proposto a existência de uma partícula que faria a mediação das interações nucleares e em 1937 os físicos Neddermeyer e Anderson, trabalhando com as câmaras de Wilson ao nível do mar, observaram uma partícula, chamada de méson e mais tarde de múon, que tinha uma massa com valor intermediário entre os valores de massa do elétron e do próton, cerca de 200 vezes maior que a massa do elétron, que se encaixava nas previsões teóricas de Yukawa (ABDALLA, 2006). No entanto, na época, devido à guerra, reduziram-se as atividades experimentais e o Japão ficou isolado do Ocidente, dessa forma os físicos que estavam trabalhando com raios cósmicos não sabiam da proposta de Yukawa, que só ficou conhecida no Ocidente após dois anos de sua publicação no Japão (BATISTA, 1999).

Os físicos japoneses vibraram com as evidências dessa partícula. Entretanto, começaram a perceber alguns pontos que não se encaixavam, como por exemplo, a vida média do méson era excessivamente alta e raramente interagia com o núcleo. Um dos indícios disso é o fato de que eram observadas ao nível do mar e até em túneis subterrâneos (SEGRÈ, 1987).

Foram os físicos italianos Conversi, Pancini e Piccioni que observaram que os mésons positivos e negativos se comportavam de forma diferente. Os positivos decaíam como se estivessem no vácuo e os negativos se detidos por núcleos pesados eram capturados e produziam desintegrações, mas se capturados por núcleos leves decaíam como se estivessem no vácuo, e esse não era o comportamento esperado da partícula de Yukawa (SEGRÈ, 1987).

Ao analisar esses resultados em 1947, Pontecorvo fez uma analogia entre o comportamento dos mésons e o decaimento beta e disso propôs que parte desse comportamento e o decaimento beta eram devidos à interação fraca. Essa ideia foi assumida por outros pesquisadores, entre eles Lee *et al.* (1949), que trabalharam em aprimorações no entendimento da interação fraca (BATISTA, 1999),

como será visto adiante.

A Teoria de Fermi conseguia explicar o comportamento dos mésons, enquanto a teoria de Yukawa não explicava a origem desses elementos, uma vez que eles não eram as partículas previstas teoricamente por Yukawa. Essa extensão da Teoria de Fermi foi o primeiro passo para a chamada Teoria Universal de Fermi, que em 1955 ficou conhecida como interação fraca.

Outro fator que contribuiu para a extensão do campo de aplicação das ideias de Fermi, foi a evidência das partículas estranhas e suas desintegrações. Essas partículas foram observadas pela primeira vez na década de 1950, devido ao desenvolvimento da técnica de emulsões sensíveis e utilização de aceleradores mais sofisticados. As partículas estranhas tinham uma característica em comum, eram produzidas em abundância e em um curto intervalo de tempo, já para decaírem em partículas carregadas o processo era mais lento. A única explicação para o fenômeno era que a produção e o decaimento das mesmas eram regidos por processos físicos diferentes (BATISTA, 2005).

A produção abundante dessas partículas podia ser explicada pela interação forte, mas não o seu lento decaimento. Este era explicado pelas interações fracas. Hoje se sabe que as partículas estranhas são produzidas pela interação forte e seus decaimentos regidos pela interação fraca (BATISTA, 1999).

Paralelo a essa sistematização de conhecimentos a respeito dessas partículas estranhas, outro problema precisava de respostas. Duas novas partículas θ e τ , com massas e tempo de vida parecidos, eram tidas como produto do decaimento da partícula K, hoje denominada Káon. No entanto, ao observar os valores de paridade para o decaimento dessas partículas, os valores eram diferentes. O que, na época, não era permitido teoricamente.

Na Física, o conceito de paridade está relacionado ao conceito de simetria. Na Matemática, a simetria de um corpo está relacionada com a totalidade de deslocamentos, conhecidos como transformações de simetria, que o mesmo sofre, com a finalidade de coincidir com ele mesmo no tempo e no espaço (BATISTA, 2005).

Na Física Quântica, mais especificamente na Física de Partículas, ao falar de simetria relaciona-se o conceito de paridade, que tem o significado de um princípio teórico. Por exemplo, suponha que a função de onda $\psi(x, y, z)$ defina o

movimento de uma partícula elementar. Ao se realizar uma reflexão de coordenadas, ou seja, inverter os sinais das coordenadas, isso vai gerar uma nova função ψ' (-x, -y, -z). Quando não ocorre mudança de sinal na função ψ' , diz-se que a paridade é positiva, ou seja, o estado de paridade de um sistema de partículas é o mesmo antes e depois, caso contrário, a paridade é tida como negativa (FRANKLIN, 1986; 1990). Convém ressaltar que a paridade de um grupo de partículas é dada pelo produto das paridades das partículas individuais e não pela soma (BATISTA, 1999).

Essa transformação de coordenadas é chamada de transformação de paridade. É equivalente a uma reflexão de espelho seguida por uma rotação de 180° paralela ao espelho. Se um processo físico procede exatamente da mesma maneira quando submetido a uma inversão de coordenadas, a paridade é dita ser conservada, caso contrário a paridade não é conservada (FORMAN, 1982).

A lei de conservação da paridade foi considerada, por um longo tempo, válida tanto para as interações fortes quanto para as fracas. No entanto, em 1956 surgiu um caso no qual a conservação da paridade começou a ser questionada para as interações fracas.

Em estudos a respeito do " Θ - τ puzzle", Lee e Yang se depararam com uma situação enigmática: entre 1952 e 1953 foram evidenciadas duas partículas, aparentemente iguais, mesma massa e mesmo tempo de vida, que apresentavam decaimentos diferentes. O méson theta decaía em dois píons, enquanto o méson tau decaía em três píons. Isso conferia uma paridade positiva para o méson theta e uma paridade negativa para o méson tau, o que não era permitido pela conservação da paridade. Nesse momento, ou os físicos acreditavam que eram duas partículas iguais e assumiam a quebra da conservação da paridade, ou assumiam que se tratava de partículas diferentes (LEE, YANG, 1956).

Assumir a quebra de paridade não pareceu, para a maioria dos físicos da época, uma alternativa frutuosa. No entanto, alguns físicos não abandonaram a ideia de violação da conservação da paridade.

Em abril de 1956, alunos da Sexta Conferência Rochester começaram a expressar suas dúvidas em relação à validade universal da paridade. Intrigados com esse questionamento, Lee e Yang começaram imediatamente uma investigação sistemática do estado de conhecimento experimental a respeito da conservação da paridade e foram surpreendidos com o fato de que não haviam

testes experimentais que validassem a conservação da paridade em interações fracas (LEE; YANG, 1956). O que tinha na literatura era uma hipótese extrapolada das interações fortes e eletromagnéticas e nenhuma investigação que validasse essa hipótese (WU, 1996).

Ou seja, ficou claro que as experiências existentes indicavam a conservação da paridade em interações fortes e eletromagnéticas, com um alto grau de precisão, mas que para as interações fracas a conservação da paridade era, até o momento, apenas uma hipótese extrapolada não suportada por evidências experimentais (LEE; YANG, 1956).

De acordo com Lee e Yang (1956), o “quebra-cabeça Θ -t” poderia ser uma evidência da quebra de paridade nas interações fracas, mas isso não era para ser levado a sério devido à escassez dos conhecimentos a respeito da natureza das partículas estranhas, que tinham até então. Entretanto, constituía um incentivo para o exame da questão da conservação da paridade nas interações fracas.

Para decidir inequivocamente a respeito da conservação, ou não, da paridade nessas interações, era necessário realizar testes. Isso levou os autores a proporem quatro novos experimentos que pudessem elucidar essa questão (BATISTA, 2005): Medida da distribuição angular dos elétrons originados por decaimentos β , a partir de núcleos orientados; Medida da distribuição angular dos elétrons originados no decaimento de múons polarizados; Análise da polarização longitudinal (helicidade⁷) de múons produzidos pelo decaimento de píons; Análise da polarização circular de raios γ em experimentos de correlação $\beta - \gamma$.

Esses experimentos remetem à procura de uma correlação entre a direção e o sentido do spin de uma partícula com a direção do momento linear de partículas de um decaimento. Na época o primeiro e o terceiro experimentos só poderiam ser realizados em laboratórios altamente especializados e o quarto experimento era considerado impraticável pelos autores.

Assim como em casos anteriores, da proposta da quebra de uma lei

⁷ A helicidade é o produto escalar do spin e do momento linear, dividido pelo produto do módulo dessas grandezas, em outras palavras pode-se definir a helicidade como a projeção do spin ao longo do momento, se projeção tem o mesmo sentido do momento, o vetor spin é paralelo à direção do seu momento linear, a helicidade é positiva e o spin tem orientação rotacional no sentido horário, se tem sentido contrário, o vetor spin é antiparalelo ao seu momento linear, a helicidade é negativa e o spin tem orientação rotacional no sentido anti-horário (BATISTA, 2005).

de conservação, a proposta de Lee e Yang foi recebida com ceticismo e rejeição, o que justifica o fato de poucos laboratórios se empenharem nesses testes experimentais. Até mesmo os próprios autores da ideia chegaram a publicar um artigo, logo após a proposta da quebra de paridade, no qual assumiam a conservação da paridade. O que leva a cogitar que nem eles estavam convictos dessa ideia ou estavam se protegendo da crítica dos ortodoxos (BATISTA, 2005).

Quem também estudava um problema semelhante era o físico brasileiro, Tiomno. Em 1950, ele defendeu sua Tese de Doutorado na Universidade de Princeton, sob a orientação de Wigner, na qual tratou da teoria dos neutrinos e a dupla desintegração beta. Nessa Tese, Tiomno apresentou novas ideias envolvendo o operador de projeção⁸. No entanto, entre as combinações possíveis envolvendo esse operador, Tiomno descartou uma combinação por ela violar o princípio da conservação da paridade. Contudo, foi justamente essa combinação a considerada por Lee e Yang, em seus trabalhos de 1956 (BASSALO, 1994).

Na época era impensável que alguém questionasse a validade das simetrias espaciais, de carga e de tempo. Chien-Shiung Wu, pesquisadora experimental e líder de pesquisa em Física de Partículas, comentou, em um trabalho publicado, que mesmo depois dela e seus colaboradores terem evidenciado a violação da paridade, ela recebeu uma carta de Pauli, na qual descrevia acreditar que os resultados não iriam mostrar a violação da paridade. Feynman chegou a apostar abertamente que a paridade seria conservada no decaimento proposto para ser explorado experimentalmente (WU, 1996).

Em pesquisas de Cox e colaboradores em 1928 e Chase em 1930⁹, a respeito da polarização intrínseca de elétrons do decaimento β , já se tinha indícios da violação de simetria por reflexão, embora na época não tivessem chegado à essa conclusão. Esses experimentos foram lembrados, anos mais tarde, depois que a violação da paridade já estava estabelecida (FRANKLIN, 1986; 1990; BATISTA, 2005).

Lee e Yang não encontraram os trabalhos de Cox e colaboradores e

⁸ Em Mecânica Quântica, um operador é uma entidade matemática que serve para representar grandezas físicas. Aplicado sobre a função de onda, ou vetor de estado, ele fornece, por meio da equação de onda, os valores efetivos dessas quantidades. Um operador de projeção define que todo vetor de estado pode ser decomposto na soma de dois vetores ortogonais (BATISTA, 1999).

⁹ Cox, R. T. *et al.* Apparent evidence of polarization in a beam of β -rays. Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 14, 1928. CHASE. C. T. The scattering of fast electrons by metal II. Polarization by double scattering at right angle. Phys. Rev, 36, 1930 (FRANKLIN, 1986).

Chase, que já poderiam ter dado algumas evidências da violação da paridade. Isso ocorreu porque Lee e Yang estavam procurando por experimentos que estudavam o decaimento beta e as interações fracas. Enquanto os experimentos de 1928 e 1930 estavam investigando a dispersão de elétrons (FRANKLIN, 1986; 1990).

Assim, o primeiro teste experimental que evidenciou a quebra da conservação da paridade foi desenvolvido pela física Wu e sua equipe no NBS (*National Bureau of Standards*), em Columbia, Estados Unidos.

4.1.1.1 Comportamento da paridade nas interações fracas

Wu, após uma conversa com Lee, na qual discutiram avanços nos experimentos relacionados ao decaimento beta e à conservação da paridade, começou a investigar a questão da paridade no decaimento beta. Nessa conversa Wu perguntou a respeito dos métodos indicados para um possível teste. Lee comentou que havia sugestões de utilização de núcleos polarizados produzidos em reações nucleares ou usar um feixe de nêutrons lentos polarizados por meio de um reator. Wu analisou as ideias e sugeriu que seria mais eficiente utilizar núcleos de cobalto $^{60}_{27}\text{Co}$ polarizados pelo método de desmagnetização adiabática (HAMMOND, 2010).

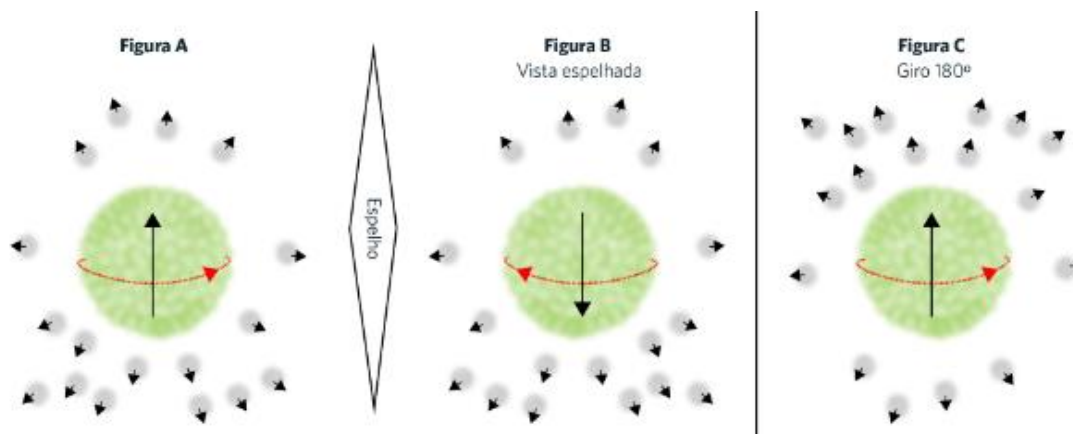
O processo de decaimento é o seguinte:
 $^{60}_{27}\text{Co} \rightarrow ^{60}_{28}\text{Ni} + e^{-} + \bar{\nu}_e + 2\gamma$, um dos nêutrons do núcleo do cobalto decai para um próton por emissão de um elétron (e^{-} , partícula beta) e seu antineutrino ($\bar{\nu}_e$), transformando-se em um núcleo de Níquel ($^{60}_{28}\text{Ni}$), que por sua vez decai para seu estado fundamental com a emissão de dois raios gama (2γ , fótons).

Para entender a ideia do experimento imagine o seguinte: todos os prótons do núcleo têm momentos magnéticos, o que significa que eles podem atuar como um conjunto de minúsculos ímãs. Assim, se forem colocados num campo magnético, os núcleos podem alinhar-se, da mesma maneira que um conjunto de ímãs faria. Se considerar o momento magnético resultante como uma rotação, sabe-se que, a partir da discussão a respeito de paridade, em um espelho a rotação apareceria na direção oposta à direção de rotação do núcleo original (HAMMOND, 2010).

Assim, a ideia do experimento foi alinhar os spins nucleares em duas direções, para cima e para baixo. Uma delas corresponderia à imagem real, e a outra corresponderia à imagem espelhada. Se a paridade fosse conservada, então, as partículas emitidas deveriam surgir em iguais quantidades tanto para cima quanto para baixo. Se não, no espelho, onde a rotação é invertida, o que se observaria seria diferente. E, se isso acontecesse a paridade não seria conservada. Na Figura 08 representa-se um núcleo e partículas beta (elétrons) sendo emitidas. A sequência de figuras 8A, 8B e 8C representam um caso de transformação de paridade e o que se espera, caso a paridade se conserve.

Na Figura 8A, um núcleo gira no sentido anti-horário e tem o sentido de seu eixo de rotação para cima. Agora, imagine essa imagem espelhada, com isso o sentido do giro inverte e conseqüentemente o sentido do eixo de rotação também é alterado (Figura 8B). O próximo passo é girar a imagem espelhada em 180° , assim o sentido do giro e do eixo de rotação voltam ao quadro original (Figura 8C). Isso completa uma transformação de paridade, como descrito em Paul Forman (1982).

Figura 08 – Representação de uma transformação de paridade.



Fonte: a própria autora

Ao analisar as imagens A e C, pode-se interpretar que o esperado é que o número de emissão de partículas, durante o decaimento, seja igual, tanto na direção do eixo de rotação, quanto na direção oposta. Isso representaria a conservação da paridade, uma vez que, quando o número de emissões é uniforme em todas as direções, os decaimentos com alinhamento para cima e para baixo seriam indistinguíveis.

De acordo com Wu (1996), a conservação de paridade afirma que nenhuma nova lei física deve resultar da construção de um sistema que seja diferente do original por ser uma imagem espelhada. Ou seja, não existe uma distinção absoluta entre um objeto real e sua imagem espelhada, os dois sistemas deveriam obedecer às mesmas leis físicas.

Em outras palavras, duas partículas radioativas semelhantes que giram em sentidos opostos, em torno do mesmo eixo, devem emitir a mesma intensidade de radioatividade em qualquer direção dada.

Foi isso que os cientistas procuraram estudar no experimento. Alinharam os átomos em duas direções, para cima e para baixo, e observaram o número de emissões nos dois casos.

Como Wu pretendia trabalhar com o alinhamento dos prótons de núcleos de cobalto, ao iniciar as investigações, ela já sabia que precisaria trabalhar com baixas temperaturas, pois a energia térmica dos átomos de cobalto é demasiadamente alta, o que destruiria o alinhamento. A partir de previsões teóricas, Wu chegou à conclusão que precisaria de uma temperatura de aproximadamente 0,01K. No entanto, ela não dominava as técnicas de alinhamento a baixas temperaturas. Isso acabou envolvendo outros cientistas na investigação (WU, 1996; HAMMOND, 2010).

O experimento exigia a combinação de duas técnicas experimentais sofisticadas, que nunca tinham sido combinadas antes. A “espectroscopia beta”, que consistia na observação precisa dos elétrons de alta velocidade emitidos por núcleos radioativos, e a “criogenia”, que tratava da produção das temperaturas mais baixas atingíveis.

Para realizar algum dos experimentos propostos por Lee e Yang era necessário que os núcleos fossem fortemente orientados em uma direção específica. Essa técnica foi eficientemente desenvolvida nos laboratórios pioneiros em baixas temperaturas de Oxford e Leyden. No entanto, nesses laboratórios não foi percebida a relevância da técnica para os experimentos propostos por Lee e Yang (BATISTA, 2005).

Isso não aconteceu no laboratório NBS, no qual Wu trabalhava, pois já haviam expectativas em relação a essas técnicas. Esse fato levou Wu a convidar Amber, um dos pesquisadores desses laboratórios, que havia se mudado para o

Laboratório de Baixas Temperaturas no NBS de Washington, para integrar a equipe (WU, 1996).

Ele aceitou a proposta, já que tinha feito sua tese de doutorado a respeito do alinhamento do núcleo de cobalto. Outros experimentalistas, Hudson, com experiência em criogenia, e Hayward e Hoppes, com experiência em detecção de radiação juntaram-se ao grupo e começaram os testes (LESOV, 2009).

O experimento foi arriscado, porque havia muitas questões que não puderam ser respondidas, e não se tinha certeza se a experiência poderia ser executada. Afinal, caso fosse uma experiência fácil, alguém já teria tentado (HAMMOND, 2010).

Para realizar o experimento alguns desafios foram enfrentados: o primeiro foi obter uma maneira de polarização eficiente, uma vez que para isso era necessário que a temperatura da amostra fosse da ordem de 0,01K. O segundo desafio consistia no fato que o processo precisava ser feito em um equipamento que permitisse um isolamento térmico suficiente para realizar as medidas. E o terceiro desafio foi desenvolver um método para detecção das partículas beta na presença de baixas temperaturas e de um campo magnético alto. Isso levou a perguntas tais como: Como contar os elétrons¹⁰? Onde colocar os detectores? Qual o efeito do campo magnético? (WU *et al.*, 1957; WU, 1996, HAMMOND, 2010).

O primeiro dos desafios foi resolvido por meio de um processo de desmagnetização adiabática. Nesse processo, a amostra é misturada com um material paramagnético¹¹ e o sistema é submetido à ação de um campo magnético, que magnetiza a amostra até obter uma polarização, quase total, do sistema. Ao retirar suavemente o campo magnético a amostra entra em processo de resfriamento, até obter uma temperatura na ordem de 0,01K (WU *et al.*, 1957; WU, 1996, HAMMOND, 2010).

Como a partícula beta é absorvida muito rapidamente na matéria, Wu tinha que encontrar uma maneira de obter as partículas emitidas livres e não permitir que fossem reabsorvidas pela própria fonte de onde vieram. Wu pensou em utilizar uma camada superficial fina, da fonte radioativa, sobre o cristal de nitrato de

¹⁰ Na época, a radiação beta já era compreendida como elétrons (BATISTA, 1999).

¹¹ Foi utilizado o Nitrato de Cério e Magnésio, que é um composto magnético que emite calor ao ser submetido à ação de um campo magnético e absorve calor quando o campo é removido (SZPAK, 2009).

cério magnésio. Ela calculou que uma camada de 0,002 polegadas, 0,005 mm, seria suficiente para garantir que a maioria das partículas emitidas escapasse (WU *et al.*, 1957).

Era necessário que os núcleos da camada de cobalto 60 ficassem alinhados por um tempo suficiente para realizar as medidas. Porém, em poucos segundos o alinhamento era destruído, o que impedia as medidas. Wu suspeitava que a camada foi aquecendo com o tempo, talvez devido ao calor de radiação ou do hélio que era trocado para arrefecer a amostra. Ela acreditava que a fina camada deveria ser protegida por um invólucro espesso de cristais de nitrato de cério magnésio. Então, a equipe voltou seus esforços para a produção desses cristais mais espessos, uma vez que nenhum deles sabia como isso poderia ser feito (WU, 1996; HAMMOND, 2010; CREASE; MANN, 1996).

Para solucionar o segundo desafio, foram colocados a amostra e o detector em um tubo de vácuo, utilizando um criostato¹² para proporcionar o isolamento térmico até que as medidas fossem efetuadas (WU *et al.*, 1957).

Essas medidas foram possíveis dada a solução do terceiro desafio. Wu e sua estudante de pós-graduação, Biavati, mostraram que as partículas beta ainda produziam sinais luminosos utilizando o método de cintiladores, mesmo quando o cintilador era resfriado com hélio líquido, e que essas cintilações poderiam ser capturadas por um tubo fotoelétrico, utilizando um tubo transparente. Esse tubo era necessário, pois os fotomultiplicadores, então disponíveis, não funcionavam a baixas temperaturas e, conseqüentemente, a luz dos cintiladores tinha de ser retirada do criostato, de modo que o fotomultiplicador pudesse ser colocado em temperatura ambiente (FORMAN, 1982).

Assim, para contar as partículas emitidas, logo acima da amostra, foi colocado um fino cristal de antraceno, que funcionava como um cintilador ao ser atingido por radiações ionizantes. Foi colocado um tubo de lucite acima do cintilador, que permitia a transferência das cintilações para um fotomultiplicador, que estava localizado na parte superior do criostato. Desse modo, quando uma partícula beta atingia o cintilador ele emitia um sinal luminoso que se propagava pelo tubo de lucite até chegar ao fotomultiplicador, que por sua vez emitia um sinal elétrico para um

¹² Dispositivo que controla ou mantém baixas temperaturas. Um criostato de pesquisa é um recipiente de forma complexa, feito para receber líquidos criogênicos (que produzem baixa temperatura) como Nitrogênio líquido e Hélio líquido (CHAVES, 2012).

analisador de altura de pulsos (WU *et al.*, 1957). E por meio dos dados fornecidos pelo analisador de altura de pulsos, que se obtinham informações a respeito de quantas partículas foram emitidas e em que direções elas foram emitidas.

De acordo com Wu *et al.* (1957), Wu (1996), Forman (1982) e Hammond (2010), o experimento foi feito da seguinte maneira: utilizou-se uma amostra misturada em Nitrato de Cério e Magnésio e protegida por um invólucro de cristais de Nitrato de Cério e Magnésio, dentro do criostato. Para resfriar e polarizar a amostra colocou-se um eletroímã próximo ao criostato, provocando um campo magnético de aproximadamente 2,3 T. O calor produzido nesse processo foi removido por meio do hélio líquido, que circundava o recipiente de vidro que continha a amostra. Após a polarização esse eletroímã foi suavemente retirado das proximidades do criostato, assim a amostra foi resfriada até alcançar uma temperatura da ordem de 0,003K.

Em seguida envolveu-se o criostato com um solenoide para orientar os spins dos átomos em uma das direções, para cima ou para baixo, dependendo do sentido da corrente elétrica que circulava no solenoide. Por exemplo: se a corrente estava circulando no sentido horário, os spins se alinhavam para baixo e se a corrente circulasse no sentido anti-horário, os spins se alinhariam para cima.

O campo magnético vertical, provocado pelo solenoide, não reaquecia o sal arrefecido magneticamente porque era cerca de cinquenta vezes mais fraco do que o campo horizontal do ímã maciço de resfriamento. E aliado a isso, o sal utilizado, o nitrato de cério e magnésio, tem uma susceptibilidade magnética extremamente baixa ao longo de uma direção, nesse caso a direção vertical.

Após o alinhamento era dado início à contagem das partículas emitidas, por meio do sistema de detecção formado pelo cintilador, o tubo de lucite, o fotomultiplicador e o analisador de altura de pulsos. Essa contagem foi realizada para os dois casos de alinhamentos, para cima e para baixo.

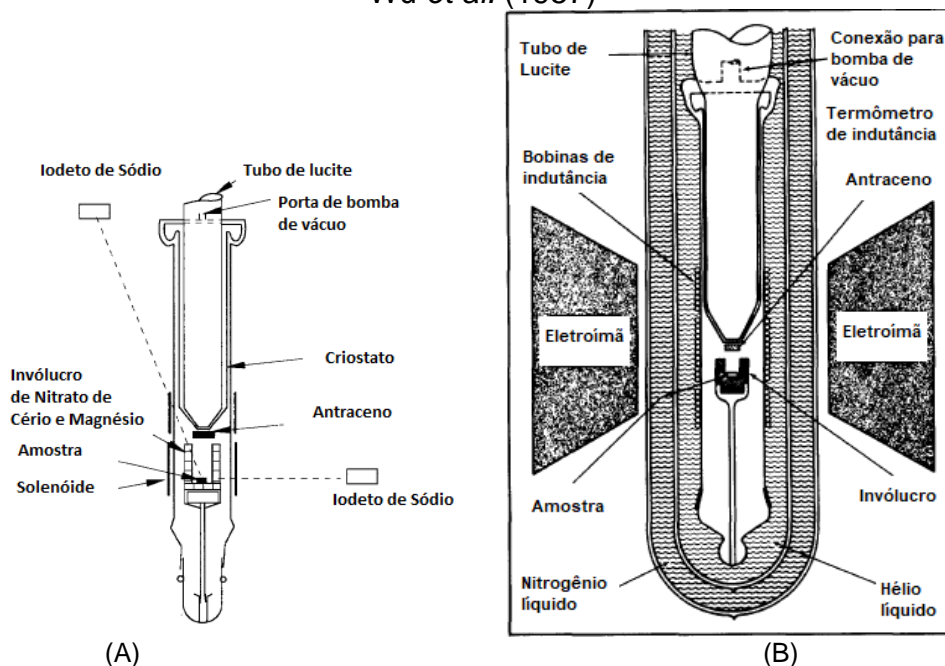
Foram instalados mais dois detectores de cintilação, de iodeto de sódio, um no plano equatorial e outro perto do topo do criostato, para medir os raios gama emitidos no decaimento. A anisotropia de raios gama observada foi utilizada como medida de polarização e de temperatura. Para o controle de temperatura

também foi utilizada uma bobina de indução, parte de um termômetro magnético para determinar a temperatura da amostra.

Até que se chegasse ao uso desse aparato experimental e à realização do experimento, foram necessários aprimoramentos para que tudo funcionasse, tanto como o caso, supracitado, de aquecimento da amostra, como na estrutura do criostato, que previamente foi projetada em metal para evitar problemas com a superfluidez do hélio líquido e que, depois de testes frustrados, foi reconstruída completamente com vidro, revestida de grafite para que a luz externa não atingisse os detectores. Nos primeiros testes com a estrutura em vidro, houve vazamento de hélio e problemas com o invólucro da amostra, até que se resolveu o problema e puderam dar sequência ao experimento (FORMAN, 1982; CREASE; MANN, 1996).

Na Figura 09 é apresentado um diagrama esquemático, de parte do aparato utilizado por Wu e seus colaboradores.

Figura 09 – Representação esquemática de uma parte do experimento realizado por Wu *et al.* (1957)



Fonte: (A) Figura adaptada de WU *et al.* (1957). (B) Figura adaptada de Forman (1982)

Em 27 de dezembro de 1956, uma explosão de entusiasmo misturou-se com uma onda de dúvida. Os resultados iniciais indicaram a assimetria que eles estavam procurando, mas experiências repetidas não duplicaram o primeiro

resultado. Depois de dias de testes cuidadosos, Wu e sua equipe estavam convencidos de que um menor número de elétrons foi emitido na direção do spin nuclear do que na direção contrária, sinal de que a paridade não foi conservada. O impossível era possível: a paridade não foi conservada. Este resultado, é claro, erradicou o problema theta-tau: era realmente apenas uma partícula o tempo todo, agora chamada de Káon, que pode decair em duas maneiras diferentes.

Lederman, em um almoço com físicos de Columbia, ouviu a respeito dos resultados do grupo de Wu. Ele sabia que certas cadeias de decaimento de píons e múons poderiam fornecer outra evidência de violação de paridade. Em experiências, ele e mais alguns pesquisadores observaram decaimentos de partículas que só poderiam ser possíveis se a paridade fosse violada (GARWIN; LEDERMAN; WEINRICH, 1957).

Um fato relevante desse episódio histórico é relatado por Wróblewski, que afirma que nem Wu, nem Lederman foram os primeiros a investigar experimentalmente a questão da violação da paridade. Um grupo de pesquisadores da Itália, Castagnoli, Franzinetti e Manfredini, já acompanhava essa questão desde a conferência em Rochester em abril. Eles fizeram um experimento parecido com o de Lederman, no entanto, não assumiram a quebra de paridade em seus resultados (HAMMOND, 2010).

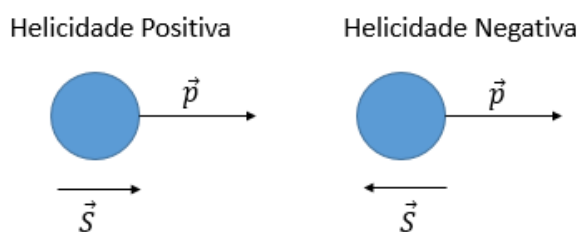
Isso não é surpreendente, pois na época duvidar da conservação da paridade não era algo comum. Alguns cientistas até acreditavam que era perda de tempo investigar essa questão. Pauli era um deles, que chegou até a escrever para Wu, afirmando que não iriam encontrar falhas na conservação da paridade. Feynman chegou a apostar abertamente que os resultados não indicariam a violação da paridade (WU, 1996; HAMMOND, 2010).

Após a conclusão dessas experiências, foi realizado outro teste, por Wu, Ambler, Hayward, Hoppes e Hudson, usando ^{58}Co , que é um emissor de pósitrons. Neste caso, os pósitrons foram emitidos preferencialmente na direção oposta à dos elétrons, ou seja, as partículas e^+ são preferencialmente emitidas ao longo do sentido de seu eixo de rotação. Isto forneceu uma confirmação adicional da conjectura de Lee e Yang e apoiou a nova hipótese que estava sendo desenvolvida na época para explicar a não conservação da paridade (HUDSON, 2001).

Depois das evidências da violação da paridade, outras questões relacionadas ao fenômeno ainda precisavam ser esclarecidas. Por exemplo, na época os neutrinos provenientes do decaimento beta eram descritos pela equação de Dirac, porém essa equação havia sido proposta para explicar um férmion massivo, cuja função de onda para descrevê-lo possuía 4 componentes. No entanto, o neutrino era desprovido de massa. Assim, bastariam apenas 2 componentes para descrevê-lo, desse modo surgiu a teoria dos dois componentes do neutrino e o conceito de helicidade, cujas ideias iniciais foram apresentadas nos artigos independentes, de 1957, de Lee e Yang, de Salam, e de Landau (LEE; YANG, 1957; BASSALO, 1994).

A helicidade foi definida como o produto escalar do spin e do momento linear, dividido pelo produto do módulo dessas grandezas. Assim, se a helicidade é negativa significa que o spin e o momento linear são antiparalelos, se é positiva significa que as grandezas são paralelas, conforme representado na Figura 10.

Figura 10 – Representação de casos de helicidade positiva e helicidade negativa



Fonte: figura adaptada de Pires e Carvalho (2014)

A teoria dos dois componentes do neutrino implicava que os antineutrinos seriam destros, ou de helicidade positiva e todos os neutrinos são canhotos, ou de helicidade negativa. Em outras palavras, os neutrinos apresentam spin antiparalelo ao momento linear e os antineutrinos apresentam o spin paralelo ao momento linear. Esta previsão teórica foi testada um ano depois em 1958, por Goldhaber, Grodzins e Sunyar, que mediram a helicidade de neutrinos e obtiveram resultados que concordavam com a teoria (BASSALO, 1994; LESOV, 2009).

Assim, o fato de que os elétrons são emitidos preferencialmente em uma direção oposta ao seu spin significa que sua helicidade é mais provável ser

negativa do que positiva. Em outras palavras, a experiência de Wu e colaboradores demonstrou que os elétrons têm tendência a serem canhotos¹³.

Após os resultados de Wu e sua equipe, a teoria da interação fraca ainda não estava estabelecida e buscava por respostas para questionamentos cruciais. Além disso, a questão da helicidade do neutrino colocava em dúvida a conceituada interação S e T (escalar e tensor), que era utilizada para descrever o decaimento β . Assim, em 1958 surgiu a teoria V-A, que explicou melhor essa interação.

Isso implica que os processos fracos, como o decaimento beta, têm contribuições de vetores (V), com constante de acoplamento G_V , e de pseudovetores ou vetores axiais (A), com constante de acoplamento G_A (PLEITEZ, 2008).

A Teoria de Fermi na forma V-A foi resultado de reformulações para se adequar às questões da paridade e da carga. Essa reformulação teve a contribuição de físicos como Sudarsham e Marshak, Feynmann e Gell-Mann, e Sakurai (BATISTA, 1999).

Na reformulação feita por Feynmann e Gell-Mann, em 1958, aparece a hipótese de um bóson mediador das interações fracas.

Todas as interações fracas surgem da interação de uma corrente J_μ com ela mesma, possivelmente via um méson vetor carregado intermediário, com grande massa (FEYNMANN; GELL-MANN, 1958, p. 197).

Feynmann e Gell-Mann, com base nos dados experimentais da época, consideraram apenas as correntes fracas carregadas, pois os dados experimentais da época não indicavam a presença de fenômenos com correntes neutras. Desde 1934, a Teoria de Fermi do decaimento β assumia que as interações fracas eram produzidas apenas por correntes carregadas, ou seja, induziam processos nos quais ocorriam mudanças na carga elétrica. Nessa teoria, o decaimento- β é descrito como a transformação de um núcleo “pai” caracterizado pelos números de massa A e atômico Z, e um núcleo “filho” com o mesmo número de massa, A, mas com número atômico Z+1 e a emissão espontânea de um elétron

¹³ Partículas canhotas, ou também esquerdas, são aquelas que possuem helicidade negativa, ou seja, se movimentam no sentido contrário da orientação do seu spin. Partículas destrás, ou também direitas, são aquelas de helicidade positiva, que se movimentam no mesmo sentido de orientação de seu spin.

e um antineutrino do elétron. Isso implica uma mudança de carga elétrica no núcleo (FORTES; TIJERO; PLEITEZ, 2007).

Eles levaram em consideração os dados experimentais para elaborar a proposta. No entanto, às vezes, como enfatizado por Dirac, a beleza matemática poderia levá-los a novas intuições físicas que somente mais tarde poderiam ser expressadas por experimentos (LEITE LOPES, 1988).

A forma $V - A$ se estabeleceu não só para explicar o decaimento beta, mas como explicação para todos os fenômenos relacionados à interação fraca, conhecidos até o momento. A natureza vetorial das interações fracas era compatível com a forma vetorial da interação eletromagnética, isso levou os teóricos a refletirem se, de alguma maneira, essas interações poderiam estar relacionadas (CREASE; MANN, 1996).

A hipótese levantada por Feynmann e Gell-Mann, a respeito dos bósons vetoriais da interação fraca, levou o físico brasileiro Leite Lopes a propor uma unificação das interações fracas e eletromagnéticas, em 1958. Segundo ele, tais mésons, que ele chamou de X , deveriam estar relacionados com as interações eletromagnéticas, transmitidas por partículas vetoriais, os fótons. Essa proposta de Leite Lopes admitia que a intensidade das interações eletromagnéticas com as correntes carregadas é igual àquelas das interações fracas com as correntes correspondentes, considerando a mesma natureza geométrica para os fótons e os bósons da interação fraca (BATISTA, 1999; LEITE LOPES, 1958).

Leite Lopes considerou que os bósons vetoriais carregados e os fótons, que também são bósons vetoriais, deveriam pertencer à mesma família, assim a constante de interação eletromagnética com a matéria seria igual à constante de interação fraca com a matéria. Essa igualdade acarretava uma massa elevada para a partícula X , aproximadamente 60 vezes a massa do próton. Assim, surge a primeira estimativa do valor da massa das partículas mediadoras da interação fraca. Nesse mesmo trabalho, ele propôs que a interação elétron-nêutron só poderia ser realizada por intermédio de um bóson vetorial neutro, hoje conhecido como Z^0 (LEITE LOPES, 1958; LEITE LOPES, 1988; BASSALO, 1994; BATISTA, 1999).

Convém ressaltar que, ainda em 1958, trabalhos semelhantes a esses foram realizados pelos físicos norte-americanos Bludman, Feinberg,

Schwinger, e Glashow que estava em fase de doutoramento sob orientação de Schwinger. Já em 1960, Lee e Yang também escreveram um artigo semelhante, no qual apareceram pela primeira vez os símbolos W^+ e W^- , para definir os bósons carregados da interação fraca (LEE; YANG, 1960; BASSALO, 1994; BATISTA, 1999). Trabalhos em que abordavam cautelosamente as questões de relação entre os bósons vetoriais das interações fraca e eletromagnética e/ou a hipótese das correntes neutras devido à existência de um bóson neutro. Embora Schwinger não tenha utilizado o termo unificação, já em 1956, acreditava na relação entre as interações, que elas deveriam ser combinadas em uma Teoria de Gauge, na qual o fóton e o bóson maciço deveriam ser os intermediadores (GLASHOW, 1979).

Também conhecida como Teoria de Calibre, a Teoria de Gauge é uma classe da Teoria Quântica de Campos, uma teoria matemática que envolve tanto a Mecânica Quântica como a Teoria da Relatividade Especial de Einstein que é comumente usada para descrever partículas subatômicas e seus campos. Em uma Teoria de Gauge há um grupo de transformações das variáveis de campo (transformações de gauge) que deixa a física básica do campo quântico inalterada. Esta condição, chamada invariância de gauge, dá para a teoria uma simetria, que rege suas equações. A estrutura do grupo de transformações de gauge vai implicar restrições gerais sobre o modo como o campo descrito por essa teoria pode interagir com outros campos e partículas elementares (LEADER; PREDAZZI, 1982).

A invariância de gauge, invariância sob uma transformação de gauge, é uma propriedade de simetria em relação a uma das cargas ou a um número quântico das partículas elementares. A transformação pode ser local, dependente do ponto em que é aplicada, ou global, independente do ponto do espaço-tempo onde é realizada (BATISTA, 1999). Uma das características de uma Teoria de Gauge é a invariância frente a transformações locais, ou seja, o sistema descrito se mantém invariante frente a transformações que afetam o sistema de maneiras diferentes para cada ponto do espaço-tempo ('T HOOFT, 1980). Para que uma interação física seja invariante por uma simetria global e local é necessário que se introduzam na interação considerados novos campos, chamados campos de gauge, que vêm associados a partículas de spin inteiro e sem massa (YANG; MILLS, 1954).

A ideia de que as interações fracas fossem mediadas por bósons vetoriais massivos foi primeiramente proposta pelo físico sueco Klein em 1938. Naquela época, Yukawa já havia proposto sua teoria a respeito das interações fortes e fracas em termos de bósons carregados, que posteriormente foram identificados como píons. Essa teoria era uma tentativa de unificação, porém essa ideia não usava simetria, pois a falta de um bóson neutro impedia que se caracterizasse como uma simetria $SU(2)$ ¹⁴. Em 1938, Kemmer previu a existência desse bóson neutro, posteriormente definido como π^0 , usando argumentos de simetria. Com base nesses conhecimentos, Klein propôs num contexto de dimensões extras o que agora se conhece como isospin fraco. Essa hipótese incluía o fóton e dois bósons carregados de spin 1, denotados por Klein como B_{\pm} . Na mesma teorização, não havia bósons neutros, mas segundo Klein, poderiam ser acrescentados se fosse necessário. Percebe-se, nesses casos, um primeiro esboço de ideias que, futuramente, vieram a fazer parte da Teoria Eletrofraca (KLEIN, 1939; SALAM, 1979; FORTES; TIJERO; PLEITEZ, 2007).

Com a estimativa do valor da massa dos bósons vetoriais da interação fraca, feita por Leite Lopes, surgiu um problema. Como considerar os fótons e os bósons W como membros de um multiplete¹⁵ com essa diferença de massa entre eles?

Outro problema estava relacionado com a hipótese das correntes neutras, pois até aquele momento não havia nenhuma evidência experimental das mesmas.

A unificação das interações fraca e eletromagnética, que estava implícita em parte dos trabalhos acima, foi formalizada em 1967 por Weinberg e, independentemente, por Salam em 1968. Essa ideia foi baseada na Teoria de

¹⁴ Essa maneira de representação vem da Teoria de Grupos, na qual, $U(n)$ representa um grupo unitário composto por matrizes unitárias de dimensão $n \times n$ unitárias, cujo número de geradores independentes é dado por n^2 . $SU(n)$ representa um grupo unitário especial, também composto por matrizes $n \times n$ unitárias, com número de geradores independentes dados por $n^2 - 1$. Verifica-se que para cada campo de gauge está associado um determinado grupo de gauge. No caso do eletromagnetismo temos o grupo $U(1)$, na interação eletrofraca o $SU(2) \times U(1)$ e na interação forte, o $SU(3)$. $U(1)$ representa uma multiplicação por uma matriz unitária de 1×1 , com 1 gerador, o fóton. $SU(2)$ é definido como o conjunto de matrizes 2×2 , com 3 geradores ($2^2 - 1 = 3$), os W e o Z^0 . $SU(3)$ é um grupo de matrizes unitárias 3×3 , com 8 geradores ($3^2 - 1 = 8$), os glúons (BASSALO; CATTANI, 2011).

¹⁵ Família de estados que se diferenciam um do outro por uma certa grandeza. Por exemplo, em espectroscopia, se diferenciam pelo momento magnético; na família dos núcleons, o próton e o nêutron pertencem a um mesmo multiplete de isospin (BATISTA, 1999, p. 121).

Gauge, proposta pelos físicos, o sino-norte-americano Yang e pelo norte-americano Mills, em 1954, através de um mecanismo chamado de quebra espontânea de simetria (BASSALO, 1994; BATISTA, 1999).

Quem propôs a Teoria de Gauge foi Weyl, em 1919, para tratar transformações de escala no espaço-tempo, com a esperança de unificar as duas forças fundamentais conhecidas na época, a eletromagnética e a gravitacional. Essa unificação não foi alcançada, mas surgiu a ideia de simetria local, que mais tarde foi utilizada por ele para mostrar que a invariância sob o grupo $U(1)$ implicava na existência do fóton e a interação eletromagnética, a partir do princípio de deixar uma simetria global se tornar local. A invariância da teoria sob essa transformação trazia como consequência a existência de um bóson sem massa, no caso, o fóton. Esse procedimento para estender uma simetria global a uma simetria local é denominado de calibragem de uma simetria e requer a introdução de um novo campo, chamado de potencial de calibre, para viabilizar a substituição de derivadas parciais dos campos originais por derivadas covariantes. O próximo passo foi dado por Yang e Mills, que em 1954 elaboraram o primeiro exemplo de uma Teoria de Gauge não abeliana, quando o produto da transformação não é comutativo $AB \neq BA$. Quando a ordem em que efetuamos as transformações de gauge não são importantes dizemos que temos uma Teoria de Gauge Abeliana. Se as transformações dependem da ordem em que são realizadas temos uma transformação não abeliana (SOARES, 2007; FORTES; TIJERO; PLEITEZ, 2007).

Essa ideia foi retomada por Yang e Mills, no contexto de isospin¹⁶ forte, agora envolvendo três fases locais, ou seja, ao invés de um fóton, teriam três. O objetivo inicial, dessa elaboração, era que ela viesse a se tornar uma teoria das interações fortes. Com o passar dos anos, outros cientistas passaram a estudar a Teoria de Gauge na tentativa de quantizar teorias e demorou anos para que ela fosse aplicada para as interações fracas, pois não se sabia, até 1958, que as interações fracas eram uma mistura de interações vetoriais e pseudovetoriais (axial),

¹⁶ Na Física, isospin (termo derivado de isotopic spin ou isobaric spin) é um termo criado em 1961 que representa um número quântico relacionado às forças fortes no estudo das partículas elementares. Esta teoria apareceu a partir da constatação de que o próton e o nêutron possuem o mesmo spin (1/2), praticamente a mesma massa, mas possuem cargas elétricas diferentes (+1 e 0). E também que a força de atração que une essas partículas no núcleo atômico é insensível à carga. O conceito de isospin já foi superado pela cromodinâmica quântica (QCD), porém ele continua a ser bastante usado na física de partículas experimental. (Isospin, in Wikipedia livre: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Isospin>, acesso em 29/01/2019.).

V-A (WEINBERG, 2004), as quais seriam produzidas por bósons vetoriais mediadores. Quem também desenvolveu uma ideia parecida com Yang e Mills foi um aluno de doutorado de Salam, o físico Shaw. Esse trabalho não foi publicado, ficou registrado somente em sua tese de doutorado em Cambridge. Assim, em alguns casos, a teoria de Yang-Mills também é referida como teoria de Yang-Mills-Shaw (SALAM, 1979).

Desde o início, o principal obstáculo à aplicação da abordagem de Yang-Mills às teorias das interações fracas ou fortes foi o problema da massa. A simetria de gauge não permite que os bósons de gauge possuam qualquer massa. E a teoria de Yang-Mills-Shaw não poderia descrever a interação fraca, uma vez que ela seria mediada por bósons vetoriais massivos, de spin 1, como visto anteriormente. Em muitos trabalhos, a massa foi colocada manualmente, porém isso destruía a lógica de uma Teoria de Gauge e tornava a teoria menos preditiva e não renormalizável (WEINBERG, 2004).

Essa teoria voltou a ser objeto de pesquisa por parte do físico japonês Nambu ao perceber, em 1960, a quebra espontânea de simetria nessa teoria, usando uma analogia com a supercondutividade. Outros trabalhos como o de Goldstone, em 1961, e o de Nambu e Jona-Lasínio, também trataram desse assunto. Goldstone desenvolveu o conceito de quebra espontânea de simetria em teorias Abelianas, do tipo $U(1)$ e mostrou que tal quebra é acompanhada de uma ou mais espécies de partículas sem massa, chamadas desde então de bósons de Nambu-Goldstone ou bósons de Goldstone (WEINBERG, 1980; 2004).

Sabia-se que não existiam esses bósons sem massa na interação forte. Caso existissem, já teriam sido detectados antes. Isso parecia fechar as oportunidades oferecidas pela quebra espontânea de simetria.

O primeiro a indicar uma possível solução foi Anderson, físico da área da Matéria Condensada, que em 1963, inspirado em Schwinger, abriu caminho para a solução das massas. Segundo ele, esses dois tipos de bósons pareciam capazes de “cancelar uns aos outros”, de modo que restariam somente os bósons de massa finita (ANDERSON, 1963). No entanto, seu artigo não foi levado a sério pelos físicos da área de Física de Partículas. Dos leitores do trabalho de Anderson, Klein e Lee concordavam com as ideias e Gilbert discordava, essa disputa ajudou a

desencadear atividades independentes dos belgas Roger Brout e François Englert e do escocês Peter Higgs (BROWN *et al.*, 1996).

Em 1964, em trabalhos independentes, os físicos, Higgs, Englert e Brout, Gerald e Hagen e Kibble, encontraram um mecanismo que tornava massivos os bósons de Nambu-Goldstone, partindo da hipótese de que a simetria quebrada espontaneamente deveria ser local, e não global, como considerada até então. Esse mecanismo ficou conhecido como mecanismo de Higgs, e o bóson de spin nulo correspondente de tal mecanismo, como bóson de Higgs (WEINBERG, 1980; 2004).

Em seguida, Weinberg começou a desenvolver as implicações da quebra espontânea de simetria para as interações fortes. Segundo ele, o objetivo era desenvolver uma Teoria de Gauge para a interação forte. Ele supôs que o bóson de gauge vetorial desta teoria seria um méson denominado méson-rho, enquanto o bóson de gauge vetorial-axial seria um méson denominado méson a_1 (WEINBERG, 1980; 2004).

Usando a simetria $SU(2) \times SU(2)$, ele obteve resultados em que a_1 continha massa e o méson-rho permaneceria sem massa. Ele foi encorajado a tentar colocar uma massa para o méson-rho manualmente, mas isso tornou a teoria menos preditiva e não renormalizável, o que o desanimou.

Então, acreditando que se tratava de uma boa teoria, ele pensou que estava aplicando na interação errada. O lugar certo para aplicar essas ideias não era nas interações fortes, mas nas interações fracas e eletromagnéticas.

Haveria uma simetria de gauge espontaneamente quebrada (provavelmente não $SU(2) \times SU(2)$) levando a bósons de gauge maciços, que não estariam relacionados com o méson a_1 , mas poderiam ser identificados com os bósons mediadores da interação fraca. Poderia existir algum gerador do grupo de gauge que não foi quebrado espontaneamente, e o correspondente bóson de calibre sem massa não seria o méson-rho, mas o fóton. A simetria de gauge seria exata e não haveria massas colocadas à mão.

Weinberg precisava de um modelo concreto para ilustrar essas ideias gerais. Naquela época ele não acreditava na existência dos quarks, e assim decidiu apenas olhar para os léptons e, de forma arbitrária, decidiu considerar as simetrias que agiam em apenas uma geração de léptons (elétrons e neutrinos do elétron), separadamente dos antiléptons.

Com esses ingredientes, o maior grupo de gauge que se poderia ter era $SU(2) \times U(1) \times U(1)$. Um dos $U(1)$ poderia ser considerado o grupo de gauge da conservação dos léptons. Assim, sabia-se que o número de léptons era conservado com um alto grau de precisão, então esta simetria $U(1)$ não era quebrada espontaneamente, mas também sabia-se que não havia um bóson de gauge sem massa associado ao número de léptons, pois, de acordo com um argumento de Lee e Yang, ele produziria uma força que competiria com a gravitação.

Então ele decidiu excluir essa parte e ficar somente com $SU(2) \times U(1)$. Os bósons de gauge eram W^+ e W^- (partículas maciças e carregadas), Z (partícula maciça e neutra) e o fóton (partícula sem massa e neutra).

As interações destes bósons com os léptons e entre eles foram fixadas pela simetria de gauge. Depois dessa formulação Weinberg fez uma revisão dos estudos publicados a respeito dos bósons mediadores, do final dos anos 1950 e início dos anos 60, e percebeu que a estrutura global do grupo $SU(2) \times U(1)$ já havia sido proposta em 1961 por Glashow (GLASHOW, 1961).

Glashow, que havia sido orientado por Schwinger, usou a teoria de Yang e Mills e deu continuidade na proposta de seu orientador. Nessa nova formulação, ele sugeriu que seria necessário mais um bóson, uma vez que na formulação de Schwinger existiam dois bósons, um da interação eletromagnética e outro da fraca. Nesse mesmo trabalho ele sugeriu a necessidade de um princípio de simetria e desejava mostrar que sua teoria era renormalizável¹⁷ (CREASE; MANN, 1996; BROWN, *et al.* 1997).

Ao terminar seu trabalho, Glashow acreditava ter mostrado que a teoria era renormalizável. Na época, Salam e John C. Ward também buscavam meios para resolver os problemas da renormalização, pois também se inspiraram no trabalho de Schwinger para relacionar as interações. Eles ficaram incrédulos quando ouviram que Glashow o havia feito, com razões, pois o trabalho de Glashow continha imprecisões físicas e matemáticas que impediam a renormalização de uma teoria que unificava as interações fraca e eletromagnética, contendo dois mediadores da interação fraca e um da interação eletromagnética (CREASE; MANN, 1996).

¹⁷ De acordo com 't Hooft (1997), a renormalização consiste em eliminar os termos infinitos de uma teoria. Ao tratar da Teoria Quântica de Campos, essa técnica elimina os infinitos que aparecem no cálculo de quantidades físicas, como carga e massa.

Então, Glashow propôs a existência de mais um bóson mediador, o Z_s , que hoje é conhecido como Z^0 . Com isso, ele conseguiu resolver alguns problemas teóricos, mas ele só conseguiu o processo de renormalização separando as interações eletromagnética e fraca. Assim, elas trabalhavam lado a lado, mas não estavam unidas. A contribuição de cada uma das forças para a interação total era expressa em termos de uma razão, conhecida como ângulo de mistura, θ_w . Ninguém deu muita atenção ao artigo de Glashow, pois havia sido publicado em uma revista que não era muito conhecida, além de estar escrito usando as notações de Schwinger (GASHOW, 1979; CREASE; MANN, 1996).

Outro fator que dificultou o fortalecimento dessa ideia, na época, foi o procedimento experimental utilizado para estudar a interação fraca. Como essas interações são suprimidas pelas interações forte e eletromagnética, os experimentadores estudavam casos de decaimento de partículas estranhas, pois esse processo ocorre devido a interação fraca. No entanto, foi evidenciado, posteriormente, que as únicas partículas em que as correntes neutras não se manifestam, eram as partículas estranhas (CREASE; MANN, 1996).

Mais tarde, em 1964, Salam e Ward, independentemente, também propuseram a mesma estrutura do grupo $SU(2) \times U(1)$. E, em 1967, após Salam tomar conhecimento do mecanismo de quebra espontânea de simetria, por meio do mecanismo de Higgs, ele foi capaz de completar a formulação da teoria $SU(2) \times U(1)$. Isso tornou a teoria bastante preditiva. Permitiu que as massas de W e Z , assim como seus acoplamentos, fossem calculadas em termos de um único ângulo desconhecido, θ . Independentemente do valor de θ , as massas de W e Z foram previstas com valores altos, grande o suficiente para ter escapado à detecção. Nessa teoria inicialmente as partículas teriam massa nula e estariam sujeitas à simetria "gauge". No entanto, por intermédio do mecanismo de Higgs, do qual participam o dubleto Higgs (H^+ , H^0) e seu antidubleto (H^- , $\overline{H^0}$), há a quebra espontânea de simetria, na qual o fóton (γ) permanece com massa nula, porém os W adquirem massas por incorporação dos bósons carregados (H^\pm), ao passo que Z^0 adquire massa de uma parte dos bósons neutros ($H^0 + H^{\overline{0}}$), ficando a outra parte ($H^0 - H^{\overline{0}}$) como um novo bóson escalar (spin 0), o bóson de Higgs (SALAM, 1979; SALAM, 1991; WEINBERG, 1980; 2004).

A quebra espontânea de simetria ocorre, de acordo com Salam (1991), após uma transição de fase eletrofraca, que deve ter ocorrido quando o universo tinha uma temperatura de cerca de 3×10^{15} °C. Antes que a transição de fase ocorresse, quando a temperatura era maior que 3×10^{15} °C, havia apenas a interação eletrofraca, ao atingir essa temperatura ela se divide em duas interações, a fraca e a eletromagnética, em um processo no qual os W e Z^0 adquirem massa.

No entanto, essa teoria foi ignorada por mais alguns anos, pois previa a existência das correntes neutras e não era renormalizável, o que dificultou o interesse de físicos experimentais para testarem as hipóteses. Isso veio a mudar após desenvolvimentos teóricos que explicavam a ausência das correntes neutras nas correntes fracas e mostravam que a Teoria Eletrofraca poderia passar pelo processo de renormalização (BROWN *et al.*, 1997).

Ambos, Salam e Weinberg, imaginavam que a Teoria Eletrofraca era renormalizável, porém nenhum deles testou isso. Weinberg afirma que não o fez por não gostar do método, usado na época, pelo qual era possível fazer o teste, a integração de caminho.

De acordo com Weinberg, como muitos teóricos daquela geração, ele aprendeu a fazer cálculos na teoria quântica de campo a partir do trabalho de 1949 de Dyson, que mostrou como derivar as regras de Feynman a partir de um formalismo de operador, por isso a resistência em usar a integração de caminho (WEINBERG, 1980; 1996).

Embora ele não entendesse as potencialidades da integração do caminho, Veltman e seu aluno 'T Hooft o fizeram. Em 1971, 'T Hooft usou a integração de caminho para definir um indicador em que era óbvio que as teorias espontaneamente quebradas, não abelianas e com apenas as interações mais simples, tinham uma propriedade essencial à renormalização, segundo a qual em todas as ordens da teoria de perturbações há apenas um número finito de infinitos (WEINBERG, 1996).

O início do trabalho conjunto de 'T Hooft e de Veltman, que levou os dois ao Prêmio Nobel, ocorreu quando 'T Hooft escolheu Veltman para ser o seu orientador de doutorado, iniciado em 1969. Assim, Veltman pedia a 'T Hooft que estudasse a famosa Teoria de Gauge não abeliana desenvolvida pelos físicos Yang

e Mills, em 1954, e, independentemente, pelo físico inglês Shaw, sob a orientação de Salam (BASSALO, 2012).

Essa Teoria de Yang-Mills-Shaw apresentava uma grande dificuldade, uma vez que descrevia três partículas não massivas de spin unitário, conhecidas como bósons vetoriais. Enquanto uma das partículas poderia ser um fóton, partícula não massiva mediadora da interação eletromagnética, as outras duas não existiam na Natureza. Além disso, essa teoria não era renormalizável para bósons massivos, como as partículas (W^\pm e Z^0) mediadoras da interação fraca. Portanto, não poderia ser usada para explicá-las. Essa dificuldade poderia ser resolvida por meio da renormalização da teoria ('T HOOFT, 1997; BASSALO, 2012).

Antes dos anos setenta, havia apenas uma teoria do campo quântico renormalizável que parecia dar uma descrição razoável e útil de partes do mundo real: Eletrodinâmica Quântica. No entanto, a ideia de que outras interações também devem ser descritas no contexto de teorias de campo renormalizáveis tornou-se cada vez menos popular. De acordo com 'T Hooft (1997), apenas alguns artigos clássicos na literatura mais antiga se destacam como joias reais, e eles foram exemplos inspiradores de raciocínio teórico para todos, por muitos anos. Um dos artigos mencionados é o de Yang e Mills. Eles mostraram que a Eletrodinâmica Quântica poderia ser construída com base em um princípio fundamental, a invariância de gauge local.

Foi assim que 'T Hooft decidiu qual seria seu problema de pesquisa. Primeiro ele tentou entender todos os detalhes do sistema de Yang-Mills sem massa e então, depois, adicionaria a massa, por um mecanismo de quebra espontânea de simetria local ('T HOOFT, 1997).

Veltman desenvolveu um programa computacional, que conseguiu minimizar o grau e o número de infinitos na computação realizada. Porém, os resultados ainda não eram satisfatórios. Seus estudos em relação ao assunto continuaram e ele teve contato com pesquisadores e artigos que tratavam do assunto, até que se depararam com uma técnica nova, as integrais de caminho feynmanianas. Ele preparou um curso para estudar essa técnica e as notas de aula foram preparadas por 'T Hooft, o que lhe permitiu uma familiarização com esse formalismo. Em 1970, 'T Hooft foi participar de uma Escola de Verão em Cargèse, com a participação de Gell-Mann, que havia desenvolvido um modelo para estudar

as interações fortes. Formalmente, tal modelo poderia ser renormalizado com a quebra espontânea de simetria. Em um desses seminários, Gervais, Lee e Symanzik afirmaram que as propriedades de simetria daquele modelo não seriam destruídas com a geração de massa decorrente da quebra espontânea de simetria. Em vista disso, 'T Hooft perguntou a Lee e a Symanzik se não poderia fazer o mesmo para a teoria de Yang e Mills ('T HOOFT, 1997; BASSALO, 2012).

Depois de renormalizar a teoria com partículas não massivas, 'T Hooft se concentrou na renormalização com partículas massivas, usando, para isso, o mecanismo de quebra de simetria. Veltman, usando o seu programa computacional, percebeu que o modelo de regularização dimensional de 'T Hooft eliminava os infinitos dos diagramas de dois loops. No entanto, para mais de dois loops, os infinitos permaneciam. Eles precisaram usar uma regularização dimensional contínua¹⁸ para resolver esse problema, assim conseguiram mostrar que a teoria era renormalizável ('T HOOFT, 1997; BASSALO, 2012).

Desse modo, esses trabalhos conseguiram resolver a grande dificuldade do modelo de Salam-Weinberg, ou seja, a sua renormalização, e completar a Teoria da Interação Eletrofraca e de suas partículas mediadoras: W^\pm e Z^0 .

A contribuição de 'T Hooft e Veltman é de importância vital para a teoria das partículas elementares colocando-a numa base matemática extremamente sólida. Após o artigo original de 1971 de 'T Hooft, a maioria dos teóricos estava bem convencida de que a teoria era renormalizável, e pelo menos entre os teóricos houve um aumento de interesse neste tipo de teoria. A relevância da renormalização não consistia só na eliminação dos infinitos, pois a teoria passava a ter um potencial de descrever as interações fracas e eletromagnéticas a energias superiores a 300 GeV. E após essa etapa as implicações experimentais da teoria passaram a ser mais estudadas (WEINBERG, 2004).

Em termos das características das unificações de teorias científicas, a unificação requer a presença de uma estrutura matemática e um parâmetro teórico específico. No caso da Teoria Eletrofraca esse papel é desempenhado

¹⁸ Para fazer com que, de algum modo, estas integrais divergentes sejam finitas introduz-se um parâmetro de convergência adequado, o qual geralmente é conhecido como parâmetro de regularização. Neste processo, é modificada a dimensionalidade das integrais para que elas desmembrem em partes finitas e divergentes (CARRILLO, 1995).

especificamente, pela Teoria de Gauge e pelo ângulo de Weinberg. Nesse caso, trata-se de uma unificação do tipo sintética, pois a teoria fornece uma estrutura unificada, na qual as interações eletromagnéticas e fracas podem ser integradas, porém, as partículas mediadoras permanecem distintas. Tratam-se de duas teorias, cada uma regida por grupos de simetria independentes e que são combinadas sob uma estrutura de simetria maior, produzindo uma nova teoria que introduz um parâmetro necessário, ângulo de Weinberg, para apresentar essas teorias de forma unificada (MORRISON, 2000).

O problema, agora, era resolver a questão das correntes neutras. A Teoria Eletrofraca previa a sua existência, mas até aquela época nenhum estudo experimental tinha encontrado evidências da presença dessas correntes nos processos de interação fraca. Essa detecção era uma das possíveis indicações de que a teoria estivesse correta, mas, na época, esse não era o principal interesse dos físicos experimentais.

A teoria de Glashow, Salam e Weinberg permitiu que a massa das partículas W e Z fossem previstas com maior precisão. Isso facilitou a caracterização das correntes neutras, provocadas por Z^0 . Assim, a existência das correntes neutras representava uma primeira evidência experimental do modelo padrão eletrofraco (WEINBERG, 1980; FORTES; TIJERO; PLEITEZ, 2007).

A busca experimental pelas evidências das correntes neutras foi desanimadora no início, pois os primeiros experimentos envolviam apenas casos em que a estranheza não era conservada, uma vez que nas interações fracas haviam casos de violação da estranheza. Os resultados iniciais foram negativos, sugerindo que os processos ocasionados por correntes neutras não existiam, ou se existiam representavam uma pequena fração dos processos ocasionados pelas correntes carregadas (FORTES; TIJERO; PLEITEZ, 2007).

Mais tarde foram propostos estudos de processos de espalhamento, no entanto, essas propostas foram deixadas de lado e somente depois da confirmação da existência de dois neutrinos de naturezas diferentes é que o interesse pelo assunto foi retomado. Porém, esse interesse era na detecção dos bósons vetoriais, W e Z^0 , e não na procura das correntes neutras. Os primeiros estudos que sugeriram a utilização de neutrinos para o estudo das interações fracas

foram feitos por Schwartz, experimentalmente, Lee e Yang, teoricamente, e um pouco antes por Bruno Pontecorvo (FORTES; TIJERO; PLEITEZ, 2007).

Convém ressaltar que a teoria de Glashow, Salam e Weinberg tratava apenas do grupo de léptons, não abrangia a família dos quarks. Essa extensão da teoria só ocorreu mais tarde, após 1970, com o trabalho de Glashow, Iliopoulos e Maiani, que explicava a supressão das correntes neutras, por meio de um quarto quark, o quark charm. Isso fez com que alguns olhares se voltassem para as correntes neutras.

Como no decaimento de káons, estudados na época, não eram observados os bósons vetoriais W , Lee e Yang sugeriram que a massa dos bósons deveria ser maior que a massa do Káon. Com essa hipótese, Lee e Yang propuseram que a massa desses bósons deveria ser aproximadamente igual à massa de um núcleon, maior partícula conhecida até então (FORTES; TIJERO; PLEITEZ, 2007).

Nesse contexto foram planejadas e executadas quatro experiências, por duas colaborações de físicos experimentais, a colaboração Gargamelle no CERN e a colaboração E1A no FERMILAB, que acabaram evidenciando a existência das correntes neutras. Essas colaborações contaram com a participação de muitos pesquisadores de várias instituições. Foram realizados dois experimentos em cada uma das colaborações, no FERMILAB as diferenças entre os experimentos foram significativas, enquanto na Gargamelle não houve mudanças no aparato experimental, foi o mesmo experimento, porém com análises diferentes (HASERT *et al.*, 1973a; HASERT *et al.*, 1973b; FORTES; TIJERO; PLEITEZ, 2007).

É interessante ressaltar que os objetivos iniciais em ambas as colaborações eram a detecção do bóson W . A busca pelas correntes neutras foi tomada como objetivo principal após a renormalização da Teoria Eletrofraca, em 1971, e uma sequência de atividades experimentais envolvendo interações com neutrinos de alta energia.

4.1.1.2 Observação das correntes neutras

Uma das maneiras de investigar a interação fraca, sugerida em 1959, era disparar feixes de neutrinos em um alvo fixo e observar o que acontece.

Como os neutrinos experimentam somente a ação da interação fraca, essas experiências prometiam revelar propriedades dessa interação de maneira muito mais clara do que as experiências utilizando decaimentos, uma vez que essas também sofriam efeitos das interações fortes e eletromagnéticas. Entretanto, também era claro que os experimentos exigiriam feixes intensos de neutrinos e detectores muito grandes para que pudesse ser observado qualquer efeito, dado que a interação do neutrino com a matéria era de difícil detecção (PICKERING, 1984).

Apesar dessa evidente dificuldade, os experimentos com neutrinos começaram no início da década de 1960, nos dois principais laboratórios de Física de Partículas da época, o Laboratório Nacional de Brookhaven (BNL), nos Estados Unidos e o CERN, localizado na fronteira entre França e Suíça. Enquanto os primeiros experimentos com neutrinos aconteciam nesse período, um grupo de físicos franceses, liderado por Lagarrigue, estava construindo uma enorme câmara de bolhas, chamada Gargamelle. Essa câmara era basicamente um tanque cheio de um líquido superaquecido, mantido sob pressão para evitar que ele ferva. Quando um feixe de neutrinos, por exemplo, é disparado no tanque, pequenas bolhas começam a se formar ao longo de trilhas de partículas carregadas, produzidas na interação entre o neutrino e o núcleo do líquido superaquecido. Essas trilhas são fotografadas e podem ser analisadas posteriormente. O motivo para a construção de uma câmara grande era para aumentar a taxa de interação do neutrino com o líquido que preencheria seu interior. Além disso, a Gargamelle foi projetada para ser preenchida com um líquido muito denso, o freon, o que aumentaria ainda mais a taxa de interação (PICKERING, 1984).

A ideia de construir a Gargamelle surgiu na Conferência de Siena em 1963, logo após a apresentação dos primeiros resultados do experimento com neutrinos no CERN, utilizando a câmara NPA (*Nuclear Physics Apparatus Division*). A primeira proposta desse detector foi escrita em fevereiro de 1964, por Lagarrigue, Musset e Rousset e a decisão de iniciar o programa foi em dezembro de 1965. A equipe de *design*, construção e execução do projeto era composta por integrantes de diferentes instituições e países. As imagens registradas na Gargamelle eram analisadas por uma colaboração de sete grupos: Aachem, Bruxelas, CERN/TCL, Londres, Milão, Orsay e Paris (GALISON, 1983; 1987; ROUSSET, 1994; HAIDT, 2004).

A câmara de bolhas Gargamelle possuía um volume útil de $6,2 \text{ m}^3$, com diâmetro de $1,8 \text{ m}$, preenchido com aproximadamente 10 toneladas de freon (CF_3Br) com uma densidade de $1,5 \times 10^3 \text{ Kg/m}^3$, comprimento de radiação de 11 cm e comprimento de interação de aproximadamente $0,75 \text{ m}$, exposto a feixes de neutrinos e antineutrinos do CERN. Ela possuía um comprimento de $4,8 \text{ metros}$, isso assegurou que os eventos fossem identificados inequivocamente (HASERT, *et al.*, 1973a; 1974).

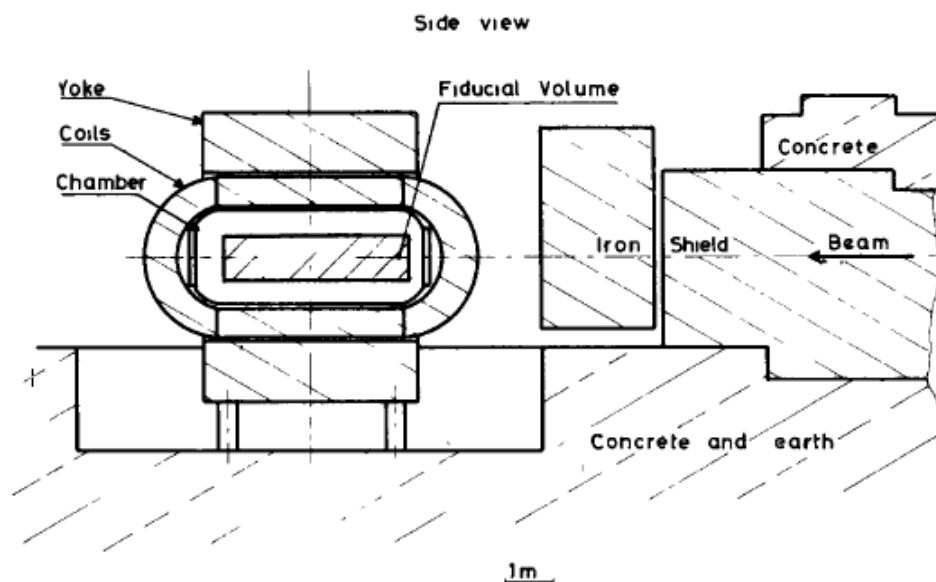
A câmara ficava sob ação de um campo magnético de 2 Teslas para que fosse possível observar os desvios das partículas carregadas e desta forma medir seu *momentum*. A fim de evitar ruídos nos resultados alguns cuidados foram tomados, entre eles a blindagem de radiações externas que era feita por ímãs, por bobinas de cobre e escudos de ferro e concreto (HASERT *et al.*, 1974).

Outro cuidado foi em relação ao comprimento da câmara, ele foi escolhido para que os eventos pudessem ser identificados sem ambiguidade. Sabia-se que o feixe de neutrinos pode interagir com os materiais ao redor da câmara e gerar um número desconhecido de nêutrons dentro desta, que ao se chocarem com um núcleo poderia ocasionar um chuveiro de hádrons, o que poderia ser confundido com os eventos de interesse. Nesse aparato, os nêutrons são absorvidos mais rapidamente e os eventos provocados por eles se localizam na parte inicial da câmara. Logo, esse é um motivo para que o comprimento da câmara seja suficiente para que esses eventos possam ser diferenciados (HASERT *et al.*, 1974). Na Figura 11 está representado um esquema, da visão lateral, da câmara de bolhas Gargamelle.

Convém ressaltar que o foco das pesquisas, na época, não eram as correntes neutras. Somente após 1971 é decidido começar a análise de possíveis eventos de correntes neutras, mas não como prioridade. Os grupos do CERN e Milão começaram a medir sistematicamente esses candidatos a eventos de Correntes Neutras, NC. Durante maio de 1972, uma coleção de candidatos a eventos de NC é cuidadosamente examinada no CERN, por vários físicos da colaboração, e parecia provável que eles existiam. Em julho do mesmo ano, foi recomendado que todos os grupos extraíssem sistematicamente todos os candidatos de eventos de NC e fizessem fotografias em grande escala para serem analisadas em uma reunião em agosto, em Paris. Assim, todos os grupos voltaram

sua atenção para esse tipo de evento (GALISON, 1987; ROUSSET, 1994).

Figura 11 – Representação esquemática da visão lateral da câmara Gargamelle.



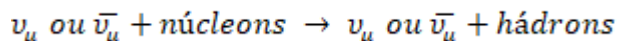
Fonte: Hasert *et al.* (1974)

Alguns teóricos também influenciaram nesse interesse pelas correntes neutras. No CERN, um grupo de teóricos elaborou um seminário, no final de 1971, para os experimentadores da colaboração Gargamelle. Esses teóricos trabalhavam no modelo de unificação das interações fraca e eletromagnética, e para levar adiante os seus argumentos eles necessitavam da ajuda de seus companheiros experimentais. Assim, enfatizaram a relevância de uma busca ativa pelas correntes neutras (PICKERING, 1984).

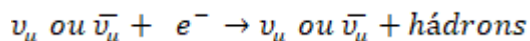
Nos Estados Unidos, o próprio Weinberg convenceu físicos do Fermilab ou FNAL (*Fermi National Accelerator Laboratory*) da necessidade de procurar as correntes neutras. Atendendo essa necessidade, a colaboração E1A adaptou o experimento HPWF¹⁹ para esse novo objetivo (PICKERING, 1984).

Alguns físicos da colaboração começaram a olhar para os candidatos de correntes neutras que satisfizessem as características das seguintes reações semi-leptônicas ou leptônicas:

¹⁹ No Fermilab, a colaboração E1A foi composta por grupos da Universidade de Harvard, da Universidade de Wisconsin e da Universidade da Pensilvânia, muitas vezes abreviada como colaboração HPWF (GALISON, 1983).

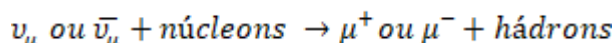


um neutrino ou antineutrino sendo espalhados por um núcleon e provocando um chuva de hádrons, ou



um neutrino ou antineutrino sendo espalhado por um elétron, que adquire momento linear, e provocando um chuva de hádrons.

Esses dois eventos de correntes neutras deveriam ser distinguidos dos eventos de corrente carregada, correspondentes às seguintes reações:

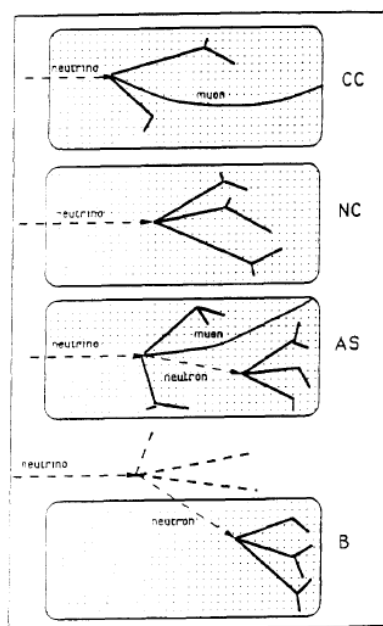


um neutrino ou antineutrino colide com um núcleon e é transformado em um múon ou antimúon e um chuva de hádrons.

Esses eventos deveriam ser contabilizados para que se pudesse fazer uma comparação da taxa de eventos de correntes neutras e carregadas.

Nessa etapa surgiu outro problema, como resolver os problemas relacionados aos ruídos (*background*), eventos que imitariam os eventos de interesse. Na Figura 12 estão representados os quatro tipos de eventos que precisavam ser distinguidos, onde os traços representam trajetórias de partículas carregadas (GALISON, 1987; ROUSSET, 1994).

Figura 12 – Representação dos eventos de NC, CC, AS e B, que podem ocorrer no interior da câmara



Fonte: ROUSSET, 1994.

Ao todo, estariam presentes quatro tipos de eventos para análise, os de correntes neutras (NC) os de correntes carregadas (CC) e os eventos de ruído, pois os nêutrons que são produzidos em torno da Gargamelle, ao entrarem na câmara podem provocar efeitos semelhantes aos eventos de NC, classificados como B (background). Além disso, há os eventos associados, AS, que são caracterizados por uma interação de neutrino, visível na câmara, seguido por uma interação neutra, também detectada na câmara. Nesse caso, a partícula neutra que ocasionou o segundo evento seria um hádron secundário, vindo da primeira interação. Os eventos AS podem fornecer informações importantes para a determinação dos efeitos de fundo, cujo cálculo é refinado com um método Monte Carlo²⁰.

Na análise dos processos leptônicos, as interações de interesse para análise dos grupos de pesquisa eram caracterizadas por um único elétron (e^-) originário do líquido, não acompanhado por fragmentos nucleares, hádrons ou raios gama correlacionados ao vértice. A cinemática das reações é tal que o elétron seria emitido em um ângulo pequeno, θ_e , em relação ao feixe de neutrino; esperava-se que o elétron transportasse um terço da energia do neutrino incidente, equivalente a um pico entre 1 e 2 GeV. Como as interações de neutrinos com o ímã e o sistema de blindagem produzem uma radiação de fundo de baixa energia de fótons e elétrons, um limite inferior na energia eletrônica foi estabelecido em 300 MeV. Este corte de energia garantia que todos os elétrons das reações esperadas teriam $\theta_e < 5^\circ$ (HASERT *et al.*, 1974).

Ao levar em consideração o comprimento da câmara para excluir eventos que imitariam as correntes neutras, somente foram analisados os eventos que ocorreram dentro de um volume interno de dimensões de 3,75 m de comprimento por 1 m de diâmetro, o que representa cerca de 40% do volume total visível (HASERT *et al.*, 1974).

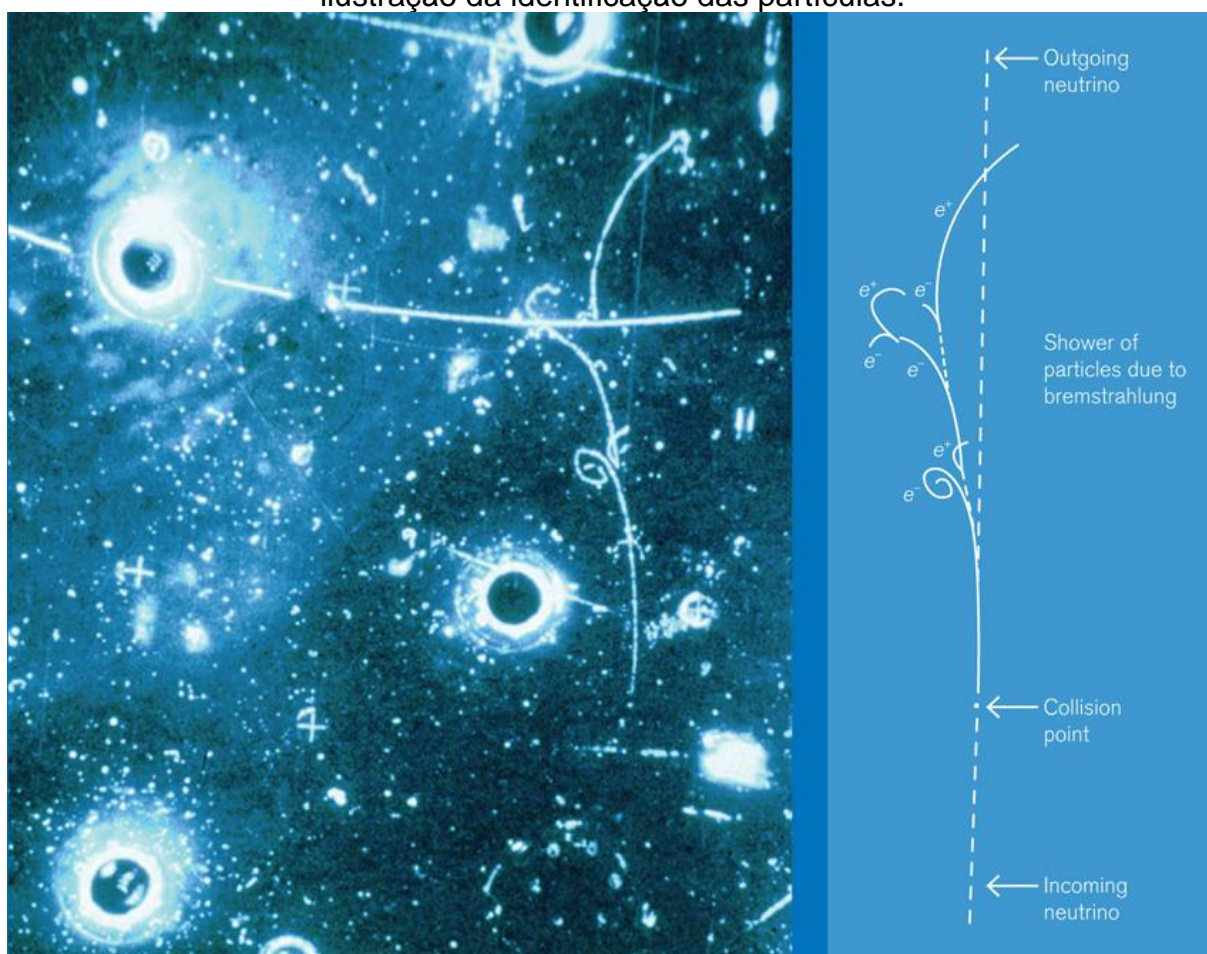
Durante o processo de análise foi tomado cuidado na identificação dos eventos para não confundir eventos de correntes neutras com eventos associados, eventos de correntes neutras geradas por eventos de correntes carregadas. Além disso, os ruídos foram reduzidos ao máximo, para evitar uma

²⁰ Na literatura científica há outra grande classe de simulações de computador chamadas de simulações Monte Carlo (MC). As simulações de MC são algoritmos de computador que usam aleatoriedade para calcular as propriedades de um modelo matemático e onde a aleatoriedade do algoritmo não é uma característica do modelo de destino (WINSBERG, 2015).

medida equivocada. As possíveis fontes de ruído avaliadas foram: raios cósmicos; múons μ^- lentos; partículas que entravam com o feixe e interagem com a câmara; nêutrons e káons vindos de fora da câmara, gerados por neutrinos; káons gerados por efeitos regeneradores na matéria (HASERT *et. al.*, 1974; FORTES; TIJERO; PLEITEZ, 2007).

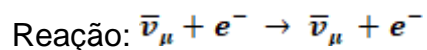
Um total de 375.000 imagens de eventos com neutrinos e 360.000 imagens de eventos com antineutrinos foram analisadas duas vezes pela colaboração Gargamelle. Em janeiro de 1973, a primeira evidência das correntes neutras foi interpretada em um registro das interações dos antineutrinos, um processo leptônico que satisfazia todos os critérios estabelecidos teoricamente. Estava isolado e bem dentro do volume visível mensurável da câmara, tinha uma energia alta o suficiente que não poderia ter sido atingida por um dos portadores neutros, ejetados em eventos carregados.

Figura 13 – Fotografia do primeiro evento de correntes neutras registrado e uma ilustração da identificação das partículas.



Fonte: Cortesia do CERN, RIESSELMANN (2009) .

Na imagem, o antineutrino entra pela esquerda, sem deixar vestígios, atinge um elétron que passa a se mover horizontalmente para a direita, emitindo dois fótons que produzem um par elétron-pósitron.



A curvatura no início do traço mostra que se trata de uma partícula de carga negativa e o efeito *bremstrahlung*, que resulta na produção de fótons de alta energia, evidencia que o traço é de um elétron. A energia do elétron era de $385 \pm 100 \text{ MeV}$ e o ângulo de $1,4^\circ \begin{smallmatrix} +1,6 \\ -1,4 \end{smallmatrix}$. O vértice do surgimento do elétron estava a 60 cm do início do volume visível da câmara e 16 cm do seu eixo. Assim, não tinham chances de ser um registro de um evento gerado por radiação de fundo (HASERT *et al.*, 1973a).

Essa primeira evidência fortaleceu as buscas e, em julho de 1973, após os esforços para medir os eventos de NC, a colaboração Gargamelle coletou amostras de 102 eventos NC nas fotografias com neutrinos e 64 nas fotos com antineutrinos. As amostras correspondentes de eventos de CC foram, respectivamente, 428 com neutrinos e 148 com antineutrinos. Esses dados foram apresentados em julho de 1973 no CERN e enviados para publicação em um artigo assinado por 51 colaboradores. O resultado havia sido obtido meses antes da apresentação no CERN, o atraso na comunicação foi decorrente do tempo necessário para que se convencessem de que os ruídos experimentais estavam sob controle. Mesmo depois desse convencimento, a publicação foi cautelosa. Um evento foi apresentado como candidato e não como uma evidência definitiva (ROUSSET, 1994; HAIDT, 2004).

Embora a colaboração Gargamelle tenha sido a primeira a publicar resultados referentes às evidências das correntes neutras, outro laboratório também estava investigando esse problema. Em 1972, um novo acelerador de partículas entrou em operação no Fermilab, nos Estados Unidos. Ele foi utilizado por uma colaboração que envolvia físicos das universidades de Harvard, Pensilvânia e Wisconsin e que também estava interessada em resolver o problema das correntes neutras (PICKERING, 1984; HAIDT, 2004).

O experimento HPWF entrou em operação no Fermilab no início de 1972 e passou por uma sequência complexa de acontecimentos. No começo de

1973 eles já haviam reunido dados que corroboravam a existência das correntes neutras e comunicaram a notícia ao CERN, o que acabou influenciando na decisão da colaboração Gargamelle de publicar os resultados. Em seguida a equipe HPWF também enviou seus resultados para publicação, mas resolveram manter a publicação suspensa e melhorar seu experimento (PICKERING, 1984).

O que veio a seguir desestabilizou os resultados anteriores da equipe HPWF, pois concluíram que os sinais de correntes neutras encontrados eram muito menores do que o relatado pelo CERN. Posteriormente, estimativas mais detalhadas foram feitas, que inicialmente discordavam dos resultados postos e depois acabaram concordando com o que havia sido publicado pela colaboração Gargamelle. Assim, eles decidiram manter a publicação de 1973, que dava indícios das correntes neutras e em 1974 afirmaram que seus resultados poderiam ser vistos como uma confirmação daqueles obtidos na colaboração Gargamelle (PICKERING, 1984; HAIDT, 2004).

A proporção das correntes neutras entre todas as interações de neutrinos e antineutrinos foi relativamente grande, para antineutrinos a razão NC/CC foi aproximadamente 40% e para neutrinos 25%. Qual o motivo desse efeito não ter sido detectado antes? Afinal, já existiam indícios de correntes neutras em fotografias tiradas na câmara NPA. De acordo com Rousset (1994), os experimentos anteriores haviam sido desencorajadores, a necessidade teórica desses eventos não existia até o final da década de 1960, a motivação não existia (HAIDT, 2004).

No final da década de 1970, a existência e as propriedades das correntes neutras já estavam bem estabelecidas e as práticas experimentais de interpretação, tanto da colaboração Gargamelle como da equipe HPWF, foram incorporadas em sucessivas gerações de experimentos com neutrinos (PICKERING, 1984).

A evidência das correntes neutras fracas coroou o programa de pesquisa de neutrinos iniciado pelo CERN no início dos anos 60 e levou o CERN a um papel de liderança no campo de pesquisa. O novo efeito marcou o início experimental do Modelo Padrão das interações eletrofracas e desencadeou uma enorme atividade no CERN e em todo o mundo, tanto experimental como teoricamente (HAIDT, 2004).

O sucesso mais imediato foi a predição do valor de massa do bóson

vetorial intermediário W , com base no modelo Glashow-Salam-Weinberg combinado com as primeiras medidas do ângulo de mistura eletrofraco θ_w . Obteve-se um valor de 70 GeV, o que indicava que os experimentos com neutrinos não seriam capazes de realizar essa detecção. Seria necessário realizar experimentos de colisões de alta energia (HAIDT, 2004; HAIDT, 2013).

As evidências das correntes neutras, de acordo com Dieter Haidt (2013), deram substância à Teoria Eletrofraca, tornando-se a primeira evidência experimental dessa teoria. Além disso, trouxeram um impulso para a Astrofísica e aplicações na Biologia, bem como um novo campo de interações de neutrinos, agora mediado pelo bóson Z^0 .

Outra questão que foi discutida novamente, após as correntes neutras se estabelecerem, foi a possível violação da paridade em átomos. No final dos anos 60 e durante os anos 70, algumas experiências foram realizadas para testar essa possibilidade. Os resultados iniciais não encontraram nenhum efeito, dado que o átomo exibe um alto grau de simetria e é dominado por interações eletromagnéticas, que preservam a paridade. No entanto, como os bósons da interação eletrofraca poderiam interagir entre si, uma interferência entre as correntes neutras eletromagnéticas e fraca poderiam induzir efeitos de violação da paridade nos átomos (HAIDT, 2013).

A presença desse novo tipo de interação, provocada pelo Z^0 poderia ser percebida na interferência entre a interação de um elétron e um núcleon, quando mediada por um fóton e mediado por um Z^0 . Quando ocorre a troca de fótons, a interação que aparece é a eletromagnética, que preserva a paridade, assim os elétrons seriam espalhados tanto para a esquerda como para a direita, em razões de 50:50. No entanto, com a troca de Z^0 esse equilíbrio ficaria perturbado, pois as interações fracas violam a paridade.

Esse efeito foi observado por alguns experimentos, dentre eles um experimento de dispersão de elétron-núcleon no SLAC (*Stanford Linear Accelerator Center*) em 1978 (PRESCOTT *et al.*, 1978). Esse experimento demonstrou, de maneira convincente, que as interações eletromagnéticas e fracas agiam juntas no processo de dispersão inelástica de elétrons polarizados. Depois disso a maioria dos físicos tomou como certo que a Teoria Eletrofraca estava correta.

Além disso, também forneceu uma medida mais precisa do ângulo

de mistura eletrofraco, o que melhorou as previsões de massa das partículas mediadoras da interação fraca (PRESCOTT, 1997).

Dadas as previsões teóricas de massas, os laboratórios de Física de Partículas, disponíveis na época, não possuíam aceleradores, com energia suficiente, para realizarem experimentos que possibilitassem a observação dessas partículas.

4.1.1.3 Detecção indireta dos bósons W e Z^0

Os maiores aceleradores de partículas, na época, eram máquinas em que um único feixe de prótons é elevado a alta energia e, em seguida, direcionado para um alvo fixo. Nesse tipo de experimentos apenas uma pequena fração da energia do feixe é disponibilizada para a criação de novas partículas. Assim, para gerar partículas com massas, na ordem das massas dos bósons W e Z^0 , a única chance era utilizar uma máquina de colisão de feixes, onde as partículas aceleradas colidem de frente, transformando essencialmente toda a sua energia em novas partículas (CLINE *et al.*, 1982).

Uma das alternativas era promover colisões de elétrons e pósitrons, em um acelerador circular. A vantagem de empregar elétrons e pósitrons é que um único anel de ímãs e cavidades de radiofrequência poderia, simultaneamente, acelerá-los em direções opostas. Por outro lado, pelo fato de serem muito leves, eles rapidamente dissipam suas energias quando são obrigados a circular em no anel, pois, quando uma partícula carregada é desviada, ela muda de trajetória e diminui sua energia cinética por frenagem, dessa forma a diferença de energia é emitida na forma de fótons de alta energia. Essa radiação é chamada de *bremsstrahlung*, que significa radiação de freiamiento, em alemão. A probabilidade de emissão de *bremsstrahlung* é proporcional ao inverso da massa ao quadrado, por isso ele ocorre em abundância em feixes de elétrons. Em um acelerador circular, uma partícula é continuamente desviada por campos magnéticos, de modo que um elétron estaria continuamente emitindo essa radiação e perdendo energia. Essa perda de energia pode ser atenuada trocando elétrons por prótons, pois esse é mais pesado e permite que aceleradores com energias mais altas possam ser operados com menor consumo de energia (CLINE *et al.*, 1982; WATKINS, 1986).

Dessa maneira, não parecia eficiente construir uma máquina com feixes elétron-pósitron, grande o suficiente para alcançar a energia dos bósons vetoriais intermediários. O plano foi, em vez disso, construir anéis de armazenamento nos quais os prótons colidiriam de frente com antiprótons. Dois anéis entrelaçados seriam necessários para organizar essas colisões.

Em 1976, Cline da Universidade de Wisconsin, Rubbia e McIntyre da Universidade de Harvard, sugeriram uma ideia alternativa para a detecção dos bósons. Em vez de construir uma máquina de colisão do feixe inteiramente nova, foi proposto que seria viável e muito mais barato converter um acelerador de próton com alvo fixo, existente numa máquina de colisão. Isso não exigia um novo acelerador e poderia, se bem-sucedido, produzir resultados dentro de 5 anos. A proposta envolveu o aprimoramento de um Síncrotron de Prótons de alta energia para acelerar simultaneamente um feixe de antiprótons e um feixe de prótons no anel de aceleração, que posteriormente seriam levados a colidirem de frente (CLINE *et al.*, 1982; WATKINS, 1986).

Como o maior síncrotron disponível tinha energias máximas de várias centenas de GeV, isso já proporcionaria uma energia de colisão grande o suficiente para procurar evidências da existência, ou não, dos bósons W e Z⁰.

Alguns peritos dos experimentos do Síncrotron de Prótons tinham receio em permitir a transformação desse acelerador em um colisor de prótons e antiprótons, que nem sabiam se iria funcionar. No entanto, Rubbia expôs suas ideias de maneira determinada, com embasamento teórico e experimental, com a finalidade de convencê-los de que essa mudança poderia responder aos questionamentos em jogo (DARRIULAT, 2004).

De acordo com Darriulat (2004), caso o CERN não tivesse aceito a ideia de Rubbia, ele a iria propor para o Fermilab. Isso acabou ajudando na tomada de decisões. Assim, após uma análise minuciosa dos problemas que podem ser encontrados em um projeto como esse, a sugestão foi bem recebida e decidiu-se começar a execução do projeto.

No entanto, também existiam desvantagens em comparação com o uso de colisões elétron-pósitron. Cada próton é composto por três quarks, glúons e pares quark-antiquark, ao passo que cada antipróton contém três antiquarks juntamente com glúons e pares quark-antiquark. Assim, quando um próton colide

com um antipróton ocorre uma interação complicada entre várias partículas diferentes. Isso implica em um estudo teórico e experimental que possibilite a distinção entre os produtos dessa colisão (WATKINS, 1986).

Além disso, a proposta só poderia funcionar se um feixe de antiprótons altamente compacto com um impulso precisamente definido pudesse ser produzido. Esse foi um detalhe que precisou ser resolvido.

Ao contrário dos prótons, antiprótons não estão prontamente disponíveis a partir de qualquer fonte natural, eles devem ser criados em colisões de alta energia. Para isso, um feixe de prótons de alta energia é dirigido a um alvo de metal, nessa colisão os antiprótons são gerados e precisam ser dirigidos, magneticamente, para um anel de armazenamento particularmente projetado. O processo é extremamente ineficiente; em média, um antipróton de baixa energia é produzido para cada milhão ou mais de prótons de alta energia que atingem o alvo (CLINE *et al.*, 1982).

Para colocar esta taxa de produção em perspectiva, foi calculado que, para obter um número útil de colisões de prótons e antiprótons na máquina de colisão de feixes, seria preciso recolher grupos de prótons e antiprótons, cada um composto de pelo menos 100 bilhões de partículas (CLINE *et al.*, 1982).

Criar antipartículas suficientes não era o único problema. Os antiprótons emergem do alvo com uma variedade de velocidades e direções. Se a energia for demasiadamente elevada, algumas das partículas vão atacar as paredes do acelerador e o feixe será dissipado. Portanto, é necessário um método para “esfriar” o feixe de antipróton, isto é, para reduzir os seus movimentos aleatórios, de modo a mantê-lo tão concentrado quanto possível, antes da sua entrada no anel acelerador.

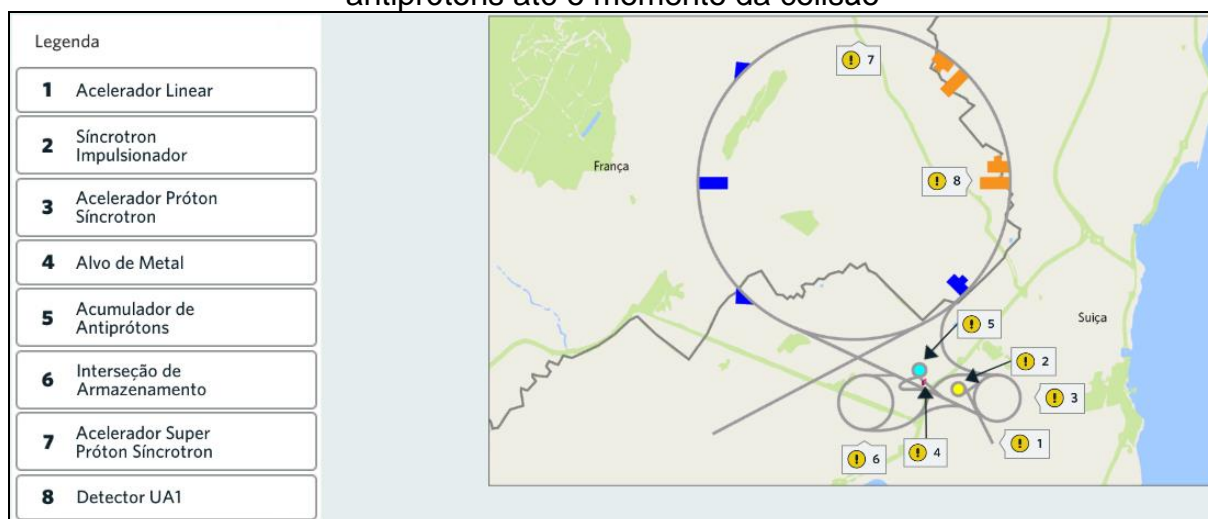
Na época, já existiam algumas técnicas de resfriamento, uma delas utilizava um feixe de elétrons “frios”, em que todos eles possuem a mesma velocidade e direção misturado ao feixe de antiprótons, assim, parte da energia térmica dos antiprótons era transferida para os elétrons. Misturando os feixes repetidamente o resfriamento era alcançado. No entanto, esse processo é mais eficiente para casos em que a energia dos antiprótons não seja tão alta.

A saída foi utilizar outro método de resfriamento, mais adequado para as necessidades da máquina de prótons e antiprótons do CERN. Esse

processo foi inventado em 1968 por van der Meer, o arrefecimento estocástico. Nesse método, os antiprótons seriam armazenados em um depósito circular, em pacotes isolados. Os antiprótons que entram no acumulador circulam por uma pista mais externa e sensores eletrônicos medem o desvio médio das partículas da órbita ideal. Essas medidas são convertidas em um sinal de correção que é transmitido para outro dispositivo, que aplica um campo elétrico para empurrar o centro de massa das partículas de volta para dentro da órbita ideal. Assim que esse feixe esteja suficientemente resfriado ele é encaminhado para uma pista mais interna do acumulador, enquanto outro feixe de antiprótons desordenados assume a pista externa. Dessa maneira, são acumulados vários pacotes de antiprótons, até que se tenha um feixe denso o suficiente para a realização das colisões (CLINE *et al.*, 1982; WATKINS, 1986).

Na Figura 14 é representado um esquema de todo o processo de aceleração e produção dos prótons e antiprótons, de acordo com Cline *et al.* (1982) e Watkins (1986). Os itens desse complexo de aceleradores estão indicados por números e sua respectiva legenda está na figura.

Figura 14 – Representação do processo de produção e aceleração de prótons e antiprótons até o momento da colisão



Fonte: adaptado de Cline *et al.* (1982) e Watkins (1986)

Todo o complexo experimento, que foi projetado para a detecção dos bósons, tem início com um cilindro de hidrogênio, que irá fornecer os átomos, cujos prótons serão utilizados na experiência. Esse cilindro fica em uma das pontas de um acelerador linear, o LINAC. É nele que os prótons são injetados e acelerados,

até obterem uma energia de 50 MeV, antes de serem direcionados para os aceleradores circulares. Em seguida esses prótons são direcionados para um sincrotron impulsionador, o BOOSTER, composto por quatro anéis que recebem o feixe de prótons do LINAC e aceleram os mesmos até 800 MeV para então direcionar para o Próton Sincrotron (PS).

No acelerador PS os prótons são novamente acelerados, até obterem uma energia de 26 GeV, quando são direcionados para colidirem com um alvo fixo de metal, produzindo um jato de partículas, incluindo um pequeno número de antiprótons com uma energia de 3,5 GeV.

Esses antiprótons eram recolhidos e transferidos para um anel de armazenamento circular, chamado Acumulador de Antipróton (AA), onde eles eram, em primeiro lugar, pré-resfriados pelo método estocástico, e, em seguida, transferidos para uma órbita ligeiramente menor, na qual eles são empilhados com os grupos previamente injetados e submetidos a mais resfriamento. Depois de algumas centenas de bilhões de antiprótons serem recolhidos, eles são enviados de volta para o anel PS, onde eram acelerados a 26 GeV, antes de serem injetados no Super Próton Síncrotron (SPS).

Enquanto isso, prótons de 26 GeV, do anel PS são injetados no anel SPS para serem acelerados até obterem uma energia de 270 GeV. Os antiprótons, acelerados no PS, também são enviados para o SPS, porém eles são injetados de forma a circular na direção oposta de circulação dos prótons. Quando os dois feixes possuem a energia adequada para a colisão, são direcionados para colidirem no interior de dois detectores, o UA1 (Underground Area 1) e o UA2 (Underground Area 2).

Depois que os prótons e antiprótons passaram por todo esse processo, eles estão prontos para a colisão. Nesse ponto, entram outras questões.

Como detectar a presença dos bósons vetoriais produzidos em tais colisões?

Uma partícula com curto tempo de vida pode ser detectada indiretamente pelos produtos de seu decaimento. Os bósons W e Z^0 decaem pela interação fraca, então pode-se esperar que o decaimento ocorra. Porém, sua massa os torna difíceis de produzir, isso significa que eles decaem muito mais rápido do que partículas mais leves. No decaimento de um W ou Z^0 , há uma enorme liberação

de energia e nessas colisões de alta energia frequentemente são produzidas mais de 100 partículas diferentes (WATKINS, 1986). Como selecionar os produtos de decaimento dos bósons W e Z^0 ?

Quanto ao produto dos decaimentos, como Z^0 é neutro espera-se que ele decaia em um par lépton-antilépton, ou seja, dois léptons com cargas opostas, por exemplo, um elétron e um pósitron ($Z^0 \rightarrow e^- + e^+$), um múon e um antimúon ($Z^0 \rightarrow \mu^- + \mu^+$). Como, tanto o elétron quanto o múon possuem massas bem menores do que o Z^0 , a previsão é de que os decaimentos produzam partículas com altas energias, pois toda a energia de repouso do Z^0 é transmitida para elas.

O decaimento do Z^0 em um par elétron-pósitron ou múon-antimúon representa apenas 6% das possibilidades totais de decaimento de Z^0 . No entanto, esses modos de decaimento são os mais úteis na busca por sua existência em colisões próton-antipróton (WATKINS, 1986).

Já os W^+ e W^- que possuem carga elétrica +1 ou -1 devem decair em um lépton ou antilépton, que possuem carga elétrica, e neutrinos ou antineutrinos, que não possuem carga elétrica. Por exemplo, o W^- pode decair em um elétron e um antineutrino do elétron, um múon e um antineutrino do múon. Já o W^+ pode decair, por exemplo, em um antilépton e o neutrino do elétron, antimúon e o neutrino do múon etc. Como o neutrino não pode ser detectado nas colisões, a identificação desses decaimentos é feita pela conservação do momento e da energia das partículas resultantes da colisão. Os decaimentos em lépton ou antilépton, acompanhados de neutrinos ou antineutrinos, representam aproximadamente 8% das possibilidades de decaimento dos bósons W , no entanto, assim como no caso do decaimento do Z^0 , são os mais úteis nesta busca.

Os cálculos realizados para estimar a produção das partículas mediadoras W^+ , W^- e Z^0 , em colisões de prótons e antiprótons a 540 GeV, fizeram uma estimativa de um decaimento de W a cada 10 milhões de colisões. No caso do Z^0 essa previsão era de uma taxa de decaimento 10 vezes menor. Assim, seriam necessários meses de trabalho contínuo nos aceleradores e detectores para que se conseguisse detectar alguns desses eventos (WATKINS, 1986).

Como o acelerador é subterrâneo, cada detector no colisor teve que ser instalado em uma área subterrânea. Desde o início, tudo foi acompanhado por uma série de grupos de pesquisa de países diferentes, que formaram duas

colaborações, uma delas era a colaboração da Área Subterrânea 1 (UA1). A colaboração foi formada para projetar e construir um detector para identificar e registrar colisões energéticas próton-antipróton na busca dos bósons W e Z^0 .

Além da colaboração UA1, também foi aprovado um segundo experimento, o UA2, que apresentava os mesmos objetivos do UA1.

A decisão de ter dois experimentos independentes na busca dos bósons mostrou-se uma escolha sábia, pois são vários detectores complexos e seria mais seguro ter dois experimentos em caso de falhas em algum deles. Isso também introduziu um elemento adicional, a concorrência, o que assegurou que os resultados experimentais foram extraídos o mais rápido possível (WATKINS, 1986, p. 67)²¹.

Além disso, nos experimentos envolvendo aceleradores de partículas é conveniente ter dois experimentos com o mesmo objetivo, pois assim é possível confirmar ou refutar os resultados mutuamente. Por exemplo: no acelerador Tevatron do Fermilab, os experimentos CDF e Dzero anunciaram juntos a evidência do quark top e no acelerador LHC os experimentos ATLAS e CMS anunciaram juntos a evidência do bóson de Higgs. No caso dos bósons W e Z^0 , o experimento UA1 detectou e o experimento UA2 fez a confirmação. Dessa forma, parafraseando Watkins (1986), não foi uma escolha sábia, mas necessária.

Como a colisão iria gerar muitas partículas diferentes, seria necessário projetar vários detectores para procurar os produtos da decomposição dos bósons vetoriais. O detector UA1 é o resultado de um esforço colaborativo de uma equipe de mais de 100 físicos de 11 instituições na Europa e nos EUA: da Universidade de Aachen, do Laboratório de Física de Partículas de Annecy, da Universidade de Birmingham, do CERN, do Queen Mary College (Londres), do Collège de France (Paris), da Universidade da Califórnia em Riverside, da Universidade de Roma (I), do Laboratório Rutherford, do Centro de Pesquisa Nuclear Saclay e da Universidade de Viena. O UA1 tinha 10 metros de comprimento por cinco metros de largura, e massa total de aproximadamente 2.000 toneladas (CLINE *et al.*, 1982).

O detector UA1 é um dispositivo polivalente, feito para detectar

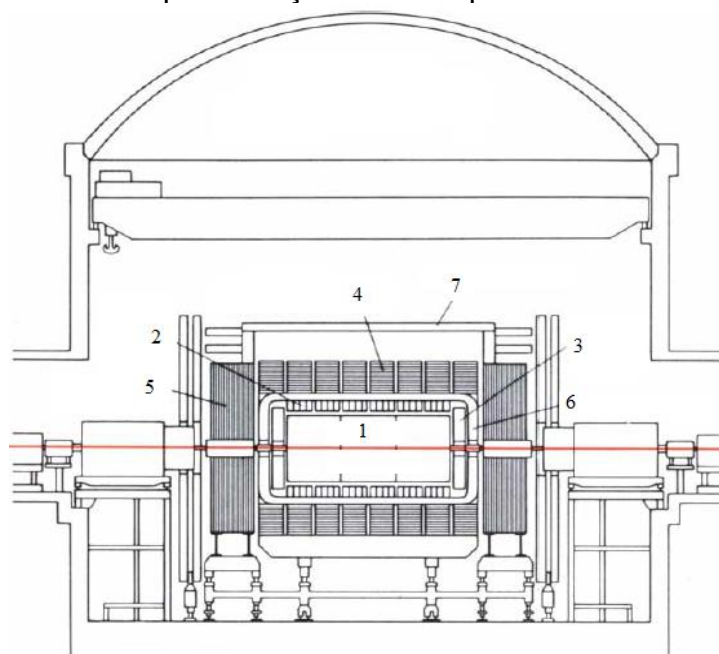
²¹ Tradução livre o texto em inglês: The decision to have two independent experiments in the search for the bosons proved a wise choice. As these are very complex detectors, it is much safer to have two experiments in case of a major problem with one of them. It also introduced an extra element of competition which ensured that the experimental results were extracted as quickly as possible (WATKINS, 1986, p. 67).

vários tipos de partículas e para recolher informações sobre um largo ângulo sólido em torno do ponto onde os feixes colidem. Ele mede a energia das partículas por vários meios, incluindo a curvatura dos seus caminhos em um campo magnético (CLINE *et al.*, 1982).

Parte do sucesso no projeto UA1, de acordo com Darriulat (2004), é devido à experiência que os físicos obtiveram no ISR (*The Intersecting Storage Rings*), que foi o primeiro colisor de hádrons já construído no mundo, a máquina na qual a jovem geração de físicos que projetou, construiu e operou o colisor próton-antipróton, aprendeu e adquiriu suas experiências. É a máquina na qual as ideias de Van der Meer, a respeito do arrefecimento estocástico, foram experimentadas pela primeira vez, onde foram estudadas e compreendidas.

O detector UA1 consistia de uma série de detectores que possibilitavam a identificação das partículas, de acordo com suas características. Na Figura 15 estão representados os componentes desse detector, de acordo com Cline *et al.* (1982) e Watkins (1986) e o que representa cada número na figura está descrito no texto.

Figura 15 – Representação dos componentes do detector UA1



Fonte: Cline *et al.* (1982)

Na figura acima, o item 1 representa o detector central, trata-se de uma câmara de fios formada por três cilindros com dimensões aproximadas de 2

metros de comprimento por 2 metros de diâmetro. Dentro dos cilindros há uma mistura gasosa que envolve as camadas de fios separadas por 3 mm uma da outra. Existe uma diferença de potencial entre as camadas, estando essas empilhadas alternando cátodos e ânodos. Quando uma partícula carregada penetra na câmara, ela ioniza o gás. Os elétrons são atraídos para os ânodos e os íons positivos para os cátodos. Quando isso acontece, a presença da partícula é notada e, por meio de computadores, a trajetória da partícula pode ser refeita.

O item 2 representa o calorímetro eletromagnético, que é utilizado para medir com precisão a energia de elétrons e fótons provenientes da colisão. É composto por camadas alternadas de cintiladores e chumbo, com aproximadamente 1 mm cada. Quando uma partícula carregada passa pelo cintilador ele emite um sinal luminoso. Esses sinais luminosos são captados por um fotomultiplicador que os transformam em sinais elétricos. Ele envolve todo o detector central, inclusive nas extremidades, como representado no item 3 que simboliza a “tampa” desse detector.

Envolvendo o calorímetro eletromagnético é colocada uma bobina de alumínio, representada no item 6, de 800 toneladas, que é utilizada para gerar um campo magnético de 0,7 Teslas no detector central. Para isso, na bobina circula uma corrente elétrica de 10.000 Ampères. Com isso, é produzido um campo magnético uniforme no volume do detector central e um campo magnético mínimo fora desse detector, para que os calorímetros possam operar com êxito.

Essa bobina é envolta por um calorímetro hadrônico, representado no item 4, utilizado para medir com precisão a energia de partículas que contém quarks, por exemplo, prótons e nêutrons. Ele é formado por camadas alternadas de 5 cm de ferro e 1 cm de cintilador, em formato de C. Os sinais luminosos emitidos pelos cintiladores também são transmitidos para fotomultiplicadores, que convertem em sinais elétricos. Assim como o calorímetro eletromagnético, ele também é fechado nas extremidades, como representado no item 5.

Envolvendo todas essas camadas de detectores, encontra-se o detector de múons, representado no item 7. Ele é formado por módulos de câmaras de múons, cada um de 4 m x 6 m, com quatro planos cruzados de tubos, cada um com uma secção transversal de 5 cm x 15 cm. Um fio sensível, localizado ao longo do centro de cada tubo, detecta a ionização causada pela passagem de uma partícula carregada. Os tubos são preenchidos com a mesma mistura gasosa que o

detector central.

Desde o início do projeto até o início dos experimentos, muitos testes foram realizados, à medida que os aceleradores e detectores eram adaptados e instalados para promoverem as colisões.

As adaptações para a realização do experimento terminaram em 1981 e, em julho daquele ano, foram observadas as primeiras colisões de próton-antipróton, com uma energia de 270 GeV por feixe. Ao final de dezembro, quando o experimento foi pausado para o feriado de Natal, mais de 250.000 colisões como estas tinham sido gravadas. No entanto, por causa da taxa comparativamente baixa na qual os bósons vetoriais intermediários são produzidos em colisões de próton-antipróton, não foi de estranhar que nenhum deles foi detectado nessas primeiras séries. Esta situação mudou na próxima fase de experiências, em que a intensidade dos feixes e a taxa de colisão foram aumentadas (CLINE *et al.*, 1982).

Durante os preparativos para a segunda obtenção de dados, ocorreram alguns incidentes. Um deles foi com o detector central, que precisou ser desmontado, limpo e remontado para seguir com o experimento. Após esse acidente, a gestão do CERN decidiu adiar a retomada dos experimentos em outubro de 1982. Outro imprevisto ocorreu durante o verão de 1982, devido às frequentes tempestades que ocorriam nessa época do ano. A água começou a acumular na área subterrânea mais rápido do que qualquer bomba poderia removê-la, assim a camada de detectores de múons que ficava na parte inferior foi danificada pela inundação e precisou ser reparada (WATKINS, 1986).

Os primeiros dados de outubro de 1982 não apresentaram nenhum indício dos bósons procurados. Esse cenário mudou no início de novembro, quando, durante uma dessas sessões de rotina, um candidato ao bóson W^- foi encontrado. Isso criou grande entusiasmo e em breve havia dezenas de físicos, ansiosos para olhar para todas as características do evento, na área de digitalização. No entanto, ao analisar detalhadamente o evento, percebeu-se que não era possível afirmar que se tratava de um decaimento do bóson W . Assim, a emoção se conteve e a busca continuou.

Dois dias depois, um segundo candidato W^- foi encontrado em outra sessão de verificação de rotina, o que, novamente, gerou entusiasmo e estudos detalhados de todos os aspectos desse novo evento. Cópias do evento, vistas de

todos os ângulos, foram feitas e distribuídas para integrantes da colaboração UA1 rapidamente. Cada pessoa que estudou o evento tentou detectar um problema que poderia ter passado despercebido pelos demais, mas nenhum problema foi detectado após uma inspeção por especialistas, o que caracterizou esse evento como um excelente candidato para um bóson W^- , decaindo em um elétron e seu antineutrino.

Entretanto, um único evento não poderia convencer da existência do bóson W^- , pois a detecção dos neutrinos e antineutrinos era feita com base na falta de uma porção da energia inicial. Por exemplo, ao somar todas as energias registradas nos calorímetros e essa soma não coincidir com o valor da energia inicial, suspeita-se que neutrinos, ou antineutrinos, tenham carregado essa energia que está faltando e passaram sem serem registrados pelos detectores. Porém, os detectores não conseguem fazer uma varredura de todo o espaço em torno da colisão, existem lacunas entre eles que podem levar a uma falsa interpretação da presença de neutrinos ou antineutrinos. Isso pode ser resolvido com a presença de mais eventos, que corrigem esses efeitos de fundo e tornam os resultados mais convincentes.

Dessa maneira, a busca deveria continuar. Ao final da obtenção de dados, havia muito a ser analisado. Por meio de critérios de seleção os eventos de interesse foram classificados e estudados pelas equipes de pesquisadores, até que restaram somente os eventos que poderiam ser interpretados como decaimentos dos bósons W .

Um *workshop* a respeito das colisões de prótons e antiprótons foi realizado na Universidade de Roma (I) de 12 a 14 de janeiro de 1983. Nesse encontro estavam presentes muitos dos experimentadores que participaram dos longos períodos de preparação e obtenção de dados no final de 1982. A sessão mais emocionante incluiu as apresentações de Rubbia e Darriulat, que descreveram o *status* das buscas realizadas pelas experiências UA1 e UA2 para os bósons W e Z^0 .

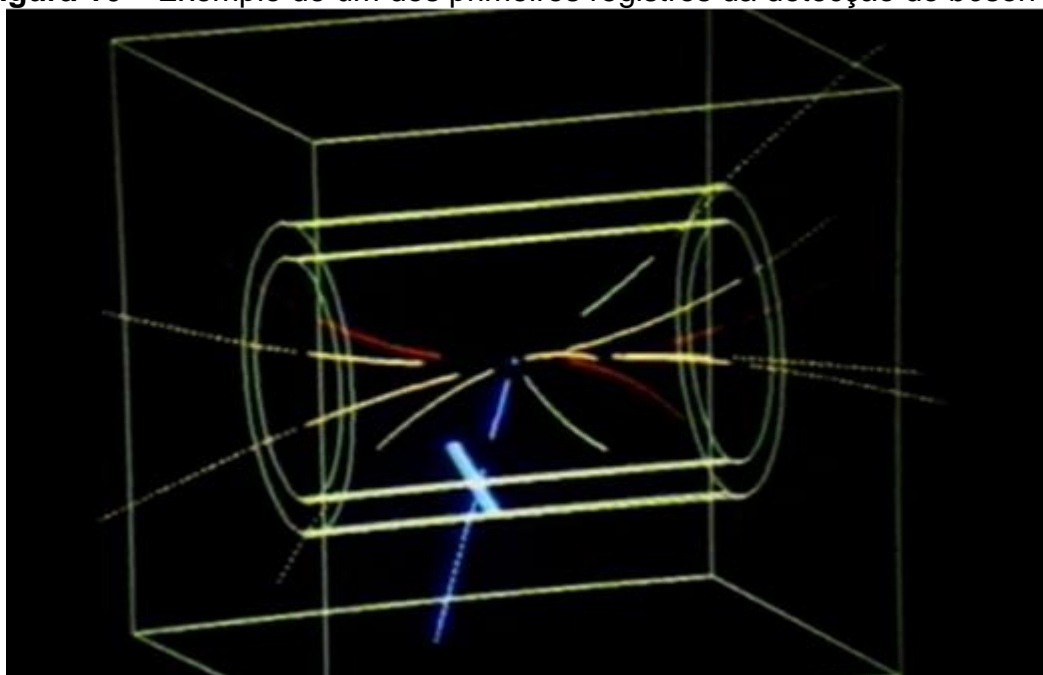
A apresentação da colaboração UA1 foi conduzida por Rubbia, que conseguiu comprimir várias horas de material em uma hora. Toda a experiência da UA1 foi revisada brevemente, desde as propriedades de cada parte do detector, até a seleção final de candidatos W . Dentre os resultados não havia um único candidato

para um bóson de Z^0 , mas havia seis candidatos dos bósons W . Com relação à colaboração UA2, também não havia candidatos ao bóson Z^0 , e foram apresentados quatro candidatos aos bósons W .

Quando as colaborações retornaram ao CERN, outros detalhes foram observados e nenhum outro problema foi identificado. A massa do bóson W poderia ser estimada pela combinação das medidas dos produtos do decaimento e ambas as colaborações foram capazes de citar a massa do bóson W como sendo aproximadamente 80 GeV (UA1, 1993a; UA2, 1993a). Esses resultados dos dois experimentos foram apresentados em seminários no auditório do CERN nos dias 20 e 21 de janeiro de 1983. E no próximo fim de semana a colaboração UA1 começou a escrever um artigo científico a respeito dos eventos.

O anúncio oficial da evidência dos bósons W ocorreu em 25 de janeiro, em uma conferência de imprensa convocada no CERN. Foram apresentados os cinco eventos da colaboração UA1 e os quatro eventos da colaboração UA2, como evidências da existência dos bósons W , esperançosos de que o bóson Z^0 ainda seria detectado, uma vez que ele é produzido com menos frequência que os bósons W . Na Figura 16 está representado um dos primeiros registros da evidência do bóson W^- , no qual ele decai em um elétron, identificado como a linha azul, e seu antineutrino, que passa despercebido pelos detectores.

Figura 16 – Exemplo de um dos primeiros registros da detecção do bóson W^-



Fonte: CERN: CERN-MOVIE-1983-005-001

Os esforços entusiasmados de um número enorme de pessoas foram aproveitados efetivamente. No primeiro artigo publicado assinaram 135 autores, seguidos por mais dois artigos com 138 autores. A evidência bem-sucedida do bóson W foi uma recompensa pelo trabalho em equipe em uma escala sem precedentes em experiências científicas.

Depois de todo esse entusiasmo, era necessário retornar ao trabalho, analisar o restante dos dados e retomar a obtenção de dados. Em seguida, os aceleradores foram utilizados para outros experimentos e a retomada de colisões foi programada para começar em 12 de abril de 1983 e durar até julho. O objetivo imediato dessa etapa era claro, esperava-se acumular outros exemplos de decaimento do bóson W e encontrar evidências do bóson Z^0 .

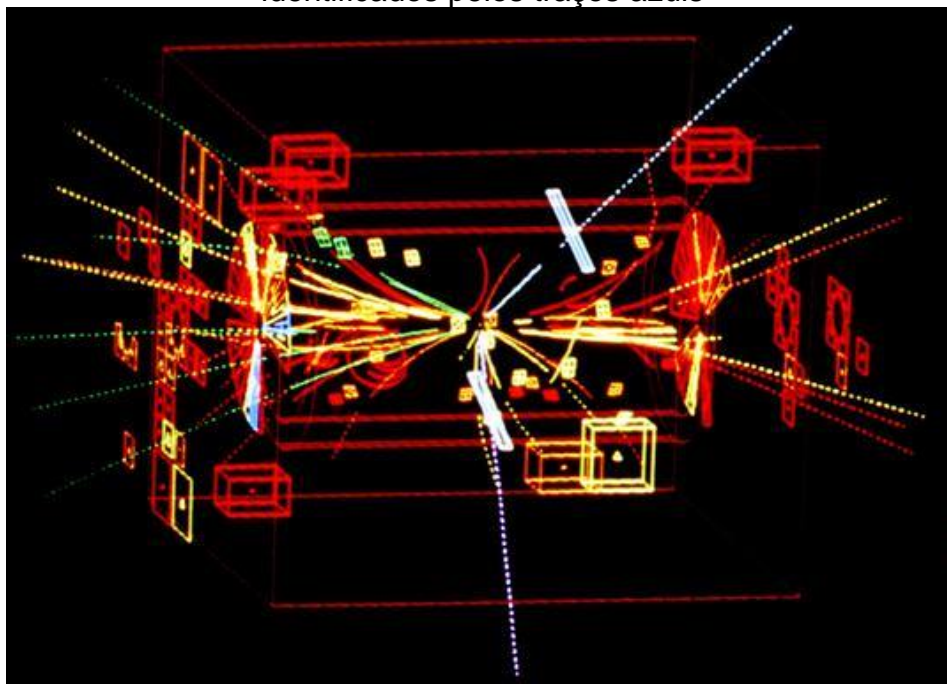
Em 4 de maio de 1983, o primeiro candidato Z^0 foi identificado a partir da análise de uma colisão ocorrida em 30 de abril. Novamente, todos os cuidados foram tomados para que não ocorresse nenhuma interpretação falsa e chegou-se à conclusão de que se tratava de um evento de decaimento do bóson Z^0 em um par elétron-pósitron. Depois desse, logo houve a observação de outra possibilidade do decaimento de Z^0 , no par múon-antimúon. Ambas as observações foram realizadas pela colaboração UA1.

Esses resultados foram apresentados em um seminário no CERN e em seguida ambos os experimentos continuaram a busca por mais eventos. Dias após o seminário, mais dois eventos foram observados pela UA1. E em 1 de junho de 1983, o CERN anunciou formalmente as evidências da existência do bóson Z^0 .

A colaboração da UA1 escreveu um artigo científico a respeito dessas observações que incluiu quatro decaimentos em um par elétron-pósitron e um decaimento em um par múon-antimúon. Esse artigo foi submetido para publicação em 6 de junho de 1983 e citou uma massa para o Bóson Z^0 de $(95,2 \pm 2,5)$ GeV. O experimento UA2 também detectou candidatos Z^0 . Essas duas colaborações reuniram nove eventos de decaimentos desse bóson, com uma massa aproximada de 93 GeV (UA1, 1983b; 1983c; UA2, 1983b), o que estava em excelente concordância com as previsões detalhadas da Teoria Eletrofraca.

Na Figura 17 é representado o primeiro decaimento do bóson Z^0 que foi registrado no experimento UA1.

Figura 17 – Registro do decaimento do bóson Z^0 em um par elétron-pósitron, identificados pelos traços azuis



Fonte: CERN: original ref.: X-168-4-87

Essas detecções foram as evidências empíricas conclusivas da Teoria Eletrofraca, segundo a qual a interação eletrofraca é mediada por quatro partículas, o fóton (γ), partícula não massiva e mediadora da interação eletromagnética e os bósons vetoriais massivos, W^+ , W^- e Z^0 , mediadores da interação fraca.

Como dito anteriormente, de acordo com essa teoria, inicialmente as partículas têm massa nula e estão sujeitas à simetria de “gauge”. No entanto, por meio do mecanismo de Higgs, do qual participam o dubleto Higgs (H^+ , H^0) e seu antidubleto (H^- , $\overline{H^0}$), há a quebra espontânea dessa simetria, ocasião em que o fóton (γ) permanece com massa nula, porém o W^+ e o W^- adquirem massas por incorporação dos bósons carregados (H^\pm), ao passo que o Z^0 que adquire massa de uma parte dos bósons neutros ($H^0 + \overline{H^0}$), ficando a outra parte ($H^0 - \overline{H^0}$) como uma nova partícula bosônica escalar de spin 0, o chamado bóson de Higgs.

Essa teoria já havia sido aceita pela comunidade científica mesmo antes da detecção dos bósons W^+ , W^- e Z^0 , com seus propositores ganhando o Prêmio Nobel de 1979. Por fim, em 2012, foi anunciada a evidência experimental de uma partícula que provavelmente seria o bóson de Higgs. Com o anúncio dessa evidência empírica também veio um intenso trabalho dos pesquisadores para obter

mais medidas e informações a respeito dessa partícula até que fosse confirmada a detecção.

Com base nessa composição histórica, pôde-se entender o processo de elaboração da teoria das interações eletrofracas e observar a relevância das formulações teóricas, bem como o papel que as equipes experimentais e seus experimentos tiveram na elucidação dos desafios daquela época. Assim, espera-se que a exploração desses experimentos também possa auxiliar os alunos na compreensão das fases de desenvolvimento dessa teoria.

Como, infelizmente, é inviável o contato direto dos alunos com esses experimentos, acredita-se que a simulação computacional dessas experiências possa cumprir com a missão de promover o conhecimento de como eram operados e funcionavam, bem como possibilitar, por meio de sua exploração no contexto de uma abordagem histórico-didática, um entendimento de como esses experimentos foram relevantes no processo de elaboração e consolidação da Teoria Eletrofraca.

O processo de elaboração das simulações será descrito no próximo capítulo, como parte do processo empírico-metodológico da pesquisa.

A seguir serão apresentadas as fundamentações teóricas para a elaboração dos questionários utilizados na investigação.

4.2 ELABORAÇÃO DOS QUESTIONÁRIOS

Durante a investigação foram elaborados seis questionários, questionário prévio, questionário posterior, questionário de opinião a respeito da Abordagem Didática, questionário de opinião a respeito das simulações de experimentos históricos e dois questionários para avaliação das simulações, um para especialistas em Física, Ensino e História da Ciência e outro para especialistas em *Design*. Todos os questionários continham um termo de consentimento livre e esclarecido e foram decodificados intersubjetivamente por integrantes do grupo IFHIECEM. A seguir serão explicitadas as bases teóricas que os fundamentaram.

Questionários Prévios e Posteriores: Os questionários prévios e posteriores, disponíveis no Apêndice B, são compostos pelas mesmas questões, com exceção de uma delas que somente foi inserida no questionário posterior. Todas questões abertas, para que os alunos pudessem expressar suas opiniões

sem serem levados a optarem por alternativas, induzindo possíveis respostas, uma vez que o uso de questionários de múltipla escolha, muitas vezes, pode impor uma visão (LEDERMAN *et al.*, 2002).

As questões desses questionários são divididas em duas partes, a primeira delas a respeito da Natureza da Ciência e a segunda a respeito do conteúdo científico abordado na Abordagem Didática.

As questões de Natureza da Ciência foram elaboradas, com base no questionário VNOS-C (*Views of the Nature of Science, From C*), que foi elaborado e validado por Lederman *et al.* (2002) e traduzido e validado em português por El-Hani, Tavares e Rocha (2004). As questões 03 e 07 não são oriundas desses questionários, mas todas foram decodificadas intersubjetivamente por membros integrantes do grupo de pesquisa IFHIECEM.

As questões relacionadas ao conteúdo científico foram elaboradas com base nos conteúdos científicos discutidos na abordagem didática e, assim como as outras questões, também foram decodificadas intersubjetivamente por membros integrantes do grupo de pesquisa IFHIECEM.

Questionários de Opinião: Foram elaborados dois questionários de opinião durante a investigação, um deles para que os alunos expressem suas impressões a respeito das simulações de experimentos históricos, disponível no Apêndice C, como uma das maneiras de avaliação das simulações, e outro a respeito da Abordagem Didática, disponível no Apêndice D, para que eles pudessem expor suas opiniões a respeito dos recursos utilizados, das dificuldades enfrentadas, e sugestões para aprimoramento da Abordagem Didática ou das simulações computacionais.

Questionário para Avaliação das Simulações de Experimentos Históricos por Pares: A parte da validação de um *software* educacional compõe a avaliação somativa, geralmente realizada por pessoas não envolvidas na produção das mesmas e junto com a avaliação formativa, desenvolvida pela equipe durante o processo de elaboração, compõe a avaliação das simulações antes que sejam testadas com o público-alvo.

A avaliação de um *software* educacional é uma etapa fundamental para que seja assegurado que os objetivos e metas propostos foram realmente

alcançados e que o *software* soluciona o problema de ensino ou aprendizagem que motivou seu desenvolvimento (CAMPOS *et al.*, 1995).

Essa avaliação é mais complexa que a avaliação de *softwares* tradicionais, pois deve considerar os aspectos pedagógicos e, no caso desta pesquisa, também os aspectos históricos relacionados aos experimentos simulados.

De acordo com Godoi e Padovani (2011), existem vários instrumentos avaliativos direcionados para *software* educativo, no entanto existem algumas lacunas. Em uma pesquisa realizada pelas autoras, dentre vinte e três trabalhos consultados – CSEI (BUCKLEITNER, 1998), MAEP (SILVA, 2002), PROINFO, TICESE (GAMEZ, 1998; CRONJE, 1998; HANNA *et al.*, 1997; SQUIRES; PREECE, 1999; REEVES; HARMON, 1996), ASE (VIEIRA, 1999), ESEF (*INTERNATIONAL SOCIETY FOR TECHNOLOGY IN EDUCATION*, 2002), PCEM (GRAELLS, 2001), SEF (SCHROCK, 2000), SK (SUPER KIDS EDUCACIONAL SOFTWARE REVIEW, 1998), MAQSE (CAMPOS, 1994), MAQSEI (ATAYDE, 2003), Modelo JIGSAW (SQUIRES; PREECE, 1996), IAQSEM (GLADCHEFF, 2001), PEDACTICE (COSTA, 1999), CASE (LYRA *et al.*, 2003), MEMI (HÛ *et al.*, 2001), MEDA (SILVA, 2002), SASE (BEAUFOND; CLUNIE, 2000), SOFTMAT (BATISTA, 2004) – nenhum mencionava a participação dos usuários e poucos eram os autores que apresentam validação dos instrumentos propostos em situação real de uso.

Segundo Godoi e Padovani (2011), os instrumentos avaliativos para *software* educativo apresentam uma grande diversidade de formatos, critérios de avaliação, formas de avaliação e apresentação dos resultados. Em termos de formato os instrumentos avaliativos aparecem nas seguintes modalidades: *checklists*, diretrizes, escalas de avaliação, formulários, híbridos, modelo conceitual, questionários ou sistemas. Os critérios de avaliação podem ser enquadrados em três categorias propostas por Silva (2002): critérios ergonômicos, pedagógicos e comunicacionais. A forma de avaliação do *software* varia entre: atribuição de conceito, atribuição de peso/valor, binária (sim ou não), diferencial semântico, escala de intensidade, escala numerada, múltipla escolha, nota, pergunta encadeada e relato escrito. A obtenção de dados dos instrumentos está dividida entre quantitativa e qualitativa e a apresentação das informações, na fase de tabulação dos resultados, pode variar entre: perfil em diferencial semântico, gráfico, planilha eletrônica, tabela e texto.

Com base nos posicionamentos de Godoi e Padovani (2009; 2011), Cataldi *et al.* (2003), Perry (2005), Costa (2012), Rezende (2013), Trebien (2002), Mattos (2006), Bertoldi (1999) e Brooke (1986), trabalhos que discutiram a temática de avaliação de *softwares* educacionais ou, no caso de Brooke, a escala de usabilidade de *softwares*, foi elaborado um questionário que atendesse as especificidades das simulações computacionais desenvolvidas nessa pesquisa.

Assim, o questionário elaborado para validação das simulações computacionais abrange a análise de aspectos educacionais, computacionais, históricos, de conteúdo e de *Design*. As questões foram divididas em dois grupos, um deles referente aos aspectos educacionais, históricos e de conteúdo, que foram respondidas por especialistas em Física, Ensino, História e Filosofia da Ciência e alunos de cursos de licenciatura em Física, cursando os últimos dois anos de graduação. O outro grupo de questões foi referente aos aspectos computacionais e de *Design*, que foram respondidas por especialistas das respectivas áreas. Ambos os grupos também responderam a questões referentes à usabilidade do *software*.

Esse questionário, disponível no Apêndice E, composto por um termo de consentimento livre e esclarecido e por questões de múltipla escolha com possibilidade de deixar comentários em cada questão, foi decodificado intersubjetivamente por membros da equipe desenvolvedora e por membros do grupo de pesquisa IFHIECEM.

Dada a necessidade de avaliações em sala de aula, nas quais os *softwares* educacionais são inseridos em contextos reais, na próxima seção é descrita a elaboração da Abordagem Didática, que durante sua implementação assumiu um papel de instrumento de pesquisa para obtenção de dados e como teste-piloto no ciclo de desenvolvimento das simulações.

4.3 ELABORAÇÃO DA ABORDAGEM DIDÁTICA

Como evidenciado por Godoi e Padovani (2011), raros são os casos de avaliação de *softwares* educacionais em que são feitos testes em sala de aula para observar os resultados de uma implementação no contexto real de alunos e professores.

Nesse trabalho argumenta-se que esse processo não deveria ser ignorado e é essencial para observar como ocorrem as interações entre os alunos, o *software* e o professor, inseridos em uma série de atividades planejadas metodologicamente para abordagem do conteúdo científico a ser ensinado. Além disso, é no teste de uma situação real em sala de aula que pode ser observado se o *software* educacional produzido está contribuindo, ou não, no processo de ensino e aprendizagem.

Essa abordagem em sala de aula deve ser planejada metodologicamente, pois de acordo com Cachapuz *et al.* (2001) e Adúriz-Bravo (2002), ao planejar uma abordagem didática para um tema de uma disciplina, deve-se considerar as particularidades dessa disciplina, atendendo características da Didática das Ciências e centrando a atenção nos conteúdos da Ciência do ponto de vista do seu ensino e aprendizagem.

Ainda a respeito da Didática das Ciências, Cachapuz, Praia e Jorge (2004), ao tratar das orientações para o Ensino de Ciências e do que se espera que esse ensino proporcione, citam três dimensões que deveriam ser atendidas: a dimensão pós-positivista, a dimensão contextualizada e a dimensão socioconstrutivista.

A dimensão pós-positivista reflete a intenção de ensinar a Ciência e como ela se desenvolve, isto é, além de abordar os conceitos científicos, também se discute como eles foram elaborados, apresentando uma visão realista da Ciência. A dimensão contextualizada da Ciência sugere que os assuntos estudados possibilitem relações entre Ciência, tecnologia, ambiente e sociedade e a dimensão socioconstrutivista é tomada como uma das alternativas para promover um ensino mais democrático e eficiente, considerando diversas metodologias e estratégias de ensino de acordo com o contexto escolar-educacional.

Assim, a Abordagem Didática elaborada nesta pesquisa procurou atender todas essas dimensões, uma vez que:

- Aborda o tema da unificação eletrofraca, que contém conceitos componentes de ementas de disciplinas correlatas à Física Moderna e possibilita discussões de questões contemporâneas a respeito de teorias físicas, bem como de métodos experimentais de Física de Partículas que são utilizados até os dias atuais e avanços científicos e tecnológicos que permeiam a vida cotidiana.

- Discute o processo de elaboração da Teoria Eletrofraca e promove reflexões a respeito da Natureza da Ciência;
- O processo de elaboração e aplicação levou em consideração aspectos da Teoria de Aprendizagem Significativa;

A Abordagem Didática se configura, neste trabalho, como um instrumento metodológico para que os objetivos educacionais sejam alcançados e também um instrumento de avaliação das hipóteses testadas nesta pesquisa. Além disso, nesta pesquisa a abordagem foi composta por três Unidades Didáticas.

O termo Unidade Didática é definido por Zabala (1998), como sequências de atividades estruturadas para alcançar objetivos educacionais determinados. As unidades têm a característica de manter o caráter articulador e reunir toda a complexidade da prática, ao mesmo tempo que são instrumentos que permitem incluir as três fases de uma intervenção reflexiva: o planejamento, a aplicação e a avaliação.

O planejamento de uma Unidade Didática, baseada em sequências de atividades específicas, favorece o processo formativo, pois apesar de não ser possível prever tudo o que pode acontecer, é necessário ter em mãos uma abordagem suficientemente elaborada para favorecer o processo de aprendizagem. No entanto, essa intervenção deve estar aberta a possíveis mudanças, nunca pode ser resultado de improvisação (ZABALA, 1998).

De acordo com Zabala (1998), há sequências de atividades que se adaptam melhor aos objetivos educacionais pretendidos, assim existem diferentes sequências didáticas para o ensino, que podem compor uma Unidade Didática. O autor propõe como exemplo quatro Unidades Didáticas que se diferenciam uma da outra pelo grau de participação dos envolvidos e as características dos diferentes tipos de conteúdo.

Para alcançar os objetivos pretendidos com a abordagem didática, foi utilizado o exemplar da unidade 4, uma vez que ela permite a participação ativa dos envolvidos durante a abordagem e propicia uma variedade de atividades.

A sequência dessa unidade é composta pelas seguintes fases: 1) Apresentação de uma situação problemática relacionada com o tema; 2) Proposição de problemas ou questões; 3) Explicitação de respostas intuitivas ou suposições; 4) Proposta das fontes de informação; 5) Busca da Informação; 6) Elaboração das

conclusões; 7) Generalização das conclusões e síntese; 8) Exercícios de memorização; 9) Prova ou exame; 10) Avaliação.

As Unidades Didáticas foram desenvolvidas com as devidas adequações, uma vez que o autor sugere que essas sequências não são rígidas e podem ser adaptadas conforme os propósitos educacionais a serem obtidos. Assim, não estão presentes os itens 8, 9 e 10 devido ao fato que as atividades foram compostas por avaliações processuais, que serão descritas em seguida.

4.3.1 Descrição da Abordagem Didática

Foi elaborada uma Abordagem Didática²², composta por três Unidades Didáticas, convertida em uma Oficina de Pesquisa denominada *Teoria Eletrofraca: Processos da Unificação das Interações Eletromagnética e Fraca*, com uma duração aproximada de 16h, considerando períodos de intervalos e momentos de atividades extraclasse, cuja estrutura é descrita no Quadro 05.

Quadro 05 – Estrutura da Oficina de Pesquisa

ATIVIDADES	DURAÇÃO
Primeiro dia de Oficina de Pesquisa	
Apresentação	03 minutos
Obtenção de conhecimentos prévios	40 minutos
Organizador Prévio: leitura do texto “ <i>Teoria Eletrofraca</i> ”	30 minutos
Discussão do texto e retomada de pontos relevantes	12 minutos
Introdução ao V de Gowin	15 minutos
Atividades com o Diagrama de Gowin	40 minutos
Intervalo	15 minutos
Como tudo começou?	40 minutos
Momento de consolidação 1	05 minutos
Atividades com o Simulador “ <i>Violação da Paridade Espacial</i> ”	40 minutos
Segundo dia de Oficina de Pesquisa	
Momento de consolidação 2	10 minutos
Continuando a história ... 1	50 minutos
Momento de consolidação 3	05 minutos
Continuando a história ...2	30 minutos
Atividades com o Simulador “ <i>Deteção das Correntes Neutras</i> ”	40 minutos
Intervalo	15 minutos
Vídeo: Gargamelle	05 minutos
Momento de consolidação 4	10 minutos
Continuando a história ...3	25 minutos
Vídeo: Processo de aceleração das partículas	05 minutos
Atividades com o Simulador “ <i>Deteção Indireta dos Bósons W+, W- e Z⁰</i> ”	40 minutos
Atividades extraclasse	04 horas

²² Essa abordagem didática será publicada em um periódico da área de Ensino e devido a isso não serão disponibilizados no texto da tese os *slides* e textos utilizados na abordagem. Para mais informações entrar em contato com marciarscosta@hotmail.com.

Terceiro dia de Oficina de Pesquisa	
Consolidação da Teoria Eletrofraca	10 minutos
Momento de <i>feedbacks</i>	10 minutos
V de Gowin a respeito da Teoria Eletrofraca	50 minutos
Unificação de teorias	15 minutos
Animação do Atlas	08 minutos
Intervalo	15 minutos
Atividade com o Hypatia	30 minutos
Consolidação final	15 minutos
Questionários finais	50 minutos
Encerramento	05 minutos

Fonte: a própria autora

Em termos do exemplar 4 das unidades propostas por Zabala (1998), a oficina de Pesquisa, descrita acima, pode ser interpretada como um conjunto de três unidades, pois foram discutidos três experimentos e para cada um deles havia uma sequência de atividades que se encaixam em passos propostos por Zabala (1998). A seguir, no detalhamento das atividades serão exemplificados os passos da unidade 4 presentes na oficina.

As primeiras atividades que englobam a *apresentação, obtenção dos conhecimentos prévios, organizador prévio, discussão do texto e retomada de pontos relevantes, introdução ao V de Gowin e atividades com o diagrama de Gowin* são atividades embasadas na Teoria de Aprendizagem Significativa, que apresentam o tema da oficina para os alunos, em termos de aspectos gerais, e introduzem o V de Gowin como um instrumento para o estudo de textos e experimentos. Em seguida são detalhadas essas atividades.

Apresentação: Momento em que a pesquisadora se apresenta, conhece os alunos, aborda os objetivos da oficina de pesquisa e eventuais acordos, como no caso de encontros filmados, há a necessidade dos devidos esclarecimentos e concordância dos alunos.

Obtenção dos conhecimentos prévios: De acordo com a Teoria de Aprendizagem Significativa, os conhecimentos prévios são fatores que influenciam o processo de aprendizagem. Dessa forma, nesse momento, por meio de um questionário prévio, obtêm-se os conhecimentos prévios dos alunos em relação às noções de Natureza da Ciência e aos conteúdos científicos a serem abordados durante a oficina. O questionário utilizado, disponível no Apêndice B, também pode servir como um propositor de questionamentos em relação aos assuntos a serem discutidos, com a finalidade de instigar a curiosidade dos alunos e motivá-los a

participar ativamente das discussões e das atividades propostas para encontrarem as respostas para suas dúvidas.

Organizador Prévio: leitura do texto “*Teoria Eletrofraca*”: Foi elaborado um texto, pela pesquisadora, para ser utilizado como organizador prévio para o conteúdo a ser discutido. Trata-se de um texto em um nível mais elevado de abstração, generalidade e inclusão, que se inicia com ideias conhecidas pelos alunos, como as interações fundamentais e a unificação de teorias já discutidas em disciplinas do curso de formação, para então discutir o assunto de interesse, que é a unificação das interações fracas e eletromagnéticas. Assim, de acordo com Ausubel (1980; 2003), esse texto pode ser uma ponte cognitiva entre o que aluno já sabe e o que ele deveria saber, para que o novo material, a ser apresentado, possa ser aprendido de forma significativa. Os alunos podem ler o texto com calma, cada um em seu ritmo.

Discussão do texto e retomada de pontos relevantes: Após a leitura, recomenda-se retomar os pontos relevantes do texto que podem representar os subsunçores dos alunos ou se relacionar com os mesmos. Assim, promove-se um momento de consolidação na tentativa de garantir que os alunos tenham entendido ou recordado os conceitos que serão necessários para a compreensão dos conteúdos que serão introduzidos.

Introdução ao V de Gowin: Como o V de Gowin foi escolhido como um dos facilitadores de aprendizagem, há a necessidade que ele seja apresentado aos alunos, pois, de acordo com a literatura, ele é pouco utilizado e possivelmente os alunos nunca trabalharam com esse instrumento.

Atividades com o Diagrama de Gowin: Atividades práticas com o V de Gowin precisam ser desenvolvidas para que os estudantes se familiarizem com essa nova metodologia de ensino e aprendizagem que pode ser utilizada em diversos momentos do estudo de uma temática. Nesse momento específico, sugere-se que sejam abordados exemplos com assuntos conhecidos pelos estudantes. No caso dessa oficina propõe-se um exemplo com a Lei de Ohm, voltado para um experimento que pretende medir a resistência de um resistor X e analisar se o resistor é ôhmico. Em seguida, é necessário que os estudantes pratiquem para tirar suas dúvidas, isso pode ser feito com o texto “*Teoria Eletrofraca*”, pois o V de Gowin

também pode ser utilizado para estudar textos (GOWIN; ALVAREZ, 2005; MOREIRA, 2006; VALADARES, 2014).

Como tudo começou? Essa etapa que se segue após a introdução do tema com o organizador prévio, tem a função de promover uma diferenciação progressiva dos conceitos abordados, de forma geral, no texto “Teoria Eletrofraca” e também discutir noções da Natureza da Ciência. Essas atividades têm o objetivo de situar o aluno no contexto no qual se deu início aos questionamentos a respeito da conservação da paridade nas interações fracas e promover um entendimento do processo de elaboração científica que levou ao desenvolvimento do experimento que possibilitou a obtenção de respostas em relação ao comportamento da paridade nas interações fracas.

Nessa etapa da oficina começa a primeira unidade, de acordo com Zabala (1998). As atividades dessa etapa são compostas por exposição do tema e dos problemas que levaram ao experimento que possibilitou respostas em relação ao comportamento da paridade no decaimento beta. Nessa fase estariam presentes os passos 1, 2 e 3 do exemplar da unidade 4.

Essa etapa é composta por exposições do tema, feitas pela pesquisadora por meio de *slides* e momentos de discussão a respeito de questões propostas pela pesquisadora, ou pelos alunos. Questões essas relacionadas tanto ao conteúdo científico, quanto a noções de Natureza da Ciência. Dentre as noções abordadas, está a participação feminina na Ciência, o trabalho colaborativo e o caráter provisório do conhecimento científico.

Momento de consolidação 1: nesse instante devem ser retomados alguns conceitos e situações relevantes para que os estudantes entendam a motivação para a realização do experimento que irão simular computacionalmente, bem como as possíveis implicações dos resultados obtidos pelo experimento. Dessa forma, os estudantes podem ser questionados a respeito das seguintes questões: as teorias vigentes, da época que estão estudando, conseguem explicar o problema $\theta - \tau$? O que se sabe a respeito do comportamento da paridade nas interações fundamentais? Quais as possíveis implicações em relação ao resultado do experimento?

Dessa forma, ao final dessa etapa os alunos foram apresentados ao tema em discussão, que é o comportamento da paridade nas interações fracas e ao mesmo tempo possuem um problema para resolver, a conservação ocorre ou não?

Em seguida são desenvolvidos os passos 4, 5 e 6 do exemplar da unidade 4, nos quais são propostas as fontes de informações, é feita a busca de informações e são elaboradas as conclusões a respeito do problema a ser resolvido.

Atividades com o Simulador “Comportamento da Paridade nas Interações Fracas”: Nesse momento os alunos irão receber um texto (fonte de informação), elaborado pela pesquisadora, para auxiliar na exploração da simulação computacional (busca da informação) e como resultado da atividade deverão elaborar um V de Gowin (elaboração das conclusões), para que eles possam registrar seu entendimento do processo de experimentação que estavam testando.

O texto que eles recebem a respeito do experimento deve conter informações teóricas que os ajudem a entender o contexto prévio ao experimento, em termos de teorias, princípios e conceitos, bem como, dicas para orientar a montagem do experimento na simulação computacional. Assim, ele pode cruzar as informações contidas no texto com os elementos textuais da simulação e resolver os desafios impostos pela simulação. De outra forma, o texto também auxilia na elaboração do V de Gowin, uma vez que podem ler com calma as informações teóricas.

Nessas etapas do processo a pesquisadora assume o papel de orientadora, apenas fornecendo uma breve explicação a respeito das simulações e auxiliando os alunos a resolverem suas dúvidas, de maneira que eles assumam uma posição completamente ativa em relação às atividades.

Ao final de cada simulação computacional, o próprio *software* direciona os alunos para a continuação do conteúdo, com reflexões a respeito das implicações dos resultados de cada um dos experimentos simulados computacionalmente.

Momento de consolidação 2: Nesse instante, se discute o resultado do experimento com os alunos e abordam-se as possíveis implicações, pois caso eles não as tenham identificado no V de Gowin, esse é o momento para oportunizar essa discussão. Dentre as noções de NdC que podem ser discutidas nesse momento está a questão da provisoriamente do conhecimento científico, uma vez que

o resultado do experimento que simularam e de outros que foram realizados posteriormente, naquela época, mudaram a ideia que se tinha a respeito do comportamento da paridade nas interações fracas.

Essa etapa consiste no passo 7 do exemplar da unidade 4, na qual se discute as conclusões obtidas na solução do problema e com base nas sínteses dos resultados é possível inferir o que pode acontecer com o conjunto de conhecimentos discutidos na solução do problema.

Em seguida, começa outra unidade que vai seguir os mesmos passos da unidade anterior, mas para abordar agora o desenvolvimento do conhecimento científico que levou a realização do experimento que evidenciou a presença de correntes neutras. Essa unidade apresenta os passos 1, 2 e 3 mais extensos que os correspondentes nas outras duas unidades, pois trata-se do processo de desenvolvimento teórico-matemático da Teoria Eletrofraca. Assim, esses passos são representados por: *Continuando a história... 1, Momento de consolidação 3 e Continuando a história... 2.*

Continuando a história... 1: Como o objetivo da oficina era elucidar o processo de desenvolvimento da Teoria Eletrofraca, entre as atividades, dá-se continuação à explicação do processo histórico desse desenvolvimento. Nessa etapa a pesquisadora aborda a reformulação da Teoria de Fermi para a forma $V - A$, a Teoria de Gauge, a estrutura dos grupos de simetria, as primeiras ideias a respeito dos bósons mediadores, a participação do físico brasileiro José Leite Lopes, as correntes neutras, Teoria de Gauge não Abelianas, as tentativas de Glashow, Salam e Weinberg e o mecanismo de Higgs.

Esses assuntos foram abordados em exposições de partes do processo que se sucedeu após a evidência experimental da Violação da Paridade nas interações fracas, a proposição da Teoria Eletrofraca, até a detecção das correntes neutras. Foram feitas exposições por meio de *slides*, discussões, leitura de um trecho de uma palestra proferida pelo cientista brasileiro Leite Lopes, “Sobre os bósons pesados e a existência do bóson neutro”²³, a atividade “Tricky Tracks”, proposta por Lederman e Abd-El-Khalick (1998) e um vídeo que explica o Mecanismo de Higgs.

²³ José Leite Lopes: in ALVES, G. CARUSO, F. MOTTA, H. SANTORO, A (Ed.). O mundo das partículas de hoje e de ontem. Rio de Janeiro, CBPF, 2000, p. 59-65.

Essas atividades tiveram o objetivo de explicar o conteúdo científico e discutir noções de Natureza da Ciência, como: o caráter “humano” dos cientistas, diferença entre observações e inferências, o formalismo matemático na construção do conhecimento científico.

Momento de consolidação 3: Após a introdução de todos esses assuntos novos, antes de dar continuidade à história do desenvolvimento da Teoria Eletrofraca, convém retomar pontos relevantes para que os alunos compreendam como se chegou na proposição da Teoria Eletrofraca e das correntes neutras.

Continuação da história... 2: Nessa etapa são expostas algumas das soluções encontradas para os problemas que impediam a formulação completa da Teoria Eletrofraca, entre elas: o motivo pelo qual as correntes neutras não eram observadas no decaimento de partículas estranhas e a renormalização da teoria, nesse caso, é dada ênfase para a relevância do formalismo matemático para o desenvolvimento de teorias científicas e são fornecidos detalhes a respeito da busca experimental pelas correntes neutras.

Ao final dessas três etapas, os conteúdos científicos envolvidos na elaboração da Teoria Eletrofraca foram apresentados e os alunos possuem como objetivo a solução de outro problema: as correntes neutras existem?

Na sequência são seguidos os passos 4, 5 e 6 do exemplar da unidade 4, nos quais são fornecidas as fontes de informação para solução do problema, são realizadas as atividades de busca de resposta para o problema e elaboradas as conclusões com base nas respostas obtidas. Esses passos são cumpridos na etapa das *Atividades com o Simulador “Detecção das Correntes Neutras”*.

Atividades com o Simulador “Detecção das Correntes Neutras”: Assim como no caso da atividade com o simulador do encontro anterior, os alunos recebem um texto (fonte de informação), elaborado pela pesquisadora, para auxiliar na exploração da simulação computacional (busca da informação) e na elaboração do V de Gowin (elaboração das conclusões).

Após essas etapas, é realizado o passo 7 do exemplar da unidade 4. Nessa etapa é utilizado um vídeo que descreve registros históricos do experimento e em seguida é realizada uma síntese dos resultados para tentar inferir quais são os próximos passos no decorrer do estabelecimento da Teoria Eletrofraca.

Vídeo – Gargamelle: Após as atividades envolvendo a simulação do experimento com a Câmara de Gargamelle, é exibido um vídeo²⁴ que explica o processo de construção e execução do experimento, com a finalidade de apresentar os registros históricos.

Momento de consolidação 4: Nessa etapa a pesquisadora aborda o resultado do experimento e implicações deste na trajetória para a detecção dos bósons mediadores da interação fraca.

Esta etapa dá início à terceira unidade, a qual vai apresentar os esforços e desafios enfrentados para a realização do experimento que detectou indiretamente os bósons W^+ , W^- e Z^0 . Nela são apresentados os passos 1, 2 e 3 do exemplar da unidade 4 na etapa *Continuação da história... 3*, ao final da qual os alunos foram apresentados aos desafios para a realização do experimento e possuem como tarefa a realização virtual desse experimento para responder se esses bósons existem, ou não.

Continuação da história... 3: Nessa etapa a pesquisadora aborda os aprimoramentos tecnológicos e as parcerias para o desenvolvimento de um experimento que fosse capaz dessa detecção dos bósons mediadores da interação fraca, os desafios enfrentados, como detectar esses bósons, o detector UA1, e o processo de aceleração das partículas até a colisão no detector. Esses assuntos foram tratados com auxílio de *slides* e um vídeo²⁵ que explica o processo de aceleração das partículas. Dentre as noções de NdC a serem discutidas estão: atribuições de um cientista e trabalho colaborativo.

Em seguida os alunos realizam os passos 4, 5 e 6 do exemplar da unidade 4, nos quais irão receber fontes de informação, buscar as informações e elaborar as conclusões a respeito do problema a ser resolvido.

Atividades com o simulador “Detecção Indireta dos Bósons W^+ , W^- e Z^0 ”: os alunos recebem um texto (fonte de informação) para auxiliar na exploração da simulação computacional (busca de informação) e elaboração do V de Gowin (elaboração das conclusões) referente ao experimento simulado.

Em seguida é feita com os alunos uma atividade de síntese dos resultados de todas as unidades para entender o processo de elaboração da Teoria

²⁴ Cern-Movie-1971-001 (Editado).

²⁵ CERN CONTROL CENTRE \ “From the LINAC to the LHC” – CERN-VIDEORUSH-2014-043-001 (Editado).

Eletrofraca com base nos desenvolvimentos teóricos e experimentais discutidos anteriormente, para isso foi elaborado um texto parecido com o organizador prévio, porém com mais detalhamento dos processos.

Sugere-se que os alunos ao lerem o texto, em atividade extraclasse, reflitam a respeito do processo de elaboração da Teoria Eletrofraca e pensem na estrutura de um V de Gowin que represente esse processo.

Atividades extraclasse: Como são vários os conteúdos abordados na oficina e somente as atividades em sala de aula podem não ser suficientes para que os alunos se familiarizem com o processo de desenvolvimento da teoria estudada, sugere-se que eles tenham um material para rever com calma. Para isso, a pesquisadora elaborou um texto, com base no texto “*Teoria Eletrofraca*” (utilizado como organizador prévio). Esse novo texto contém a diferenciação progressiva dos conceitos apresentados no texto do primeiro encontro (“*Teoria Eletrofraca*”). Como atividade proposta para leitura e interpretação desse texto, sugere-se que os alunos pensem em um V de Gowin que represente todo o processo de elaboração da Teoria Eletrofraca. Além disso, também recebem um questionário, disponível no Apêndice C, para avaliarem as simulações de experimentos históricos, uma vez que já exploraram as três simulações e podem indicar quais as facilidades e dificuldades encontradas por eles na utilização desses recursos.

Após a atividade extraclasse, espera-se que os alunos tenham compreendido com mais detalhes o processo e possam apresentar dúvidas ou curiosidades a respeito do assunto, o que pode ser discutido na etapa de *Consolidação da Teoria Eletrofraca*, na qual são retomados os fatores que influenciaram na elaboração dessa teoria.

Consolidação da Teoria Eletrofraca: Nessa etapa, aproveita-se para abordar os resultados do experimento simulado e suas implicações, bem como promover uma revisão geral de todos os fatores que contribuíram no processo de desenvolvimento dessa teoria.

Antes da elaboração do V de Gowin relacionado ao texto da atividade extraclasse e que representa o processo de elaboração da Teoria Eletrofraca, convém realizar uma atividade de *feedbacks*, na qual, ao analisar os diagramas V das atividades anteriores e as respostas dadas em relação à NdC,

pode-se dar um retorno para os alunos em relação a possíveis equívocos de estrutura ou conceituais.

Momento de feedbacks: No decorrer da oficina é possível perceber possíveis equívocos que os alunos podem apresentar em relação às noções de NdC e nas elaborações do V de Gowin. Assim, neste momento é possível discutir os pontos que eventualmente não ficaram claros para eles, o que pode levá-los a corrigir esses equívocos em atividades posteriores ou reforçar positivamente a estrutura cognitiva.

V de Gowin a respeito da Teoria Eletrofraca: Essa atividade tem o objetivo de promover um entendimento do processo de elaboração da Teoria Eletrofraca, bem como servir de instrumento de avaliação de como o aluno passa a entender esse processo de unificação das teorias eletromagnéticas e fracas. Essa atividade pode ser mediada pelo texto que receberam para as atividades extraclasse.

Ao final dessa etapa termina-se a terceira unidade e com isso é possível perceber a dinâmica da construção do conhecimento científico atrelado à dinâmica da elaboração do conhecimento dos alunos, enquanto em termos de conhecimento científico uma questão científica leva a outra, que leva a outra e assim por diante. Na dinâmica da elaboração do conhecimento dos alunos, uma Unidade Didática leva a outra e assim por diante.

Por fim, são discutidas as generalizações do tema, a questão da unificação das teorias, da detecção de partículas em aceleradores, uma ideia de como são feitas as pesquisas nessa área da Física e a consolidação final, na qual se retomam conhecimentos científicos e noções de NdC por meio de questionamentos para permitir que os alunos expressem o que entenderam do assunto.

Unificação de Teorias: Nessa etapa da oficina se discute o conceito de unificação e sua relação no desenvolvimento científico.

Animação Atlas: Sugere-se uma atividade para explicar o funcionamento de sistemas de detecção de partículas, para isso é utilizada uma animação disponibilizada pelo experimento Atlas²⁶ que planifica detectores e mostra uma animação das trajetórias de diferentes partículas nos detectores.

²⁶ Disponível em: http://atlas.physicsmasterclasses.org/pt/zpath_playwithatlas.htm.

Atividade com Hypatia: Hypatia²⁷ é um *software* desenvolvido pelo experimento ATLAS para o ensino de Física de Partículas, por meio dele é possível analisar dados reais do CERN e fornecer aos estudantes uma ideia de como são desenvolvidas as pesquisas experimentais nessa área. Nessa etapa da oficina a pesquisadora apresenta o *software* aos alunos e sugere que eles realizem uma atividade de identificação de possíveis decaimentos do bóson Z^0 .

Consolidação final: como atividade para encerrar a discussão dos conteúdos promove-se uma discussão a respeito dos conteúdos científicos e noções de NdC que foram abordadas no decorrer da oficina. Essa consolidação pode ser realizada por meio de questionamentos, na qual sugere-se que os alunos expressem o que entenderam a respeito das questões e possam discutir com os colegas suas respostas.

Questionários finais: Para finalizar as atividades são distribuídos dois questionários, o questionário posterior, que é composto pelas mesmas questões do questionário prévio, e um questionário de avaliação da Oficina de Pesquisa, disponível no Apêndice D, para que os alunos opinassem a respeito da metodologia de ensino e dos recursos didáticos utilizados.

Todos os questionários utilizados nessa investigação foram decodificados intersubjetivamente por integrantes do grupo de pesquisa IFHIECEM. Os dados obtidos nessa Oficina de Pesquisa foram analisados por meio da Análise de Conteúdo. Em seguida é descrita a metodologia de análise e as Unidades de Contexto e Registro elaboradas para organização e interpretação dos dados.

4.4 ANÁLISE DE CONTEÚDO

De acordo com Bardin (1977), o terreno, o funcionamento e o objetivo da análise de conteúdo, podem ser designados como:

Um conjunto de técnicas de análise das comunicações visando obter, por procedimentos, sistemáticos e objetivos de descrição de conteúdo das mensagens, indicadores (qualitativos ou não) que permitam a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção/recepção (variáveis inferidas) destas mensagens (BARDIN, 1977, p. 42).

²⁷ Nesse *link* é possível fazer *download* do *software* e encontrar informações de como manuseá-lo: http://atlas.physicsmasterclasses.org/pt/zpath_data.htm.

Assim, o processo de análise tem a finalidade de revelar o que não está explícito nas mensagens, uma vez que procura explicar, sistematizar e expressar o conteúdo de mensagens, proporcionando uma compreensão rica do material. Em outras palavras, a análise de conteúdo auxilia na interpretação dos dados obtidos proporcionando uma compreensão de seus significados em um nível mais profundo que em uma leitura normal. Esse processo de análise se dá em três fases, que são: *pré-análise*, *exploração do material* e o *tratamento dos dados*, a *inferência* e a *interpretação*.

A pré-análise é a fase de organização, tem por objetivo sistematizar as ideias e a primeira etapa consiste em três tarefas: a escolha dos documentos a serem submetidos à análise, a formulação de hipóteses e objetivos e a elaboração dos indicadores que fundamentam a interpretação final. Geralmente, a escolha dos documentos é feita após uma leitura flutuante e leva em consideração os aspectos de exaustividade, representatividade, homogeneidade e pertinência. Os documentos escolhidos vão compor o *corpus* do trabalho, que consiste no conjunto de documentos que serão submetidos ao processo de análise (BARDIN, 2011).

A exploração do material se caracteriza como uma fase longa que consiste em operações de codificação, que por sua vez corresponde a um processo no qual os dados brutos são agregados em unidades que permitem uma descrição significativa das características relacionadas ao conteúdo. Essas unidades de análise são denominadas Unidades de Contexto e Unidades de Registro (BARDIN, 2011).

As Unidades de Contexto servem de unidade de abrangência para codificar as Unidades de Registros e correspondem ao segmento da mensagem, cujas dimensões são ótimas para a compreensão da significação da Unidade de Registro. Já as Unidades de Registro são “unidades de significação a codificar e corresponde ao segmento de conteúdo a considerar como unidade de base, visando à categorização e à contagem frequencial” (BARDIN, 1977, p. 104).

As Unidades de Registro, de acordo com Bardin (2011), podem ser de natureza e dimensões variáveis e efetivamente são executados recortes a nível semântico, relacionados ao “tema” ou a um nível linguístico relacionado a “palavras” ou “frases”. Nesta pesquisa optou-se pela análise temática que, de acordo com

Bardin (1977, p. 77), é “a contagem de um ou vários temas ou itens de significação numa unidade de codificação previamente determinada”.

Depois da etapa de codificação, a fase de tratamento dos resultados obtidos e interpretação trata os resultados de maneira a torná-los significativos e válidos. Nessa etapa, operações estatísticas simples, como a percentagem, permitem estabelecer quadros de resultados, diagramas, histogramas, figuras, entre outras formas de representações, que condensam e colocam em destaque as informações obtidas na análise favorecendo a realização de inferências e interpretações. Segundo Bardin (2011), esse momento de inferências e interpretações é de intuição, análise reflexiva e de diálogo com o referencial teórico que embasou a pesquisa.

A seguir será explicitado o desenvolvimento das etapas de análise realizadas nesta investigação.

Na pré-análise foram selecionados os documentos que compõem o *corpus* da pesquisa: os questionários prévios e posterior, os questionários de opinião a respeito das simulações e da Abordagem Didática, o questionário de avaliação das simulações, os diagramas de Gowin elaborados pelos alunos, anotações da pesquisadora e a filmagem da implementação da Abordagem Didática.

Na etapa de exploração do material foram elaboradas as unidades de análise. Com base nos aportes teóricos que fundamentaram a pesquisa, foram elaboradas as Unidades de Contexto (UC) e de Unidades de Registro (UR) prévias e com base na análise empírica foram elaboradas as Unidades de Registro emergentes (URE).

A seguir são descritas as questões e as Unidades de Contexto e de Registro associadas aos questionários prévio e posterior e dos diagramas de Gowin. Além disso, se explica como será feita a análise dos dados referentes aos questionários de opinião.

4.4.1 Unidades de Análise dos Questionários Prévio e Posterior

As Unidades de Análise das questões referentes à NdC foram inspiradas no trabalho de Heerdt (2014) e Costa (2015), pois as questões 1, 2, 4, 5, 6 e 7 já foram investigadas nesses trabalhos anteriormente. Nesses dois trabalhos

as Unidades de Registro foram elaboradas com base nas noções adequadas e inadequadas encontradas na literatura (ABD-EL-KHALICK, 2012; LEDERMAN *et al.*, 2002; PÉREZ *et al.*, 2001; EL-HANI; TAVARES; ROCHA, 2004; SOLOMON *et al.*, 1992; CUDMANI; SANDOVAL, 2000). No Quadro 06 são apresentadas as Unidades de Análise das questões referentes à Natureza da Ciência.

Quadro 06 – Unidades de Análise das noções de Natureza da Ciência

<i>1. EM SUA OPINIÃO, O QUE É UM EXPERIMENTO?</i>
Unidade de Contexto 1 (UC1) “Noções a respeito da experimentação” , que tem por finalidade reunir os fragmentos textuais nos quais os alunos expressam suas noções a respeito do que é um experimento.
Unidades de Registro
UR 1.1 “Visão empirista-indutivista” agrupam respostas que contenham registros que identificam o experimento como uma maneira de validar teorias, leis, hipóteses e ideias.
UR 1.2 “Reprodução controlada de um fenômeno para obtenção de dados e respostas” reúne os fragmentos que identificam o experimento como atividade controlada de reprodução de fenômenos.
UR 1.3 “Meio de testar hipóteses ou as consequências de uma teoria” , agrupa as respostas que contenham registros que identifiquem o experimento como uma maneira de testar hipóteses ou as consequências de uma teoria.
UR 1.4 “Meio de provar/comprovar hipóteses” agrupa as respostas que contenham registros que identifiquem o experimento como um meio de provar/comprovar hipóteses, apresentando uma ideia verificacionista.
UR 1.5 “Resposta não contempla a pergunta” agrupam as respostas que não apresentam ligação alguma com a questão.
<i>2. EM SUA OPINIÃO, O DESENVOLVIMENTO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO REQUER EXPERIMENTOS? JUSTIFIQUE.</i>
UC2 “Relevância da experimentação no desenvolvimento científico” , que tem por finalidade reunir os fragmentos textuais nos quais os alunos expressam suas noções a respeito da relevância dos experimentos na construção do conhecimento científico.
Unidades de Registro
UR 2.1 “Relevantes como instrumentos para validação de teorias e hipóteses” reúne fragmentos textuais que descrevem os experimentos como relevantes no processo de validação das teorias e hipóteses.
UR 2.2 “Relevantes, mas não são os únicos responsáveis pelo desenvolvimento científico” agrupa os fragmentos que apresentam os experimentos como relevantes, mas assumem que o desenvolvimento do conhecimento científico não depende exclusivamente de comprovação experimental.
UR 2.3 “Relevante, como meio de testar hipóteses ou as consequências de uma teoria” agrupa os fragmentos que identificam o experimento relevante como meio de testar hipóteses ou consequências de uma teoria.
UR 2.4 “Relevante, como instrumento para o desenvolvimento do conhecimento científico” agrupam respostas que identifiquem os experimentos como relevantes para o desenvolvimento da Ciência.
UR 2.5 “Resposta não contempla a pergunta” agrupam as respostas que não apresentam ligação alguma com a questão.
<i>3. EM SUA OPINIÃO, QUAL A RELEVÂNCIA DO FORMALISMO TEÓRICO E MATEMÁTICO NO DESENVOLVIMENTO DE TEORIAS?</i>
Unidade de Contexto 3 (UC3) “Noções a respeito do formalismo teórico e matemático na Ciência” , reúne fragmentos textuais que identificam a opinião dos alunos em relação o formalismo teórico e matemático no processo de desenvolvimento de teorias.
Unidades de Registro
UR 3.1 “O formalismo teórico e matemático aliado a experimentação” , para agrupar as respostas que contenham registros em que o formalismo teórico e matemático está relacionado com

processo experimental.
UR 3.2 “Ajuda a descrever fenômenos abstratos” , para agrupar as respostas que contenham registros nos quais o formalismo teórico e matemático é responsável pela descrição de fenômenos abstratos.
UR 3.3 “Não é relevante para elaboração de teorias” , para agrupar as respostas que apresentam o formalismo teórico e matemático como um item não relevante para a elaboração de teorias científicas.
UR 3.4 “Não contempla a pergunta” , para agrupar as respostas que contenham registros que indicam que os alunos não compreenderam a pergunta, sendo a resposta incoerente em relação ao questionamento.
<i>4. EM SUA OPINIÃO, APÓS OS CIENTISTAS TEREM DESENVOLVIDO UMA TEORIA CIENTÍFICA, A TEORIA PODE MUDAR OU PASSAR A SER INVÁLIDA? EXPLIQUE SUA RESPOSTA.</i>
Unidade de Contexto 4 (UC4) “Estabilidade de teorias” , reúne fragmentos textuais que identificam como os alunos veem a estabilidade das teorias na dinâmica da construção do conhecimento científico.
Unidades de Registro
UR 4.1 “Teorias são comprovadas experimentalmente e não mudam” , para agrupar as respostas que contenham registros que explicam que a teoria científica não pode ser modificada uma vez que são comprovadas por meio de experimentos.
UR 4.2 “Teorias mudam com o avanço da tecnologia” , para agrupar as respostas que contenham registros que explicam que com os avanços tecnológicos as teorias podem ser modificadas.
UR 4.3 “Teorias mudam por novas evidências e interpretações diferentes” , para agrupar as respostas que contenham registros que as teorias se modificam quando novas evidências e interpretações diferenciadas surgem produzindo novos conhecimentos.
UR 4.4 “Teorias podem mudar quando apresentam falhas” , para agrupar as respostas que contenham registros que explicam que as teorias podem mudar quando essas ainda não foram bem compreendidas ou apresentem falhas.
UR 4.5 “Não contempla a pergunta” , para agrupar as respostas que contenham registros que indicam que os alunos não compreenderam a pergunta, sendo a resposta incoerente em relação ao questionamento.
<i>5. OS CIENTISTAS REALIZAM EXPERIMENTOS/INVESTIGAÇÕES CIENTÍFICAS QUANDO ESTÃO TENTANDO ENCONTRAR RESPOSTAS PARA AS QUESTÕES PROPOSTAS POR ELES OU PELA COMUNIDADE CIENTÍFICA. OS CIENTISTAS USAM SUA CRIATIVIDADE E IMAGINAÇÃO DURANTE SUAS INVESTIGAÇÕES? EXPLIQUE.</i>
Unidade de Contexto 5 (UC5) “Criatividade e imaginação na construção do conhecimento científico” , que tem a finalidade de reunir fragmentos textuais que identificam se os alunos percebem a participação da imaginação e da criatividade na construção do conhecimento científico.
Unidades de Registro
UR 5.1 “Imaginação e criatividade em todas as etapas da construção do conhecimento científico” , para agrupar as respostas que contenham registros que afirmem que a imaginação e a criatividade permeiam todas as etapas da construção do conhecimento científico.
UR 5.2 “Imaginação e criatividade em algumas etapas da construção do conhecimento científico” , para agrupar as respostas que contenham registros que afirmem que a imaginação e a criatividade estão presentes em alguns contextos da construção do conhecimento científico.
UR 5.3 “Imaginação e criatividade como fonte de inovação” , para agrupar as respostas que contenham registros que afirmem que a imaginação e a criatividade inovam o conhecimento científico.
UR 5.4 “Imaginação e criatividade são incoerentes com a Ciência” , para agrupar as respostas que contenham registros que afirmem que a imaginação e a criatividade não fazem parte da construção do conhecimento científico por serem incoerentes com a Ciência.
UR 5.5 “Não contempla a pergunta” , para agrupar as respostas que contenham registros que indicam que os alunos não compreenderam a pergunta, sendo a resposta incoerente em relação ao questionamento.
<i>6. É POSSÍVEL QUE DOIS GRUPOS DE CIENTISTAS, DE MESMA ÁREA E COMPETENTES, QUE TENHAM ACESSO AO MESMO CONJUNTO DE DADOS, OBTENHAM RESULTADOS DIFERENTES? EXPLIQUE.</i>
Unidade de Contexto 6 (UC6) “Conclusões distintas, com os mesmos conjuntos de dados” ,

que tem o objetivo de reunir fragmentos textuais que identificam se os alunos compreendem como um mesmo conjunto de dados pode gerar, ou não, distintas conclusões.
Unidades de Registro
UR 6.1 “Sim, a base teórica dos pesquisadores pode ser distinta” , para agrupar as respostas que contenham registros que explicam que distintas bases teóricas utilizadas para interpretar um conjunto de dados podem gerar diferentes conclusões, o conhecimento do cientista interfere na maneira como os dados são interpretados.
UR 6.2 “Sim, dados podem passar despercebidos” , para agrupar as respostas que contenham registros que expliquem que os dados que passam despercebidos podem gerar explicações distintas para um mesmo fenômeno.
UR 6.3 “Sim, a atividade de pesquisa é subjetiva, depende de cada cientista” , para agrupar as respostas que contenham registros que explicam que a atividade de pesquisa é subjetiva, depende de cada cientista, o que pode levar a conclusões distintas.
UR 6.4 “Não, se o conjunto de dados é igual, as conclusões devem ser iguais” , para agrupar as respostas que contenham registros que explicam que um mesmo conjunto de dados não pode ser interpretado de forma distinta por diferentes grupos.
UR 6.5 “Não contempla a pergunta” , para agrupar as respostas que contenham registros que indicam que os alunos não compreenderam a pergunta, sendo a resposta incoerente em relação à pergunta.
<i>7. QUANDO VOCÊ LÊ OU OUVI O TERMO “CIENTISTA”, O QUE VOCÊ PENSA? QUEM É ESSE PROFISSIONAL? QUAIS AS ATRIBUIÇÕES DESSA PROFISSÃO? DESCREVA O QUE VOCÊ IMAGINA A RESPEITO.</i>
Unidade de Contexto 7 (UC7) “Noções a respeito do termo cientista” , que tem o objetivo de reunir fragmentos textuais que identificam as noções dos alunos em relação ao termo cientista.
Unidades de Registro
UR 7.1 “Estereótipo de cientista vinculado pelas mídias” reúne os fragmentos textuais que apresentam o estereótipo do cientista como o que é geralmente vinculado nas mídias.
UR 7.2 “Cientista como um ser humano comum, desenvolvendo atividades variadas” reúne os fragmentos textuais que apresentam o cientista como um ser humano comum.
UR 7.3 “Alguém que trabalha ou estuda com Ciência” reúne os fragmentos textuais que apresentam o cientista como uma pessoa que estuda e/ou trabalha na área científica.
URE 7.4 “Alguém com perfil questionador que busca explicar os fenômenos a sua volta” para agrupar as respostas que apresentam os cientistas como um indivíduo questionador.
UR 7.4 “Não contempla a pergunta” para agrupar as respostas que contenham registros que indicam que os alunos não compreenderam a pergunta, sendo a resposta incoerente em relação ao questionamento.

Fonte: a própria autora

No Quadro 07 serão apresentadas as unidades de contexto e de registro elaboradas para análise das questões relacionadas ao conteúdo científico. São dez questões, cada uma com uma Unidade de Contexto. No entanto, todas elas apresentam as mesmas unidades de registro, portanto serão apresentadas Unidades de Registro genéricas que valem para todas as questões.

Quadro 07 - Unidades de Análise de noções do conteúdo científico.

<i>8. DE ACORDO COM SEUS CONHECIMENTOS A RESPEITO DE FENÔMENOS ATÔMICOS, DESCREVA O QUE ENTENDE POR “INTERAÇÃO ELETROMAGNÉTICA” OU “FORÇA ELETROMAGNÉTICA”.</i>
Unidade de Contexto 8 (UC8) “Noções a respeito da interação eletromagnética” , que tem o objetivo de reunir fragmentos textuais nos quais é possível identificar noções dos alunos em relação à interação eletromagnética.
<i>9. DE ACORDO COM SEUS CONHECIMENTOS A RESPEITO DE FENÔMENOS ATÔMICOS, DESCREVA O QUE ENTENDE POR “INTERAÇÃO FRACA” OU “FORÇA FRACA”.</i>

Unidade de Contexto 9 (UC9) “Noções a respeito da interação fraca” , que tem o objetivo de reunir fragmentos textuais que identificam as noções dos alunos em relação à interação fraca.
<i>10. EXPLIQUE COM SUAS PALAVRAS COMO OCORRE O DECAIMENTO BETA.</i>
Unidade de Contexto 10 (UC10) “Noções a respeito do decaimento beta” , que tem o objetivo de reunir fragmentos textuais que identificam as noções dos alunos em relação ao processo de decaimento beta.
<i>11. O QUE VOCÊ ENTENDE POR PARIDADE? EM SUA OPINIÃO, A PARIDADE É CONSERVADA OU VIOLADA NAS INTERAÇÕES FRACAS? EXPLIQUE.</i>
Unidade de Contexto 11 (UC11) “Noções a respeito do conceito de Paridade e seu comportamento nas interações fracas” , que tem o objetivo de reunir fragmentos textuais que identificam as noções dos alunos em relação ao conceito de Paridade e seu comportamento nas interações fracas.
<i>12. EM SUA OPINIÃO, O QUE SÃO CORRENTES NEUTRAS?</i>
Unidade de Contexto 12 (UC12) “Noções a respeito das correntes neutras” , que tem o objetivo de reunir fragmentos textuais que identificam as noções dos alunos em relação às correntes neutras.
<i>13. DE ACORDO COM SEUS CONHECIMENTOS, DESCREVA COMO AS PARTÍCULAS SUBATÔMICAS ADQUIREM MASSA.</i>
Unidade de Contexto 13 (UC13) “Noções a respeito da origem da massa das partículas” , que tem o objetivo de reunir fragmentos textuais que identificam as noções dos alunos em relação à origem da massa das partículas.
<i>14. EM SUA OPINIÃO O QUE SÃO BÓSONS MEDIADORES?</i>
Unidade de Contexto 14 (UC14) “Noções a respeito dos bósons mediadores” , que tem o objetivo de reunir fragmentos textuais que identificam as noções dos alunos em relação aos bósons mediadores.
<i>15. DE ACORDO COM SEUS CONHECIMENTOS, DESCREVA O QUE É A TEORIA DE GAUGE.</i>
Unidade de Contexto 15 (UC15) “Noções a respeito da Teoria de Gauge” , que tem o objetivo de reunir fragmentos textuais que identificam as noções dos alunos em relação à Teoria de Gauge.
<i>16. DE ACORDO COM SEUS CONHECIMENTOS, O QUE A ESTRUTURA MATEMÁTICA $SU(2) \times U(1)$ REPRESENTA?</i>
Unidade de Contexto 16 (UC16) “Noções a respeito da estrutura $SU(2) \times U(1)$” , que tem o objetivo de reunir fragmentos textuais que identificam as noções dos alunos em relação à estrutura $SU(2) \times U(1)$.
<i>17. EM SUA OPINIÃO, O QUE SIGNIFICA O TERMO “UNIFICAÇÃO DE TEORIAS CIENTÍFICAS”?</i>
Unidade de Contexto 17 (UC17) “Noções a respeito da unificação de teorias científicas” , que tem o objetivo de reunir fragmentos textuais que identificam as noções dos alunos em relação à unificação de teorias científicas.
<i>18. DESCREVA, DE ACORDO COM SEUS CONHECIMENTOS, COMO A TEORIA ELETROFRACA FOI DESENVOLVIDA.</i>
Unidade de Contexto 18 (UC18) “Noções a respeito da Teoria Eletrofraca” , que tem o objetivo de reunir fragmentos textuais que identificam as noções dos alunos em relação à Teoria Eletrofraca.
Unidades de Registro para todas as questões
UR _1 “Noções de acordo com o consenso científico atual” reúne os fragmentos textuais que identificam o conceito de acordo com o consenso científico atual.
UR _2 “Noção parcialmente correta a respeito do tema” reúne os fragmentos textuais que identificam o conceito, mas com alguns erros.
UR _3 “Noções equivocadas/confusas em relação ao tema” reúne fragmentos que apresentam uma noção equivocada em relação ao conceito.
UR _4 “Desconhece ou não recorda nada em relação ao tema” reúne fragmentos nos quais os alunos alegam desconhecer ou não recordam do conceito.
UR _5 “Não contempla a pergunta” para agrupar as respostas que contenham registros que indicam que os alunos não compreenderam a pergunta, sendo a resposta incoerente em relação ao questionamento.

Fonte: a própria autora

A seguir são apresentadas as Unidades de Análise para os Digramas de Gowin.

4.4.2 Unidades de Análise dos Diagramas V

De acordo com a literatura que investiga a utilização do V de Gowin em abordagens didáticas, recomenda-se sua avaliação qualitativa. Dessa forma, nesta investigação, ao invés de utilizar um *ranking* de pontuações, utilizam-se unidades de análise com base no referencial teórico do diagrama de Gowin e da Teoria de Aprendizagem Significativa. No Quadro 08 são descritas as unidades de contexto e registro que norteiam a análise dos diagramas elaborados durante a oficina de pesquisa.

Quadro 08 – Unidades de Análise dos Diagramas de Gowin

Unidade de Contexto 19 (UC19) “Domínio teórico-conceitual do V de Gowin” tem por objetivo reunir os diagramas para análise dos elementos epistemológicos do domínio conceitual do V de Gowin.
Unidades de Registro
UR 19.1 “Apresenta corretamente todos os elementos epistemológicos, teoria, princípios e conceitos” reúne diagramas que apresentam corretamente todos os elementos do domínio conceitual do V.
UR 19.2 “Apresenta corretamente, pelo menos, dois dos elementos epistemológicos, teoria, princípios e conceitos” reúne diagramas que apresentam corretamente, pelo menos, dois elementos epistemológicos.
UR 19.3 “Apresenta apenas um dos elementos epistemológicos, teoria, princípios e conceitos” reúne diagramas que apresentam apenas um dos elementos epistemológicos.
UR 19.4 “Apresenta todos os elementos epistemológicos, teoria, princípios e conceitos, porém com erros de conteúdo” reúne diagramas que apresentam corretamente todos os elementos do domínio conceitual do V, mas apresentam erros de conteúdo.
UR 19.5 “Apresenta elementos epistemológicos, mas cita poucos exemplos em cada um” reúne diagramas que apresentam corretamente todos os elementos do domínio conceitual do V, mas apresentam poucos exemplos nos elementos.
Unidade de Contexto 20 (UC20) “Questão-foco e eventos/acontecimentos do V de Gowin” tem por objetivo reunir os diagramas para análise da relação entre questão foco e eventos/acontecimentos.
Unidades de Registro
UR 20.1 “Questão-foco e eventos/acontecimentos estão corretamente relacionados” reúne diagramas que apresentam corretamente a relação entre as questão foco e os eventos/acontecimentos.
UR 20.2 “Não apresenta corretamente a questão foco” reúne diagramas que não apresentam corretamente a questão-foco.
UR 20.3 “Não apresenta corretamente os eventos/acontecimentos” reúne diagramas que não apresentam corretamente os eventos/acontecimentos.
UR 20.4 “Questão-foco e eventos/acontecimentos não estão relacionados” reúne diagramas em que a relação entre a questão-foco e os eventos/acontecimentos não é precisa.
UR 20.5 “Apresenta corretamente a questão-foco e eventos/acontecimentos, mas não considera todas as possibilidades” reúne diagramas em que a questão-foco e os eventos são apresentados corretamente, mas não cita a todas as possibilidades.
Unidade de Contexto 21 (UC21) “Domínio Metodológico do V de Gowin” tem por objetivo reunir os diagramas para análise dos elementos epistemológicos do domínio metodológico do V.
Unidades de Registro
UR 21.1 “Apresenta corretamente todos os elementos epistemológicos, registros, transformações, asserções de conhecimento e de valor” reúne diagramas que apresentam corretamente todos os elementos epistemológicos do domínio metodológico do V de Gowin.

UR 21.2 “Apresenta corretamente somente três dos elementos epistemológicos” reúne diagramas que apresentam corretamente somente três dos elementos epistemológicos do domínio metodológico.
UR 21.3 “Apresenta corretamente somente dois dos elementos epistemológicos” reúne diagramas que apresentam corretamente somente dois dos elementos epistemológicos do domínio metodológico.
UR 21.4 “Apresenta corretamente somente um dos elementos epistemológicos” reúne diagramas que apresentam corretamente somente um dos elementos epistemológicos do domínio metodológico.
UR 21.5 “Apresenta todos os elementos epistemológicos, mas cita poucos exemplos em cada um” reúne diagramas que apresentam corretamente todos os elementos do domínio metodológico do V, mas apresentam poucos exemplos nos elementos.

Fonte: a própria autora

A seguir é explicado como será feita a análise dos questionários de opinião e de múltipla escolha.

4.4.3 Unidades de Análise dos Questionários de Opinião e de Múltipla Escolha

Durante a investigação foram utilizados dois questionários de opinião, um a respeito das simulações de experimentos históricos e outra a respeito da Oficina de Pesquisa. Para estes não foram elaboradas unidades de análise prévias e os dados serão analisados com base em unidades temáticas, assim como foram analisados os dados de levantamento de literatura realizados nos capítulos anteriores.

Já o questionário de múltipla escolha, utilizado para a avaliação das simulações por pares, será analisado quantitativa e qualitativamente, pois além de alternativas de múltipla escolha os avaliadores também podiam emitir suas opiniões em relação às questões específicas e/ou em uma questão aberta ao final do questionário, na qual podiam registrar críticas, sugestões ou elogios em relação às simulações.

Seguindo o rigor científico, para fins de validação, todos os questionários, bem como as unidades de análise, foram decodificados intersubjetivamente por integrantes do grupo de pesquisa IFHIECEM.

A seguir é dado um detalhamento empírico da implementação da pesquisa, tanto em relação ao desenvolvimento das simulações computacionais, quanto em relação à aplicação da Oficina de Pesquisa em sala de aula.

5 PROCEDIMENTOS EMPÍRICO-METODOLÓGICOS

O objetivo deste capítulo é apresentar o contexto metodológico da investigação e explicitar como se deu, empiricamente, o processo de elaboração e avaliação das simulações, bem como da abordagem didática apresentada no capítulo anterior.

5.1 ELABORAÇÃO DIDÁTICA DAS SIMULAÇÕES E NEGOCIAÇÕES DA EQUIPE MULTIDISCIPLINAR

Em um projeto dessa abrangência, no qual se fazem necessários vários conhecimentos para que as etapas sejam concluídas, houve a necessidade, devido ao prazo de uma pesquisa de doutorado e das habilidades e competências dos envolvidos, de compor uma equipe multidisciplinar, uma vez que seriam indispensáveis componentes das áreas de Física, Ensino, História da Ciência, Computação e *Design*.

Essa colaboração reflete uma elaboração coletiva, na qual todos os integrantes eram consultados e ouvidos para que os objetivos e conflitos fossem alcançados e resolvidos. Isso exemplifica o caráter colaborativo na construção de conhecimentos científicos, pois a Ciência não é feita por “gênios solitários”, trata-se de uma construção humana, sujeita a erros, acertos, influências e cooperações.

5.1.1 A Equipe Multidisciplinar

A composição da equipe multidisciplinar começou a ser pensada já no ano de 2014, ano antecedente ao início dessa investigação, dado o interesse da autora da tese, sua orientadora e o professor do Departamento de Ciência da Computação, Dr. Jacques Duílio Brancher.

O primeiro contato foi intermediado pela orientadora, que sugeriu a parceria entre os membros para o desenvolvimento de um projeto que visasse a elaboração das simulações computacionais de experimentos históricos, na qual os membros da equipe especializados em Física, Ensino e História e Filosofia da Ciência (FEHC) estariam em colaboração mútua com os membros da equipe especializada em Computação e *Design* (CD).

A equipe responsável pelas áreas de Física, Ensino e História da Ciência (FEHC) foi composta pela autora desta tese, Ma. Márcia da Costa, e sua orientadora, Dra. Irinéa de Lourdes Batista, que possuem uma formação acadêmica que lhes permite gerenciar essas áreas do projeto. A equipe responsável pelas áreas de Computação e *Design* (CD) foi gerenciada pelo Dr. Jacques Duílio Brancher, professor do Departamento de Ciência da Computação da Universidade Estadual de Londrina, que se disponibilizou a participar do projeto como parte de seu projeto de Pós-doutorado. Essa equipe foi composta pelo professor Jacques, por um programador, Yago Henrique Pereira, e um *designer*, Murilo Crivellari, ambos alunos de mestrado em Ciência da Computação.

Em 2015, com o início oficial da pesquisa de doutorado, a pesquisadora, autora da tese, e o professor do Departamento de Ciência da Computação deram início a encontros presenciais para definirem as atividades que seriam desenvolvidas para dar início ao processo de elaboração das simulações.

Esses encontros foram essenciais para ficar claro o que se esperava que cada um dos membros fizesse. A equipe FEHC ficou encarregada da primeira tarefa, que era a explicação dos experimentos que seriam simulados.

5.1.2 A Escolha e Descrição Detalhada dos Experimentos

Não existe uma metodologia específica para a elaboração de simulações computacionais de experimentos históricos para o Ensino de Física, no entanto esse trabalho pode ser guiado por teorias específicas das áreas que compõem esse desafio. Por exemplo, ao tratar de experimentos históricos, leva-se em consideração sua definição e tipologia, bem como a metodologia de Historiografia da Ciência para elaborar uma narrativa histórica dos experimentos.

Nesse trabalho foram levadas em consideração características das tipologias definidas por Heering (2005), Chang (2011) e Metz e Stinner (2007), segundo os quais, os experimentos históricos reproduzidos podem representar, da forma mais fiel possível que se conseguir, os experimentos originais e/ou os fenômenos físicos por eles abordados. Além de serem auxiliados por uma narrativa histórica que permite a interação do estudante por meio da experimentação que, nesse caso, se desenvolve com a simulação computacional.

Para que fosse possível realizar uma descrição detalhada de cada um dos experimentos, foi necessário consultar o maior número de fontes primárias possíveis, o que, de acordo com Martins (2005), consiste em materiais da época estudada, escritos pelos pesquisadores estudados, ou seja, os artigos que foram publicados pelos pesquisadores que realizaram o experimento. Além de artigos, materiais como fotografias, cadernos de laboratório, vídeos, entre outras fontes, que poderiam fornecer o maior número possível de detalhes a respeito do experimento, dos instrumentos utilizados e dos procedimentos experimentais, foram consultados.

Além das fontes primárias²⁸, também foram consultadas fontes secundárias, compostas por estudos historiográficos e obras de apoio a respeito do período e dos autores investigados e fontes terciárias que são instrumentos bibliográficos para busca de fontes primárias e secundárias. Sempre que possível se aproximando dos “originais” dos autores, pois isso torna o trabalho de descrição dos experimentos mais fiel possível ao experimento original (MARTINS, 2005).

As leituras iniciais a respeito da unificação das interações eletromagnéticas e fracas, feitas no livro *Em busca da Unificação*, de Salam, Dirac e Heisenberg (1991) e no *site Seara da Ciência*, da série Curiosidades da Física, do professor José M. Bassalo, forneceram as informações iniciais para as buscas. No livro foram citados quatro experimentos que, de acordo com Abdus Salam, um dos responsáveis pela proposta teórica dessa unificação, compõem a história experimental desse desenvolvimento científico.

Com os quatro experimentos indicados pela literatura: teste de conservação da paridade em interações fracas, observação de interações de neutrinos na Câmara Gargamelle, teste de conservação da Paridade em átomos e detecção indireta dos bósons W e Z^0 , o próximo passo foi buscar informações a respeito deles. Nessa etapa, o *site* supracitado foi útil na indicação dos artigos originais de cada experimento, bem como de fontes secundárias. A partir disso, esses artigos foram consultados e por meio deles outros artigos e documentos históricos foram indicados. Além disso, nas ferramentas de busca da internet apareciam outras sugestões de documentos, que se encaixavam como fontes primárias, secundárias ou terciárias e que contribuíram de alguma maneira no detalhamento desses experimentos.

²⁸ No apêndice F estão listadas as referências primárias utilizadas na Composição Histórica.

Com o material que foi obtido, uma primeira decisão metodológica precisou ser tomada, pois a respeito de um dos quatro experimentos, o teste de conservação da paridade em átomos, pouca informação havia sido obtida e não seria possível garantir uma descrição detalhada dos instrumentos e procedimentos experimentais utilizados. Assim, decidiu-se que esse experimento não seria simulado computacionalmente, uma vez que uma pesquisa histórica deve ter como ponto de partida um levantamento bibliográfico o mais completo possível (MARTINS, 2005). Além do que, segundo Höttecke (2000), essas informações seriam necessárias para reconstruir a situação experimental da forma mais fiel possível. Dessa maneira, foram descritos detalhadamente somente os outros três experimentos.

Essa descrição foi feita, em forma de um texto que continha todas as informações obtidas a respeito de cada experimento, desde os componentes até o procedimento experimental, sempre que possível com fotografias ou *links* de vídeos que representassem etapas ou instrumentos utilizados. Isso foi feito para que as simulações computacionais pudessem representar os experimentos originais da maneira mais fiel possível.

Convém registrar a dificuldade de encontrar registros detalhados de cada um dos experimentos, uma vez que os artigos originais não apresentavam todos os detalhes a respeito do experimento e as técnicas, instrumentos e fases da experimentação nem sempre são registradas de forma escrita ou em fotografias e vídeos. O que está de acordo com o que já havia sido especificado na literatura, pois segundo Chang (2011), as descrições sobreviventes do passado, geralmente, possuem lacunas que não especificam claramente vários aspectos de instrumentos e operações.

Outro registro relevante é o nível de detalhes nas descrições do experimento, quanto mais detalhados os processos, mais fácil fica a comunicação entre os membros da equipe, pois se trata de uma comunicação entre membros de distintas formações e repertórios de vocabulário.

5.1.3 Ciclo de Desenvolvimento das Simulações

O desenvolvimento das simulações computacionais dos experimentos históricos seguiu o ciclo de desenvolvimento sugerido por Galvis (1992), descrito no capítulo 03, com as devidas adaptações. A seguir serão descritas as etapas.

Análise: Na etapa de análise foi estabelecido quais os problemas seriam resolvidos e de que maneira.

No contexto desta pesquisa, para abordar a temática da unificação eletrofraca, conteúdo de Física Moderna que abrange conceitos abstratos e experimentos de difícil execução em laboratórios didáticos, um dos desafios era promover uma contextualização histórica com base em princípios da Aprendizagem Significativa de experimentos que foram relevantes no processo de unificação.

Como abordar experimentos históricos da Física de Partículas em sala de aula? A replicação dos experimentos, nesse caso, era inviável devido à necessidade de equipamentos de difícil acesso, altos custos financeiros, alta demanda de tempo e espaços físicos, além de uma equipe especializada que pudesse replicar e executar, na medida do possível, os experimentos conforme os originais.

Assim, uma das alternativas foi a simulação computacional, uma vez que não exigiria os requisitos da replicação real e um conhecimento aprofundado de cada um dos experimentos possibilitaria a replicação virtual dos mesmos, com a possibilidade de inserção de aspectos da Aprendizagem Significativa no processo.

A etapa final dessa etapa seria a montagem da equipe multidisciplinar, porém, no caso dessa investigação, essa parte já havia sido resolvida anteriormente.

Projeto: Com a descrição dos experimentos já elaborada pela equipe FEHC, a pesquisadora encontrou-se com o professor Jacques para uma primeira explicação desses experimentos. No entanto, a explicação inicial não foi satisfatória, uma vez que os experimentos foram explicados com uma linguagem técnica de Física e, a princípio, isso não fazia sentido para o profissional de computação.

Aqui, registra-se uma das dificuldades que foi recorrente no processo de elaboração das simulações: as falhas de comunicação. Dada a diferente formação acadêmica dos membros da equipe multidisciplinar, foi difícil, no início, que os membros entendessem perfeitamente o que se esperava que cada um fizesse. Assim, foram necessárias discussões ao longo do processo para que ambos os membros entendessem o que deveria ser feito e por que deveria ser feito de determinada maneira.

Utilizando as palavras do professor Jacques, foi necessário que se explicasse cada experimento como se estivesse explicando para uma criança, a fim de que fossem detalhadas todas as fases e que isso facilitasse o trabalho da equipe de programação e *design*.

Essa não foi uma tarefa fácil de se realizar, pois a pesquisadora também estava entrando em contato pela primeira vez com o estudo dos experimentos que se desejava simular e à medida que ia adquirindo informações relevantes a respeito de cada uma das experiências, esses novos elementos iam sendo repassados para a equipe CD.

Nessa etapa do projeto a equipe FEHC definiu os conteúdos que seriam abordados, o público-alvo, os conhecimentos prévios necessários ao usuário, os aspectos da Teoria de Aprendizagem Significativa que norteariam a elaboração das simulações, quais aspectos históricos seriam considerados, os objetivos que se esperava que os usuários alcançassem com sua utilização, em quais condições o usuário poderia utilizá-las, quais as especificações técnicas que elas deveriam possuir, como avaliaria o aprendizado do usuário, como ocorreria a comunicação do usuário com o *software*.

Em termos de Aprendizagem Significativa, a própria simulação computacional já se configura como uma estratégia facilitadora da aprendizagem, uma vez que atende ao princípio de diversificação dos recursos didáticos.

Essa diversificação pode promover uma predisposição para a aprendizagem, dado que os alunos se sentem motivados pela variedade de representações. Nesse sentido, quando os alunos possuem conceitos e conhecimentos prévios em sua estrutura cognitiva, que podem não ser condizentes com os conceitos científicos, essa diversificação pode possibilitar uma aproximação ao conhecimento científico, uma vez que o aluno terá, à sua disposição, diferentes

formas de representação de um conteúdo e poderá aproveitar aquele que mais lhe interesse.

Nesse sentido, nas simulações, buscaram-se diferentes formas para apresentar conceitos ou objetos, além de descrições textuais há imagens e vídeos para auxiliar nas explicações de processos e instrumentos relacionados a cada um dos experimentos. Bem como, procurou-se expressar essas diferentes formas, em uma linguagem condizente com o conteúdo, já que aprender um conteúdo, ou uma disciplina, de maneira significativa, é aprender sua linguagem, seus instrumentos e procedimentos. De acordo com Ausubel (2003, p. 97), “a aquisição de ideias e de conhecimentos de matérias depende da aprendizagem verbal e de outras formas de aprendizagem simbólica”. Além disso, preocupou-se com uma linguagem acessível ao público-alvo, a fim de que o material instrutivo fizesse sentido.

Essa preocupação, com diferentes formas de representação de um conhecimento, pode possibilitar um ensino centrado no aluno, o que pode gerar uma motivação para interação dos estudantes com o recurso didático e o objeto de estudo. Isso os torna ativos no processo de aprendizagem, possibilita que testem suas hipóteses e que tenham mais autonomia para construção de seus aprendizados.

Nesses quesitos, a simulação computacional foi elaborada de maneira que possibilitasse vários momentos de interação dos usuários, uma vez que irão reproduzir um experimento histórico. Dessa forma, os experimentos foram separados em etapas, as quais os usuários vão executando à medida que interagem com a simulação. Essa interação é mediada por mensagens de orientação, que têm o papel de guiar os procedimentos.

Com relação às mensagens, sempre que possível, foi utilizado o recurso de recursividade de conceitos, pois é relevante que os conceitos sejam trabalhados em contextos diferentes para que possibilite a consolidação da aprendizagem em diferentes níveis. A recursividade também é garantida ao usuário na possibilidade de transitar entre as mensagens, refazer procedimentos e permanecer o tempo que for necessário em cada uma das etapas.

Ainda em relação às etapas, como em um processo de experimentação, elas apresentam uma sequência lógica, de montagem, execução e análise dos dados. Buscou-se seguir essa lógica na simulação computacional, na

qual o usuário pode voltar etapas anteriores, mas não pode pular etapas, o que faz sentido pela teoria da Aprendizagem Significativa, que valoriza os conhecimentos prévios para assimilação dos novos. Portanto, não faria sentido que o usuário avançasse para a etapa de execução do experimento, sem antes montar o mesmo.

Outro princípio facilitador da Aprendizagem Significativa, que foi utilizado nas simulações, é a aprendizagem pelo erro, no qual o erro não é punido, mas é uma oportunidade de aprendizado. A Ciência é uma construção humana, logo o processo de elaboração de um conhecimento científico é passível de erros. Assim, é compreensível que os alunos também errem no processo de aprendizagem, no entanto, esses erros podem ser melhor aproveitados quando são transformados em uma nova oportunidade de aprendizado. Sendo assim, nas diversas tarefas que a simulação propõe, quando o usuário “erra” alguma ação ele tem um *feedback* a respeito, que explica o motivo de sua ação estar “errada”. Desse modo, nesses momentos de testes de hipóteses, os usuários podem usufruir de novas informações, além de conferir se sua ação está correta ou não.

Em referência aos aspectos históricos, procurou-se manter a simulação computacional o mais fiel possível aos experimentos originais e em cada uma das simulações foi introduzida uma etapa de informações históricas a respeito do experimento simulado. Nessa etapa são exibidas fotografias dos experimentos originais para que os usuários tomem conhecimento dos instrumentos e procedimentos originais.

Como resultado desse processo, a etapa final do projeto foi a elaboração de um protótipo que refletisse os objetivos das especificações relatadas acima.

Dessa maneira, nessa etapa do processo foi elaborado um documento detalhado com todas as telas e funcionalidades do que se esperava que as simulações fossem capazes de reproduzir. Esse documento foi elaborado pela equipe FEHC que, com base na composição histórica do conteúdo e em princípios da Aprendizagem Significativa, elaborou o primeiro esboço do que seriam as simulações.

Foram elaborados três esboços, um para cada experimento, contendo uma introdução do experimento e a descrição do que teria em cada tela da simulação do experimento: quais as ações permitidas ao usuário, quais as reações

às ações do usuário, quais as saídas e entradas de cada tela, que orientações o usuário receberia em cada etapa, qual deveria ser a sequência das telas, que recursos multimídias seriam inseridos e quais as equações matemáticas que descreveriam possíveis movimentos de elementos na interface gráfica.

Para exemplificação dessa fase, é representado na Figura 18 o primeiro esboço do que seria a primeira tela de um dos experimentos. Nessa figura estão representadas as quatro etapas que teriam a simulação, representadas por quatro abas na parte superior. Nessa tela específica está representada o que seria a tela inicial da primeira etapa da simulação do experimento, na qual seria exibida uma mensagem de orientação para que o usuário escolhesse itens do painel de controle para a montagem do experimento e testasse suas escolhas.

Os itens do painel de controle, os títulos das etapas, as mensagens, imagens e as devidas reações às ações do usuário foram descritas em forma de texto no documento.

Em seguida esse documento foi entregue para os demais membros da equipe para que fizessem uma leitura e logo após foi marcada uma reunião presencial para que as primeiras dúvidas pudessem ser resolvidas.

Todo esse material, com a descrição detalhada dos experimentos, bem como uma primeira ideia de como esses experimentos deveriam ser representados nas simulações e um fluxograma de cada uma das simulações, foi enviado para a equipe CD por *e-mail* e um encontro presencial foi marcado para que os experimentos fossem devidamente apresentados e as possíveis dúvidas, até então, pudessem ser resolvidas.

Nesse protótipo das simulações, a pesquisadora não especificou cores nem tamanhos, pois esperava-se que essas decisões fossem tomadas em consulta com o restante da equipe, que era capacitada para opinar a respeito da interface gráfica. A equipe HEFC se responsabilizava pela gestão do processo, da representação dos conteúdos científicos e de aspectos pedagógicos que deveriam ser apresentados nas simulações.

Na Figura 18 é apresentado um exemplo de uma das telas do protótipo elaborado pela equipe FEHC.

Figura 18 – Exemplificação da representação do primeiro esboço das telas das simulações



Fonte: a própria autora

O primeiro encontro presencial com os membros da equipe da computação ocorreu em fevereiro de 2016 e nele a pesquisadora foi apresentada pessoalmente a todos os membros da equipe da computação e fez uma apresentação dos três experimentos a serem simulados. Em seguida as dúvidas foram esclarecidas e sugeriu-se que a equipe de computação fosse dividida em duas partes, uma que ficaria responsável pela elaboração de uma página *web* com cadastro de usuários e coleta de informações, na qual as simulações estariam inseridas e a outra ficaria responsável pela programação das simulações.

Assim, deu-se início à etapa de desenvolvimento do projeto.

Desenvolvimento: No primeiro encontro da pesquisadora com a equipe CD ficou decidido que seriam utilizados o HTML5 com javascript para a elaboração das simulações, uma vez que atenderiam as necessidades dos experimentos a serem simulados.

A equipe responsável pela programação das simulações contou com a colaboração de um aluno de graduação, Yago Henrique Pereira, que começou ajudando no *layout* das telas.

Antes de iniciar a codificação os especialistas em Computação procuraram identificar procedimentos de uso comum nos experimentos ou nas etapas e se eles já existiam em bibliotecas como utilitários aplicáveis. Assim poupou-

-se esforço de programação de um experimento para o outro, uma vez que foi seguido um padrão de programação em ambas as simulações.

À medida que a equipe CD ia desenvolvendo as simulações, eles consultavam a equipe FEHC para que as dúvidas que iam surgindo fossem resolvidas e para que essa equipe observasse se o que estava sendo feito estava condizente com as expectativas. Estratégias essas, condizentes com o que Galvis (1992) indica como táticas para desenvolvimento do projeto.

E dessa forma começaram as negociações entre os membros da equipe, até então compostas pela pesquisadora, sua orientadora, o professor Jacques e a equipe por ele gerida. Nessa etapa as primeiras negociações ocorreram entre os membros da equipe de computação. Como estavam responsáveis por tarefas diferentes, precisavam saber dos requisitos de cada parte para que a junção das tarefas fosse possível ao final. Todos os diálogos eram registrados por *e-mails* e quando algum membro da equipe tinha algo para compartilhar, esse compartilhamento era feito por *e-mail*.

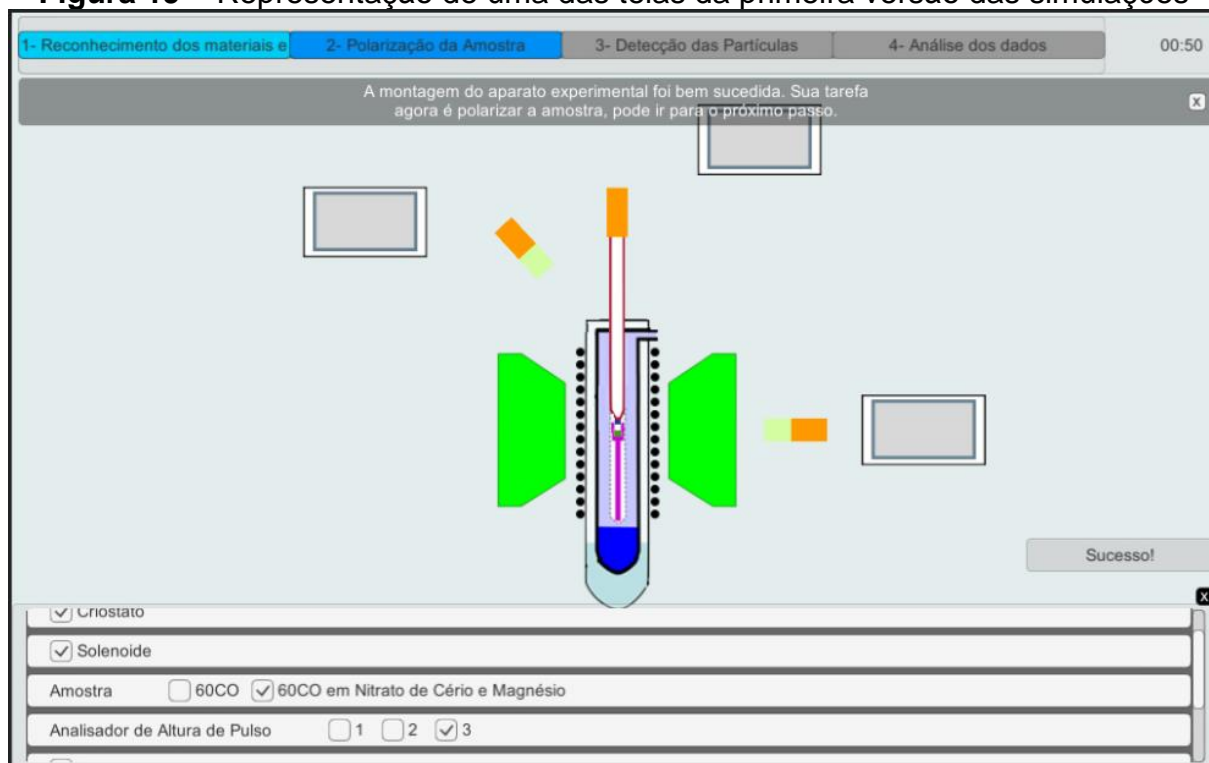
Em um encontro de orientação a professora Irinéa sugeriu que os experimentos fossem simulados em 3D, para que fosse possível representar os experimentos e os fenômenos da melhor maneira possível. Isso levou a uma troca na linguagem de programação das simulações, que de acordo com a equipe de programação passaria a ser o Unity. Isso levou o Yago a se responsabilizar por essa parte, uma vez que os demais não tinham conhecimento de programação com essa linguagem.

As equipes da CD elaboraram cronogramas de trabalho para que tanto as simulações, como a página na *web* fossem programadas em um período de tempo predeterminado. Foram desenvolvendo algumas atividades e compartilhando por *e-mail* com os demais integrantes. Durante esse processo a pesquisadora tentou manter reuniões por Skype com as equipes, pois a maioria dos membros estava trabalhando e estudando, morando em cidades diferentes e tudo isso implicava em complicações para marcar reuniões presenciais em que todos pudessem estar presentes.

Em julho de 2016 a equipe CD apresentou a primeira versão das simulações, ainda em 2D, para a equipe FEHC e as primeiras revisões foram solicitadas, pois alguns detalhes do que havia sido solicitado não haviam sido

atendidos e outros detalhes foram acrescentados por necessidades estéticas e pedagógicas. Por exemplo, o menu de opções que o usuário poderia escolher não estava todo à mostra na tela, as cores não estavam sendo eficientes para projeção e alguns desenhos precisavam ser melhorados. Isso pode ser notado na Figura 19, que apresenta uma tela da simulação do primeiro experimento simulado.

Figura 19 – Representação de uma das telas da primeira versão das simulações



Fonte: a própria autora

Essa primeira revisão serviu para sugerir itens que foram esquecidos no primeiro esboço e eventuais erros. Um dos itens esquecidos no esboço inicial foi a possibilidade do usuário poder voltar para etapas anteriores para tirar dúvidas e um dos erros, de característica histórica, foi a representação errônea de um dos instrumentos do experimento. Trata-se do analisador da altura de pulsos, que na Figura 20 está representado por três retângulos, a ideia era que aparecessem picos nesses retângulos para representar as medidas, no entanto, naquela época ainda não existia uma interface gráfica nesse equipamento e muito menos poderiam ser representados de tal maneira. Isso mostra que uma pesquisa inicial pode levar a cometer anacronismo, olhar os objetos do passado com os olhos do presente e representar objetos de uma época a que não pertencem.

Nessa etapa do projeto os primeiros integrantes da equipe CD pararam de responder aos *e-mails* e por estarem envolvidos em outras atividades optaram por parar com a colaboração no projeto. No entanto, o Yago já estava fazendo parte do programa de Mestrado em Ciência da Computação e como ele foi o responsável por toda a parte de programação das simulações, nenhum trabalho foi “perdido”, pois a colaboração dele continuou e isso permitiu que o processo de elaboração das simulações não fosse prejudicado. No entanto, a página na *web* que seria desenvolvida pela outra equipe ficou em segundo plano.

Contudo, um novo membro juntou-se à equipe em agosto de 2016, um profissional de *Design*, Murilo Crivellari, que também era aluno do Mestrado em Ciência da Computação e interessou-se pela colaboração no projeto. Foi ele quem desenhou todos os itens das animações, com base na documentação histórica de cada equipamento utilizado nos experimentos. A equipe FEHC foi responsável pela obtenção do maior número possível de informações a respeito de cada um dos itens do experimento, como esquemas, fotografias, vídeos ou qualquer outra forma de representação dos equipamentos utilizados nos experimentos originais. Assim como os especialistas de Computação repassavam todos os avanços para análise da equipe FEHC, o especialista em *Design* também consultava essa equipe a respeito das representações elaboradas por ele, antes de enviar para os especialistas em Computação implementarem nos códigos. Além dessa contribuição, todo o *layout* das telas foi modificado com sugestões de diferentes cores, formatos e disposições espaciais. Vale ressaltar que ele também contribuía na discussão de outros quesitos das simulações, que não necessariamente estavam relacionados ao *Design*.

A propósito, essa colaboração foi um divisor de águas nos aperfeiçoamentos das simulações e na própria comunicação entre os membros, que a partir dessa etapa ficou diretamente entre a pesquisadora, o programador e o *designer*.

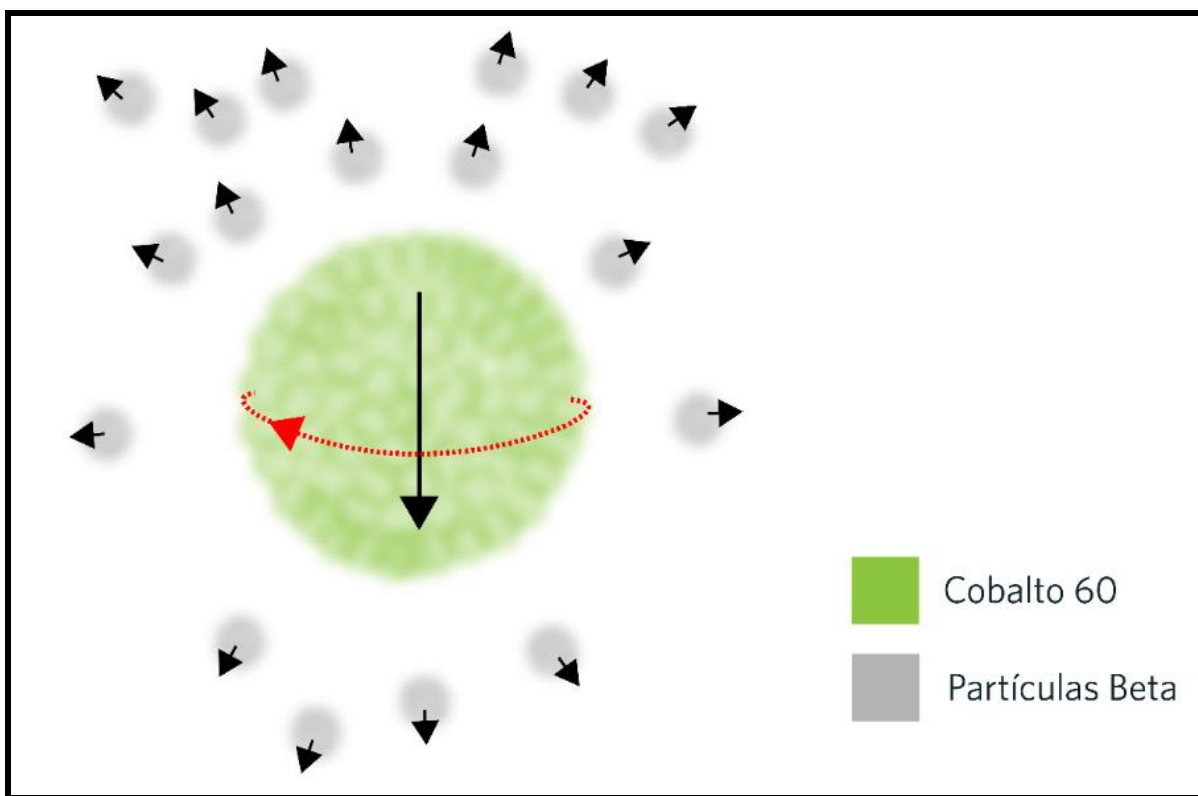
Com uma comunicação mais direta e eficiente, dado que o profissional de *design* conseguia entender o que a equipe FEHC pretendia e repassar isso de forma técnica para o programador, os resultados foram mais rápidos e eficientes. Toda a interface gráfica das simulações foi repensada pela perspectiva do *designer*, mantendo os aspectos de conteúdo e pedagógicos, pois, além de uma interface amigável e intuitiva, o objetivo principal era que as simulações

fossem capazes de apresentar os conteúdos científicos e os aspectos pedagógicos necessários para promover indícios de aprendizagem. Dessa forma, ambos os profissionais da equipe devem aprender a negociar as mudanças necessárias, pautadas em suas especialidades e limitações. Essas revisões feitas no decorrer do processo de elaboração das simulações foram avaliações formativas e executadas ao longo de todo o processo de desenvolvimento, com participação de todos os integrantes.

Para exemplificar essa situação, pode-se citar o caso em que as mensagens que apareciam na tela estavam ganhando pouco destaque. Diante disso, a equipe FEHC sugeriu que as mensagens poderiam ser exibidas em caixa alta ou que elas aparecessem por cima da animação gráfica do experimento, obrigando o usuário a ler e fechar a mensagem para continuar a simulação. A equipe CD tomou o cuidado de advertir que, do ponto de vista de usabilidade e de uma interface amigável, a sugestão da equipe FEHC seria inviável, pois mensagens em caixa alta poderiam dar a impressão de agressividade, gritos, enquanto que a mensagem aparecendo em cima da animação gráfica poderia ser uma experiência negativa. Assim, negociam-se saídas para que o problema seja resolvido e que atenda, na medida do possível, ambas as necessidades.

Outro exemplo que pode ser citado é o caso das representações gráficas de fenômenos ou elementos físicos. Especialmente no caso dessas simulações, nas quais ambos os fenômenos são complexos para serem representados, procurou-se tomar cuidado com as representações. Um dos cuidados foi com a representação do decaimento beta, no qual o designer foi orientado a não representar uma forma definida do núcleo e das partículas emitidas, uma vez que o que se vê é somente a ação dos elementos com os detectores. Assim, o Murilo procurou desenhar objetos sem contorno definido, embora a forma tenha sido definida, pois se não fosse representado por bolinhas seria representada por triângulos, quadrados, ou qualquer outra forma geométrica. Dessa forma, optou-se por não definir os contornos para dar essa ideia de incerteza das formas (vide Figura 20).

Figura 20 – Representação do decaimento beta na simulação do experimento do comportamento da paridade nas interações fracas

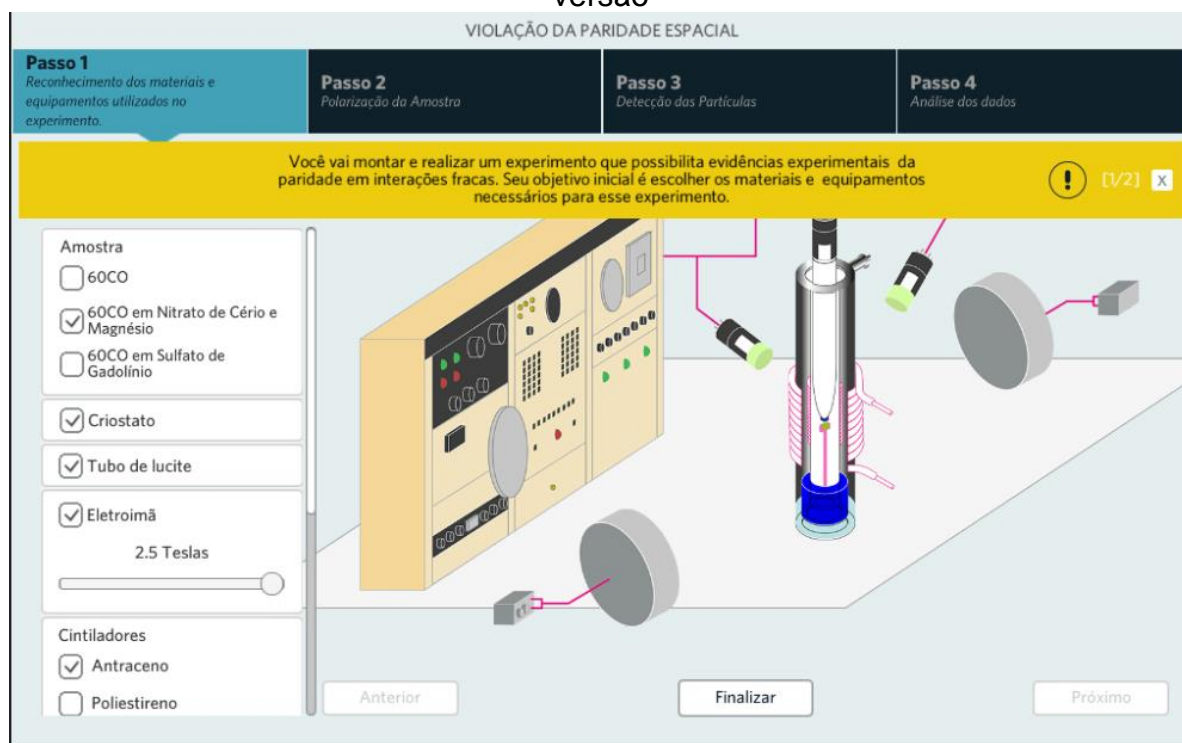


Fonte: a própria autora

Outro exemplo é o caso da representação do feixe de neutrinos. Quando a equipe FEHC sugeriu que fosse representado por um feixe incolor, a equipe CD sugeriu que fosse colorido. Então explicou-se que essas partículas interagem raramente com a matéria e que não se vê essas partículas, apenas as reações delas com a matéria. Esses casos servem para exemplificar as negociações entre os membros da equipe, de acordo com suas competências, para que se alcance a melhor representação possível.

Em novembro de 2016 obteve-se a segunda versão das simulações, agora com as aprimorações de *design* e de aspectos conceituais e pedagógicos que haviam sido notados na primeira versão. A Figura 21 representa essa fase do processo.

Figura 21 – Imagem de uma tela do primeiro experimento simulado, na sua segunda versão

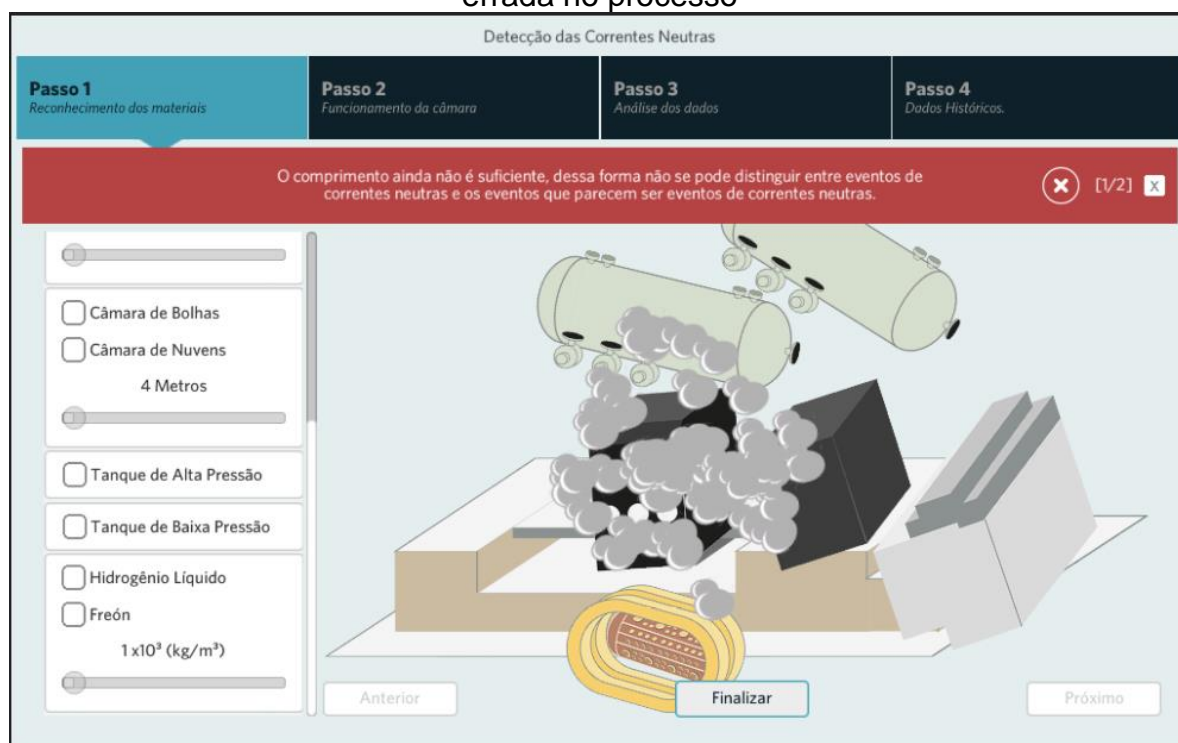


Fonte: a própria autora

Comparando as Figuras 19 e 21 dá para perceber o nítido aprimoramento das simulações nesse processo. Essa segunda versão passou a apresentar uma animação de explosão quando o usuário errava alguma ação na simulação. Isso foi pensado para que o usuário percebesse o erro e em seguida pudesse entendê-lo e corrigi-lo, pois as mensagens indicavam o erro e explicavam o motivo, assim os usuários poderiam ter chances de aprender com os erros. Na Figura 22 esse processo é representado.

Todo o processo de aprimoramento dos desenhos das simulações foi possível devido às fotografias e vídeos que a pesquisadora conseguia com acesso à internet. A maioria das fotografias e vídeos foi obtida no servidor de documentos do CERN, dado que dois dos experimentos simulados foram executados nesse laboratório. Com relação ao experimento do comportamento da paridade nas interações fracas, utilizou-se como fontes as imagens e fotografias encontradas em artigos e uma fotografia de parte do aparato experimental que fica exposto no NIST (*National Institute of Standards and Technology Digital Collections*).

Figura 22 – Animação de explosão, quando o usuário escolhe uma alternativa errada no processo



Fonte: a própria autora

Até novembro de 2016 as comunicações eram feitas por *e-mail*, presencialmente e por celular (WhatsApp). A partir de novembro a equipe começou a utilizar uma plataforma chamada Trello²⁹, que é conhecida por ser uma ferramenta de gerenciamento de projetos em listas e que pode ser ajustada de acordo com as necessidades do usuário, muito útil no trabalho em equipe, pois nele são expostos quadros nos quais são exibidas listas de tarefas a serem feitas, que estão sendo feitas e que já foram feitas, assim, pode-se acompanhar o desenvolvimento das atividades do grupo.

Em cada quadro podem ser inseridos arquivos de texto, imagens e vídeos, desde que não excedam 10 Mb. Dessa forma os membros da equipe podiam inserir as alterações por meio de textos e imagens e os demais membros iam acompanhando e comentando o que fosse necessário. Essa ferramenta foi útil ao passo que todas as informações ficavam em um único espaço, não havia a necessidade de procurar em *e-mails* as informações desejadas. Além do Trello, foram usados também o Dropbox e o Google Drive para compartilhamento de arquivos entre a equipe e para edição compartilhada de documentos.

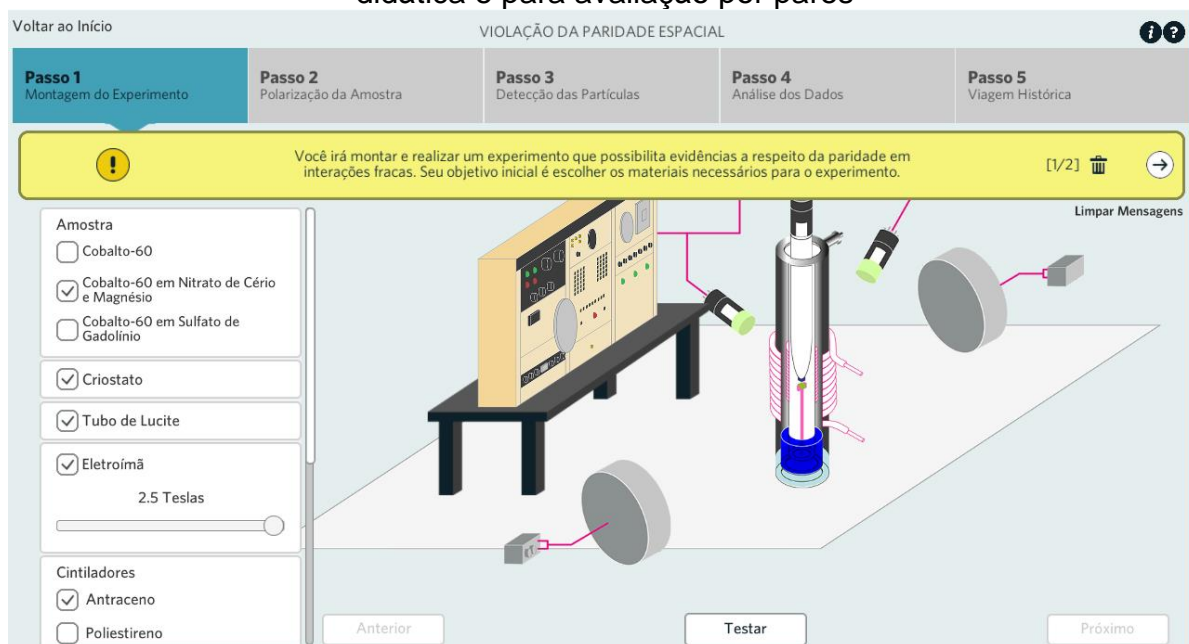
²⁹ <https://trello.com>.

À medida que o programador ia entregando as versões das simulações, a pesquisadora e o *designer* iam realizando os primeiros testes e anotando os eventuais erros encontrados e possíveis alterações a serem efetuadas. Só quando esses detalhes eram corrigidos as versões eram levadas para a apreciação da orientadora e do professor Jacques, que eventualmente sugeriam mais alterações.

Pode-se dizer que perderam-se as contas de quantas versões foram realizadas no decorrer do processo, pois foram muitas as pequenas alterações que foram realizadas, por exemplo, percebia-se um erro no texto das mensagens e uma nova versão era gerada, precisava ser incluída ou retirada uma ação e gerava-se uma nova versão. Dessa forma, para efeitos gerais, contabiliza-se três versões: a primeira, sem participação do *designer*, a segunda com a participação do *designer* e a última após as tentativas de correções e alterações sugeridas.

Na Figura 23 é apresentada uma tela da versão que foi para aplicação da abordagem didática e para a avaliação por pares, que exemplifica algumas das mudanças que foram implementadas no decorrer do processo.

Figura 23 – Imagem de uma tela da simulação em sua versão para abordagem didática e para avaliação por pares



Fonte: a própria autora

Para exemplificar as mudanças, a seguir são descritos alguns dos detalhes que foram aprimorados no decorrer do processo.

a) Visual da interface: são visíveis as alterações da primeira versão para a versão de teste, os desenhos próximos às fotografias dos experimentos originais trouxeram uma aproximação histórica e física para as simulações.

b) As cores: as cores foram trocadas para proporcionar uma interface mais agradável e eficiente, uma vez que as fontes claras em fundos escuros geravam dificuldades de leitura em alguns casos.

c) Correção de erros: corrigiram-se erros de representação de equipamentos utilizados nos experimentos, como foi o caso do analisador de altura de pulso, já citado anteriormente.

d) Navegação entre as mensagens: deu-se a possibilidade de o usuário navegar entre as mensagens para que pudesse retornar a elas quando fosse necessário e então apagá-las quando tivesse certeza de sua ação.

e) Apagar mensagens: deu-se a opção de o usuário apagar as mensagens que já leu e, caso não apague, ao seguir para a próxima etapa as mensagens da etapa anterior são apagadas automaticamente. Assim ele não se confunde com orientações de diferentes etapas.

f) Aprimoração das mensagens de erro: no início dava-se a mensagem de erro, mas não havia a explicação do motivo do erro. Nas versões seguintes isso foi corrigido e o usuário ao errar tem a oportunidade de aprender.

g) Explosão lúdica: foi inserido um efeito de explosão quando o usuário não “acerta” a montagem dos experimentos. O objetivo era apresentar um elemento lúdico e com isso chamar atenção para o erro e permitir que o usuário possa corrigi-lo.

h) Manual de ajuda e informações: foi inserido no canto superior direito dois ícones, um de ajuda, o qual pode ser acessado a qualquer momento da simulação e contém informações a respeito dos elementos gráficos das simulações para auxiliá-los na navegação das mesmas. O outro ícone é o de informações, onde estão contidas informações a respeito da equipe multidisciplinar que desenvolveu as simulações.

i) Viagem Histórica: foi incluída uma etapa nas simulações que apresenta imagens dos experimentos originais, fotos de membros da equipe e uma

captura dos artigos originais na qual aparece a autoria da publicação dos resultados experimentais, com o objetivo de ilustrar a colaboração coletiva para a realização dos experimentos simulados.

j) Navegação na simulação: foi permitido que o usuário pudesse navegar pelas etapas das simulações. Assim que ele cumprisse as etapas poderia voltar e refazer a etapa que desejasse quantas vezes fosse necessário.

k) Aprimoração de textos: foram corrigidos eventuais erros e procurou-se deixar os elementos textuais mais claros e significativos, para a realização das simulações.

l) *Tooltips* e *pop-ups*: foram inseridos *tooltips* para dar explicações a respeito de elementos das simulações e *pop-ups* para confirmar ações dos usuários.

m) Tela final: ao terminar a simulação uma última tela é exibida para consolidar o experimento e levar o usuário a refletir a respeito das próximas atividades.

n) Inserção de novos elementos: foram inseridos elementos novos no experimento no decorrer do processo, com o intuito de deixar a simulação mais próxima do experimento real, ou para dar mais interatividade ao processo e opções de escolha para que os usuários pudessem testar hipóteses.

o) Inclusão e retirada de vídeos: para deixar as simulações mais informativas se planejou para a segunda versão a inserção de vídeos relevantes para a explicação das simulações. Assim, em todas as simulações tinham vídeos explicando alguma parte do processo, inclusive para o experimento das correntes neutras havia um vídeo que mostrava o processo de construção, execução e análise dos dados do experimento original. No entanto, devido a incompatibilidades com o *Unity* não foi possível a inserção desses vídeos, pois gerava algum conflito na programação e a execução dos vídeos ou das simulações travava em alguma das etapas.

p) Idiomas: para a última versão os elementos textuais de todas as simulações foram traduzidos para inglês e espanhol, assim o usuário pode escolher entre português, inglês e espanhol como idioma para ser exibido nas simulações.

Essas são algumas das alterações que ocorreram durante o processo e que são mais evidentes. Tudo isso só foi possível dado o engajamento

dos membros do projeto, da pesquisadora na parte de busca de materiais e constante revisão das versões e da equipe CD pela disposição em realizar todas as correções e alterações, que foram incontáveis.

Em março de 2017 já havia uma versão preliminar da versão que foi para teste e para aplicação na abordagem didática. Sendo que foi necessário um tempo maior para a simulação do primeiro experimento, uma vez que a estrutura dessa simulação serviria de padrão para as demais. Ou seja, o painel de controle, os *tooltips* e *pop-ups*, mensagens, abas e animação gráfica seguiram um padrão de estrutura em todas as simulações. Isso facilita o trabalho da equipe CD e ao mesmo tempo é um dos fatores de usabilidade de *softwares*, no qual as simulações seguem um padrão para que o usuário se familiarize com a estrutura.

Após passar pelas revisões da equipe, em junho de 2017 as simulações foram apresentadas novamente para a orientadora e para o professor Jacques, que sugeriram mais correções e alterações, como a alteração de cores e textos, tradução para inglês e espanhol, uso dos vídeos, entre outros detalhes. Assim, até o final de 2017 a equipe se concentrou em realizar essas atividades pendentes. Foram várias as aprimorações e correções nesse processo e inúmeras tentativas de fazer com que os vídeos funcionassem e que as simulações pudessem ser executadas *online*. Ao final de 2017 também foi pesquisada a alternativa de trabalhar com as simulações no formato executável, assim o usuário poderia baixar as simulações e executar em seu computador ao invés de executar tudo *online*, pois pensava-se que o problema com os vídeos pudesse estar relacionado com a execução *online*.

Para facilitar o trabalho de implementação dos textos nas simulações, inclusive as traduções, o Yago sugeriu o uso do Notepad++, que é um editor de texto e de código fonte que suporta várias linguagens de programação rodando sob o sistema Microsoft Windows. Assim, a pesquisadora pôde fazer as alterações nos textos e o programador pegava direto dos arquivos do Notepad++.

Infelizmente, o problema com os vídeos não foi possível de resolver, nem com execução *online*, nem fazendo *download* dos executáveis. Isso levou à decisão da retirada dos vídeos para que as simulações funcionassem.

Dessa forma, em maio de 2018 a versão que foi para avaliação de pares e para aplicação na abordagem didática foi entregue e a equipe esperou o

resultado das avaliações para retomar as atividades. Devido à questão de tempo, a avaliação por pares, que encerra a fase de desenvolvimento do projeto e o Teste Piloto foram realizados ao mesmo tempo.

Teste-Piloto: Paralela a essa fase de avaliação das simulações o processo passou para a fase que Galvis (1992) denominou de teste-piloto, no qual as simulações foram exploradas por uma amostra do público para o qual foram planejadas, com o objetivo de observar se elas estavam cumprindo a missão para a qual foram projetadas. Essa fase foi realizada por meio da implementação de uma Abordagem Didática elaborada com base na temática da unificação eletrofraca, História e Filosofia da Ciência, Aprendizagem Significativa e Simulações Computacionais. Para a obtenção de dados referentes à eficiência e eficácia das simulações foram utilizados questionários prévios e posteriores, questionários de opinião, Diagramas de Gowin e as anotações da pesquisadora.

Para que a Abordagem Didática se aproximasse, na medida do possível, ao contexto real de sala de aula, foram marcados encontros semanais, uma vez que os alunos possuem aproximadamente 04 aulas de Física Moderna semanais. No entanto, devido à indisponibilidade de horários, foi marcado um encontro semanal de 4h, incluindo um intervalo de 15 minutos.

Com os resultados das avaliações das simulações feita por pares, e do Teste-Piloto, a equipe se reuniu e discutiu as eventuais mudanças que seriam realizadas de acordo com o que os avaliadores sugeririam.

Teste de campo: Após a realização das aprimorações sugeridas nos processos de avaliação das simulações, o próximo passo é o Teste de Campo. No caso dessa investigação, essa etapa foi realizada em partes, pois as simulações foram disponibilizadas para o público-alvo por meio de uma página *web*, que propicia as condições para o uso adequado das mesmas. Porém, não foram realizados acompanhamentos dos resultados dessa etapa.

Será desenvolvida uma página *web*³⁰, que apresenta cada uma das simulações no contexto do conteúdo da Oficina de Pesquisa, fornecendo os conhecimentos prévios necessários para a exploração de cada uma das simulações, orientações para o estudo de cada uma delas, dicas de utilização de Diagramas de Gowin para potencializar o processo de aprendizagem, orientações gerais a respeito

³⁰ Essa página será disponibilizada após a publicação do conteúdo da página em periódicos da área.

de possíveis exigências para o bom funcionamento das simulações e uma forma de contato com a equipe desenvolvedora. Desse modo, espera-se que sejam dadas as condições necessárias ao uso adequado dessas simulações e cumpram-se, de forma adaptada, todas as etapas de elaboração do *software* educacional em questão, as simulações de experimentos históricos da unificação eletrofraca.

A seguir é especificado como se deu o processo de avaliação das simulações por pares.

5.2 AVALIAÇÃO DAS SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

As avaliações das simulações, além da aplicação em sala de aula, foram realizadas por pares oriundos das áreas de Física, Ensino, História da Ciência e *Design*.

Os avaliadores da área de Física, Ensino e História da Ciência foram escolhidos de acordo com sua formação acadêmica e atuação em sala de aula. Dessa forma, foram escolhidos alunos de Pós-graduação em Ensino de Ciências, que tivessem trabalhado com abordagens envolvendo Física Moderna e História da Ciência em suas pesquisas anteriores e que fossem licenciados em Física. Também foram escolhidos pesquisadores da área de Física de Partículas e professores universitários que lecionam ou lecionaram a disciplina de Física Moderna, ou similar, nos cursos de Física. Outro item a ser citado a respeito dos avaliadores é que ambos estão habituados a trabalharem com computadores em sua prática docente ou de pesquisa.

Assim, foram selecionados, ao todo, seis alunos de Pós-graduação, cinco pesquisadores, sendo três deles da área de Física de Partículas e dois da área de Ensino e História e Filosofia da Ciência, e quatro professores de Física Moderna, totalizando quinze avaliadores.

Os avaliadores da área de *Design* foram alunos do terceiro ano do curso de *Designer* Gráfico da Universidade Estadual de Londrina. A avaliação foi realizada em sala de aula, como uma das atividades da disciplina de *Design* Digital. Ao todo, dezesseis alunos avaliaram as simulações e responderam ao questionário.

Para as avaliações foram preparados dois questionários, um para os avaliadores da área de Física, Ensino e História da Ciência e outro para os

avaliadores da área de *Design*, e um arquivo com as explicações básicas das simulações. Os alunos receberam o convite, o material para avaliação e o *link* do questionário por *e-mail*. Optou-se por não entregar o material impresso e pessoalmente para facilitar o processo, dado que os avaliadores são de cidades e estados diferentes.

Dois avaliadores da área de Física, Ensino e História da Ciência não responderam o questionário *online*, um deles enviou a avaliação por e-mail e outro preferiu conversar pessoalmente, cuja conversa foi gravada.

Como no Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, a pesquisadora orientou que os avaliadores poderiam tirar dúvidas a respeito das simulações por *e-mail* ou telefone. Alguns avaliadores assim o fizeram e um deles optou por fazer suas considerações em relação às avaliações por *e-mail* ao invés de responder ao questionário. Dessa forma, os *e-mails* trocados entre a pesquisadora e esse avaliador também serão considerados na análise.

Paralelo à avaliação das simulações, dado que os avaliadores nem sempre poderiam responder em um prazo que possibilitasse a aplicação das simulações na abordagem didática após a avaliação por pares, aconteceu a aplicação da abordagem didática em sala de aula. Na seção a seguir são dados os detalhes de como ocorreu essa etapa da investigação.

5.3 APLICAÇÃO DA ABORDAGEM DIDÁTICA

O público-alvo da abordagem didática foram alunos do curso de Física Licenciatura, que estivessem cursando ou já cursado a disciplina de Física Moderna, ou similar.

Assim, um primeiro convite foi feito para alunos da disciplina de Evolução dos Conceitos e Teorias da Física, dado que são alunos que já cursaram a disciplina de Física Moderna, por ser um dos requisitos dessa disciplina. Em seguida o convite foi estendido aos alunos do quarto e quinto ano por meio de divulgação da Oficina de Pesquisa, *Teoria Eletrofraca: Processos da Unificação das Interações Eletromagnética e Fraca*, em sala de aula. Também foram colados panfletos nos murais do departamento e enviado um *e-mail* por meio da secretaria de graduação a todos os alunos matriculados no terceiro, quarto e quinto ano.

As inscrições na oficina foram realizadas por meio de *e-mail* e dessa forma a pesquisadora conseguia entrar em contato com os possíveis alunos, mesmo antes do início da oficina, para recados e informes a respeito de horários e da sala em que iriam ocorrer as atividades. A oficina de pesquisa foi composta por 16 horas, sendo 12 horas presenciais. Os dias da oficina, marcados inicialmente, foram 16, 23 e 30 de maio de 2018.

Como os alunos precisariam de computadores para a realização das atividades, houve a necessidade de reservar uma sala de informática no departamento de Física. No entanto, os testes iniciais fizeram com que se buscasse outra sala, pois as simulações não rodavam nos computadores de mesa devido aos mesmos possuírem apenas 2 Gb de memória RAM. Isso fez com que as simulações não carregassem completamente.

Assim, por sugestão do professor Jacques, foi reservada outra sala de informática, no departamento de Ciência da Computação, com *notebooks* ao invés de computadores de mesa.

5.3.1 Perfil dos participantes e contexto da oficina de pesquisa

Perfil dos Participantes: participaram da oficina assiduamente e são sujeitos dessa investigação nove alunos: um do quinto ano (A3), quatro do quarto ano (A6, A8, A7 e A9), dois do terceiro ano (A4 e A1), um do segundo ano (A2) e um já formado no curso (A5). Eles foram nomeados como A1, A2, A3, ... A9, para preservar a identidade e garantir o anonimato dos sujeitos dessa investigação. Desses, A6, A8 e A9 eram mulheres e os demais eram homens.

Outros três participantes cursaram parcialmente a oficina. Um casal colombiano, ele fazia Doutorado em Física na UEL na área de Física de Partículas e ela estava cursando Física na Colômbia e estava de passagem por Londrina. Ambos participaram somente no primeiro dia da oficina. A outra participante fazia Mestrado em Física na UEL, também na área de Física de Partículas. Ela participou dos dois primeiros encontros da oficina e justificou sua falta no último dia em virtude de ter que estudar para uma avaliação de uma disciplina do mestrado no dia seguinte ao dia da oficina.

No início da oficina perguntou-se aos alunos quais foram suas experiências prévias em relação a dois aspectos, cujas questões foram: 1) Em sua etapa inicial de formação, há incentivo ao uso das Tecnologias de Informação e Comunicação para facilitar seu aprendizado ou para fazer uso em sua futura atuação profissional? Comente sua resposta citando exemplos. 2) Até o momento de sua formação inicial, você teve a presença de aportes históricos e/ou filosóficos da Ciência em disciplinas ou cursos complementares? Especifique que disciplinas ou cursos. No Quadro 09 são apresentadas as respostas dos alunos que ilustram o perfil desses participantes em relação aos recursos relacionados a História e Filosofia da Ciência (HFC) e Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC).

Quadro 09 – Perfil dos participantes em relação à sua formação inicial

Aluno	TICs	HFC
A1	<i>“Não, foram bem raras as vezes onde os professores utilizaram ou incentivaram o uso de tecnologias nas aulas.”</i>	<i>“Não, até o momento, minha formação tem sido bastante técnica e houve bem pouco contato com filosofia e história da ciência.”</i>
A2	<i>“Sim, as aulas de instrumentação com experimentos de física de baixo custo.”</i>	<i>“Até o momento não.”</i>
A3	<i>“Em partes sim. Nos anos iniciais do curso somos introduzidos a alguns softwares e sites para lidar com o tratamento de dados e simulações (através dos laboratórios de física), mas sinto falta da integração desse tipo de tecnologia para aplicar diretamente em nossa futura prática docente (como professor).”</i>	<i>“Na maioria dos cursos, tive apenas contato com isso superficialmente. Até o momento os que mais se aprofundaram foram em história da ciência foram: Física Básica e Evolução dos Conceitos da Física.”</i>
A4	<i>“Houve casos em que isso ocorreu, por exemplo, em Física Geral 3, onde o professor levava simulações e vídeos de alguns conteúdos. Ocorre também no laboratório de Física Moderna, onde os experimentos são feitos por meio de simulação em computador.”</i>	<i>“Na disciplina de Física Básica o professor fugiu um pouco da ementa e contou histórias de experimentos e pessoas relacionadas com a ciência. Também ocorreu em Física geral 2 e 3, bem como na Estrutura da Matéria.”</i>
A5	<i>“Para facilitar o aprendizado não, tivemos acesso a tecnologias de informação e comunicação para facilitar o trabalho do professor ou porque espera-se que saibamos operar tais tecnologias. Como exemplo posso citar as lousas digitais”</i>	<i>“Tive acesso a filosofia na disciplina de filosofia da matemática que fiz como optativa livre. Nunca tive acesso a HC que não fosse contada de maneira linear e cheia de datas. Faço uma ressalva, fui formado em uma perspectiva muito proativa, não esperávamos a universidade nos proporcionar o que queríamos, montávamos nossos grupos de estudo e estudávamos o que era de interesse, combinava-se finais de semana pra estudarmos ou até ensinar algo que tivéssemos estudado. Nesse contexto havia o grupo que se reunia para discutir filosofia e as vezes história da ciência, tínhamos lista de leituras e palestras com filósofos convidados.”</i>
A6	<i>“Não, o acesso a esse tipo de informação fica a critério do aluno.”</i>	<i>“Sim, em evolução dos Conceitos.”</i>
A7	<i>“Não. Pois os professores, em maioria,</i>	<i>“Só fui ter uma disciplina sobre história da</i>

	<i>usam métodos arcaicos tanto em avaliação quanto na didática, como por exemplo o uso somente de quadro e giz todo o curso.</i>	<i>física no quarto ano em Evolução dos Conceitos.</i>
A8	<i>“Inicialmente os recursos apresentados referem-se ao uso de experimentos para o nível de ensino básico, mais tarde, na disciplina que estudam o desenvolvimento da aprendizagem há maior incentivo.”</i>	<i>“Não há suporte desse modelo, o único aspecto que relato é a inserção do contexto histórico por meio de alguns professores.”</i>
A9	<i>“Na disciplina de laboratório de Física Moderna trabalhamos com simulações, mas apenas isso. As aulas do curso de Física são bem fechadas.”</i>	<i>“Na medida do possível, alguns professores fazem um pequeno contexto histórico sobre os conteúdos. Na disciplina de laboratório de Física Moderna era parte de nossos relatórios descrever motivações e avanços de teorias. Agora, na disciplina de evolução dos conceitos, estamos tratando dos assuntos filosoficamente pela primeira vez.”</i>

Fonte: a própria autora

Como pode-se perceber, em relação às TICs a maioria dos alunos relata já ter tido algum contato em disciplinas cursadas, mas em casos eventuais. Três alunos citaram casos envolvendo disciplinas de laboratório. A6 e A7 afirmaram que não há incentivo, ficando essa formação a critério dos alunos.

Já em relação à HFC, a maioria deles também já teve acesso em alguma disciplina. Os alunos do quarto ano estavam cursando a disciplina de Evolução dos Conceitos da Física, o aluno formado teve contato por meio de uma disciplina optativa e por interesse próprio. A2 afirmou não ter tido contato com aportes históricos e filosóficos até o momento de sua formação, pois ainda estava no segundo ano de graduação e A1, que estava no terceiro ano, afirmou que houve pouco contato com esses aportes até o momento.

Vale ressaltar a resposta do aluno A4 em relação a esse aspecto, em que ele diz que o professor “fugiu um pouco da ementa” para abordar HFC. Isso pode revelar uma ideia de que a ementa deve ser composta apenas pelos conteúdos científicos e que o contexto da construção desse conhecimento é um “conteúdo extra”.

Contexto da Oficina de Pesquisa: A oficina foi realizada na Universidade Estadual de Londrina em três encontros presenciais, que ocorreram em três semanas distintas, no período da tarde, das 14 às 18 horas e contou com a participação assídua de nove alunos.

Todas as atividades da oficina foram filmadas, com o consentimento dos alunos, para eventuais usos na análise de dados, quando necessário.

A seguir é feito um relato de cada um dos encontros.

a) Primeiro dia da Oficina de Pesquisa: No dia 16 de maio de 2018, às 14 h, foi dado início à oficina de pesquisa. No primeiro dia estiveram presentes nove alunos de graduação e três alunos de pós-graduação, sendo um deles do programa de Ensino de Ciências e Educação Matemática e os outros dois do programa de Mestrado e Doutorado em Física. Os alunos da pós-graduação em Física demonstraram interesse na oficina por estarem desenvolvendo trabalhos de pesquisa em Física de Partículas.

Nesse primeiro dia de oficina, o momento inicial foi de acolhida e agradecimento pela presença de todos, seguido de uma breve explicação da oficina e em seguida os alunos responderam ao questionário prévio a respeito de noções de Natureza da Ciência e de conteúdos científicos relacionados com o assunto tratado na oficina.

Após responderem ao questionário, foi entregue um texto impresso, que serviu como organizador prévio, para introdução dos assuntos que seriam abordados com mais detalhes no decorrer das atividades. Quando terminaram a leitura a pesquisadora retomou pontos relevantes do texto para ativar os subsunçores dos alunos, a partir da discussão de conceitos que, provavelmente, já teriam sido vistos nas disciplinas de Física Geral.

O próximo passo do encontro foi a apresentação do V de Gowin para os alunos, uma vez que eles seriam utilizados em mais atividades durante a oficina. Essa apresentação foi feita, inicialmente, por meio das definições dos elementos epistemológicos do V de Gowin e em seguida foi apresentado um exemplo do V de Gowin de um assunto familiar aos estudantes de Física, nesse caso, o assunto foi Lei de Ohm.

Para explicar a elaboração do V de Gowin para os alunos, escolheu-se duas questões-foco: Qual a medida da resistência elétrica do resistor X? Trata-se de um resistor ôhmico? Assim, por meio de questionamentos feitos pela pesquisadora os alunos foram respondendo o que achavam que poderia ser colocado em cada um dos elementos do V. Nessa atividade, aproveitou-se para deixar claro que não existe “um” V correto, e que esse instrumento ajuda a mapear como cada um deles está organizando os conhecimentos em sua estrutura cognitiva, portanto, os Vês que futuramente irão elaborar podem diferir um do outro,

especialmente se a questão-foco for diferente, mesmo que se trate de um mesmo assunto. Nessa atividade os alunos foram participando timidamente e concordando com as sugestões dos colegas.

Para aumentar a familiarização deles com o novo instrumento de estudo, eles elaboraram um V de Gowin para o texto que haviam acabado de ler. Nessa atividade, três alunos tiveram dúvidas (A1, A4 e A5) e os demais foram realizando as atividades por conta própria ou em alguns casos conversando com os colegas.

Depois de um intervalo a pesquisadora retomou as explicações e introduziu o problema que levou ao primeiro experimento que contribuiu no processo da unificação eletrofraca. Assim, procurou-se por meio de uma abordagem conceitual e histórica, expor o problema que precisava ser resolvido, apresentar teorias que poderiam ser úteis para a resolução e os desenvolvimentos que levaram ao experimento que ajudou a resolver o problema. Essas explicações eram mediadas por *slides* e, sempre que possível a pesquisadora chamava a atenção para noções de natureza da Ciência que poderiam ser refletidas nos contextos estudados.

Ao término dessa explicação os alunos receberam um texto impresso que continha algumas informações a respeito do experimento que iriam realizar por meio da simulação computacional. Nesse texto havia uma introdução teórica que continha teorias, princípios e conceitos que poderiam auxiliá-los na exploração da simulação computacional e na elaboração do V de Gowin relacionado ao experimento simulado. As informações a respeito do experimento eram gerais e, quando interpretadas junto com os elementos textuais das simulações indicavam os caminhos para a realização do experimento.

Por exemplo, um dos desafios enfrentados para a realização do experimento consistia no fato de que o processo precisava ser feito em um equipamento que permitisse um isolamento térmico suficiente para realizar as medidas. Para resolver esse problema foi utilizado um dispositivo que controlava e mantinha baixas temperaturas, assim colocando a amostra e o detector de partículas beta dentro desse recipiente, se conseguia garantir um isolamento térmico para efetuar as medidas. Essas informações estavam no texto impresso e na descrição do Criostato na simulação. Dessa forma, eles poderiam cruzar as informações e

perceber que o criostato era um dos itens que precisariam para realizar a montagem do experimento.

No entanto, percebeu-se que a maioria dos alunos preferiu mexer primeiro na simulação computacional, ir explorando por tentativa e erro, e somente quando tinham dificuldades voltavam para o texto. Mas a primeira alternativa, quando encontravam alguma dificuldade, era perguntar aos colegas e não consultar o texto. Contudo, quando estavam elaborando o V de Gowin os alunos voltaram ao texto e também refizeram algumas etapas das simulações.

Um relato interessante dessa atividade foi que, dentre os alunos, dois eram colombianos e utilizaram as simulações em espanhol para realizar as atividades. Assim, disponibilizar as simulações em diferentes idiomas foi útil desde o início, mesmo que originalmente esse detalhe tenha sido pensado somente para a divulgação *online*.

Foi nítido o interesse dos alunos na atividade com a simulação computacional, pois desde o início da oficina eles já haviam acessado o *link* da simulação e ao desenvolver as atividades ficavam empolgados com os acertos e motivados a terminarem a simulação do experimento.

Ao terminarem essas atividades a pesquisadora retomou o resultado do experimento simulado para encerrar as discussões do encontro, apresentar imprevistos que ocorreram no experimento original e discutir as implicações desse resultado para o conhecimento científico daquela época.

Ao final do encontro a pesquisadora agradeceu a presença e reforçou o convite para o próximo encontro.

b) Segundo dia da Oficina de Pesquisa: No dia 23 de maio de 2018 ocorreu o segundo dia da oficina, com a presença de dez alunos, oito da graduação e dois da pós-graduação. Nessa semana estava ocorrendo a greve dos caminhoneiros, no entanto, no dia 23 ainda estavam circulando os carros e transportes públicos normalmente, pois ainda havia combustível.

O encontro teve início com as boas-vindas dadas pela pesquisadora e início das atividades previstas para o segundo dia. No entanto, houve um imprevisto. Ocorreu uma queda de energia elétrica e a universidade sofreu um apagão que durou aproximadamente 1h e alguns minutos. No momento da queda de energia elétrica, esperava-se que fosse algo que se resolveria rapidamente, então a

pesquisadora conversou com os alunos e optou-se por continuar a explicação até que a energia elétrica voltasse.

Procurou-se abrir bem a porta e janelas para que a sala ficasse o mais iluminada possível e a pesquisadora continuou a explicação do conteúdo. Quando chegou na hora da atividade com a simulação computacional do segundo experimento, novamente, conversou-se com os alunos a respeito de qual seria a melhor alternativa. Ou continuavam naquelas condições ou cancelava-se o encontro e seria remarcada uma nova data. Em consenso eles preferiram dar continuidade às atividades, pois como a sala estava equipada com *notebooks* e eles estavam com a bateria carregada, poderiam ler o texto e executar as simulações até que as baterias agentassem. Isso mostrou que estavam interessados em continuar.

Em meio a esse imprevisto, outra alternativa fez com que fosse possível a continuidade das simulações, pois no primeiro encontro a simulação foi executada *online* e para o segundo encontro a pesquisadora levou os executáveis. Dessa forma, mesmo com a queda de energia elétrica, graças aos *notebooks* carregados, os executáveis das simulações e à boa vontade dos alunos foi possível continuar as atividades até que a energia elétrica fosse restabelecida.

Os alunos exploraram as simulações e, com a ajuda do texto impresso, a respeito do experimento, conseguiram elaborar o V de Gowin relacionado a essa atividade. Quando estavam elaborando o V a energia elétrica foi restabelecida e depois de terminarem essa atividade foi feito um intervalo.

Ao voltarem do intervalo, foi assistido um vídeo a respeito do experimento que haviam simulado e em seguida dada continuidade ao conteúdo para apresentar aos alunos o segundo desafio do dia que deveria ser solucionado com a simulação do experimento que detectou indiretamente os bósons da interação fraca.

Pôde-se perceber que esse dia de oficina foi bem cansativo para os alunos, pois além do imprevisto, mesmo com as duas simulações e as elaborações do V de Gowin, ainda houve muito conteúdo para ser exposto pela pesquisadora para que essas atividades fossem realizadas.

Ao final do segundo dia de encontro a pesquisadora agradeceu a participação e a paciência dos alunos perante o imprevisto, avisou que enviaria

material para estudo no *e-mail* e reforçou o convite para o próximo encontro, porém devido à greve dos caminhoneiros a data do próximo encontro era incerta.

Para resolver esse problema a pesquisadora se comprometeu a entrar em contato para confirmar ou reagendar outra data.

c) Terceiro dia da Oficina de Pesquisa: Como a greve dos caminhoneiros deu continuidade na semana do dia 30 de maio, que seria o último encontro, uma nova data precisou ser agendada. Assim, ficou marcado para a próxima semana, o dia 06 de junho. No entanto, a sala que estava sendo utilizada só estava reservada até o dia 30 de maio e foi necessário que outra sala fosse reservada.

Como as simulações já haviam sido utilizadas e as atividades a serem realizadas no computador não dependeriam de tanta memória RAM, foi feito um novo teste na sala de informática do departamento de Física e, para as atividades previstas, a memória RAM disponível foi suficiente para a realização das atividades. Assim, reservou-se essa sala e os alunos foram avisados das alterações.

No terceiro dia da oficina compareceram oito alunos da graduação e um da pós-graduação, totalizando nove alunos que estiveram presentes em todos os dias da oficina. Os alunos que faltaram alegaram ter que estudar para avaliações.

No início do encontro a pesquisadora agradeceu a presença de todos e retomou as discussões dos dois encontros anteriores para fazer uma consolidação do processo de desenvolvimento da Teoria Eletrofraca, deu um *feedback* em relação às noções de Natureza da Ciência e à elaboração do V de Gowin e pediu para que elaborassem um último V de Gowin, para responder à questão que havia ficado para eles refletirem na leitura do texto que havia sido enviado por *e-mail* na semana do penúltimo encontro.

Percebeu-se que esse momento de *feedback* foi útil para que ficasse mais clara a definição dos elementos epistemológicos do V e que poucos alunos haviam lido e pensado previamente em uma estrutura para o V de Gowin dessa atividade. No entanto, foram aplicados em realizar a atividade em sala de aula.

Após essa atividade, a pesquisadora falou a respeito do conceito de unificação de teorias e um pouco a respeito de um *software* gratuito e disponível na internet, o Hypatia, que poderia ser utilizado para o ensino de Física de Partículas. Em seguida foi feito um intervalo de 15 minutos.

Depois do intervalo os alunos tiveram a oportunidade de mexer diretamente com o *software* Hypatia em uma atividade de identificação de partículas por meio de suas trajetórias e, por meio do *software*, calcular a massa da partícula que poderia representar a detecção indireta do bóson Z^0 .

Novamente, pôde-se perceber o engajamento dos alunos perante essa atividade computacional. Por se tratar de um *software* que era novidade para todos, eles se sentiram motivados e quando tinham dúvidas pediam a orientação da pesquisadora.

Em seguida a pesquisadora fez uma revisão geral, tanto dos conteúdos científicos, quanto de noções de Natureza da Ciência. Essa revisão foi feita por meio de questionamentos, nos quais os alunos iam respondendo e contribuindo nas respostas dos colegas. O objetivo era promover uma consolidação final dos conteúdos abordados na oficina para então deixá-los responderem aos questionários finais, que abordavam as questões do questionário prévio e questões de opinião a respeito da oficina.

Depois que os alunos entregaram os questionários respondidos, a pesquisadora encerrou a oficina agradecendo a presença de todos pela participação.

Assim, da aplicação da Abordagem Didática, no formato de uma oficina, foram obtidos dados de diversas naturezas para contribuir com a análise da eficácia das simulações computacionais, bem como da abordagem didática em si. Dentre os materiais para análise estão os questionários, os diagramas V, anotações da pesquisadora, que foram feitas de forma livre durante a oficina, e a filmagem dos encontros da oficina.

No próximo capítulo esses dados são apresentados e interpretados de acordo com o referencial teórico adotado nessa investigação, afinal, de acordo com Bogdan e Biklen (1994), os dados não falam por si.

6 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo é apresentada a transformação dos dados e as inferências e interpretações a eles relacionadas. Nessa etapa serão apresentados os indicadores que irão fundamentar as interpretações, para que os resultados sejam significativos e válidos. Dessa forma, as operações estatísticas simples podem permitir que se estabeleçam quadros de resultados, diagramas, figuras, os quais condensam e colocam em evidência as informações fornecidas pela análise (BARDIN, 1977).

Todos os dados e as unitarizações aqui apresentadas foram decodificadas intersubjetivamente por integrantes do grupo de pesquisa IFHIECEM. Os alunos serão tratados por seus devidos códigos A1, A2, A3, ..., A9 nos quadros de Unitarização, sendo que será apresentado um exemplar dos fragmentos textuais em cada Unidade de Registro (UR) e o número de registros. Os quadros completos, com todos os fragmentos textuais de cada UR são apresentados no Apêndice G.

6.1 ANÁLISE DOS QUESTIONÁRIOS PRÉVIOS E POSTERIORES EM RELAÇÃO À NATUREZA DA CIÊNCIA

Nessa seção serão apresentados os dados referentes aos questionários, prévio e posterior, aplicados durante a Abordagem Didática. Quando necessário, foram fragmentadas algumas respostas em mais de uma Unidade de Registro, de maneira que foi contado o número de fragmentos e não o número de respostas. Os fragmentos são identificados pelo código do aluno.

Quadro 10 – Unitarização dos dados referentes à questão 01

UC1 “Noções a respeito da experimentação”, que tem por finalidade reunir os fragmentos textuais nos quais os alunos expressam suas noções a respeito do que é um experimento.		
UR	PRÉVIO	POSTERIOR
UR 1.1 “Visão empirista-indutivista”	“É quando se tem uma coleta de dados empíricos para comprovação ou refutação de uma teoria.” (A7) A6, A8, A3, A4 e A9.	“É um trabalho científico que se destina a verificar fenômenos físicos e sociais.” (A7)
Registros	06	01
UR 1.2 “Reprodução controlada de um fenômeno para obtenção de dados e respostas”	“É um evento simulado ou factual observado e devidamente relatado, que pode ser repetido, se mantidas as devidas condições” (A1)	“Uma atividade desenvolvida sob condições controladas, cujos resultados são passíveis de análise” (A3)

	A2	A1, A2 e A8.
Registros	02	04
UR 1.3 “Meio de testar hipóteses ou consequências de uma teoria”	“É uma situação elaborada para colocar em teste as hipóteses geradas por uma teoria.” (A5)	“É um arranjo que nos permite testar nossas hipóteses de uma teoria e confirmar ou negar suas previsões teóricas.” (A9) A4, A5 e A6.
Registros	01	04
Total de registros	9	9

Fonte: a própria autora

Como pode-se perceber no Quadro 10, no questionário prévio a maioria dos alunos apresentou uma visão empirista-indutivista em relação aos experimentos, uma vez que apresentam em suas respostas a ideia de provar, comprovar e verificar teorias, além de também ser citado o método científico.

No entanto, no questionário posterior, após a Abordagem Didática, essa visão empirista-indutivista aparece de maneira menos expressiva, pois três alunos que apresentavam essa visão em suas respostas (A9, A4 e A6), passaram a deixar de apresentar a ideia de que os experimentos podem “verificar” teorias e hipóteses. Contudo, um dos registros (A7) ainda carrega a expressão verificar. Todavia, a maioria dos fragmentos apresentou uma noção adequada em relação ao experimento, como instrumento de teste de hipóteses e/ou consequências de teorias, 04 registros, ou um evento investigativo em condições controladas para obtenção de dados e respostas, 04 registros.

Não foi registrado nenhum fragmento textual nas unidades UR 1.4 e 1.5. Assim, essas URs não foram exibidas no quadro acima.

A segunda questão do questionário, relacionada à questão anterior, buscou investigar a opinião dos alunos em relação à relevância dos experimentos para o desenvolvimento científico. No Quadro 11 são apresentados registros prévios e posteriores referentes a essa questão.

Quadro 11 – Unitarização dos dados referentes à questão 02

UC2 “ Relevância da experimentação no desenvolvimento científico ”, que tem por finalidade reunir os fragmentos textuais nos quais os alunos expressam suas noções a respeito da relevância dos experimentos na construção do conhecimento científico.		
UR	PRÉVIO	POSTERIOR
UR 2.1 “Relevantes como instrumentos para validação de teorias e hipóteses”	“Sim, com certeza, para confirmar ou desenvolver teorias a Ciência precisa de experimentos.” (A1) A7 e A4	“Sim, pois algumas teorias não podem ser validadas apenas com formalismo matemático.” (A2)

		A4.
Registros	03	02
UR 2.2 “Relevantes, mas não são os únicos responsáveis pelo desenvolvimento científico”.	“Sim, pois a parte teórica sozinha não fundamenta bem o conhecimento científico.” (A2) A9, A5.	“Sim, contudo é possível haver Ciência teórica e até formal. No que se refere a ciências naturais, em algum momento se torna inevitável realizar testes empíricos.” (A5) A9 e A6.
Registros	03	03
UR 2.3 “Relevante, como um meio de testar hipóteses ou consequências de uma teoria”.	“Sim, o desenvolvimento do conhecimento científico se dá por meio de teorias científicas, que por sua vez se fundamentam em hipóteses. Essas hipóteses devem ser testadas através de experimentos para se caracterizar a qualidade de hipótese.” (A3)	“Sim, logo que a experimentação abre a porta pra novas questões, tanto comprovacionais quanto refutacionais.” (A8) A3.
Registros	01	02
UR 2.4 “Relevante como instrumento para o desenvolvimento do conhecimento científico”	“Sim, logo que este tem um caráter investigativo em um estudo, portanto resulta em um desenvolvimento do mesmo” (A8) A6.	“Sim, com certeza, para obter dados precisos dos eventos estudados.” (A1)
Registros	02	01
UR 2.5 “Não contempla a pergunta”		“Sim, pois para se caracterizar como um conhecimento científico é necessário um dado epistemológico.” (A7)
Registros	0	01
Total de registros	9	9

Fonte: a própria autora

Ao analisar o quadro acima, percebe-se novamente a presença das ideias de verificação, validação, comprovação, tanto no questionário prévio, com três registros, quanto no questionário posterior, com dois registros.

Na UR 2.3, no questionário prévio apenas um registro foi observado e no questionário posterior dois registros foram apresentados. No entanto, como pode-se perceber na resposta dada por A8, ainda aparece um termo ligado à comprovação.

Na UR 2.4, estão inseridos três fragmentos textuais, dois do questionário prévio e um do posterior, que relacionam os experimentos como relevantes para o desenvolvimento científico por se tratar de um processo de estudo, no qual dados são coletados e podem resultar em avanços científicos.

No questionário posterior um dos alunos apresentou uma resposta não condizente com a questão, o aluno A7.

Pela análise dos quadros 10 e 11, percebe-se que há um problema em relação às terminologias que os alunos usam, quando se refere ao papel dos experimentos na Ciência. Eles usam os termos testar, comprovar, provar, verificar e validar como sinônimos, o que significa que, não necessariamente, assumem uma postura empírico-indutivista, podem estar usando os termos sem saber de seus reais significados. Assim, percebe-se que não há um esclarecimento a respeito desses termos.

Os termos testar, comprovar e provar não são sinônimos. Os termos provar e comprovar vêm de uma raiz indutivo-verificacionista e o termo testar vem de uma raiz dedutivo-refutacionista (KÖHNLEIN; PEDUZZI, 2002).

O problema com os termos provar e comprovar está relacionado ao fato de que um experimento não pode provar ou comprovar uma teoria, lei ou hipótese, pois para que isso aconteça essas instâncias deveriam responder por todo o fenômeno que se propõem a descrever, o que é difícil, porque, futuramente, esse fenômeno pode vir a se comportar de maneira inesperada perante as previsões. Dessa forma, essas instâncias não podem assumir o *status* de “comprovadas”, já que, de acordo com Popper, elas nunca são empiricamente verificáveis, no entanto, podem ser refutadas (KÖHNLEIN; PEDUZZI, 2002; LEDERMAN *et al.*, 2002; CAREY, 1989).

Entretanto, de acordo com Lederman *et al.* (2002), essa imprecisão conceitual dos termos já apareceu em casos anteriores e em entrevistas com os alunos ficava claro que a ideia deles não era relacionada ao absolutismo, apenas não tinham clareza dos significados desses termos.

No caso dessa investigação, os próprios alunos assumiram, durante suas falas em sala de aula, que não faziam distinção entre esses termos, com exceção de um deles, A5, que já havia lido a respeito desses termos e não os usava como sinônimos.

Além disso, Pérez *et al.* (2001), Fernández *et al.* (2002), Kohnlein e Peduzzi, (2002) e Moreira e Ostermann (1993) chamam atenção para um dos estereótipos, geralmente disseminado, trata-se da imagem da investigação e da produção do conhecimento pautado em um método científico. Segundo Raicik e Peduzzi (2015), nessa perspectiva positivista a experimentação passa a ser entendida como um meio para refutar ou corroborar uma teoria. O que pode levar a

futuras dificuldades para entender a relação entre experimentos e hipóteses e também acreditar que existe um método infalível para construção de conhecimento que segue etapas rígidas.

Um experimento pode gerar e nortear novos conhecimentos, ser conduzido com o objetivo de compreender a natureza na busca de regularidades e em uma fase em que os conhecimentos teóricos não estão estruturados. A relação entre experimentação e hipóteses pode ser considerada exploratória, de maneira que não pode ser encarada com utilidade única de servir a uma teoria (STEINLE, 2002).

Apesar do esforço de pesquisas da área de ensino em argumentar contra a ideia empirista-indutivista, a presença dessas noções está em livros didáticos e outros meios que perpetuam essa ideia já superada e continuam ensinando uma forma rígida e infalível de produzir Ciência, na qual é dada ênfase nos resultados científicos e não no processo, além de promover a ideia de que a finalidade de uma atividade experimental é de “demonstrar”, “comprovar”, “verificar” conhecimentos teóricos ou conceituais, ao invés de “investigar”, o que pode levar a uma visão dogmática da Ciência, na qual os experimentos assumem um papel de “verificar” se um conhecimento é verdadeiro ou não (KÖHNLEIN; PEDUZZI, 2002; RAICIK; PEDDUZI, 2015; DIAS; SILVA, 2009; SILVEIRA; OSTERMANN, 2002; GONÇALVES; MARQUES, 2006).

Para trabalhar com essa noção equivocada, de acordo com Silveira e Ostermann (2002), é necessário elaborar estratégias didáticas que promovam discussões e permitam o entendimento de que essa ideia é ingênuas, que as teorias não são diretamente determinadas por experimentos, mas que eles fazem parte do processo (GONÇALVES; MARQUES, 2006). Além disso, Steinle (1997) sugere que a compreensão plena da relevância da experimentação só pode ser bem compreendida por meio da História e Filosofia da Ciência.

Um fator relevante dos dados é que alguns alunos, três no questionário prévio e três no questionário posterior, apresentam a noção de que os experimentos não são os únicos responsáveis pelo desenvolvimento do conhecimento científico. Reconheceram que há formulações teóricas que fundamentam as teorias e que a experimentação e as bases teórico-matemáticas se complementam no processo de elaboração do conhecimento científico. Para que os

alunos pudessem expressar melhor suas opiniões a respeito da relevância do formalismo teórico-matemático na elaboração de teorias, foi inserida uma questão no questionário posterior, especificamente a respeito desse tema. No Quadro 12 são expostos todos os elementos textuais referentes à questão 03.

Quadro 12 – Unitarização dos dados referentes à questão 03

UC3 Noções a respeito do formalismo matemático na Ciência ”, que tem o objetivo de reunir fragmentos textuais que identificam as noções dos alunos em relação a relevância do formalismo matemático no desenvolvimento de teorias.	
UR	POSTERIOR
UR 3.1 “O formalismo teórico e matemático aliado a experimentação”	<p>“Em primeiro lugar, a matemática é esteticamente agradável e torna as teorias mais elegantes. Contudo, tem o aspecto pragmático de prever resultados testáveis que propiciarão novos experimentos.” (A5)</p> <p>“Fundamental, logo que é por meio do formalismo que compreendemos e relacionamos as teorias com a experimentação.” (A8)</p> <p>“Algumas teorias não podem ser validadas apenas com experimentos.” (A2)</p> <p>“Importante. Como vimos, praticamente toda a Teoria Eletrofraca foi desenvolvida em princípios de formalismo teórico e matemático e só então foi aos poucos a fenomenologia experimental sendo buscada.” (A3)</p> <p>“O formalismo matemático e teórico vem para nortear a parte experimental para então desenvolver teorias.” (A6)</p>
Registros	05
UR 3.2 “Ajuda a descrever fenômenos abstratos”	<p>“A relevância é grande, pois, historicamente, houveram momentos em que o formalismo matemático e teórico nos contou como funciona o universo quântico, por exemplo.” (A4)</p> <p>“É importante, com um bom formalismo matemático é possível prever coisas além do que podemos medir e criar hipótese que poderão ser testadas.” (A9)</p> <p>“É maneira de explicar e encontrar as leis que regem os fenômenos da natureza.” (A1)</p> <p>“O formalismo teórico desenvolve novas teses e o formalismo matemático desenvolve as teses para trazer hipóteses.” (A7)</p>
Registros	04
Total de registros	09

Fonte: a própria autora

Essas respostas exemplificam as noções dos alunos a respeito da relevância do formalismo teórico-matemático na elaboração de teorias. Todos acham relevante, uns pela relação com a experimentação, outros pela maneira como podem prever situações e levantar hipóteses na descrição de fenômenos abstratos.

As unidades UR 3.3 e 3.4 não obtiveram registros.

Pode-se dizer que a relação entre a Matemática e a Física é de longa data, conceitos matemáticos foram desenvolvidos associados a problemas físicos e conceitos matemáticos advindos de um mundo abstrato são empregados pelos físicos para a construção de suas explicações teóricas (KARAM; PIETROCOLA, 2009). A relação fica ainda mais evidente quando o assunto é Física Moderna, de acordo com Boniolo e Budinich (2005), a matemática é uma parte indivisível da Física Moderna e Contemporânea.

De acordo com Paty (2010, p. 294),

o conhecimento não se fundamenta somente na observação, mas também no raciocínio e que o poder de representação do pensamento pode, se certas condições forem dadas, antecipar as possibilidades de observação. Assim, é desta maneira que a teoria física funciona frequentemente, a predição teórica de um fenômeno precede na maioria das vezes suas condições experimentais [...] Retenhamos desse estado de coisas que o pensamento teórico constitui o verdadeiro meio intelectual que nos auxilia a representar os fenômenos e as realidades do mundo físico e de compreendê-los.

Assim, sugere-se levar isso em consideração nas abordagens didáticas, para que os alunos possam entender a relevância do processo de elaboração teórica do conhecimento científico, pois, na Física de Partículas, na maioria das vezes, uma determinada partícula ou fenômenos são previstos formalmente antes de ser detectados experimentalmente, como é o caso do pósitron, do neutrino, dos mésons. Nesses casos, evidencia-se que o formalismo matemático estava à frente do desenvolvimento tecnológico.

Isso pode ser notado na resposta do aluno A3, que cita o fato de que a Teoria Eletrofraca inicialmente foi pautada no formalismo teórico-matemático e somente após uma boa estruturação matemática dessa teoria é que se buscou com mais ânimo as evidências experimentais.

Nesse caso, ressalta-se, mais uma vez, o papel desempenhado pela renormalização dessa teoria. A contribuição de 'T Hooft e Veltman foi vital para a Teoria Eletrofraca, colocando-a em uma base matemática extremamente sólida e mostrando a superioridade teórica do modelo eletrofraco sobre a teoria V - A, não pelo seu poder unificador, mas porque era, ao contrário de V - A, renormalizável.

Além disso, somente depois de mostrarem que a teoria era renormalizável é que o interesse da comunidade de teóricos e experimentais, nessa teoria, aumentou. A relevância da renormalização, nesse caso, não consistiu

somente na eliminação dos infinitos da teoria, mas possibilitou que ela passasse a ter um potencial de descrever as interações envolvidas em energias superiores a 300 GeV. Dessa forma, além de resolver um dos problemas, o formalismo matemático abriu outras possibilidades e levou a teoria a outro nível de abrangência.

O caso da Unificação Eletrofraca é importante filosoficamente, porque mostra como os métodos estruturados fornecidos pela matemática podem realmente ditar os tipos de processos físicos que a teoria pode acomodar. Ou seja, o processo de unificação dessas forças foi impulsionado por considerações fundamentadas na matemática da Teoria de Gauge, e não na fenomenologia da física (MORRISON, 2000).

Ainda a respeito das teorias, a questão 04 investigou a noção que os alunos apresentaram a respeito da estabilidade das teorias. No Quadro 13 são expostas as produções textuais deles a respeito desse assunto.

Quadro 13 – Unitarização dos dados referentes à questão 04

UC4 “Estabilidade de teorias” reúne fragmentos textuais que identificam como os alunos veem a estabilidade das teorias na dinâmica da construção do conhecimento científico.		
UR	PRÉVIO	POSTERIOR
UR 4.1 “Teorias são comprovadas experimentalmente e não mudam”.	“Não passa a ser invalidada, mas sim funcionar apenas em casos restritos.” (A7)	
Registros	01	0
UR 4.2 “Teorias mudam com o avanço da tecnologia”	“Sim, conforme nossos experimentos vão se tornando mais precisos nossos dados podem não concordar com uma teoria vigente. Os modelos teóricos também devem ser aprimorados e novas teorias podem surgir para explicar fenômenos que foram interpretados incorretamente.” (A9)	“Certamente, pois com o avanço tecnológico novos experimentos podem mostrar que certas hipóteses ou consequências estão equivocadas.” (A4) A9.
Registros	01	02
UR 4.3 “Teorias mudam por novas evidências e interpretações diferentes”.	“Sim, se acontecer o surgimento de novos dados ou ideias que expliquem melhor o que se vê ou se mede.” (A6) A4 e A1.	“Sim, como visto várias vezes na história, as teorias físicas vivem mudando a partir de novos conhecimentos.” (A7) A1 e A6.
Registros	03	03
UR 4.4 “Teorias podem mudar quando apresentam falhas”	“Depende da teoria. Uma teoria que explica bem os fenômenos em um dado intervalo de energia (ex.: Mecânica Clássica) não precisa ser invalidada, ela simplesmente deixa de valer em sistemas muito energéticos. Já as teorias baseadas em falsas hipóteses (ex.: geocentrismo) são	“Sim, com o passar do tempo uma teoria pode não explicar todos os fenômenos existentes, sendo necessário reformulá-la.” (A2) A8 e A3.

	invalidadas.” (A3) A8, A2 e A1	
Registros	04	03
URE 4.5 “Teorias mudam, mas não explicam o motivo”	“Sim, ela pode sofrer alteração ou ser invalidada, por exemplo a teoria da gravitação cinética ³¹ foi invalidada.” (A5)	“Sim, ela pode sofrer alteração ou ser invalidada, como é o caso da Teoria de Fermi e da gravitação cinética.” (A5)
Registros	01	01
Total de registros	10	9

Fonte: a própria autora

Com base nos dados acima, pode-se perceber que apenas um dos alunos apresentou inicialmente uma noção equivocada em relação à estabilidade das teorias, afirmando que elas não são invalidadas, apenas passam a descrever casos restritos (A7). Essa ideia se mostra incompleta pelo fato de que existem teorias que passam a ser invalidadas, como é o caso do geocentrismo. A teoria geocêntrica não é válida para casos restritos, ela é inválida para todos os casos. No entanto, se tratou de um único registro e posteriormente o aluno passa a defender a ideia de que as teorias mudam a partir do surgimento de novos conhecimentos.

A maioria dos alunos assume que as teorias podem mudar ou ser invalidadas dependendo do caso em estudo, seja em virtude do avanço tecnológico (um registro prévio e dois posteriores), novas evidências e interpretações (três registros prévios e posteriores) ou por apresentarem falhas (quatro registros prévios e três posteriores). Ainda teve o caso de um aluno que afirmou que as teorias podem mudar ou ser invalidadas, citou exemplos mas não explicou o motivo (A5), para a qual foi elaborada uma unidade de registro emergente (URE 4.5).

Ainda em relação às respostas, A3 citou como exemplo o caso em que um determinado conjunto de conhecimentos pode ser válido em um contexto e em outros não, como é o caso da Mecânica Clássica.

Essa quase unanimidade em concordar que o conhecimento pode ser provisório também foi relatada por alunos na pesquisa de Ferreira e Martins (2012), Lederman *et al.* (2002), El-Hani, Tavares e Rocha (2004) e Rocha (2013), o

³¹ Gravitação Cinética: foi uma teoria da gravitação proposta por Georges-Louis Le Sage, a qual consistia em um universo banhado por um mar de corpúsculos que ele chamou de ultramundanos (*ultramondain*). Grandes objetos, como estrelas, planetas e satélites, absorveriam uma minúscula fração de corpúsculos ultramundanos incidente sobre eles. A maçã cairia porque ela está sujeita a mais corpúsculos vindos de cima que de baixo (uma vez que a Terra absorveria boa parte deles). Assim, dois corpos no espaço fariam uma espécie de sombra de corpúsculos ultramundanos entre si, explicando aquilo que hoje chamamos de “atração” gravitacional (NEVES, 2003).

que indica que os alunos investigados apresentam noções a respeito da provisoriedade do conhecimento científico que se aproximam da NdC, na qual um conhecimento não pode ser aceito como uma verdade absoluta. Como já foi discutido nas questões anteriores, futuramente uma teoria pode se mostrar incompleta ou falha e necessitar de novos esforços para que ela seja aprimorada ou substituída (KÖHNLEIN; PEDUZZI, 2002). Os motivos que podem levar a essas mudanças podem ser variados, desde estudos teóricos a novas evidências experimentais.

Nesse sentido, percebe-se que uma parte das respostas dos alunos ainda se concentra em mudanças relacionadas a novas evidências e ao avanço científico, relacionando resultados experimentais como as possíveis causas de mudanças em uma teoria. Isso pode ser percebido nas respostas prévias dos alunos A4, A1 e A6, como pode-se ilustrar na fala de A1: “*Sim, as teorias podem se tornar inválidas se os dados experimentais provarem as falhas da mesma [...]*”. Nas respostas posteriores a relação direta com a experimentação foi apresentada pelos alunos A4, A9 e A1, como pode ser ilustrado com a resposta de A4 no Quadro 13 acima.

Enquanto que, em apenas duas das respostas há a menção aos modelos teóricos, como pode ser notado na resposta do aluno A9, no quadro 13, e na resposta de A8: “*Sim, desde que não satisfaça o fenômeno estudado e que outro formalismo explique com mais eficiência*”. Isso sugere que mesmo admitindo a relevância do formalismo matemático na elaboração do conhecimento científico, visto no Quadro 12, a maioria dos alunos não leva isso em consideração quando o assunto é o motivo de alteração em teorias ou sua invalidação. Essa ideia pode dar aos experimentos um papel de decisão quanto à validade do conhecimento científico, representando um caráter verificacionista (LEDERMAN, 1992; HARRES, 1999; TEIXEIRA; FREIRE JUNIOR; EL-HANI, 2009), enquanto o formalismo teórico-matemático ainda passa despercebido.

Dessa forma, enquanto assumem o conhecimento científico como provisório estão apresentando uma visão adequada em relação à natureza do conhecimento científico. Porém, ao tratar dos motivos que levam a essa provisoriedade, ainda há esforços a serem empreendidos para que os alunos passem a entender a relevância dos formalismos teóricos nessas mudanças.

Outra ponderação a ser feita em relação à esses resultados é que não é visível pela resposta dos alunos que todos entendem o que é uma teoria. O que pode-se dizer é que entendem que as teorias podem mudar.

Outro aspecto investigado, de acordo com as noções dos alunos, foi a presença, ou não, da criatividade e imaginação no processo de elaboração do conhecimento científico. No Quadro 14, a seguir, são apresentadas as ideias dos alunos a respeito desse assunto.

Quadro 14 – Unitarização dos dados referentes à questão 05

UC5 “Criatividade e imaginação na construção do conhecimento científico”, que tem a finalidade de reunir fragmentos textuais que identificam se os alunos compreendem a participação da imaginação e da criatividade na construção do conhecimento científico.		
UR	PRÉVIO	POSTERIOR
UR 5.1 “Imaginação e criatividade em todas as etapas da construção do conhecimento científico”.	“Sim, para o desenvolvimento e criação dos experimentos e teorias, a criatividade e imaginação são fundamentais” (A1) A3 e A2.	“Sim. Tanto cientistas teóricos quanto experimentais utilizam a criatividade em suas investigações, seja na busca de novas explicações para fenômenos ou na elaboração de experimentos e aparatos experimentais” (A3) A1.
Registros	03	02
UR 5.2 “Imaginação e criatividade em algumas etapas da construção do conhecimento científico”.	“Para criação de experimentos e solução de problemas que possam acontecer, o cientista precisa, em partes, de criatividade e imaginação. Precisar também de conhecimento prévio para tal abstração.” (A6) A8, A4 e A9.	“Sim, pois ao se depararem com complicações procedimentais, os cientistas podem ter uma ideia criativa para os contornar, como o experimento de Wu, por exemplo, no momento do resfriamento da amostra.” (A4) A2, A6 e A9.
Registros	04	04
UR 5.3 “Imaginação e criatividade como fonte de inovação”.	“Sim, pois é através da criatividade que um marco na ciência é exposto, através da coragem de discordar da maioria.” (A7) A5.	“Sem dúvida, se o cientista não concatenar o conceito de uma maneira nova, não haveria progresso científico, pois se todos apenas reproduzissem o considerado estabelecido e nenhuma anomalia fosse encontrada no caminho, nada de novo surgiria.” (A5) A7
Registros	02	02
UR 5.5 “Não contempla a pergunta”.		“Sim, já que o método científico provém de ideias acerca do que já é conhecido, relacionado ao que se deseja conhecer.” (A8)
Registros	0	01
Total de registros	9	9

Fonte: a própria autora

Com relação a esse aspecto, percebe-se que todos os alunos entendem que a criatividade e imaginação fazem parte da Ciência. No questionário prévio, quatro dos alunos apresentaram esse aspecto como relevante para algumas etapas, mas não em todas. E desses, a maioria relaciona o papel da criatividade e da imaginação ligado a processos experimentais. Isso também se observou no questionário posterior, como pode ser notado na resposta dada por A4, que inclusive cita um dos problemas encontrados para a execução do experimento coordenado por Wu, que levou a evidência experimental da quebra de conservação de paridade nas interações fracas.

Na UR 5.1, que apresenta a criatividade e a imaginação como aspectos relevantes em todas as fases da elaboração do conhecimento científico, no questionário prévio três alunos apresentaram noções relacionadas a essa unidade. Eles indicam esses aspectos como relevantes em processos teóricos e experimentais.

Nenhum dos alunos defendeu que a imaginação e a criatividade são incoerentes com atividades científicas, como descrito na UR 5.4 que não está presente no quadro acima por não apresentar registros.

Dois alunos relacionaram a ideia de criatividade e imaginação como fontes de inovação, sem as quais nada de novo seria evidenciado, como pode-se perceber nas respostas dos alunos A5 e A7, os quais enfatizam a necessidade de novas hipóteses e a coragem de discordar do que está estabelecido para que haja inovação na Ciência. Como dito por Pérez *et al.* (2001, p. 138), “*é necessário ir mais além do que parece evidente e imaginar novas possibilidades*” para deixar de lado a ideia de “o método” científico e com isso evitar uma imagem deformada da Ciência, pautada em uma visão rígida, algorítmica, exata e infalível.

Isso sugere que os alunos assumem que a atividade científica é permeada por momentos em que esses aspectos são necessários, seja para a elaboração de hipóteses, solução de problemas teóricos ou experimentais ou inovações. No entanto, ainda há uma predominância de noções em que os alunos não assumem que são aspectos que podem estar presentes em todas as etapas de uma elaboração científica. Resultados esses consistentes com os que foram obtidos nos estudos de El-Hani, Tavares e Rocha (2004) e Lederman *et al.* (2002). Com a diferença que, nesse caso, nenhum aluno assume que a criatividade e a imaginação

não fazem parte da Ciência.

No Quadro 15 são apresentados os dados referentes às noções dos alunos para os casos em que cientistas chegam em conclusões distintas analisando os mesmos dados.

Quadro 15 – Unitarização dos dados referentes à questão 06

UC6 “Conclusões distintas com os mesmos dados”, que tem o objetivo de reunir fragmentos textuais que identificam se os alunos compreendem como um mesmo conjunto de dados pode gerar ideias distintas.		
UR	PRÉVIO	POSTERIOR
UR 6.1 “Sim, a base teórica dos pesquisadores pode ser distinta”.	“Sim, alguns experimentos precisam de “condições de contorno” específicas. Também é possível que determinado cientista tenha um enfoque diferente do mesmo experimento.” (A6)	“Sim, pois cada um tem uma bagagem e familiaridade com métodos diferentes, podendo haver divergência na análise, se houver é preciso que cheguem em um consenso ou procurem uma terceira opinião.” (A9)
Registros	01	01
UR 6.2 “Sim, dados podem passar despercebidos”.	“É possível, pois depende de como é feita a análise dos dados” (A4) A1 e A7.	“Sim, pois os mesmos podem estar procurando coisas diferentes nesses mesmos dados.” (A1) A4
Registros	03	02
UR 6.3 “Sim, a atividade de pesquisa é subjetiva, depende de cada cientista”.	“Sim, cada cientista irá avaliar e estudar esses dados de uma forma diferente.” (A2) A8, A9, A3 e A5.	“Sim. Como ser humano, o cientista é produto de sua cultura, criação, formação, convivência, etc. Desta forma, dois cientistas podem interpretar um mesmo conjunto de dados da forma que veem o mundo e obter resultados diferentes.” (A3) A5, A2, A8, A2 e A7.
Registros	05	06
UR 6.4 “Não, se o conjunto de dados é igual, as conclusões devem ser iguais”.	“Porém, se os grupos tiverem o mesmo objetivo, eles deveriam obter os mesmos resultados.” (A1)	
Registros	01	0
Total de registros	10	9

Fonte: a própria autora

Como pode-se perceber no quadro 15, a maioria dos alunos entende como possível o fato de um cientista ou um grupo de cientistas se deparar com um conjunto de dados e deles obter um resultado diferente comparado a resultados oriundos desse mesmo conjunto de dados. Com exceção do aluno A1, que apresentou uma resposta dividida, na qual afirma que é possível que obtenham

resultados distintos por estarem buscando aspectos diferentes nos dados. No entanto, se ambos possuem o mesmo objetivo eles deveriam obter resultados iguais. Porém, no questionário posterior A1 afirma que: “*Sim, pois os mesmos podem estar procurando coisas distintas nesses mesmos dados*”. Esse foi o único caso em que havia previamente uma noção parcialmente equivocada em relação ao assunto, pois se assume que os cientistas são influenciados por seus conhecimentos prévios, suas bases teóricas e que suas observações não podem, devido a isso, ser neutras.

Dos alunos que assumem que essa diferença pode ocorrer, colocam como principal motivo o fato da atividade científica depender do cientista, ser subjetiva. Como os alunos A3 e A5 citam, se envolve “interpretação” os resultados podem ser diferentes. Desses alunos, A8 e A9 citam a relevância da avaliação por pares, uma vez que os erros podem ser detectados e outros pontos de vista são considerados.

Outro motivo citado pelos alunos foi que, na análise de dados, algo pode ter passado despercebido por um cientista, pois guiado por um objetivo ele pode deixar de perceber todas as informações que os dados podem oferecer.

E o terceiro motivo citado foi o fato de que os cientistas podem ter bases teóricas e enfoques diferentes, uma vez que cada cientista possui uma formação e uma familiaridade com determinados métodos que podem levá-lo a olhar de forma diferente para um conjunto de dados, como citaram os alunos A6, no questionário prévio, e A9, no questionário posterior.

Esses resultados são tidos como satisfatórios, tanto no questionário prévio quanto no posterior, uma vez que conseguem perceber que os cientistas não são pessoas neutras perante suas atividades científicas, elas o fazem com base em toda sua experiência teórica e prática. Suas observações são inundadas de teorias e seus aparatos experimentais são elaborados com um embasamento teórico e objetivos previamente definidos. Eles entendem que os pesquisadores podem influenciar os resultados, pois cada um vai trabalhar segundo suas crenças e expectativas em relação aos dados, e que, assim como qualquer ser humano, os cientistas também estão sujeitos a erros e equívocos em suas pesquisas. E daí a necessidade que esses resultados sejam analisados por pares para que possíveis incoerências ou perspectivas possam ser encontradas e esclarecidas.

De acordo com Köhnlein e Peduzzi (2002), essas noções são

capazes de ilustrar que o conhecimento científico não se concilia com uma observação neutra, mas que é influenciado pela subjetividade. Assim, mesmo que os cientistas olhem para um mesmo conjunto de dados, cada um deles pode dirigir sua atenção para aspectos diferentes. Aspectos que são relevantes para um, podem passar despercebidos para outros (KÖHNLEIN; PEDUZZI, 2002).

Dessa forma, pode-se dizer que o conhecimento prévio, a formação, as crenças, experiências e expectativas dos cientistas influenciam o seu trabalho e orientam os caminhos pelos quais conduzem suas pesquisas (LEDERMAN *et al.*, 2002). Portanto, não há investigação científica sem orientação teórica, quem está observando não separa observação de interpretação e isso pode fazer com que, olhando para o mesmo conjunto de dados, cientistas cheguem a conclusões distintas (HANSON, 1975). Isso remete a uma subjetividade na Ciência, principalmente no que se refere à interpretação dos dados (LEDERMAN *et al.*, 2002).

Ainda em relação à natureza do trabalho científico, no Quadro 16 são ilustradas noções que os alunos apresentam a respeito dos cientistas.

Quadro 16 – Unitarização dos dados referentes à questão 07

UC7 “Noções a respeito do termo cientista”, que tem o objetivo de reunir fragmentos textuais que identificam as noções das/os alunos em relação ao termo cientista.		
UR	PRÉVIO	POSTERIOR
UR 7.1 “Estereótipo de cientista vinculado pelas mídias”.	“[...] É papel do cientista procurar as respostas nos dados e fatos e não deixar crenças e pressões sociais afetarem os resultados.” (A1) A6 e A3.	“[...] Que desenvolvem pesquisas seguindo o método científico.” (A3)
Registros	03	01
UR 7.2 “Cientista como um ser humano comum, desenvolvendo atividades variadas”.	“Pode ser atribuído esse termo a qualquer pessoa com caráter especulativo, logo confiro a essa profissão o perfil imparcial com relação à pesquisa, assim como questionador e explorador. É um perfil insatisfeito com o senso comum.” (A8) A5, A9 e A2.	“Em uma pessoa que contribui para o desenvolvimento científico, cultural e intelectual da humanidade. Professores, pesquisadores, alunos, técnicos.” (A9) A5, A6, A3 e A8.
Registros	04	05
UR 7.3 “Alguém que estuda ou trabalha com Ciência”.	“É aquele que trabalha com ciência, em laboratórios ou salas, realizando experimentos ou desenvolvendo ideias para explicar um fenômeno.” (A4)	“É o profissional que trabalha com ciência, elaborando teorias e explicações para fenômenos naturais ou desenvolvendo experimentos.” (A4)
Registros	01	01
URE 7.4 “Alguém com	“Penso em um profissional que abstrai	“Cientista é um profissional que

perfil questionador que busca explicar os fenômenos a sua volta”	uma observação da natureza e traz para consigo para fazer experimentos e elaborar uma teoria.” (A7) A1, A6 e A8.	estuda certas áreas do conhecimento com objetivo de entendê-las da melhor forma possível.” (A2) A7, A1 e A8.
Registros	04	04
Total de registros	12	11

Fonte: a própria autora

Como pode-se perceber nos registros, inicialmente três alunos apresentam ideias relacionadas com um estereótipo que não condiz com a realidade de um cientista, a noção de que são neutros e não se deixam levar por crenças, convicções próprias e fatores sociais e que utilizam “o método científico”.

No questionário posterior essas noções tiveram indícios de alterações, com exceção de A3 que, mesmo descrevendo um cientista como uma pessoa comum, que desenvolve atividades variadas, ainda cita em sua resposta o termo “o método científico”. Isso pode se dar pelo fato de que não se discutiu diretamente na oficina a questão “o método científico” e dessa forma essa noção do aluno A3 permaneceu inalterada.

Aqui não se critica as metodologias científicas, mas sim “a metodologia”, “o método”, uma vez que as ciências são variadas e suas metodologias também, assim não existe “um” ou “o” método que defina a atividade científica, não existe uma receita pronta que é válida para todos os casos, não existe um método científico universal. Essa ideia de “o método científico” ficou conhecida como um conjunto de métodos pelos quais seria possível obter o conhecimento científico, baseado em observações (experimentações) de um objeto, nos quais se buscavam generalizações indutivistas que descrevessem os fenômenos estudados (HUME, 2012).

Dessa forma, assume-se que existem procedimentos padrões nas variadas ciências para a produção de conhecimento científico, o que se critica é a ideia de que exista apenas um procedimento padrão, ou “o método” científico.

Com exceção desse caso, tanto no questionário prévio quanto no posterior, os demais alunos apresentaram noções gerais a respeito de como imaginavam um cientista e suas atividades. No entanto, por serem gerais não foi possível identificar qual é a imagem que eles possuem a respeito desse profissional e das atividades que ele pode desenvolver.

Por exemplo, no questionário prévio apenas A2 e A8 se

posicionaram afirmando que pode ser um homem ou uma mulher ou que pode ser qualquer pessoa. No entanto, na resposta de A2, na UR 7.2, é possível perceber uma visão ingênua de que cientistas são pesquisadores de Ciências Naturais e Exatas: “*Penso em um homem ou uma mulher, realizando alguma pesquisa nas áreas de Física, Química e Biologia.*” (A2), não reconhecendo como cientistas os pesquisadores e pesquisadoras de outras áreas.

Os demais usaram termos como: *uma pessoa, um pesquisador, um profissional, aquele que trabalha com Ciência*, enfim, termos que não permitem que se perceba se eles fazem alguma distinção de gênero, idade, classe social ou outros fatores.

No questionário posterior A3 é o único a fazer essa distinção indicando que não há essa distinção: “*Penso em acadêmicos e profissionais, sejam velhos ou jovens, homens ou mulheres, brancos ou negros, teóricos ou experimentais etc. [...]*” (A3). Os demais continuaram a usar os termos gerais.

Com relação às atividades, houve mais expressão das noções, três alunos (A4, A1 e A7), inicialmente, afirmaram que os cientistas desenvolvem teorias e experimentos. A5 destacou entre as atividades ler muito, testar suas hipóteses e discutir com seus pares e A9 citou pesquisas, análise e ensino como atividades de um cientista. Já no questionário posterior, a única atividade nova citada foi a atividade política, citada por A8: “[...] *Pode envolver atividades teóricas, experimentais, políticas [...]*”.

Uma visão interessante que traduz a realidade da pesquisa científica brasileira é citada por A9, que afirma que um cientista contribui com o desenvolvimento científico, intelectual e cultural e que podem ser professores, pesquisadores, alunos e técnicos. Essa noção representa a realidade da pesquisa brasileira por ainda serem poucos os institutos nacionais de pesquisa. A maioria das pesquisas no Brasil é realizada em universidades, nas quais os pesquisadores se desdobram em atividades de pesquisa, ensino e extensão. Além disso A9 não descreve a atividade científica como exclusiva de pesquisadores, sendo que alunos e técnicos também podem desenvolver essas atividades em níveis diferentes.

Neste caso, a ideia de um cientista trabalhando em um instituto de pesquisa ainda não aparece, mas em termos de atribuições embora um pesquisador de um instituto de pesquisa não necessariamente desenvolva atividades docentes,

ele também terá atribuições variadas dentro do instituto de pesquisa. Não é por ele estar em um instituto de pesquisa que suas atribuições serão somente a pesquisa pura, existem aspectos burocráticos, de fomento e hierarquias.

Uma unidade de registro emergente foi necessária após a leitura dos dados, pois muitos dos alunos relacionaram cientistas com uma pessoa de perfil questionador que busca explicar os fenômenos à sua volta, essa unidade de registro está representada em URE 7.4. Tanto no questionário prévio quanto no posterior teve quatro registros nessa unidade, os alunos indicaram que cientistas são pessoas questionadoras, curiosas e que observam os fenômenos à sua volta e tentam explicar ou descrevê-los.

Com objetivo de obter mais informações a respeito do que os alunos pensavam a respeito dessa questão, uma vez que os dados descritos acima não foram suficientes para que fosse feita uma descrição precisa do que os alunos pensavam a respeito, a pesquisadora entrou em contato com os alunos por *e-mail* e pediu que fossem mais específicos nessa resposta, por exemplo, citando características físicas que esse profissional possa ter e que atividades ele desenvolve como cientista.

Das respostas obtidas, ficou mais evidente o que pensavam. Por exemplo, dois alunos expressaram que mesmo após as discussões que já presenciaram a respeito de HFC, inclusive na oficina, ainda é mais presente a imaginação de um homem no papel do cientista. A2 cita que a imagem que vem em mente é de alguém parecido com Einstein, como pode-se notar nos comentários desses dois alunos.

“Penso em um profissional que na maioria das vezes é homem, mesmo sabendo que no contexto atual o papel feminino vem crescendo tenho a predisposição a pensar primeiro que o cientista seria um homem. [...]” (A1)

“A imagem que me vem à cabeça quando penso em cientista é bem clara, e é do Einstein, não sei se fui levado a isso pelos cientistas dos filmes e desenhos sempre terem aproximadamente as mesmas características, próximas às dele, mas com um jaleco branco. Eu acho que a oficina foi bem legal, mas foi bem curta, pra mudar a imagem que foi criada na minha cabeça ao longo dos anos. Hoje com meus conhecimentos eu já tenho sim uma imagem diferente de como o cientista deve ser fisicamente, e a resposta é que pode ser qualquer um, até alguém que pareça um mendigo na rua ou uma modelo de moda podem se encaixar pra mim na imagem do cientista.” (A2)

Isso ilustra o fato de que mesmo que eles já tenham visto exemplos

da participação feminina na Ciência, seja em disciplinas ou cursos de curta duração, como a oficina de pesquisa, a imagem masculina da Ciência ainda prevalece como a primeira representação que pensam ao retratar cientistas. Esses resultados podem ser reflexos da representação do cientista feita pela sociedade em que estão inseridos, como o próprio A2 cita em sua resposta. Sociedade essa, na qual os meios de comunicação exercem grande influência e disseminam, por mídia analógica ou eletrônica, ideias inadequadas referentes aos cientistas e ao trabalho científico. Esse problema fica ainda mais grave quando aliado à falta de reflexão crítica dos professores a respeito da NdC, permitindo que essa transmissão de conhecimentos estereotipados se faça presente nas salas de aula (ZANON; MACHADO, 2013).

A3, A4 e A6 falam da desconstrução dos estereótipos, na qual os cientistas não são todos iguais, podem desenvolver atividades diferentes uns dos outros, agir de maneira diferenciada, enfim, não existe um padrão que os descreva.

“[...] Um cientista não necessariamente tem cabelos brancos, usa jaleco e é ‘meio doido’. Um cientista pode se parecer (e geralmente se parece) com uma pessoa comum. Existem cientistas homens, cientistas mulheres, cientistas velhos, cientistas jovens, cientistas experimentais que trabalham no laboratório e usam jaleco e cientistas teóricos que podem trabalhar de shorts e chinelo. Existem cientistas que, de fato, possuem problemas de socialização e são vistos como ‘estranhos’ pela sociedade, mas também existem cientistas que conseguem se socializar normalmente com as outras pessoas.” (A3)

“É a pessoa que trabalha com ciência. Há um certo estereótipo de uma pessoa de jaleco e óculos, embora vários cientistas não possuam nada além de um papel e uma caneta para desenvolver suas ideias e pesquisas. As atividades desenvolvidas pelo cientista abordam um avanço tecnológico, um avanço medicinal, ou talvez um avanço social, dependendo do ramo científico em que se encontra este cientista.” (A4)

“Cientista é uma pessoa, independente de gênero, classe social ou faixa etária, que dedica sua vida a buscar respostas a respeito de fenômenos que ocorrem no dia a dia [...]. (A6)

No que se refere às atividades desenvolvidas, A4 assume que cientistas podem atuar em várias áreas e que suas atividades podem levar a avanços nessas áreas. A1, A9, A2 e A8 também citam que cientistas podem ser de áreas distintas.

“[...] Seria um profissional que utiliza métodos científicos para obter conhecimento, esses métodos podem ser experimentais ou teóricos, lembrando que esses conhecimentos podem ser tanto com as ciências humanas quanto com as ciências naturais.” (A1)

“Penso que é uma pessoa de aparência comum, homem ou mulher, podendo trabalhar em um laboratório com experimentos, analisando dados, desenvolvendo hipóteses, fazendo pesquisa, trabalhando em grupos ou com colaborações. O cientista pode realizar seu trabalho na área das ciências da natureza, humanas e outras áreas do conhecimento e pesquisa.” (A9)

Um fator interessante que apareceu na resposta de A9, é que ela cita o trabalho colaborativo entre cientistas, sendo a única resposta que cita o fato de que cientistas podem trabalhar em grupos e colaborações. Essa noção pode ter sido influenciada pelas discussões da oficina, uma vez que todos os experimentos estudados foram realizados em colaborações de cientistas e instituições.

A6 cita, dentre as atribuições de um cientista, que ele deve levar em consideração os conhecimentos previamente construídos, fazer uso de um método científico que ache eficiente e inovar para assumir novas ideias. Pode-se perceber que A6 coloca a inovação, criatividade ou imaginação como uma das atribuições de cientistas.

“[...] Este pode desenvolver atividades experimentais ou teóricas e precisa levar em conta conhecimentos construídos anteriormente a ele, para buscar erros e acertos para possíveis caminhos. O cientista precisa adotar um método científico que considere eficiente. Precisa, por vezes, quebrar estruturas mentais formadas anteriormente, para que possa assumir ideias e processos novos.” (A6)

A8 e A2 ainda utilizam a ideia de que cientistas são pessoas questionadoras que observam o mundo à sua volta e procuram meios para a explicação dos fenômenos, como pode-se notar na resposta de A8.

“O termo me remete a um ‘investigador’, um pesquisador da área de interesse que procura aprimorar e beneficiar a comunidade com sua contribuição. [...] Dentre outras qualidades de cientistas que ainda poderia citar, o fundamental desse perfil é ‘questionar’ e procurar ‘colocar à prova’ com o intuito de compreender o fenômeno de interesse para estudo.” (A8)

A5, o aluno que já está na pós-graduação, apresenta uma ideia condizente com formação, indicando que um cientista é uma pessoa que fez mestrado, doutorado e está trabalhando em uma universidade ou instituto de pesquisa, enquanto também apresenta atividades diversas como possíveis atribuições dessa carreira.

“Eu penso em um profissional que dedicou boa parte da vida ao estudo, que

realizou um mestrado e um doutorado e se vinculou a alguma universidade ou instituto de pesquisa. No caso do Brasil, é um profissional que costuma também lecionar, além disso, pode trabalhar em laboratório, computador ou com lousa, dependendo da natureza do trabalho.” (A5)

Ao analisar as respostas obtidas, percebe-se que em nenhum momento eles citam a presença de erros nas atividades de cientistas, enquanto que, por sua vez, cientistas estão sujeitos às virtudes e aos defeitos que caracterizam o ser humano. Em suas atividades os cientistas procedem por tentativas, tentam uma hipótese, fazem uso da intuição, se frustram, se entusiasmam, enfim, são seres humanos (KÖHNLEIN; PEDUZZI, 2002).

Os alunos também raramente falam do trabalho coletivo ou de outras atividades que podem permear as atividades científicas, como é o caso de cientistas que precisam ser “políticos” e convencerem seus departamentos, universidades e instituições de pesquisa a aprovarem seus projetos de pesquisa. Dentre todas as respostas, somente A8 cita as atividades políticas. Porém, percebe-se que entendem que os cientistas podem ser profissionais atuando em diferentes áreas e que não deveriam haver distinções de gênero, idade, comportamento etc.

Com relação ao questionário prévio e posterior, toma-se como positivo o fato de A1 e A6 deixarem de apresentar cientistas como pessoas neutras perante uma investigação, que não vão se deixar levar por suas crenças e convicções científicas e nem por aspectos sociais. Já em relação às respostas obtidas por *e-mail*, acredita-se que seja relevante promover essa discussão de como os alunos veem os cientistas e o trabalho científico e as respostas obtidas permitiram que a opinião dos alunos fosse descrita com mais precisão, uma vez que deixaram de apresentar respostas gerais.

Ao refletir a respeito da contribuição dessa Abordagem Didática para a problematização de noções de NdC, percebe-se que os indícios de melhores resultados foram para as questões relacionadas às visões empírico-indutivistas da experimentação e do papel dos experimentos na elaboração do conhecimento científico, que pode estar relacionado ao fato de que a questão da experimentação foi abordada com mais ênfase na abordagem.

Nas demais questões, a maioria dos alunos já não apresentava noções ingênuas no questionário prévio. Suas ideias a respeito das questões propostas estavam, na medida do possível, próximas às noções epistemológicas

contemporâneas, não sendo possível afirmar que essa abordagem contribuiu significativamente nos avanços relacionados a essas questões.

Com exceção dos acontecimentos, em que os alunos citam o caso das colaborações entre cientistas, as atividades políticas presentes no trabalho científico, a Teoria de Fermi para exemplificar casos de teorias que são aprimoradas, o experimento de Wu para explicar casos em que a criatividade é necessária para o contorno de problemas. Nesses casos, fica evidente que conseguiram utilizar as discussões da oficina para justificarem suas respostas.

Uma das possíveis causas dos alunos terem apresentado, no questionário prévio, noções menos ingênuas em relação à natureza do conhecimento científico é que a maioria deles, como descrito no perfil dos participantes, já havia tido ou estava tendo discussões relacionadas à HFC em sua formação. Isso significa que essa formação prévia já mostra resultados positivos.

Agora, em relação ao fato dos alunos não apresentarem respostas detalhadas com discussões da oficina de pesquisa, pode-se indicar como possíveis causas o curto tempo de discussão, devido à quantidade de conteúdo presente na abordagem e o nível de profundidade com que cada uma dessas noções foi discutida. Outra hipótese que se admite é que se eles tivessem mais tempo para refletirem e responderem às questões do questionário posterior, suas respostas poderiam ser mais detalhadas, pois no contexto da oficina os alunos responderam a esse questionário no final do encontro, já cansados.

Os aspectos da Natureza da Ciência discutidos nesta pesquisa enquadram-se no que Allchin (2013) e Clough (2007) assumem como relevantes para a educação científica, na qual procura-se mostrar como a Ciência funciona, desmistificando o processo de elaboração do conhecimento científico e humanizando as ciências. Desse modo, defende-se que os aspectos discutidos são básicos para um entendimento da dinâmica do processo de elaboração de conhecimentos científicos e aqui o objetivo não é caracterizar a Ciência, mas, em termos de ensino, apresentar noções básicas ao entendimento do processo de elaboração dos conteúdos abordados.

A seguir serão apresentados os dados e inferências relativas ao conteúdo científico abordado na oficina.

6.2 ANÁLISE DOS QUESTIONÁRIOS PRÉVIOS E POSTERIORES EM RELAÇÃO AO CONTEÚDO CIENTÍFICO

Com relação ao conteúdo científico, buscou-se no questionário prévio quais os conhecimentos prévios presentes na estrutura cognitiva dos estudantes e nos questionários posteriores quais os indícios de Aprendizagem Significativa, após a abordagem didática.

No Quadro 17 são apresentadas as noções prévias e posteriores em relação à questão 08, que investigava o que os alunos sabiam a respeito da interação eletromagnética.

Quadro 17 – Unitarização dos dados referentes à questão 08

UC8 “Noções a respeito da interação eletromagnética”, que tem o objetivo de reunir fragmentos textuais nos quais é possível identificar noções dos alunos em relação a interação eletromagnética.		
UR	PRÉVIO	POSTERIOR
UR 8.1 “Noções de acordo com o consenso científico atual”	“São interações entre partículas carregadas mediadas por fótons.” (A5) A4.	“Uma interação descrita pelo grupo U(1), cujo gerador é o fóton” (A3) A5 e A8.
Registros	02	03
UR 8.2 “Noção parcialmente correta a respeito do tema”	“Entendo como uma interação entre campos elétricos e magnéticos, onde um campo elétrico pode provocar um campo magnético e vice-versa.” (A8) A6, A7, A1, A2 e A3.	“Interações entre partículas carregadas com cargas positivas ou negativas e campos.” (A1) A9, A7, A6 e A4.
Registros	06	05
UR 8.3 “Noções equivocadas/confusas em relação tema”	“Quando temos corpos carregados no espaço eles “sentem” a presença de outro através do potencial, campo associado.” (A9)	“É a força que resulta das interações da atração e repulsão de forças eletromagnéticas entre elas.” (A2)
Registros	01	01
Total de registros	09	09

Fonte: a própria autora

As unidades UR 8.4 e 8.5 não obtiveram registros prévios e posteriores.

No Quadro 17 é possível perceber que a maioria dos estudantes apresenta uma noção parcialmente correta a respeito da interação eletromagnética, tanto no questionário prévio quanto no posterior. Por noção parcialmente correta, interpreta-se aquelas em que os alunos citam a interação entre campos elétricos e magnéticos, ou interação entre partículas carregadas, mas não agrupam essas duas

repostas e nem citam a partícula mediadora dessa interação. Além dos casos em que o aluno pode cometer algum erro na resposta, por exemplo, o aluno A1, em sua resposta no questionário prévio diz que “*são interações envolvendo prótons, elétrons e nêutrons nos átomos*”. Nesse fragmento textual, percebe-se um erro ao colocar o nêutron como uma das partículas envolvidas na interação eletromagnética, além disso não ocorre somente entre prótons e elétrons, ocorre entre partículas eletricamente carregadas.

No questionário prévio, dois alunos apresentaram uma noção de acordo com o consenso científico atual e no questionário posterior. Embora apenas 04 alunos tenham apresentado essa noção, deu para perceber indícios de Aprendizagem Significativa por meio da reconciliação integradora, uma vez que dois dos alunos passaram a incluir em suas respostas a respeito dessa questão, a estrutura $U(1)$, que representa a interação eletromagnética e define seu gerador, o fóton. Os alunos foram A3 e A8.

O fato deles terem apresentado indícios de reconciliação integradora é um indicativo de Aprendizagem Significativa, pois eles reconheceram novas relações entre conceitos já existentes e resolveram conflitos com conceitos anteriores (NOVAK; GOWIN, 1984; AUSUBEL, 2003).

O produto desse processo, de acordo com Ausubel (2003), resulta em um novo significado que envolve a modificação dos conhecimentos prévios que ancoraram o novo conceito. Isso significa que, além da aquisição de um novo subsunçor, os conhecimentos prévios se tornam mais elaborados e estáveis cognitivamente, o que pode facilitar uma aprendizagem futura.

Também pode ser notado um indício de organização hierárquica na resposta do aluno A8, “*Envolve prótons e elétrons e é descrita por $U(1)$, que descreve o comportamento do campo*”, na qual o aluno coloca a estrutura $U(1)$ como um conceito superordenado, que vai abranger outros conceitos, como por exemplo, o conceito de campo.

No entanto, não se espera que os alunos tenham substituído seu entendimento a respeito da interação eletromagnética por explicações contendo novos conceitos, o que se acredita é que eles agora possuem mais uma maneira de expressar o que entendem por essas interações. Dessa maneira, o fato de utilizarem conceitos novos para explicar conceitos já existentes em sua estrutura cognitiva,

ilustra-se como um indício de reconciliação integradora e não como uma substituição do entendimento que tinham a respeito da interação eletromagnética.

Nesse caso, surge a hipótese de que A3 apresenta indícios de Aprendizagem Significativa por reconciliação integradora entre as definições das interações e as estruturas que as definem. No decorrer da análise dos dados seguintes espera-se poder elucidar essa hipótese.

Duas respostas estavam confusas, uma no questionário prévio e outra no posterior.

O fato da maioria dos alunos apresentar uma noção parcialmente correta, em ambos os questionários, pode ser justificada pelo fato de a discussão dessa interação não ter sido o foco de estudos durante a Abordagem Didática. O assunto esteve presente no início das discussões, presente no organizador prévio, com o intuito de ativar esse subsunçor para os conteúdos que poderiam se relacionar a ele nas etapas subsequentes.

Essa justificativa passa a fazer sentido ao comparar com outras questões, como é o caso da questão 09, que investigou as noções dos alunos em relação à interação fraca. No Quadro 18 são apresentadas essas noções.

Quadro 18 – Unitarização dos dados referentes à questão 09

UC9 “Noções a respeito da interação fraca”, que tem o objetivo de reunir fragmentos textuais que identificam as noções dos alunos em relação a interação fraca.		
UR	PRÉVIO	POSTERIOR
UR 91 “Noções de acordo com o consenso científico atual”	“Sei apenas que está relacionada ao decaimento de átomos.” (A3) A6, A8 e A4.	“Interação descrita pelo grupo de gauge SU(2), cujos geradores e bósons mediadores são o W^+ , W^- e Z^0 , que explica os fenômenos de decaimento beta e as correntes neutras.” (A3) A4, A9, A7, A1, A6, A8 e A5.
Registros	04	08
UR 9.3 “Noções equivocadas/confusas em relação tema.”	“Interação do elétron com o núcleo.” (A9) A5 e A1.	
Registros	03	0
Não responderam	A2, A7	A2
Registros	02	01
Total de registros	9	9

Fonte: a própria autora

As unidades UR 9.2, 9.4 e 9.5 não obtiveram registros.

Ao analisar o Quadro 18, percebe-se que no questionário prévio,

quatro alunos apresentavam uma visão adequada do assunto, porém de forma simples, apenas citando que é uma força responsável pelo decaimento de núcleos instáveis, ou com a força nuclear. Três apresentaram uma noção confusa ou equivocada e dois deles não responderam à questão.

Já no questionário posterior, oito deles passam a apresentar noções coerentes e cinco deles apresentaram indícios de Aprendizagem Significativa por meio da reconciliação integradora. No quadro foi deixada a resposta com mais indícios, pois o aluno usou três conceitos novos, que não tinha em sua estrutura cognitiva. Utilizou a estrutura $SU(2)$, os bósons, W^+ , W^- e Z^0 e as correntes neutras para explicar a interação fraca, quando no questionário prévio apenas indica como uma força responsável pelo decaimento de átomos.

Desses cinco alunos, dois utilizaram apenas um conceito novo, que foram os bósons W^+ , W^- e Z^0 , como pode ser visto na resposta do aluno A5, “*Processo interativo mediado pelos bósons W^+ , W^- e Z^0* ”. Um dos alunos usou o conceito novo das correntes neutras, “*Uma força que explica os decaimentos e as correntes neutras*” (A6), e um deles utilizou dois conceitos novos, “*Intermediada pelos bósons W^+ , W^- e Z^0 , explica as correntes neutras e os decaimentos*” (A6).

Esse acréscimo de vocabulário também se configura como um dos indícios de Aprendizagem Significativa, pois, de acordo com Moreira (2010), aprender um conteúdo de maneira significativa é aprender sua linguagem e aprender esta linguagem de maneira crítica é perceber essa nova linguagem como uma nova maneira de perceber o mundo. Deste modo, contribuir com a ampliação do vocabulário e sua apropriação de maneira significativa e não arbitrária é parte do processo que visa a Aprendizagem Significativa de conteúdos científicos. Aspecto esse relacionado com reconciliação integradora de Ausubel (2003), pois os alunos adquirem um novo subsunçor e conseguem relacioná-lo com os subsunçores existentes em sua estrutura cognitiva.

Um dos alunos não respondeu a essa questão, nem no questionário prévio nem no posterior.

No entanto, ao comparar os resultados da questão anterior e dessa, pode-se perceber a diferença nas respostas dadas pelos alunos, enquanto na questão anterior elas foram mais simples e houve menos mudanças do questionário prévio para o posterior, nessa questão as mudanças foram mais significativas. Isso

pode ser resultado de mais discussões a respeito da interação fraca, do que em relação à interação eletromagnética, como citado anteriormente.

No Quadro 19 serão apresentadas as unitarizações referentes à questão que investigou a noção dos alunos a respeito do decaimento beta.

Quadro 19 – Unitarização dos dados referentes à questão 10.

UC10 “Noções a respeito do decaimento beta”, que tem o objetivo de reunir fragmentos textuais que identificam as noções dos alunos em relação ao processo de decaimento beta.		
UR	PRÉVIO	POSTERIOR
UR 10.1 “Noções de acordo com o consenso científico atual”	“O decaimento beta ocorre quando, através da força fraca, um nêutron se decompõe em um próton, um elétron e um antineutrino do elétron.” (A4) A3, A8 e A9	“É o processo em que um núcleo instável pode se transformar em um núcleo estável por meio de emissão da radiação beta.” (A2) A3, A7 e A9.
Registros	04	04
UR 10.2 “Noção parcialmente correta a respeito do tema”	“[...] Podemos ter o decaimento beta menos, onde um nêutron decai em um próton liberando um elétron e um neutrino e o decaimento beta mais, onde um próton decai em um nêutron liberando um pósitron e um antineutrino.” (A9) A3.	“No decaimento do nêutron para o próton, um dos quarks do nêutron decai para um quark down, liberando um bóson W^+ , que por sua vez decai em um pósitron e um neutrino do elétron. (A4) A6, A8 e A1.
Registros	02	04
UR 10.3 “Noções equivocadas/confusas em relação tema”	“O decaimento beta acontece de dentro do núcleo do átomo, quando o mesmo passa por processos de meia vida.” (A1)	“Elétrons interagem com um bóson gerando outras duas partículas a depender da natureza do bóson em questão.” (A5)
Registros	01	01
UR 10.4 “Desconhece ou não recorda nada em relação ao tema”	“Se já estudei, não me lembro.” (A5)	
Registros	01	0
Não responderam	A2, A7 e A6	
Registros	03	0
Total de registros	11	9

Fonte: a própria autora

A UR 10.5 não obteve registros prévios e posteriores.

Como é possível perceber no Quadro 19, apenas quatro alunos apresentaram uma noção de acordo com o consenso científico atual, indicando que trata-se de um fenômeno envolvendo a emissão de radiação beta para estabilizar um núcleo. A3 e A4 são mais específicos, como pode-se perceber em suas respostas:

“O decaimento beta ocorre quando, através da força fraca, um nêutron se decompõe em um próton, um elétron e um antineutrino do elétron”. (A4)

“Um núcleo instável decai para outro núcleo (núcleo filho) emitindo um elétron (ou pósitron) e um antineutrino (ou neutrino).[...] (A3).

Já no questionário prévio, quatro deles passam a apresentar noções próximas ao conceito científico atual, sendo que dois deles (A7 e A2) não haviam respondido à questão no questionário prévio. As respostas de A7 e A2 foram genéricas e não apresentaram uma explicação detalhada como o caso de A3 e A9.

“No decaimento beta, um quark up (down) do próton (nêutron) decai em um quark down (up), formando um nêutron (próton), e mais um bóson W^+ (W^-), que eventualmente decai em um pósitron (elétron) e um neutrino (antineutrino).” (A3)

“Um nêutron decai em um próton liberando um elétron e um antineutrino, ou um próton decai em um nêutron liberando um pósitron e um neutrino.” (A9)

Pode-se perceber que alunos que não responderam à questão inicialmente, após a oficina conseguiram responder. Enquanto alguns que já conseguiam descrever o decaimento beta, após a oficina elaboraram respostas mais detalhadas do processo e incluíram nessas respostas itens que foram abordados nas aulas, como os bósons mediadores (A3, A4, A8 e A6), por exemplo.

Isso, novamente pode indicar indícios de reconciliação integradora, uma vez que foi utilizado um conceito novo para explicar um conceito que já se fazia presente na estrutura cognitiva e essa interação entre os novos conhecimentos e os subsunçores já existentes favorece a aquisição e organização de significados na estrutura cognitiva do aprendiz (AUSUBEL, 2003). Já nos casos em que os alunos não sabiam responder, os novos conhecimentos podem se tornar subsunçores que poderão facilitar aprendizagens futuras.

Na oficina não foram discutidos todos os detalhes do decaimento beta, deu-se ênfase no caso em que nêutrons ou prótons de um núcleo instável sofriam transformações devido à interação fraca promovida pelos Bósons W^+ e W^- , resultando em um decaimento β^+ ou β^- . Devido a isso consideraram-se como noções adequadas ao consenso científico as respostas unitarizadas na unidade UR 10.1. No entanto, convém lembrar que o decaimento beta não ocorre somente em casos de emissão de radiação beta devido a esses bósons, também ocorre em casos de captura eletrônica, em que um próton do núcleo captura um elétron atômico produzindo um nêutron e um neutrino. Porém, como não foi abordado esse tópico na

oficina, não foi considerado esse critério na unitarização.

Outro item em relação às transformações de prótons em nêutrons que não foi abordado na oficina é o fato de que esse tipo de transformação envolve um caso em que se tem um próton (que tem massa menor que o nêutron) se transformando em um nêutron (que tem massa maior que o próton). Esse tipo de fenômeno só ocorre em casos que a energia total do núcleo filho seja menor que a energia total do núcleo pai. Dessa maneira, um próton isolado não vai sofrer um decaimento β^+ . Esse decaimento só ocorre porque o próton está dentro de um núcleo com bastante energia, enquanto que um nêutron isolado pode decair em um próton + elétron + antineutrino do elétron. Esse detalhe não foi comentado na oficina e em virtude disso também não foi considerado na unitarização. Entretanto, são detalhes que fariam parte de noções adequadas ao consenso científico.

Foram classificadas na UR 10.2 as respostas que estavam expressas de forma genérica (A6 e A8), que podem ser interpretadas de forma errada (A1) ou com algumas imprecisões, como no caso de A9 que inicialmente trocou os neutrinos e antineutrinos referentes aos decaimentos β^+ e β^- , no questionário prévio, e A4 que no questionário posterior confundiu o decaimento do nêutron com o decaimento do próton.

Houve uma resposta confusa ou equivocada em ambos os questionários, uma no prévio (A1) e uma no posterior (A5). No questionário prévio A5 disse não se recordar do assunto, caso já estivesse estudado e três alunos não responderam a essa questão no questionário prévio (A2, A7 e A6).

A inferência, com base nos dados, sugere que a maioria dos alunos passou a apresentar uma noção a respeito do decaimento beta adequada ou parcialmente adequada com o consenso científico (oito alunos), enquanto que no questionário prévio não responderam, não lembravam ou responderam de forma confusa ou equivocada, cinco alunos. Isso sugere um resultado positivo, embora esse assunto não tenha sido discutido de maneira aprofundada durante as aulas. Esse tópico foi discutido duas vezes, no início para introduzir o problema do decaimento beta, solucionado por Pauli e Fermi, e ao final para explicar o decaimento β^+ e β^- , considerando os bósons mediadores.

No Quadro 20 são apresentadas as unitarizações referentes às noções dos alunos a respeito do conceito de Paridade.

Quadro 20 – Unitarização dos dados referentes à questão 11

UC11 “Noções a respeito do conceito de Paridade e seu comportamento nas interações fracas”, que tem o objetivo de reunir fragmentos textuais que identificam as noções dos alunos em relação ao conceito de Paridade.		
UR	PRÉVIO	POSTERIOR
UR 11.1 “Noções de acordo com o consenso científico atual”	“Entendo como uma propriedade de simetria de uma função, ou uma característica do comportamento desta.” (A8)	“O Comportamento da função de onda quando ocorre uma inversão dos eixos espaciais, pode ter paridade + ou – 1. Na interação fraca ela é violada, há uma direção preferencial no decaimento.” (A9) A3, A4 e A8.
Registros	01	04
UR 11.2 “Noção parcialmente correta a respeito do tema”	“O processo de paridade ocorre na mudança de coordenadas quando trabalhamos, por exemplo, com função de onda.” (A6) A5 e A4.	“É um fenômeno onde se troca os sinais de todas as coordenadas de uma função de onda. A paridade não é conservada nas interações fracas.” (A1) A2, A6, A5 e A7.
Registros	03	05
UR 11.3 “Noções equivocadas/confusas em relação tema”	“Paridade é a propriedade de um sistema ao sofrer uma transformação de paridade. Não sei se é conservada ou não.” (A3) A8.	
Registros	02	0
UR 11.4 “Desconhece ou não recorda nada em relação ao tema”	“Não sei ao certo.” (A1)	
Registros	01	0
Não responderam	A9, A2, A7, A6 ³²	
Registros	04	0
To0tal de registros	10	9

Fonte: a própria autora

A UR 11.5 não obteve registros prévios e posteriores.

Ao analisar os dados do quadro 20, percebe-se que no questionário prévio somente seis alunos responderam e A6 respondeu apenas a uma parte da questão. Dos que responderam, A1 disse não saber ao certo, A3 e A8 apresentaram noções confusas ou equivocadas, três alunos apresentaram noções parcialmente corretas e apenas A8 apresentou uma noção aproximada do consenso científico atual, porém sua ideia a respeito do comportamento da paridade nas interações fracas estava equivocada, por isso sua resposta foi fragmentada na UR 11.3. Os alunos A9, A2 e A7 não responderam totalmente à questão.

³² Não respondeu se a paridade se conserva ou não nas interações fracas, mas expressou sua noção a respeito do conceito de paridade.

Já no questionário posterior, embora os alunos ainda tenham apresentado noções parcialmente corretas, todos responderam à questão e quatro deles conseguiram apresentar uma noção de acordo com o consenso científico atual: A9 que não havia respondido no questionário prévio, A3 que havia apresentado uma noção equivocada anteriormente e A4 e A8 que haviam apresentado noções parcialmente corretas e corretas no início da oficina.

Com relação ao comportamento da paridade nas interações fracas, A4 cita sua resposta justificando com o resultado do experimento simulado computacionalmente: “*É uma propriedade das funções de onda, referente à mudança das coordenadas (x, y, z) por $(-x, -y, -z)$. A paridade não é conservada nas interações fracas, como mostrado experimentalmente.*”. A6 também cita o experimento em sua resposta, mas não consegue explicar de maneira correta sua resposta.

Oito alunos responderam corretamente a respeito da violação da paridade nas interações fracas, somente A5 não foi conclusivo em sua resposta, indicando que tem “[...] *a informação de que não necessariamente se conserva.*”. Isso pode significar que as discussões e a simulação computacional do experimento não foram suficientes para convencê-lo dessa evidência.

Como pode-se perceber, alguns alunos apresentavam, inicialmente, ideias a respeito do conceito de paridade, mas nenhum deles tinha certeza do que falar a respeito do comportamento da paridade nas interações fracas, o que pode indicar que eles tiveram um contato inicial com o conceito de paridade, no entanto isso não foi discutido em termos de seu comportamento nas interações fundamentais. Como a disciplina de Física Moderna³³, do curso de Física da UEL, que discute em mais detalhes tópicos de Física de Partículas, é oferecida no quinto ano e somente um dos alunos estava nesse período de formação, era de se esperar que os alunos não saberiam responder a respeito do comportamento da paridade nas interações fracas.

No Quadro 21 são apresentadas as noções dos alunos a respeito do conceito de correntes neutras.

³³ 2FIS069 – FÍSICA MODERNA III é a disciplina que apresenta tópicos de Física de Partículas em sua ementa:

http://www.uel.br/cce/fisica/portal/pages/arquivos/EMENTA%20ATUAL%202015_F%C3%ADsica%20licenciatura.PDF.

Quadro 21 – Unitarização dos dados referentes à questão 12

UC12 “Noções a respeito das correntes neutras”, que tem o objetivo de reunir fragmentos textuais que identificam as noções dos alunos em relação as correntes neutras.		
UR	PRÉVIO	POSTERIOR
UR 12.1 “Noções de acordo com o consenso científico atual”		“São correntes de partículas que não alteram a carga, diferente das correntes carregadas que alteram a carga elétrica.” (A1) A2, A8, A3, A5, A9, A6 e A4
Registros	0	8
UR 12.2 “Noção parcialmente correta a respeito do tema”		“É uma corrente que interage com cargas nulas (neutrinos), correntes carregadas interagem com cargas carregadas.” (A7)
Registros	0	01
UR 12.3 “Noções equivocadas/confusas em relação tema”	“Acho que poderiam ser correntes de nêutrons.” (A5) A9 e A3.	
Registros	03	0
UR 12.4 “Desconhece ou não recorda nada em relação ao tema”	“Nem ideia.” (A1) A4 e A8.	
Registros	03	0
Não responderam	A2, A6	
Registros	02	0
Total de registros	9	9

Fonte: a própria autora

A UR 12.5 não obteve registros prévios e posteriores.

No questionário prévio, apenas três alunos (A9, A3 e A5) tentaram responder à questão. Porém, nenhuma das respostas estava correta. A3 e A5 responderam tentando utilizar a lógica, dizendo que poderiam ser correntes desprovidas de carga e uma corrente de nêutrons.

Três alunos assumiram não saber a resposta (A8, A4 e A1) e dois não responderam (A2 e A6).

No questionário posterior todos responderam à questão e apenas um dos alunos teve sua resposta considerada como parcialmente correta, UR 12.2, pois ele diz que os bósons W interagem com cargas carregadas, quando esses bósons interagem com neutrinos.

Os demais alunos apresentaram noções adequadas com o consenso científico atual. Uns com respostas simples, como A8 e A2: “*Correntes neutras são aquelas que não alteram a carga da partícula.*” (A8); “*São as correntes que têm a presença do bóson Z⁰.*” (A2). E outros com respostas mais elaboradas, como A4, A9, A3: “*Bósons de interação com carga neutra que não afetam a carga*

dos processos. Correntes carregadas alteram a carga do processo e são formadas por bósons carregados.” (A4); “As correntes neutras não alteram a carga das partículas, apenas o momento, estão presentes na interação fraca.” (A9); “São fenômenos onde não ocorre a troca de carga elétrica dos constituintes da reação. Já nas correntes carregadas há mudança de carga elétrica dos constituintes, por exemplo no decaimento beta.” (A3). Nas quais citam que as correntes neutras não provocam mudanças de cargas, mas alteram o momento e ainda colocam uma diferenciação com as correntes carregadas.

A3 cita o decaimento beta como um caso de ação das correntes carregadas, correlacionando o conceito de corrente carregada (conceito novo), com o conceito de decaimento beta (conceito já existente na estrutura cognitiva), o que sugere indícios de reconciliação integradora entre esses conceitos.

Percebe-se aqui que o conceito de correntes neutras era novidade para todos os alunos, pois embora alguns tenham tentado responder, não apresentaram uma noção prévia de acordo com o consenso científico atual. Os resultados obtidos sugerem que as discussões a respeito desse assunto foram relevantes para que a maioria dos alunos pudesse vir a apresentar noções adequadas ao consenso científico. Embora essas noções tenham aparecido em níveis diferentes de assimilação, considera-se que isso é um ganho em termos de aprendizagem, uma vez que agora eles possuem os subsunçores necessários para que uma aprendizagem futura possa aprimorar esse conhecimento (AUSUBEL, 2003).

No Quadro 22 são apresentadas as noções dos alunos a respeito da origem da massa das partículas.

Quadro 22 – Unitarização dos dados referentes à questão 13

UC13 “Noções a respeito da origem da massa das partículas”, que tem o objetivo de reunir fragmentos textuais que identificam as noções dos alunos em relação a origem da massa das partículas.		
UR	PRÉVIO	POSTERIOR
UR 13.1 “Noções de acordo com o consenso científico atual”	“As partículas adquirem massa através da intensidade da interação dela com o campo de Higgs. Quanto maior a interação, mais massa a partícula tem.” (A4) A5.	“Adquirem massa através da interação com o campo de Higgs.” (A6) A2, A5, A1, A3, A4 e A8.
Registros	02	07

UR 13.2 “Noção parcialmente correta a respeito do tema”		
UR 13.3 “Noções equivocadas/confusas em relação tema”	“Através da transferência de energia.” (A6) A7, A1, A8 e A9.	“Interagindo com os bósons.” (A9) A7.
Registros	05	02
Não responderam	A2, A3 e A7	
Registros	03	0
Total de registros	9	9

Fonte: a própria autora

As unidades UR 13.4 e UR 13.5 não obtiveram registros prévios e posteriores.

No questionário prévio dois alunos apresentaram noções de acordo com o consenso científico (A4 e A5), três não responderam (A2, A3 e A7) e cinco apresentaram noções equivocadas ou confusas. A maioria deles relacionando ganho de massa por meio de energia (A9, A1, A7 e A6), até citando a equação $E = mc^2$. Como pode-se notar na resposta de A1: “Ao consumirem energia, pela $E=mc^2$.”

Isso pode sugerir uma confusão entre a origem das massas e uma possível definição de massa, uma vez que pode-se utilizar equações da mecânica newtoniana ou da teoria da relatividade de Einstein para definir massa. Mas, independente dessa definição, o que está em discussão é o fato de algumas partículas apresentarem massa e outras não, ou seja, a origem das massas dessas partículas (MOREIRA, 2017).

No questionário posterior a maioria dos alunos passa a apresentar respostas que remetem à origem das massas, sete alunos (A2, A5, A1, A3, A4, A6 e A8) apresentaram a origem das massas devido à interação com o campo de Higgs ou pelo mecanismo de Higgs.

Dois alunos apresentaram noções muito genéricas ou confusas. A9, utiliza uma ideia muito genérica citando a interação com os bósons, mas que bósons seriam esses? Já A7, utiliza apresenta uma noção equivocada, “Através das partículas mediadoras.”, uma vez que o bósons de Higgs não é uma partícula mediadora. Essa ideia de associação com os bósons mediadores pode estar relacionada com a sua terminologia (PINHEIRO; COSTA, 2009).

Com base na análise desses dados, percebe-se que as discussões da oficina ajudaram cinco alunos a apresentarem a origem das massas das

partículas, pois A4 e A5 já apresentavam essa noção antes da oficina e A7 e A9 não apresentaram noções adequadas ao consenso científico após a oficina.

No Quadro 23 serão apresentadas as noções dos alunos em relação aos bósons mediadores.

Quadro 23 – Unitarização dos dados referentes à questão 14

UC14 “Noções a respeito dos bósons mediadores”, que tem o objetivo de reunir fragmentos textuais que identificam as noções dos alunos em relação aos bósons mediadores.		
UR	PRÉVIO	POSTERIOR
UR 14.1 “Noções de acordo com o consenso científico atual”	“Partículas responsáveis pela interação das forças fundamentais, como o fóton é o mediador a força eletromagnética, por exemplo.” (A4) A5 e A3	“São partículas responsáveis pela mediação das interações fundamentais.” (A7) A5, A3, A6, A8, A4 e A9.
Registros	03	07
UR 14.2 “Noção parcialmente correta a respeito do tema”	“São partículas que mediam o processo de decaimento, como o decaimento beta.” (A8) (A9)	“São os bósons W^+ , W^- e Z^0 .” (A2)
Registros	02	01
UR 14.3 “Noções equivocadas/confusas em relação tema”		“São os W^+ , W^- e Z^0 e o fóton que intermediam o decaimento beta.” (A1).
Registros	0	01
UR 14.4 “Desconhece ou não recorda nada em relação ao tema”	“Nunca nem ouvi falar.” (A1)	
Registros	01	0
Não responderam	A2, A7 e A6	
Registros	03	0
Total de registros	9	9

Fonte: a própria autora

A UR 14.5 não obteve registros prévios e posteriores.

Como pode-se perceber no Quadro 20, inicialmente três alunos (A3, A4 e A5) apresentaram noções de acordo com o consenso científico, UR 14.1, remetendo a ideia de partículas responsáveis por mediação das interações fundamentais, como pode-se notar na resposta de A5: “*Partículas elementares que mediam as interações fundamentais*” (A5).

Dois alunos apresentaram noções parcialmente corretas (A8 e A9), UR 14.2. A8 citou os bósons responsáveis pelo decaimento beta e A9 citou que seriam partículas de spin 1, o que não está errado, uma vez que os bósons mediadores, já detectados, possuem spin 1. No entanto, o graviton (mediador da interação gravitacional, ainda não detectado) tem uma previsão teórica de spin igual

a 2.

A1 nunca tinha ouvido falar (UR 14.4) e A2, A7 e A6 não responderam à questão.

No questionário posterior todos os alunos responderam à questão e sete deles (A5, A3, A6, A8, A4, A7 e A9) responderam de acordo com o consenso científico, UR 14.1. Ambos relacionaram com a ideia de partículas mediadoras das interações fundamentais. Eles poderiam ter citado exemplos, porém como o foco da oficina não foi tratar dos bósons mediadores os alunos apresentaram uma resposta genérica.

Isso sugere que se o objetivo é que os alunos passem a expressar um entendimento mais detalhado a respeito dos bósons mediadores das interações eletromagnética, forte, fraca e gravitacional (mesmo que o gráviton ainda seja uma previsão teórica), indica-se que as discussões e atividades a respeito desse assunto sejam mais expressivas.

Ao tratar com mais detalhes a interação fraca e eletrofraca, surgiu na resposta de dois alunos a citação desses bósons. Entretanto, eles citaram apenas essas interações, esquecendo-se das outras, como pode-se perceber nas respostas de A2 e A1.

A2 apresentou uma noção parcialmente correta, UR 14.2, por citar somente os bósons responsáveis pela interação fraca, A1 também cita esses bósons e mais o fóton, porém se confunde, ou se expressou de forma confusa, UR 14.3, quando cita esses bósons como responsáveis pelo decaimento beta, uma vez que os únicos responsáveis pelo decaimento beta são os bósons W.

No Quadro 24 são apresentadas as noções dos alunos a respeito da Teoria de Gauge.

Quadro 24 – Unitarização dos dados referentes à questão 15

UC15 “Noções a respeito da Teoria de Gauge” , que tem o objetivo de reunir fragmentos textuais que identificam as noções dos alunos em relação a Teoria de Gauge.		
UR	PRÉVIO	POSTERIOR
UR 15.1 “Noções de acordo com o consenso científico atual”		“É uma teoria que está compreendida dentro da Teoria de Campos e descreve como são as partículas e os campos e suas interações.” (A8) A5, A3, A4 e A6.
Registros	01	05
UR 15.2 “Noção	“Algo relacionado a Teoria de	“É a ideia de que as simetrias

parcialmente correta a respeito do tema”	Campos.” (A5)	físicas podem ser globais ou locais.” (A7) A2 e A9.
Registros	01	03
UR 15.3 “Noções equivocadas/confusas em relação tema”	“Propomos algum vínculo (um calibre) para que possamos avançar simplificando os cálculos e reduzindo os modelos.” (A9)	“É uma teoria matemática dentro da teoria de grupos.” (A1)
Registros	01	01
UR 15.4 “Desconhece ou não recorda nada em relação ao tema”	“Não conheço a teoria.” (A8) A4 e A1.	
Registros	03	0
Não responderam	A2, A3, A7e A6	
Registros	04	0
Total de registros	9	9

Fonte: a própria autora

A UR 15.5 não obteve registros prévios e posteriores.

Pode-se perceber no quadro acima que no questionário prévio a maioria dos alunos não respondeu (A2, A3, A7, A6) ou não sabia responder (A1, A4 e A8), UR 15.4. A9 apresentou uma resposta confusa e A5 exibiu uma noção parcialmente correta, dizendo ser algo relacionado à Teoria de Campos.

Já no questionário posterior todos os alunos responderam à questão. Uns apresentando um nível de detalhamento mais abrangente, como A8, e outros com respostas gerais, como A5 e A4: “*É uma teoria de grupos dentro da Teoria Quântica de Campos.*” (A5); “*Uma parte da Teoria Quântica de Campos que lida com grupos e com estrutura matemática.*” (A4).

A7, A2 e A9 apresentaram noções parcialmente corretas. Eles apresentaram somente alguns aspectos dessa teoria, como A2 e A9: “*Uma teoria matemática para explicar a interação eletrofraca*” (A9); “*É uma teoria que pode ser aplicada à Teoria de Campos*” (A2).

A1 apresentou uma resposta demasiadamente genérica, dizendo que se tratava de uma teoria matemática inclusa na Teoria de Campos.

Novamente, as ideias apresentadas pelos alunos são gerais. Apenas A8, A6 e A3 citam aspectos específicos dessa teoria. Isso se deve ao fato de que esse assunto foi pouco discutido na oficina, tratou-se dele em aspectos gerais. Assim, sugere-se que, quando o objetivo for abordar esse tópico com mais detalhes, sejam preparadas atividades e discussões que tratem de detalhes dessa teoria.

No Quadro 25 serão tratadas as noções dos alunos em relação à estrutura $SU(2) \times U(1)$.

Quadro 25 – Unitarização dos dados referentes à questão 16

UC16 “Noções a respeito da estrutura $SU(2) \times U(1)$”, que tem o objetivo de reunir fragmentos textuais que identificam as noções dos alunos em relação a estrutura $SU(2) \times U(1)$.		
UR	PRÉVIO	POSTERIOR
UR 16.1 “Noções de acordo com o consenso científico atual”		“O grupo da Teoria Eletrofraca, $SU(2)$ representa a interação fraca, com três geradores (os bósons W^+ , W^- e Z^0) e o $U(1)$ representa a interação eletromagnética com o fóton sendo seu bóson mediador.” (A9) A5, A6, A8, A1, A3 e A4.
Registros	0	07
UR 16.2 “Noção parcialmente correta a respeito do tema”	“Um produto entre dois grupos”. (A5)	“A Teoria de Gauge. (A7)
Registros	01	01
UR 16.3 “Noções equivocadas/confusas em relação tema”	“O produto tensorial das transformações unitárias em 2D com o grupo $U(1)$.” (A9)	
Registros	01	0
UR 16.4 “Desconhece ou não recorda nada em relação ao tema”	“Nunca estudei essa estrutura.” (A8) A1 e A4.	
Registros	03	0
Não responderam	A2, A3, A7 e A6	A2
Registros	04	01
Total de registros	9	9

Fonte: a própria autora

A UR 16.5 não obteve registros prévios e posteriores.

No questionário prévio a maioria dos alunos ou não respondeu (A2, A3, A7 e A6) ou não sabia responder (A8, A1 e A4), UR 16.4. A9 apresentou uma noção confusa (UR 16.3) e A5 respondeu de forma genérica dizendo ser o produto entre dois grupos, o que não deixa de estar certo, mas não é suficiente para caracterizar a resposta na UR 16.1.

No questionário posterior apenas A2 não respondeu à questão.

Dos demais, sete deles apresentaram uma noção de acordo com o consenso científico (A5, A6, A8, A1, A3, A4 e A9). A9 apresentou a resposta mais detalhada dessa unidade, enquanto A6 apresentou uma resposta menos detalhada, “*Vem da teoria de Grupos e determina os campos geradores*” (A6), porém de acordo com o consenso científico.

A3, A4 e A1 citam essa estrutura como representante da interação eletrofraca ou da unificação das interações fraca e eletromagnética: “A estrutura matemática da interação eletrofraca, com quatro bósons de interação, ou mediação.” (A4); “Uma estrutura matemática unindo as interações fracas regidas por $SU(2)$ e as interações eletromagnéticas regidas por $U(1)$.” (A1).

A8 cita que são grupos que determinam os geradores da interação fraca e eletromagnética: “É uma estrutura vindo da teoria de grupos e ela determina os geradores da interação ($SU(2)$ fraca; $U(1)$ eletromagnética).” e A5 responde que são grupos que indicam o número de geradores, mas não especifica se são de alguma interação: “ $SU(2)$ significa 3 geradores [$n(SU(n)) = n^2 - 1$], e $U(1)$ significa 1 gerador [$n(U(n))=n$].”

A7 responde de maneira genérica, indicando que se trata da Teoria de Gauge, porém não dá detalhes a respeito disso.

Com base nesses dados, pode-se inferir que as discussões da oficina ajudaram sete alunos a apresentarem uma noção a respeito da estrutura $SU(2) \times U(1)$, adequada ao consenso científico. E em relação ao significado físico dessa estrutura, percebe-se que três alunos (A9, A1 e A8) relacionaram a estrutura $SU(2)$ à interação fraca e a estrutura $U(1)$ à interação eletromagnética. Isso pode ser encarado como o aprimoramento de um subsunçor, uma vez que agora podem usar mais uma definição na descrição dessas interações. No entanto, ao cruzar os dados obtidos até agora, A3 foi o único a utilizar essas estruturas para descrever essas interações nas questões 08 e 09, enquanto nessa questão A3 aborda a estrutura $SU(2) \times U(1)$ em sua totalidade, representando a interação eletrofraca, e não de forma separada. Assim, mantém-se como hipótese de que houve a reconciliação integradora, uma vez que a resposta dessa questão não indica o contrário.

No Quadro 26 são apresentadas noções dos alunos a respeito da unificação de teorias científicas.

Quadro 26 – Unitarização dos dados referentes à questão 17

UC17 “Noções a respeito da unificação de teorias científicas” , que tem o objetivo de reunir fragmentos textuais que identificam as noções dos alunos em relação a unificação de teorias científicas.		
UR	PRÉVIO	POSTERIOR
UR 17.1 “Noções de acordo com o consenso científico atual”	“Significa agrupar teorias que se complementam. Elas fazem sentido separadas, mas juntas formam um conhecimento	“Resumidas em redutora e sintética. Na redutora estão ligadas e são correlacionadas diretamente. Na sintética são correlacionadas, mas

	maior.” (A6) A8, A4, A5, A3, A1, A2 e A7.	comportam-se isoladamente. (A8) A2, A5, A3, A4, A7 e A1.
Registros	08	07
UR 17.3 “Noções equivocadas/confusas em relação tema”	“As teorias vigentes não invalidam outra no “range” em que uma é válida.” (A9)	“Significa delimitar subsunçores entre duas teorias existentes, de modo a explicar mais fenômenos e, com isso, uma nova fundamentação teórica.” (A6) A9.
Registros	01	02
Total de registros	09	09

Fonte: a própria autora

As unidades UR 17.2, UR 17.4 e UR 17.5 não obtiveram registros prévios e posteriores.

No que se refere à relação da unificação de teorias científicas, percebeu-se que os alunos, em sua maioria, já tinham noções adequadas ao consenso científico. No entanto, pode-se perceber que as discussões da oficina a respeito desse assunto não ajudaram A9, que apresentou uma noção confusa em ambos os questionários. Já no caso de A6 o resultado foi negativo, pois o mesmo passou de uma noção de acordo com o consenso científico para uma noção confusa.

Dentre os resultados positivos, é possível perceber que A3 e A7 passam a falar a respeito de uma única estrutura matemática que descreve as teorias unificadas: “*É a unificação de teorias distintas e uma mesma estrutura matemática.*” (A3); “*Uma teoria que procuraria explicar todas as outras em uma só estrutura.*” (A7). Já A6 cita as possibilidades de unificações redutoras e sintéticas, características essas apresentadas na oficina.

Pode-se perceber que em casos em que os alunos já possuem uma noção adequada ou parcialmente adequada em relação ao conteúdo, os resultados obtidos por meio da abordagem didática não são muito expressivos. Isso poderia ser diferente caso o foco da abordagem fosse especificamente o conceito de unificação de teorias. No caso dessa abordagem, o foco se manteve no processo histórico que envolveu a unificação eletrofraca, mas não no conceito de unificação em si. Esse conceito foi abordado ao final da oficina para discutir os tipos de unificação e algumas características desses processos com exemplificação do caso da Teoria Eletrofraca.

No Quadro 27 são apresentadas as noções dos alunos a respeito da Teoria Eletrofraca.

Quadro 27 – Unitarização dos dados referentes à questão 18

UC18 “Noções a respeito da Teoria Eletrofraca”, que tem o objetivo de reunir fragmentos textuais que identificam as noções dos alunos em relação a Teoria Eletrofraca.		
UR	PRÉVIO	POSTERIOR
UR 18.1 “Noções de acordo com o consenso científico atual”		“Foi desenvolvida através da união de conceitos pré-existentes na teoria eletromagnética e fraca, além de novas adequações com experimentos que trouxeram à tona conceitos como a corrente neutra, violação da paridade, bósons W^+ , W^- e Z^0 , bem como uma formulação matemática adequada.” (A6) A5, A4 e A3.
Registros	0	04
UR 18.2 “Noção parcialmente correta a respeito do tema”		“Com o problema da paridade a Teoria de Fermi não era mais válida. Com a Teoria de Gauge isso foi explicado e esta teoria previu correntes neutras e os três bósons da interação fraca que precisavam de comprovação experimental. A comunidade científica se reuniu para realizar os experimentos necessários e conseguiram comprovar experimentalmente a existência das correntes neutras e dos bósons mediadores.” (A9) A1, A8 e A2.
Registros	0	04
UR 18.3 “Noções equivocadas/confusas em relação tema”	“A Teoria Eletrofraca fala da interação atômica dada através de campos elétricos.” (A7)	“Foi desenvolvida através de problemas encontrados na simetria de decaimento, que com a criatividade dos cientistas veio a ser corroborada através de experimentos.” (A7)
Registros	01	01
UR 18.4 “Desconhece ou não recorda nada em relação ao tema”	“Não sei.” (A1) A4 e A5.	
Registros	03	0
Não responderam	A8, A9, A2, A3 e A6.	
Registros	05	0
Total de registros		

Fonte: a própria autora

A UR 18.5 não obteve registros prévios e posteriores.

No questionário prévio nenhum dos alunos apresentou uma noção a respeito da Teoria Eletrofraca que fosse adequada ao consenso científico, UR 18.1. Cinco alunos não responderam (A8, A9, A2, A3 e A6) e três assumiram não saber nada a respeito (A1, A4 e A5), UR 18.4. A7 tentou responder, mas apresentou uma noção equivocada a respeito do assunto, UR, 18.3.

Já no questionário posterior quatro alunos passaram a apresentar uma noção de acordo com o consenso científico (A5, A3, A4 e A6), UR 18.1. Desses, A5 apresenta uma resposta genérica, no entanto leva em consideração aspectos epistemológicos: *“Através da percepção de que possuíam aspectos em comum, contudo, isso ocorre dentro de um processo histórico não linear, pois à primeira vista, elas nada têm em comum.”* (A5). Enquanto A6 e A3 apresentaram respostas mais detalhadas, como pode-se notar na resposta de A6, no quadro acima e de A3: *“Através da colaboração de toda uma comunidade científica, composta tanto por teóricos, quanto por experimentais. A motivação para a criação desta teoria surgiu da incapacidade da Teoria de Fermi de explicar a paridade do produto de decaimento das partículas θ e τ . No que segue, físicos teóricos propuseram várias hipóteses que foram testadas em laboratórios, tal como a violação da conservação da paridade nas interações fracas. Muitos físicos teóricos e matemáticos trabalharam para estruturar a Teoria Eletrofraca em uma base matemática sólida (Teoria de Gauge). Para a corroboração da teoria, algumas de suas consequências foram testadas em laboratório, tal como a existência de correntes neutras, a não conservação da paridade em átomos e a existência dos bósons W^+ , W^- e Z^0 .”* (A3).

É relevante citar que tanto A6 quanto A3 e A4 expressam em suas respostas tanto os desenvolvimentos teóricos, quanto os experimentais necessários para a elaboração dessa teoria. Isso pode sugerir que perceberam a relevância de ambos os aspectos para esse desenvolvimento científico. A4 cita as tentativas de renormalização, a estrutura que explica os quatro bósons e a compatibilidade das previsões teóricas com os experimentos.

Ainda em relação aos aspectos epistemológicos, A5 fala que a elaboração da teoria se tratou de um processo histórico não linear, fator relevante na apresentação de um conteúdo, uma vez que o conhecimento científico não é fruto de um crescimento linear, puramente acumulativo (PÉREZ *et al.*, 2001). Por isso a relevância de mostrar como os conhecimentos foram alcançados, apresentar as confrontações entre teorias rivais, as controvérsias científicas e os problemas encontrados. A3, em sua resposta cita as várias hipóteses estudadas e A4 fala das tentativas de unificação das teorias e da renormalização.

A4: *“Com a comprovação da violação da paridade em interações fracas, a Teoria de Fermi precisou ser reformulada. Nessa reformulação, alguns perceberam que a natureza vetorial das interações eletromagnéticas e*

fracas eram compatíveis. A partir daí, buscou-se (sem sucesso por um tempo) unificar as duas interações. Após muitas tentativas, que falharam na renormalização após a inserção manual de massas não aceitas pela Teoria de Gauge, conseguiu-se elaborar uma estrutura que gerava quatro bósons de interação e era compatível com os experimentos.”

Quatro alunos apresentaram noções parcialmente corretas (A1, A2, A8 e A9), UR 18.2, nas quais desconsideraram os aspectos teóricos e somente citaram os aspectos experimentais, apresentaram respostas genéricas ou alguma imprecisão, como é o caso de A1, A2 e A8 que apresentam respostas genéricas: “*Através de décadas de desenvolvimento teórico e diversos experimentos procurando evidências das partículas que comprovariam a teoria.*” (A1); “*Foi desenvolvida a partir de uma série de acontecimentos, que vinham a fim de investigar comportamentos naturais ainda não explicados. Logo notou-se uma relação entre as interações eletromagnéticas e a fraca, constando que essas duas estavam relacionadas.*” (A8); “*Seguindo os seguintes passos: violação da paridade, detecção das correntes neutras e detecção dos bósons vetoriais.*” (A2)

A9 apresentou uma imprecisão em sua resposta ao afirmar que a Teoria de Gauge previu teoricamente as correntes neutras e os bósons mediadores, uma vez que a previsão das correntes neutras foi feita pela Teoria Eletrofraca.

A7 permaneceu com sua noção equivocada em relação ao assunto, UR 18.3, a não ser que se arrisque a dizer que ele se referia a problemas de simetria no decaimento beta. Mas, como não é exatamente isso que consta em sua resposta, não pode-se afirmar que ele se referia ao decaimento beta. No entanto, um item relevante que aparece na resposta de A6 é a criatividade dos cientistas na elaboração da teoria, reforçando a ideia de que ele assume a relevância da criatividade no trabalho científico, como abordado na questão 05.

Ao analisar as respostas do questionário posterior, percebe-se que quatro dos alunos (A3, A6, A2 e A9) citam em suas respostas eventos relacionados aos três experimentos simulados computacionalmente, enquanto somente A3 cita o experimento relacionado à violação da paridade em átomos, que foi comentado na oficina, mas não foi simulado computacionalmente. Isso pode sugerir que o fato de terem realizado as simulações ajudou a lembrarem dos três experimentos e não dos quatro, uma vez que não realizaram nenhuma atividade relacionada ao experimento que não foi simulado. Assim, as simulações dos experimentos, por permitirem a participação ativa dos alunos, podem ter influenciado na aprendizagem dos assuntos

tratados (FIGUEIRA, 2005).

Como a maioria dos conceitos científicos abordados nas unidades didáticas da oficina era novidade para os alunos, ou seja, era a primeira vez que discutiam o assunto ou não lembravam das discussões que já presenciaram a respeito, pode-se dizer que as discussões e atividades da oficina permitiram um primeiro contato e ofereceram aos estudantes a oportunidade de assimilação de conteúdos que podem se tornar subsunçores para aprendizagens futuras, uma vez que a maioria deles passou a apresentar noções adequadas ou parcialmente adequadas em relação aos conteúdos abordados.

Na próxima seção serão apresentados os dados e inferências a respeito das elaborações dos diagramas de Gowin e com isso espera-se identificar como os alunos estruturaram os novos conhecimentos e também evidenciar possíveis indícios de Aprendizagem Significativa, por meio da organização dos conteúdos e da reconciliação integradora.

6.3 ANÁLISE DOS DIAGRAMAS DE GOWIN

Os alunos realizaram a elaboração de cinco Vês de Gowin no decorrer da oficina de pesquisa, o primeiro deles foi com objetivo de familiarização com o novo instrumento, os três próximos foram a respeito dos experimentos históricos, simulados computacionalmente, e por último eles elaboraram um V de Gowin para a questão: Como ocorreu o desenvolvimento da Teoria Eletrofraca?

A seguir é feita a análise dessas cinco elaborações, começando pelo V inicial, V1. No Quadro 28 serão apresentados os registros em cada UC e UR, para o primeiro diagrama elaborado e em seguida serão apresentados exemplares dos diagramas e as discussões a respeito desses resultados.

Quadro 28 – Unitarização dos diagramas de Gowin referentes ao primeiro V de Gowin elaborado pelos alunos

UC19 “ Domínio teórico-conceitual do V de Gowin ” tem por objetivo reunir os diagramas para análise dos elementos epistemológicos do lado esquerdo do V de Gowin.	
UR	V1
UR19.1 “Apresenta corretamente todos os elementos epistemológicos, teoria, princípios e conceitos”	A3, A4, A5.
UR19.2 “Apresenta corretamente, pelo menos, dois dos elementos epistemológicos, teoria, princípios e conceitos”	A6, A2, A9, A1, A7
UR19.3 “Apresenta corretamente apenas um dos elementos epistemológicos, teoria, princípios e conceitos”	A8

UR19.4 “Apresenta todos os elementos epistemológicos, teoria, princípios e conceitos, porém com erros conceituais”	A7
UR19.5 “Apresenta elementos epistemológicos, mas cita poucos exemplos em cada um”	A5, A6, A2, A3, A4.
Total de Registros	13
UC20 “ Questão-foco e eventos/acontecimentos do V de Gowin ” tem por objetivo reunir os diagramas para análise da relação entre questão foco e eventos/acontecimentos.	
UR	V1
UR20.1 “Questão-foco e eventos/acontecimentos estão corretamente relacionados”	A5, A3, A8, A1, A2, A4.
UR20.2 “Não apresenta corretamente a questão foco”	A7, A6, A9.
UR20.3 “Não apresenta corretamente os eventos/acontecimentos”	A1
UR20.4 “Questão-foco e eventos/acontecimentos não estão corretamente relacionados”	A2, A4.
Total de registros	09
UC21 “ Domínio Metodológico do V de Gowin ” tem por objetivo reunir os diagramas para análise dos elementos epistemológicos do lado direito do V.	
UR	V1
UR21.2 “Apresenta corretamente somente três dos elementos epistemológicos”	A5, A7, A3, A9, A8, A4, A1, A2.
UR21.3 “Apresenta corretamente somente dois dos elementos epistemológicos”	A6
UR21.4 “Apresenta corretamente somente um dos elementos epistemológicos”	A8
Total de registros	10

Fonte: a própria autora

As unidades UR 20.5 e UR 21.1 não obtiveram registros.

O número de registros, em alguns casos, é maior do que o número de participantes pelo motivo de que alguns diagramas são exemplares de mais de uma UR.

No primeiro diagrama, denominado V1, apenas três alunos elaboraram diagramas que apresentavam corretamente todos os elementos epistemológicos do domínio teórico-conceitual, no entanto, poderiam melhorar em alguns aspectos. Por exemplo, alguns citaram poucos conceitos e princípios, outros citaram um número razoável de conceitos, mas nos princípios esses conceitos não estavam relacionados. Como exemplar, na Figura 24 é apresentado o V de Gowin do aluno A5.

Como pode-se perceber, o aluno cita várias teorias, inclusive mais do que aquelas presentes no texto. Porém, cita poucos exemplos de conceitos e princípios e apresenta um princípio com conceitos não citados no elemento epistemológico “conceitos”. Dentre os alunos, como o A5, que citaram poucos exemplos e não exploraram todas as possibilidades que estavam indicadas no texto, estão mais dois alunos, cujos diagramas ficaram unitarizados na UR 19.1.

Figura 24 – Exemplar do V de Gowin elaborado pelo aluno A5

A5

Nome Completo: _____

Teorias: Teoria eletromagnética, teoria da força fraca, teoria atômica, álgebra linear, teoria de grupos (simetria), mecânica quântica, análise real (possivelmente complexa também), álgebra elementar.

Princípios: Quebra espontânea de simetria ser local. Interações não mediadas por partículas (bósons)

Conceitos: Interação física, bósons (mediadores de interação)

É possível unificar forças eletromagnéticas e força fraca?

Unificação de valores: Evoluiu a compreensão física da natureza. Foi um passo importante para a modelagem padrão.

Unificação de conhecimentos: Sim, foi possível unificar as forças fraca e eletromagnéticas.

Transformação: As predições matemáticas da teoria passaram por testes com sucesso. Interpretar-se que os bósons encontrados sustentam a hipótese de que forças eletromagnéticas e fraca se unificam.

Experimentos: É possível uma formulação matemática sólida e preditiva. Foram encontradas os bósons mediadores da suposta interação eletrofraca.

Acontecimentos: A hipótese da quebra espontânea de simetria ser local. Uma formulação matemática sólida (1971). Experimentos com Gargamell⁽¹⁹⁶¹⁾. Experimentos que detectaram W^+ , W^- (1983).

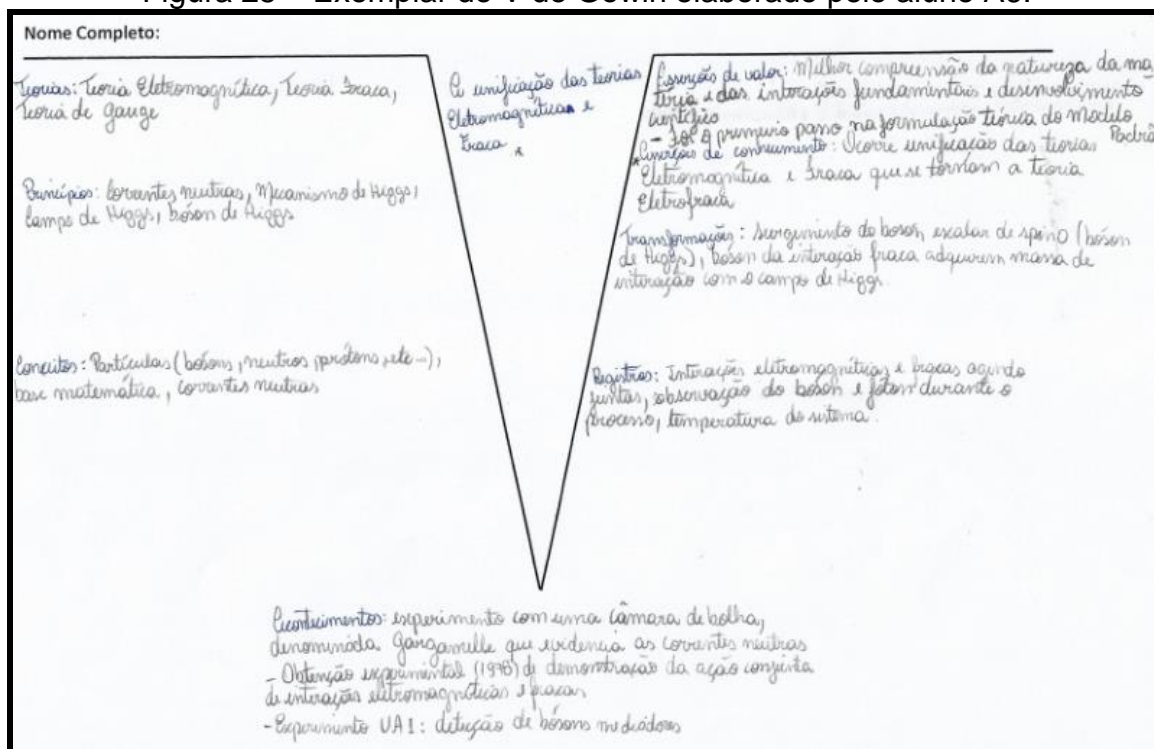
Fonte: A5

Houve também aqueles que apresentaram um dos elementos epistemológicos de forma errada, UR 19.2. Dentre esses erros estão: não definem os princípios (A6), como pode ser notado na Figura 25, utilizam princípios nos conceitos (A2) ou conceitos em teorias (A9, A1).

A Figura 25 também serve de exemplar para discussão de como os alunos identificaram a questão-foco e eventos/acontecimentos do V de Gowin. No caso, essa figura representa os casos em que os alunos não apresentam corretamente a questão-foco, nos quais se configurou quando os alunos não deixaram esse elemento em forma de questão. Além de A6, outros dois diagramas dos alunos (A7 e A9) também se enquadram nessa unidade, UR 29.2.

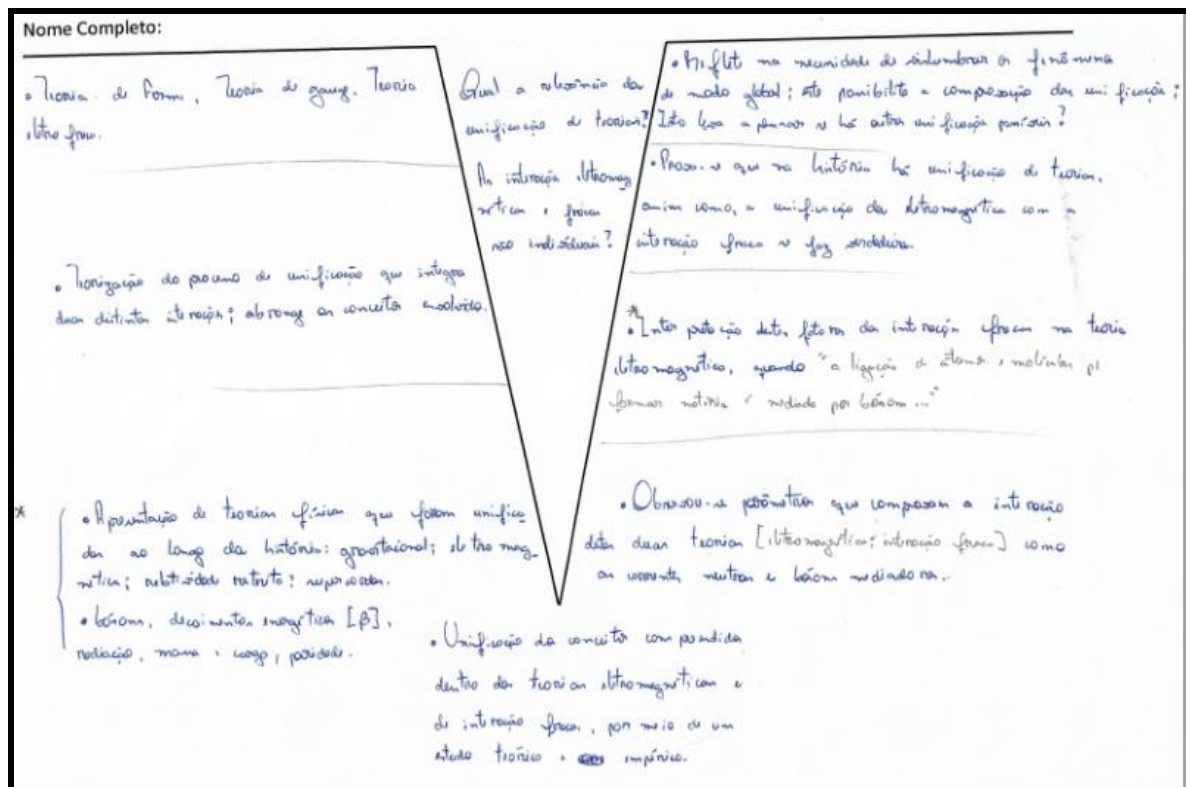
Um dos alunos apresentou somente um dos elementos epistemológicos corretamente, a teoria, como pode ser notado na Figura 26. E um deles apresentou os elementos epistemológicos, mas apresentou erro conceitual ao colocar entre as teorias o termo Lei de Gauge, A7.

Figura 25 – Exemplo do V de Gowin elaborado pelo aluno A6.



Fonte: A6

Figura 26: Exemplo do V de Gowin elaborado pelo aluno A8



Fonte: A8

Os outros seis alunos apresentaram corretamente a questão-foco,

porém dois deles não correlacionaram corretamente a questão-foco e os eventos/acontecimentos. Por exemplo, o aluno A4, colocou como questões-foco as seguintes: “*O que é a Teoria Eletrofraca?*” e “*De onde ela surge?*” e como eventos/acontecimentos ele colocou o seguinte: “*Violação da conservação de paridade nas interações fracas*”. Percebe-se que ele colocou duas questões e que os eventos/acontecimentos selecionados por ele para tentar solucionar as duas questões não são suficientes para tentar respondê-las. Entende-se que ele sugere que a Teoria Eletrofraca surge dos questionamentos a respeito da conservação da paridade nas interações fracas, mas da forma que ele descreveu esse elemento do V, se caracterizaria mais como uma asserção de conhecimento, uma vez que seria uma possível resposta para uma das suas questões. Já a primeira questão sugerida pelo aluno fica sem nenhum evento que possa ajudar a respondê-la.

Um deles, A1, não apresentou corretamente os acontecimentos, pois descreveu os eventos/acontecimentos e registros como se fossem a mesma coisa.

A Figura 26 também pode ilustrar um caso das unidades a respeito do Domínio Metodológico do V de Gowin, que nesse caso representa a unidade UR 21.4, na qual o aluno apresenta corretamente apenas um dos elementos epistemológicos entre registros, transformações, asserções de conhecimento e de valor. No caso da figura, é possível perceber que os elementos registros, transformações e asserções de conhecimento estão descritos de maneira confusa e com erros conceituais, além de sua asserção de conhecimento não responder claramente às questões-foco propostas.

Oito alunos apresentaram somente três dos elementos epistemológicos, do domínio metodológico, corretamente (A5, A7, A3, A9, A8, A4, A1 e A2). Isso pode ser notado, como exemplo, na Figura 25, na qual o aluno A5 apresenta de forma equivocada os registros.

A6 apresenta corretamente apenas dois dos elementos epistemológicos do domínio metodológico, as asserções de valor e conhecimento, como pode ser notado na Figura 26, apresentada anteriormente.

Essa elaboração inicial do V de Gowin, pela análise dos dados, sugere que os alunos apresentaram dificuldades para entender todos os elementos epistemológicos, embora todos tenham se empenhado em descrever todos eles. As principais falhas apresentadas foram: não descrever os conceitos no elemento

epistemológico princípios, não deixar a questão-foco em forma de questão, quando indicam mais de uma questão-foco geralmente não respondem satisfatoriamente às duas nas asserções de conhecimento e na maioria dos casos também percebe-se que não conseguiram extrair do texto todas as possibilidades que poderiam ser descritas nos elementos epistemológicos.

Um ponto relevante dessas elaborações foi a compreensão do elemento asserção de valor, no qual os alunos julgam o valor da investigação e das respostas encontradas, que em todos os casos foi descrito corretamente.

Para a primeira experiência com o V de Gowin de todos os alunos, esse primeiro contato se deu como satisfatório, pois a aprendizagem dos conteúdos se deu em paralelo com a aprendizagem do V de Gowin, e assim como tal ela é progressiva.

No Quadro 29 são apresentadas as unitarizações dos diagramas referentes à simulação computacional do experimento que estuda o comportamento da paridade nas interações fracas, denominado Exp. 1 para as análises.

Quadro 29 – Unitarização dos diagramas de Gowin referentes ao V de Gowin elaborado após a simulação computacional do Exp. 1

UC19 “ Domínio teórico-conceitual do V de Gowin ” tem por objetivo reunir os diagramas para análise dos elementos epistemológicos do lado esquerdo do V de Gowin.	
UR	V Exp. 1
UR19.1 “Apresenta corretamente todos os elementos epistemológicos, teoria, princípios e conceitos”	A5, A3, A4, A8, A9
UR19.2 “Apresenta corretamente, pelo menos, dois dos elementos epistemológicos, teoria, princípios e conceitos”	A7, A6
UR19.3 “Apresenta corretamente apenas um dos elementos epistemológicos, teoria, princípios e conceitos”	A1
UR19.5 “Apresenta elementos epistemológicos, mas cita poucos exemplos em cada um”	A2, A1
Total de Registros	10
UC20 “ Questão-foco e eventos/acontecimentos do V de Gowin ” tem por objetivo reunir os diagramas para análise da relação entre questão foco e eventos/acontecimentos.	
UR	V Exp. 1
UR20.1 “Questão-foco e eventos/acontecimentos estão corretamente relacionados”	A5, A3, A4, A1
UR20.2 “Não apresenta corretamente a questão foco”	A7, A9, A6, A8
UR20.4 “Apresenta corretamente a questão-foco e eventos/acontecimentos, mas não considera todas as possibilidades”	A2
Total de registros	09
UC21 “ Domínio Metodológico do V de Gowin ” tem por objetivo reunir os diagramas para análise dos elementos epistemológicos do lado direito do V.	
UR	V Exp. 1
UR21.1 “Apresenta corretamente todos os elementos epistemológicos, registros, transformações, asserções de conhecimento e de valor”	A5, A3, A9, A6, A1, A8
UR21.2 “Apresenta corretamente somente três dos elementos epistemológicos”	A7, A2, A4

Total de registros

09

Fonte: a própria autora

As unidades UR 19.4, UR 20.3, UR 20.5, UR 21.3, UR 21.4 e UR 21.5 não obtiveram registros.

Como pode-se perceber na elaboração do V de Gowin, para o experimento que buscou evidenciar o comportamento da paridade nas interações fracas, a maioria dos alunos apresentou corretamente todos os elementos epistemológicos do V (UR 19.1, UR 20.1 e UR 21.1), com exceção da questão-foco que para o primeiro experimento teve quatro alunos apresentando esse elemento de maneira equivocada. O motivo é o mesmo do caso do V1, onde os alunos esqueceram de colocar a questão-foco na forma de questão. Como exemplar das unidades citadas acima, na Figura 27 é exibido o diagrama de A3.

Figura 27 – Exemplar do V de Gowin elaborado pelo aluno A3

Nome Completo:

Teorias: Teoria de Fermi.

Princípios: Para que haja conservação de paridade é necessário que a emissão de partículas beta ocorra em igual quantidade em todas as direções.

- A Teoria de Fermi não explica a paridade do decaimento das partículas β e $\bar{\beta}$.
- As técnicas de Criogenia e espectroscopia beta podem ser combinadas para testar se a conservação de paridade é quebrada ou não na interação fraca.

Conceitos

- Paridade
- decaimento das partículas β e $\bar{\beta}$
- Criogenia
- Espectroscopia beta

Questão Foco:

A paridade é conservada na interação fraca?

Aserções de valor: Este resultado é relevante para nos revelar informações sobre a natureza da interação fraca. Este experimento possibilitou posteriormente a unificação da interação eletromagnética e fraca.

Aserções de conhecimento: A resposta para a questão-foco é: Não.

Transformações: Caso o número de partículas emitidas seja igual em todas as direções, a paridade é conservada. Caso não sejam iguais, há a violação da conservação de paridade na interação fraca.

Registros: Mediremos o número de partículas beta emitidas em duas direções de acordo com a polarização da amostra.

Acontecimentos: Para responder à questão utilizaremos de um simulador para simular o experimento de C.S. Wu et al. No simulador, montamos o aparato experimental, polarizamos a amostra, detectamos as partículas beta e analisamos os dados através de perguntas.

Fonte: A3

A3 identifica como teorias a *Teoria de Fermi*, que era a teoria conhecida na época para descrever os processos de decaimento beta, a teoria que, até o experimento ser realizado, ajudava na previsão e explicação dos fenômenos.

A8, A2, A6 e A7 também citam a Teoria de Fermi e outra teoria citada foi a Teoria Eletromagnética, citada por A5, A8, A9, A2, A4, A6 e A7.

Entre os conceitos A3 cita a *paridade*, *decaimento das partículas θ e τ* , *criogenia* e *espectroscopia beta*. Ele explora todos esses conceitos no elemento princípios. Poderiam ter sido citados mais conceitos e princípios, uma vez que o experimento envolve técnicas e equipamentos diferentes e que poderiam ser apresentados. Mas, tomou-se como satisfatório quando os alunos citam mais de três exemplos, pois é possível perceber quais conceitos e princípios eles acharam relevantes para entender o fenômeno estudado.

Como evento/acontecimento, A3 registra que para responder à questão-foco ele vai utilizar um simulador para simular o experimento original, no qual ele monta o aparato experimental, polariza a amostra, detecta as partículas beta e analisa os dados por meio das perguntas contidas na simulação computacional. Assim como o evento/acontecimento, a questão-foco também está disposta da forma correta e o acontecimento registrado por A3 está diretamente relacionado com sua questão-foco.

Por meio dos acontecimentos A3 anotou como registros o número de partículas emitidas em ambas as direções de polarização e, de acordo com os princípios anotados na parte teórico-conceitual do V, ele fez a transformação dos registros, colocando como condição para a conservação da paridade o caso em que a emissão fosse homogênea em todas as direções.

Assim, obteve a resposta para a questão-foco e indicou como asserções de valor o fato desse resultado revelar informações a respeito da natureza das interações fracas e também possibilitar a unificação das interações eletromagnéticas e fracas. Nesse caso, percebe-se que A3 indica a relevância desse resultado e uma possível consequência, no entanto, ele se adianta ao falar da unificação das interações, uma vez que essa hipótese foi levada a sério após a reformulação da Teoria de Fermi para conseguir explicar a violação da paridade.

Um fator interessante das asserções de valor citadas pelos alunos é que apareceu na resposta de dois deles, A5 e A7, indicações de que levaram em consideração as explicações dadas nas simulações, pois na última tela da simulação fala-se um pouco a respeito das implicações desse resultado e cita-se a hipótese do “fóton pesado” e nas respostas desses alunos aparece a referência a esse fóton.

Outros alunos, A4 e A9, colocaram entre as asserções de valor o fato de que a Teoria de Fermi, que antes era o que se tinha para descrever os fenômenos de decaimento, não conseguia explicar a violação da paridade e precisava ser revista. A6 indicou que o experimento gerava um novo estudo a respeito das interações fracas, A6 e A8 falam que o experimento serviu como evidência da violação da paridade nas interações fracas e A5 e A1 citam como asserções de valor uma melhor compreensão da natureza dessas interações.

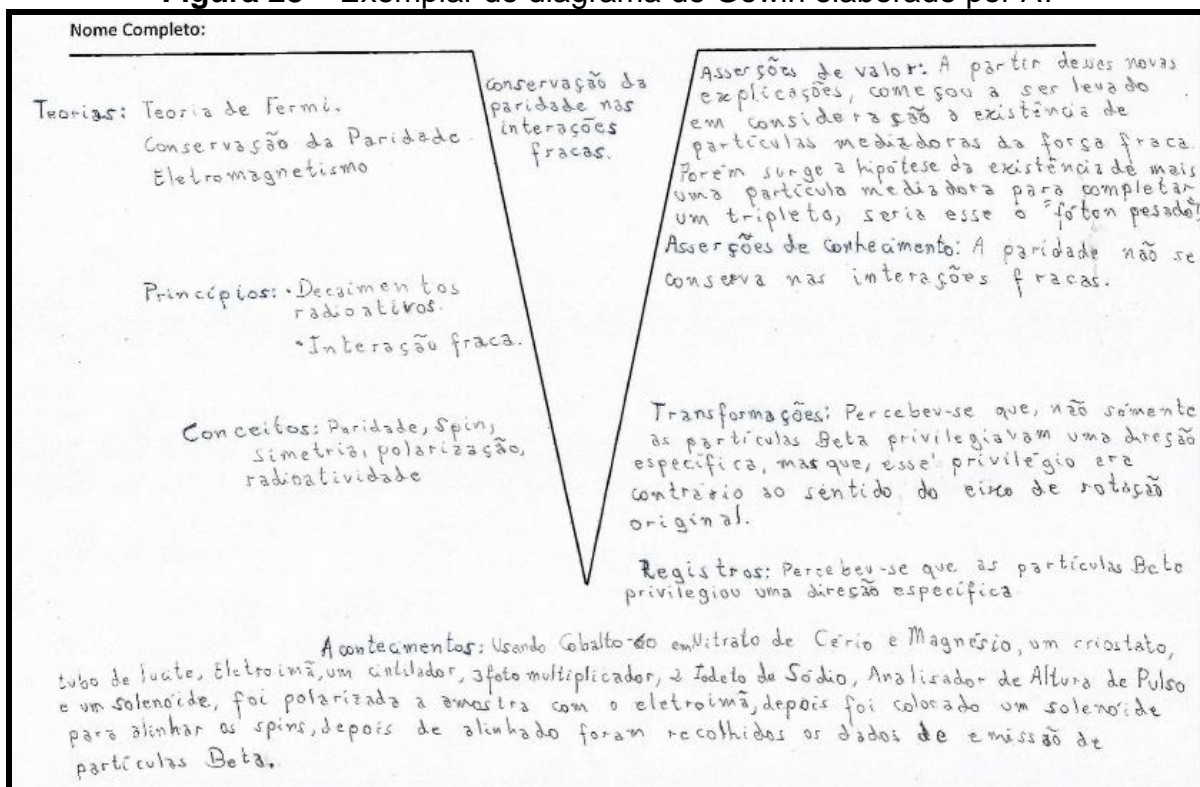
Percebe-se que os alunos identificaram nas asserções de valor, as consequências e relevâncias do experimento e dos resultados experimentais, indicando entenderem que a solução de um problema pode levar a outros, uma vez que A8, A5, A7, A6 e A4 indicam possíveis rumos para uma próxima investigação. Isso se aproxima do que Novak e Gowin (1984) chamam de um “desfile de Vs”, no qual um novo conhecimento, que nesse caso é a evidência da violação da paridade nas interações fracas, contribui com novos conceitos, princípios e teorias, levando a uma nova investigação.

Esse era um dos objetivos das simulações em conjunto com as três Unidades Didáticas, planejou-se que as simulações fizessem parte de um caminho que conduziria a próximas questões, a novas discussões, que por sua vez conduziram a outra simulação e assim por diante até o término da abordagem, representando a dinâmica da construção do conhecimento científico.

Dentre as imprecisões na elaboração do V de Gowin para essa atividade, pôde-se notar as seguintes: não apresentaram corretamente a questão-foco (A7, A9, A6, A8); apresentam os princípios de forma errada (A6 e A7); apresentam teoria e conceitos de forma errada (A1); apresentam poucos exemplos de princípios e conceitos (A1 e A2); apresentam os registros de forma equivocada (A5, A4 e A7); apresentam as transformações de forma equivocada (A8 e A2).

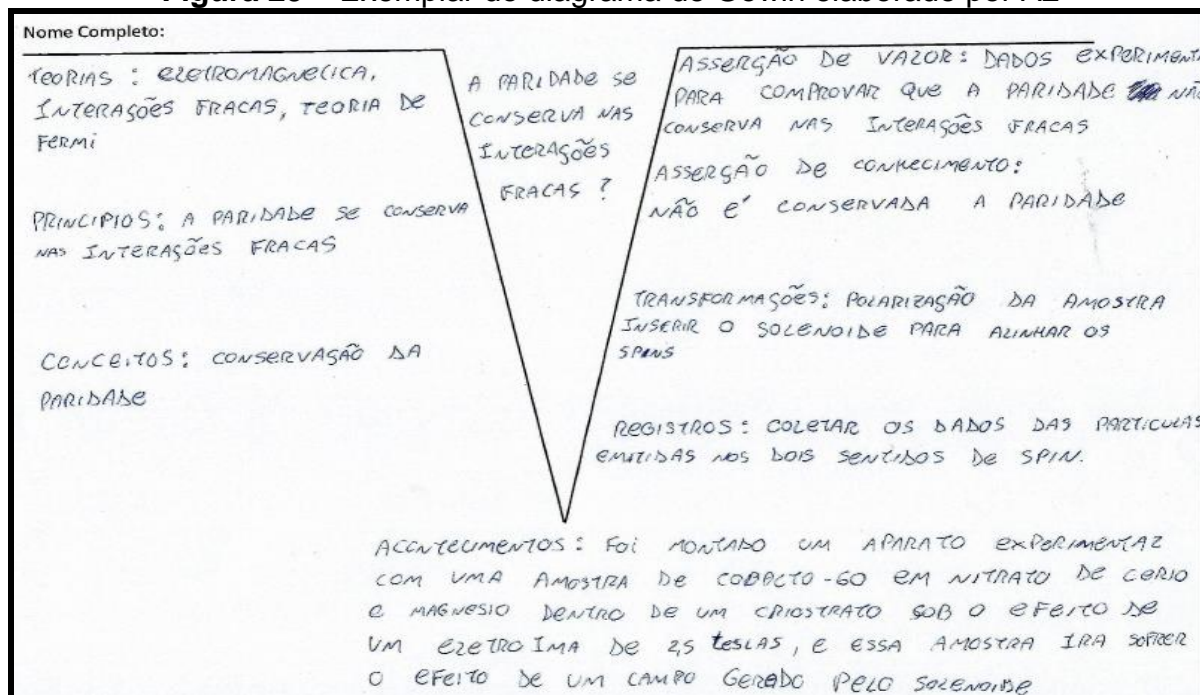
Nas Figuras 28 e 29 são apresentados diagramas exemplares dessas imprecisões. Na Figura 28 percebe-se que a questão-foco não está na forma de questão, os princípios estão apresentados como conceitos e nos registros percebe-se que o aluno já fez uma anotação referente ao que seria uma transformação dos registros, pois envolve uma interpretação dos dados obtidos, não apresentados no diagrama.

Figura 28 – Exemplar do diagrama de Gowin elaborado por A7



Fonte: A7

Figura 29 – Exemplar do diagrama de Gowin elaborado por A2



Fonte: A2

Na Figura 29 é possível perceber que A2 cita poucos exemplos de princípios e conceitos que poderiam auxiliar no entendimento e execução do

experimento. Além disso, ele descreve os acontecimentos de uma forma que não é possível identificar um meio de responder à questão-foco. Outro equívoco presente no diagrama é como descreveu as transformações, pois não se trata de uma atividade baseada nos registros e com potencial para ajudar a chegar na resposta da questão-foco.

Ao analisar os diagramas dessa atividade, como um todo, infere-se que, mesmo com as imprecisões, os alunos conseguiram utilizar o texto de consulta para as simulações e as simulações para responder se a paridade se conserva ou não nas interações fracas. Assim, chegaram à conclusão, com o desenvolver da atividade de exploração da simulação computacional desse experimento, que a paridade não se conserva nas interações fracas e que esse resultado, além de promover um melhor entendimento das interações fracas, implica em reformulações da Teoria de Fermi e novos estudos relacionados à interação fraca. Dessa forma, entende-se que as simulações cumpriram seu papel e que a parte teórico-conceitual do diagrama precisava de mais atenção para se relacionar devidamente com a parte metodológica.

No Quadro 30 são apresentadas as unitarizações dos diagramas referentes à simulação computacional do experimento que procurava evidências das correntes neutras, denominado Exp. 2 para as análises.

Quadro 30 – Unitarização dos diagramas de Gowin referentes ao V de Gowin elaborado após a simulação computacional do Exp. 2

UC19 “ Domínio teórico-conceitual do V de Gowin ” tem por objetivo reunir os diagramas para análise dos elementos epistemológicos do lado esquerdo do V de Gowin.	
UR	V Exp. 2
UR19.1 “Apresenta corretamente todos os elementos epistemológicos, teoria, princípios e conceitos”	A5, A3, A2, A4
UR19.2 “Apresenta corretamente, pelo menos, dois dos elementos epistemológicos, teoria, princípios e conceitos”	A7, A9, A6
UR19.3 “Apresenta corretamente apenas um dos elementos epistemológicos, teoria, princípios e conceitos”	A1
UR19.4 “Apresenta todos os elementos epistemológicos, teoria, princípios e conceitos, porém com erros de conteúdo”	A8
UR19.5 “Apresenta elementos epistemológicos, mas cita poucos exemplos em cada um”	A5, A2, A4
Total de Registros	12
UC20 “ Questão-foco e eventos/acometimentos do V de Gowin ” tem por objetivo reunir os diagramas para análise da relação entre questão foco e eventos/acometimentos.	
UR	V Exp. 2
UR20.1 “Questão-foco e eventos/acometimentos estão corretamente relacionados”	A5, A3, A2, A4, A1, A8
UR20.2 “Não apresenta corretamente a questão foco”	A7, A9, A6
Total de registros	09

UC21 “Domínio Metodológico do V de Gowin” tem por objetivo reunir os diagramas para análise dos elementos epistemológicos do lado direito do V.	
UR	V Exp. 2
UR21.1 “Apresenta corretamente todos os elementos epistemológicos, registros, transformações, asserções de conhecimento e de valor”	A5, A3, A7, A9, A4, A6, A1
UR21.2 “Apresenta corretamente somente três dos elementos epistemológicos”	A2, A8
Total de registros	09

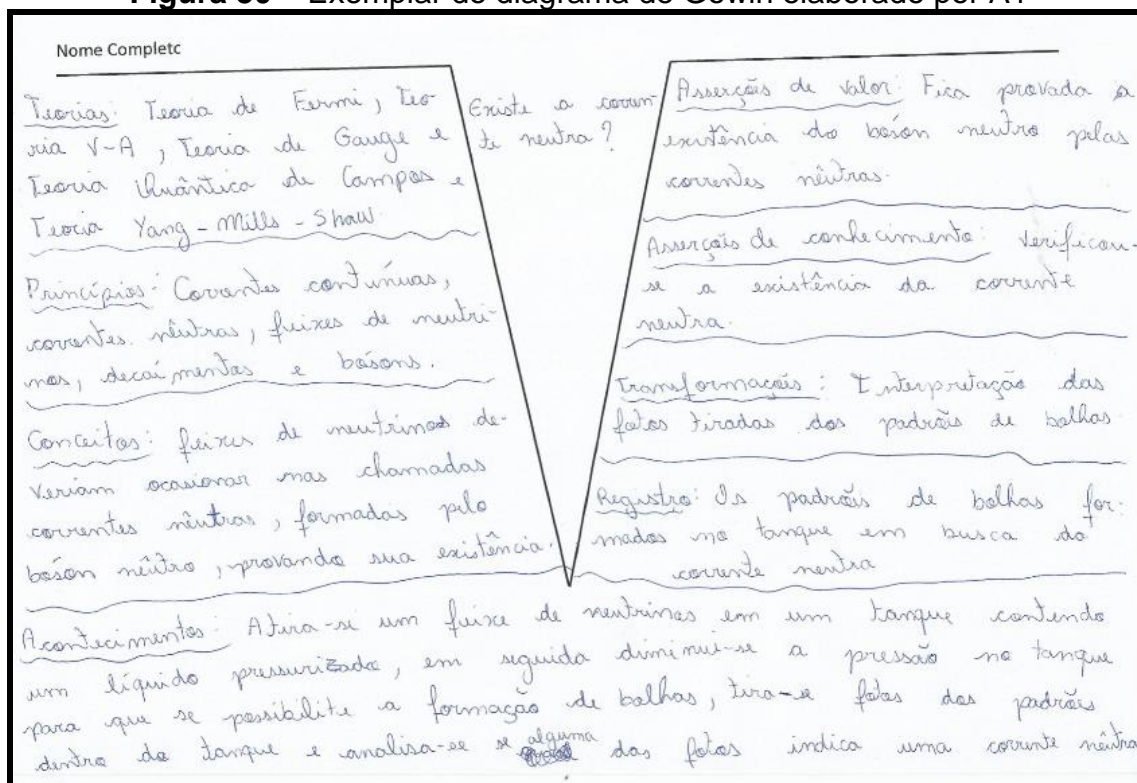
Fonte: a própria autora

As unidades UR 20.3, UR 20.4, UR 20.5, UR 21.3, UR 20.4 e UR 20.5 não obtiveram registros.

No caso do V de Gowin elaborado para apresentar a solução da questão da existência, ou não, das correntes neutras, a maioria dos alunos apresentou corretamente todos os elementos epistemológicos (UR 19.1, UR 20.1 e UR 21.1), com ressalva para os elementos teórico-conceituais, nos quais os alunos ainda apresentaram dificuldades.

Dentre essas dificuldades ou imprecisões, aparece o caso em que os alunos apresentam os princípios de forma equivocada, apresentam como conceitos, A1, A6, A7 e A9 cometeram esse erro. A1 inclusive confundiu conceitos com princípios, como é possível perceber na Figura 30.

Figura 30 – Exemplar do diagrama de Gowin elaborado por A1



Fonte: A1

Na figura acima é possível perceber a confusão que é feita entre conceitos e princípios, ele troca a função dos dois. Os outros alunos expressaram corretamente esses elementos, porém citaram poucos exemplos (A5, A2, A4). Ambos citam somente dois princípios. Já A8, embora descreva todos os elementos teórico-conceituais, apresenta somente um princípio e com erro conceitual.

Com relação à questão-foco, nessa atividade surgiram questões diferentes, enquanto uns colocaram como questão se as correntes neutras existiam (A5 e A1), A2 colocou como questão se era possível detectar correntes neutras, A3, A4 e A8 identificaram como questão-foco como detectar correntes neutras e os demais não deixaram em forma de questão. Só pela maneira que as perguntas foram elaboradas, percebe-se que as asserções de conhecimento serão distintas para esses diagramas.

Ambos os alunos colocaram nas asserções de conhecimento a resposta para sua questão-foco, com exceção de A8, que colocou como detectar as correntes neutras como questão e respondeu na asserção de conhecimento, como se a pergunta tivesse sido: existem correntes neutras?

Em referência aos elementos do domínio metodológico, a maioria dos alunos conseguiu apresentar de maneira adequada (A5, A3, A7, A9, A4, A6, A1), somente A1 e A8 apresentaram imprecisões. A8 não respondeu sua questão-foco nas asserções de conhecimento e A1 apresentou uma asserção de valor equivocada quando diz que foi possível a detecção do bóson neutro.

Essas imprecisões, em ambos os domínios do V, poderiam ter sido evitadas ou resolvidas em partes se fosse feito um *feedback* a respeito da elaboração do V logo no início do segundo dia de oficina. No entanto, como as elaborações só foram conferidas após o segundo dia da oficina, isso não foi possível. Outro fator que pode ter influenciado no desempenho dos alunos nessa atividade foi o tumulto gerado pela falta de energia elétrica que ocorreu minutos antes de começarem as atividades com a segunda simulação computacional e se estendeu até meados da elaboração do V referente a essa atividade experimental.

Mesmo assim, eles se esforçaram para desempenhar as atividades e um exemplo de diagrama com as relações mais precisas pode ser notado na Figura 31.

Pode-se perceber que A3 descreve corretamente os elementos do

domínio teórico-conceitual e cita mais de três exemplos de conceitos e princípios e ambos os conceitos estão definidos nos princípios. A questão-foco e os acontecimentos estão relacionados, assim como a resposta na asserção de conhecimento.

Nas asserções de valor, A3 indica que o resultado experimental da detecção das correntes neutras corrobora com a Teoria Eletrofraca, indicando a relevância desse resultado e em seguida fala de uma possível investigação futura, como detectar os bósons da interação fraca. Tanto A3, quanto A8 e A9 identificaram possíveis investigações futuras devido a esse resultado experimental, ambos se questionaram a respeito da possibilidade de detecção dos bósons mediadores da interação fraca.

Figura 31 – Exemplar do diagrama V elaborado por A3 para o Ex. 2

Nome Completo:

Teorias: Teoria Eletrofraca.

Princípios:

- neutrinos e antineutrinos interagem apenas via interação fraca.
- Uma câmara de bolha pode ser utilizada na detecção da interação de neutrinos com o conteúdo em seu interior.
- Partículas carregadas são defletidas na presença de um campo magnético.
- Alguns cuidados devem ser tomados no experimento e na análise do experimento na câmara de bolhas.

Conceitos:

- Neutrinos e anti-neutrinos.
- Câmara de bolhas
- Partículas carregadas
- Ruídos e interferências na câmara de bolhas

Acontecimentos: Correntes neutras podem ser detectadas analisando a trajetória de partículas carregadas produzidas da interação de neutrinos com o conteúdo de uma câmara de bolhas. Esta análise é feita levando em conta a carga, energia e ângulo de espalhamento das partículas carregadas defletidas no campo magnético.

Como detectar correntes neutras?

Asserções de valor: A detecção de correntes neutras corrobora a teoria eletrofraca. Uma questão gerada é como detectar os bósons W^+ , W^- e Z^0 .

Asserções de conhecimento: Através de um experimento onde se incide neutrinos em um dado material interno a uma câmara de bolhas e se estuda a trajetória de partículas carregadas geradas na interação sob o efeito de um campo magnético.

Transformações: Análise da carga, energia, ângulo de espalhamento e distância das bordas da câmara de bolhas das partículas carregadas espalhadas através das fotos.

Registros: Fotos das trajetórias das partículas carregadas espalhadas.

Fonte: A3

Os demais não indicaram novas questões, mas sim a relevância desse novo conhecimento. Na maioria das asserções de valor está o fato do resultado experimental obtido estar de acordo com a Teoria Eletrofraca, contribuindo com a ideia de unificação.

No Quadro 31 são apresentadas as unitarizações dos diagramas referentes à simulação computacional do experimento que procurava detectar indiretamente os bósons mediadores da interação fraca, denominado Exp. 3 para as análises.

Quadro 31 – Unitarização dos diagramas de Gowin referentes ao V de Gowin elaborado após a simulação computacional do Exp. 3

UC19 “ Domínio teórico-conceitual do V de Gowin ” tem por objetivo reunir os diagramas para análise dos elementos epistemológicos do lado esquerdo do V de Gowin.	
UR	V Exp. 3
UR19.1 “Apresenta corretamente todos os elementos epistemológicos, teoria, princípios e conceitos”	A5, A3, A4, A2, A1, A8
UR19.2 “Apresenta corretamente, pelo menos, dois dos elementos epistemológicos, teoria, princípios e conceitos”	A7, A9, A6
UR19.5 “Apresenta elementos epistemológicos, mas cita poucos exemplos em cada um”	A5, A2, A9, A7, A4, A1, A8
Total de Registros	16
UC20 “ Questão-foco e eventos/acontecimentos do V de Gowin ” tem por objetivo reunir os diagramas para análise da relação entre questão foco e eventos/acontecimentos.	
UR	V Exp. 3
UR20.1 “Questão-foco e eventos/acontecimentos estão corretamente relacionados”	A3, A2, A4, A1, A8
UR20.2 “Não apresenta corretamente a questão foco”	A5, A7, A9, A6
Total de registros	09
UC21 “ Domínio Metodológico do V de Gowin ” tem por objetivo reunir os diagramas para análise dos elementos epistemológicos do lado direito do V.	
UR	V Exp. 3
UR21.1 “Apresenta corretamente todos os elementos epistemológicos, registros, transformações, asserções de conhecimento e de valor”	A5, A3, A7, A2, A4, A6, A1, A8, A9
UR21.2 “Apresenta corretamente somente três dos elementos epistemológicos”	
Total de registros	09

Fonte: a própria autora

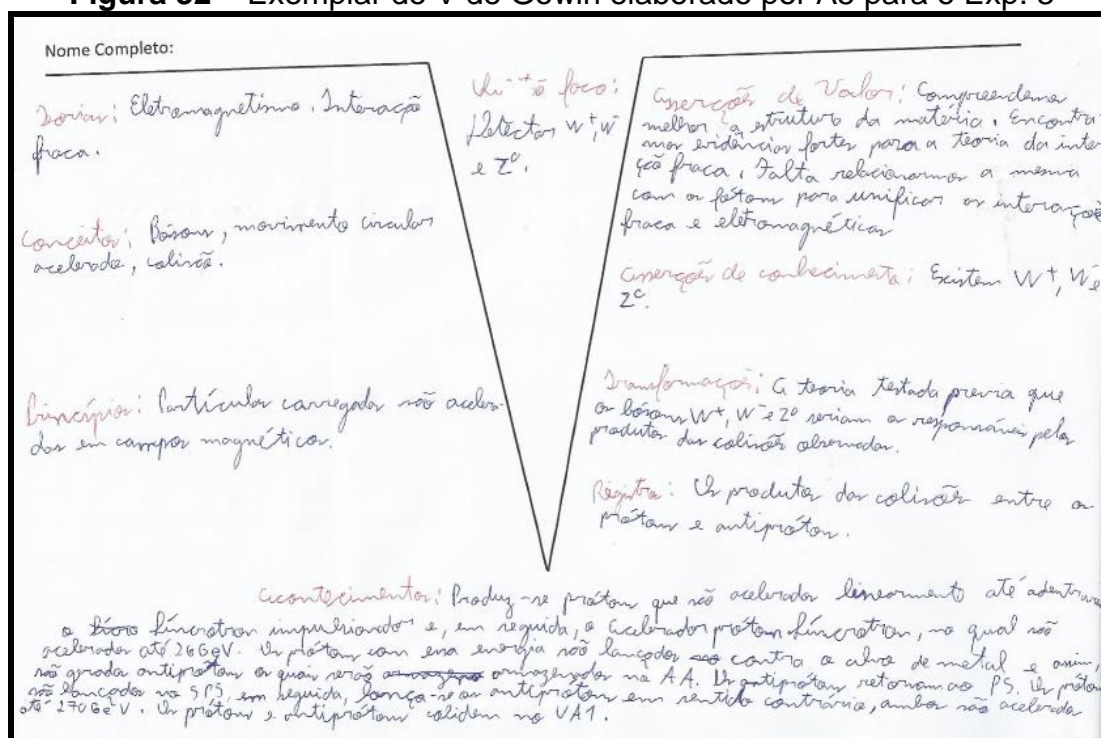
As unidades UR 19.3, UR 19.4, UR 20.3, UR 20.4, UR 20.5, UR 21.3, UR 20.4 e UR 20.5 não obtiveram registros.

Assim como o diagrama V do Exp. 2, o diagrama do Exp. 3 também foi elaborado no segundo dia da oficina e apresenta imprecisões semelhantes, como não definir os princípios (A6, A7 e A9) e não deixar a questão-foco em forma de questão (A6, A7, A9 e A5). Além disso, nesse diagrama houve mais casos em que os alunos citam poucos exemplos nos elementos epistemológicos, tanto em relação aos conceitos quanto em relação aos princípios.

Ao considerar que se trata de um experimento que envolve um complexo de aceleradores e detectores, esperava-se que os conceitos e princípios citados envolvessem a maior parte desse processo experimental. A maioria até citou

um número razoável de conceitos, de quatro a seis, os quais nem sempre estavam definidos nos princípios, como pode se perceber na Figura 32, na qual A5 descreve corretamente os elementos epistemológicos, mas cita poucos exemplos de conceitos e os poucos que cita não são definidos nos princípios.

Figura 32 – Exemplar do V de Gowin elaborado por A5 para o Exp. 3



Fonte: A5

Além disso, como a maioria das questões-foco estava relacionada com as possíveis evidências dos bósons W e Z^0 , esperava-se que os alunos indicassem os produtos do decaimento desses bósons entre os princípios, uma vez que a detecção desses bósons não se dá de forma direta e sim pelo produto de seus decaimentos. No entanto, somente A8 citou esses decaimentos em seu diagrama, como pode-se notar na Figura 33.

Com relação aos acontecimentos/eventos, todos os alunos apresentaram de maneira correta, uns detalhando mais o processo do experimento, explicando o passo a passo, como A5 detalha na figura acima, e outros, como A1, colocaram um acontecimento resumido: “Os prótons e antiprótons são acelerados a uma energia de 270 GeV e são direcionados para colidir dentro de um detector” (A1). Mas todos eles estavam relacionados com suas respectivas questões-foco.

Figura 33 – Exemplar do V de Gowin elaborado por A8 para o Exp. 3

Nome Completo:

- Teoria: teoria eletrofraca.
- Princípios: decaimento de partícula W, Z^0
 $u \rightarrow W^+ + d$; $Z^0 \rightarrow e^- + e^+$
- Conceitos: decaimento; partícula + antipartícula;
 próton; anti-próton; energia;
- Atribuições: em um cubrator (simulador) foi ajustado para a colisão de um feixe de prótons e anti-prótons,
 o fim de gerar bósons, detectá-los por meio da partícula gerada no seu decaimento.

o fim de verificar a teoria eletrofraca, como evidência da existência de bósons $[W, Z^0]$?

- Ampliação de visão: A validação da teoria eletrofraca é baseada em outras interações entre partículas (W, Z^0)
- Ampliação de conhecimentos: verificação da presença das partículas decaídas e o de suas gerações (W, Z^0)
- Transformação: interpretação das partículas decaídas, p) de bósons referentes.
- Perguntas: qual a identidade da partícula decaída do decaimento dos bósons (W, Z^0) e ângulo e energia? natureza do caminho da partícula.

Fonte: A8

Os elementos do domínio metodológico foram todos apresentados e de maneira correta, de acordo com o que cada um estabeleceu como questão-foco. Entre as asserções de valor, seis alunos citaram o fato dos resultados serem evidências da Teoria Eletrofraca e cinco conseguiram pensar em novos estudos a partir dos resultados obtidos.

Ao analisar as três elaborações referentes às simulações dos três experimentos, percebe-se que a maior dificuldade dos alunos se concentra no domínio teórico-conceitual, especificamente nos elementos epistemológicos relacionados aos conceitos e princípios, pois alguns alunos não entenderam a diferença entre eles e na maioria dos casos não citaram um número mínimo de conceitos e princípios para ajudar na elucidação do problema que tinham para resolver.

Isso significa que as atividades de familiarização com o instrumento não foram suficientes para que todos os alunos compreendessem o uso do V de Gowin e, ao mesmo tempo, acredita-se que um *feedback* a respeito da primeira elaboração referente aos experimentos poderia ter solucionado, pelo menos, o problema de confusão entre conceitos e princípios.

No Quadro 32 são apresentadas as unitarizações do V Final, que os alunos elaboraram com base em seus conhecimentos da oficina e na consulta do texto da atividade extraclasse.

Quadro 32 – Unitarização dos diagramas de Gowin referentes ao V de Gowin elaborado a respeito da Teoria Eletrofraca

UC19 “ Domínio teórico-conceitual do V de Gowin ” tem por objetivo reunir os diagramas para análise dos elementos epistemológicos do lado esquerdo do V de Gowin.	
UR	V Exp. 3
UR19.1 “Apresenta corretamente todos os elementos epistemológicos, teoria, princípios e conceitos”	A8, A3, A6
UR19.2 “Apresenta corretamente, pelo menos, dois dos elementos epistemológicos, teoria, princípios e conceitos”	A7, A9
UR19.4 “Apresenta todos os elementos epistemológicos, teoria, princípios e conceitos, porém com erros de conteúdo”	A4
UR19.5 “Apresenta elementos epistemológicos, mas cita poucos exemplos em cada um”	A1, A4, A2, A5
Total de Registros	09
UC20 “ Questão-foco e eventos/acontecimentos do V de Gowin ” tem por objetivo reunir os diagramas para análise da relação entre questão foco e eventos/acontecimentos.	
UR	V Exp. 3
UR20.1 “Questão-foco e eventos/acontecimentos estão corretamente relacionados”	A8, A3, A6
UR20.3 “Não apresenta corretamente os eventos/acontecimentos”	A7
UR20.5 “Apresenta corretamente a questão-foco e eventos/acontecimentos, mas não considera todas as possibilidades”	A4, A2, A1, A5, A9
Total de registros	09
UC21 “ Domínio Metodológico do V de Gowin ” tem por objetivo reunir os diagramas para análise dos elementos epistemológicos do lado direito do V.	
UR	V Exp. 3
UR21.1 “Apresenta corretamente todos os elementos epistemológicos, registros, transformações, asserções de conhecimento e de valor”	A8, A4, A2, A7, A3, A6, A9
UR21.2 “Apresenta corretamente somente três dos elementos epistemológicos”	A1, A5
Total de registros	09

Fonte: a própria autora

As unidades UR 19.3, UR 20.2, UR 20.4, UR 21.3, UR 20.4 e UR 20.5 não obtiveram registros.

Após o *feedback* a respeito da elaboração do V de Gowin no terceiro dia da oficina, antes de elaborarem o V Final, percebeu-se que A6, que antes não definia os conceitos nos princípios, passou a definir. A7 continuou a não definir e A9 chegou atrasada em virtude de um compromisso e entregou o V Final após o término da oficina. Como A9 não recebeu o *feedback*, continuou não definindo os conceitos em princípios. Não é possível afirmar que o *feedback* faria com que A9 mudasse sua elaboração do V, uma vez que A7 recebeu o *feedback* e não apresentou mudanças, como pode ser notado na Figura 35,. No entanto, A6 mudou

sua elaboração, o que indica que A9 poderia, ou não, mudar sua elaboração.

Dessa maneira, como percebido na aplicação da Abordagem Didática, no momento do *feedback* é que alguns alunos perceberam as imprecisões que estavam cometendo e isso poderia ter sido mais eficiente se tivesse sido feito logo após a primeira elaboração do V, o V1.

Com relação ao domínio teórico-conceitual, ao analisar as unitarizações percebe-se que a maioria dos alunos apresenta os elementos de forma correta, porém dão poucos exemplos (A1, A4, A2 e A5). Como o processo de elaboração da Teoria Eletrofraca durou anos e envolveu muitos desenvolvimentos teóricos, os alunos poderiam ter citado vários exemplos em cada elemento epistemológico do domínio teórico-conceitual. Na Figura 34 é possível observar um exemplar em que são citados poucos exemplos.

Figura 34 – Exemplar do V Final elaborado por A4

Nome Completo: _____

A4

Teorias: Eletromagnética, fraca, de Gauge, de Higgs, de Yang-Mills-Shaw

Princípios: Nas interações fracas, a conservação da paridade é violada.

- Existem decaimentos que não alteram a carga elétrica dos processos, causados por correntes neutras.
- As interações eletromagnéticas e fracas possuem natureza vetorial.

Conceitos: Paridade, conservação, vetor, correntes neutras.

Acontecimentos: Observação da paridade em interações fracas. Constatação da natureza vetorial das interações fracas e eletromagnéticas.

Como ocorreu o desenvolvimento da Teoria Eletrofraca?

Ass. de Valor: A teoria eletrofraca possibilita a unificação de duas forças fundamentais e deixa em aberto a possibilidade de novas unificações.

Ass. de Conhecimento: Através dos acontecimentos, e inclusões de teorias de campo para explicação dos fenômenos.

Transformações:

- A paridade não é conservada em interações fracas.
- Há compatibilidade entre as naturezas vetoriais das interações fracas e eletromagnéticas.

Registros:

- A paridade das interações fracas não é a mesma em processos diferentes de experimento de Wu.
- As naturezas vetoriais das interações eletromagnéticas e fracas são comparáveis.

Fonte: A4

Nessa figura é possível observar que A4 considera em sua elaboração apenas uma parte do processo de desenvolvimento da Teoria Eletrofraca, cita todos os elementos corretamente, mas não considera todas as

possibilidades para explicar o processo de construção dessa teoria. Pelo que parece ter sido o entendimento de A4, ele colocou no diagrama somente o que levou ao desenvolvimento dessa teoria, que foi o problema da paridade nas interações fracas provocando uma reformulação da Teoria de Fermi e levando a Teoria V – A, cuja forma vetorial das interações fracas levou cientistas a se questionarem se as interações fracas e eletromagnéticas estavam relacionadas, uma vez que a interação eletromagnética também apresentava uma forma vetorial. No entanto, esse foi somente o início do processo de desenvolvimento dessa teoria, uma vez que foi necessário muito desenvolvimento teórico e experimental até que a teoria estivesse estabelecida.

Os demais alunos também citaram poucos exemplos e dentre eles estão aqueles relacionados aos experimentos simulados, como por exemplo: paridade, bósons, correntes neutras, decaimento, quarks, neutrinos etc. Isso pode sugerir que as simulações ajudaram os alunos na assimilação desses conceitos. Outro dado que pode fortalecer essa hipótese é que sete dos alunos que citaram desenvolvimentos experimentais em seus diagramas, citaram somente os experimentos simulados computacionalmente (A1, A8, A6, A5, A7, A9 e A2). A3 foi o único dos alunos a citar em seu diagrama o experimento da violação da paridade em átomos, que não foi simulado computacionalmente.

A3, A6 e A8 foram os alunos que mais apresentaram exemplos nesses elementos epistemológicos, conceitos e princípios relacionados tanto aos desenvolvimentos experimentais quanto aos desenvolvimentos teóricos.

No que se refere à questão-foco, não pode-se dizer se o *feedback* deu resultado, pois nesse diagrama a questão-foco foi dada pela pesquisadora. A questão era: Como ocorreu o desenvolvimento da Teoria Eletrofraca?

Agora, quando se trata dos acontecimentos/eventos ocorreu o caso de alguns alunos não citarem nesse elemento todos os passos teóricos e experimentais que foram relevantes para o desenvolvimento da teoria. A5, A2 e A9 citam os três experimentos simulados computacionalmente e, em termos de desenvolvimentos teóricos, A5 cita o mecanismo de Higgs e a previsão de Leite Lopes para a massa dos bósons, A2 fala da Teoria V – A e A9 fala da estrutura $SU(2) \times U(1)$.

A1 cita somente a Câmara Bolhas de Gargamelle como

desenvolvimento experimental e como desenvolvimento teórico, apresentando o trabalho de Feynmann e Gell-Mann e o mecanismo de Higgs. Nesse caso, pode-se entender que A1 considerou na elaboração de seu diagrama somente os desenvolvimentos até a primeira evidência experimental da Teoria Eletrofraca, que foi a detecção das correntes neutras.

A7 teve esse elemento epistemológico unitarizado na unidade UR 20.3 por apresentar algumas imprecisões conceituais, como se pode notar na Figura 35, na qual A7 relaciona, o que parece ser, a Teoria de Fermi com as primeiras sugestões da existência das partículas mediadoras, quando, a bem da verdade, essa sugestão começou a ser discutida em virtude da reformulação da Teoria de Fermi. E, além disso, A7 dá ênfase em uma relação entre as forças fracas e fortes, ao invés de uma relação entre as interações fracas e eletromagnéticas.

Outro fator ilustrado pela Figura 35 é a imprecisão na descrição dos elementos epistemológicos princípios e conceitos, nos quais A7 cita um número razoável de conceitos relacionados à elucidação da questão-foco, porém não apresenta a definição desses conceitos no elemento princípios.

Figura 35 – Parte 1 do exemplar do V Final elaborado por A7

Nome Completo: _____

A₂

Teorias: Eletromagnetismo, quântica, Campos, Fermi, Física de partículas.

Princípios: Conservação de cargas, Conservação do momento angular, força fraca.

Conceitos: Partículas mediadoras, corrente neutra, decaimento, paridade, neutrinos, Bósons, spin, elétron, massa, simetria.

Acontecimentos: Percebeu-se que, nos decaimentos estavam faltando uma massa, assim começaram os estudos para descobrir o que acontecia, então começaram as ideias de partícula mediadora, consequentemente corrente neutra e surgimento de Bósons, e então, percebeu-se uma relação entre as forças fracas e fortes.

Como ocorreu o desenvolvimento da Teoria eletrofraca?

Assertões de valor: Permitiu uma melhor compreensão da natureza da matéria e das interações fundamentais, esclarecendo questionamentos como: do comportamento da paridade nas interações fracas, a existência de correntes neutras e a detecção dos Bósons W e Z^0 , assim, sendo o primeiro modelo padrão das partículas elementares.

Assertões de conhecimento: Ocorreu através da observação experimental dos Bósons W e Z^0 , da corrente neutra e a quebra da paridade nas interações fracas.

Transformações: levar em consideração as partículas mediadoras, análise dos experimentos para a detecção dos Bósons, corrente neutra e conservação da paridade.

Registros: surgimento da corrente neutra, a não conservação da paridade nas interações fracas e, por fim, a observação dos Bósons W e Z^0 .

Fonte: A7

A3, A6 e A8 foram os únicos alunos que citaram em seus diagramas o processo de renormalização da teoria, que foi um desenvolvimento teórico-matemático relevante para que a comunidade científica passasse a levar a sério a Teoria Eletrofraca. Além disso, A3, como já mencionado acima, foi o único aluno a citar o experimento da violação da paridade em átomos, que também foi relevante para o desenvolvimento da teoria, como pode ser observado nas Figuras 36 e 37.

Ao analisar a Figura 36, percebe-se que entre os princípios aparece uma noção de NdC, relacionada ao trabalho colaborativo dos cientistas no desenvolvimento do conhecimento científico. Além disso, ele cita princípios relacionados aos experimentos simulados e também em relação à estrutura das interações eletromagnéticas e fracas.

Nesse diagrama é a segunda vez em que A3 utiliza as estruturas SU(2) e U(1) para descrever as interações fraca e eletromagnética. Isso pode fortalecer a hipótese de reconciliação integradora e consequentemente de indícios de Aprendizagem Significativa, levantada na análise das questões 08 e 09 relacionadas ao conteúdo científico.

Figura 36 – Parte 1 do exemplar do V Final elaborado por A3

Nome Completo: A3

Teorias: Eletromagnética, Fraca, G_{auge}, U(1)

Princípios:

- O conhecimento científico se desenvolve através da colaboração de vários cientistas
- A paridade não é conservada nas interações fracas
- As correntes neutras existem e foram detectadas no CERN na câmara de bolhas Gargamelle
- Os bósons mediadores da interação eletrofraca são W⁺, W⁻, Z⁰ e o fóton.
- Interações eletromagnéticas podem ser descritas pelo grupo U(1) e as interações fracas por SU(2).

Conceitos:

- Desenvolvimento do conhecimento científico
- Conservação da paridade
- Correntes neutras
- Bósons mediadores da interação eletrofraca
- Grupo de G_{auge}

Como ocorreu o desenvolvimento da Teoria Eletrofraca?

Aserções de valor: Estes resultados nos fornecem a natureza das interações fundamentais aqui tratadas; despertaram o interesse da comunidade científica no chamado Modelo Padrão de partículas elementares e influenciou diretamente no conhecimento e na busca do bóson de Higgs

Aserção de conhecimento: Através da colaboração de vários cientistas como resumido na sessão de Acontecimentos

Transformações: Comparação da quantidade de partículas emitidas em cada direção (Experimento de Chen Wu); Análise das trajetórias nas fotografias (Exp. de Gargamelle); Análise dos dados do detector multilente (Exp. CERN)

Registros: Detecção de partículas emitidas em diversas direções (Experimento Chen Wu); Fotografias das trajetórias de bolhas causadas pela interação do neutrino com partículas da câmara (Experimento com Gargamelle) e dados obtidos pelo detector multilente no CERN (Colisões de prótons e anti-prótons no CERN).

Fonte: A3

Figura 37 – Parte 2 do exemplar do V Final elaborado por A3

Antecedentes: O desenvolvimento da teoria eletrofraca teve seu início e motivação na incapacidade da Teoria de Fermi de explicar a paridade dos produtos do decaimento das partículas θ e $\bar{\theta}$. O primeiro grande passo na direção da teoria eletrofraca se deu no experimento de Wu e colaboradores que detectou a violação da conservação de paridade nas interações fracas, hipótese proposta por Yang e Lee. O fato das interações eletromagnéticas serem descritas por $U(1)$ e as interações fracas por $SU(2)$ motivaram hipóteses de que $U(1) \times SU(2)$ poderia descrever interações eletrofracas. Esta hipótese possuía como consequência a existência de correntes neutras foram detectadas na câmara a jatos a ser levada mais a sério quando as correntes neutras foram detectadas na câmara de bolhas Gargamelle. A identificação de $U(1) \times SU(2)$ para descrever bósons massivos tiveram várias complicações, sendo aparentemente uma teoria não-renormalizável, levando a vários trabalhos de Weinberg, Glashow, Salam e muitos outros. Abbott e Veltman foram diretamente responsáveis por mostrar que a teoria eletrofraca é renormalizável e por cobri-la em uma estrutura matemática bem estruturada. A hipótese da violação da paridade em átomos foi levantada e corroborada por meio de experimentos, levando à consolidação, cada vez mais, da teoria eletrofraca. Falta então a detecção direta dos bósons W^+ e Z , o que era uma dificuldade da época por serem tão massivos e energéticos. Foi só através da colaboração de cientistas, laboratórios, técnicos e muitas outras pessoas que em 1983 a detecção destes bósons mediadores foi anunciada e mais uma vez a teoria eletrofraca foi corroborada através do teste de suas consequências.

Fonte: A3

Na Figura 37 é possível identificar novamente as estruturas supracitas e também quando A3 fala da hipótese da violação da paridade em átomos e das evidências desse experimento que, mais uma vez, consolidou a Teoria Eletrofraca.

Com relação ao domínio metodológico, a maioria dos alunos apresentou os elementos epistemológicos de maneira adequada (A8, A4, A2, A7, A3, A6, A9), somente A1 e A5 apresentaram algumas imprecisões quando fizeram confusões entre as transformações, asserções de conhecimento e de valor.

A maioria dos alunos respondeu à questão-foco dizendo que essa teoria se desenvolveu por meio de desenvolvimentos teóricos e experimentais (A9, A1, A6, A8, A3), enquanto A2 e A7 somente citam os desenvolvimentos experimentais relacionados aos experimentos simulados computacionalmente e A5 diz que “O desenvolvimento da Teoria Eletrofraca não foi algo linear, foi uma série de tentativas e erros. A mesma incluiu vários eventos históricos que obtiveram sucesso e outros que fracassaram” (A5). Sua resposta não está errada, ele só direcionou o foco para eventos históricos e epistemológicos ao passo que os outros alunos direcionaram seu foco para os eventos teóricos e experimentais desse

desenvolvimento.

Dentre as asserções de valor, a maioria dos alunos coloca uma compreensão mais detalhada da matéria e/ou das interações fundamentais (A1, A5, A3, A6, A8, A7), além disso A3, A7 e A8 falam que abriu caminho para a elaboração do Modelo Padrão das Partículas Elementares e A8 ainda apresenta como asserção de valor a ilustração de noções da natureza do conhecimento. No entanto, A8 apresenta uma imprecisão conceitual quando coloca nesse elemento epistemológico que esse desenvolvimento possibilitou evidência experimental do bósons de Higgs. A2, A4 e A9 citaram o fato desse desenvolvimento chegar à conclusão que essas interações poderiam ser unificadas.

Ao analisar as elaborações do V de Gowin de todas essas atividades, percebe-se que os alunos apresentam mais dificuldades quando é uma atividade que envolve a interpretação de textos. No entanto, mesmo quando se trata de uma atividade experimental, há dificuldades na elaboração do domínio teórico-conceitual. No entanto, de acordo com Leboeuf e Batista (2013), essas dificuldades advindas da complexidade desse instrumento e a falta de hábito de uso não devem ser encaradas como obstáculos impeditivos para sua utilização no ensino, e sim como desafios inerentes à construção de conhecimentos.

Apesar disso, considera-se que essas elaborações foram satisfatórias, sendo os primeiros contatos desses alunos com esse instrumento. Gowin e Alvarez (2005) falam da complexidade desse instrumento em comparação com os mapas conceituais em relação a aspectos epistemológicos e cognitivos. No entanto, de acordo com eles esse instrumento pode promover uma aprendizagem da ciência e a respeito da Natureza da Ciência. Isso foi possível notar em dois dos diagramas, nos quais A8, A5 e A3 citam noções de NdC.

Assim, mesmo com as imprecisões na definição de alguns elementos epistemológicos e com a dificuldade aparente dos alunos na utilização desse instrumento, nota-se que os alunos conseguiram sintetizar seus conhecimentos a respeito dos experimentos e dos textos e que apresentaram em seus diagramas indícios de aprendizagem, tanto dos conteúdos científicos quanto de seu processo de elaboração.

6.4 AVALIAÇÃO DA ABORDAGEM DIDÁTICA

Ao final da Oficina de pesquisa os alunos responderam a um questionário de opinião a respeito dos recursos utilizados no decorrer da oficina. Eles foram convidados a opinar a respeito do uso de simulações computacionais, experimentos históricos, V de Gowin, abordagens histórico-filosóficas e, por fim, indicar sugestões, elogios e críticas em relação à oficina para que fosse possível indicar possíveis aprimorações para abordagens futuras.

Com relação às simulações computacionais, foi perguntado qual a opinião deles em relação às simulações utilizadas em sala de aula, se contribuíram para o processo de aprendizagem e se teriam pontos positivos e negativos para citar. As respostas podem ser agrupadas nas seguintes Unidades Temáticas.

Quadro 33 – Unidades Temáticas em relação à opinião dos alunos a respeito das simulações computacionais utilizadas

UNIDADES TEMÁTICAS (UT)	REGISTROS
UT1: Contribuiu para o aprendizado.	<p>“Eu gostei bastante das simulações e elas me ajudaram a entender como as teorias estudadas foram desenvolvidas.” (A1).</p> <p>“São simulações bem elaboradas que ajudaram a compreender os experimentos e a teoria.” (A7).</p> <p>“Creio que sim, pois é mais rápido enxergar os acontecimentos nessas simulações.” (A5)</p> <p>“A ideia das simulações é muito boa, pois fica mais fácil entender o processo.” (A2)</p> <p>“Contribuíram, as simulações nos permitem visualizar o desenvolvimento e as dificuldades na comprovação de uma teoria.” (A9).</p> <p>Acho útil e totalmente válido. Contribuíram para o meu aprendizado, com certeza. Os pontos positivos são: tecnologia no ensino, algo atual e interessante, construção dos experimentos dentro da simulação.” (A4)</p>
UT2: Contribuiu para o aprendizado e indicam sugestões.	<p>“Sim, ajudaram na montagem mental do procedimento experimental. Acredito ser importante todo o passo a passo e as possibilidades que as simulações apresentam, mas acho que precisa de mais tempo para a aplicação das mesmas.” (A6)</p> <p>“Contribuíram de forma positiva ao aprendizado, contudo em minha opinião poderia ter sido melhor explorada envolvendo também o contexto histórico, portanto, focalizando a oficina em simulações.” (A8)</p> <p>“Elas são de grande utilidade no aprendizado, mas devem ser utilizadas de maneira cuidadosa. Para um bom aproveitamento das simulações, o usuário deve ter o conhecimento teórico para entendê-las. Um conhecimento superficial poderia resultar no não entendimento dos fenômenos simulados.” (A3)</p>

Fonte: a própria autora

Como pode-se perceber pelas respostas dos alunos, todos acham que as simulações contribuíram em seu processo de aprendizagem, na maioria dos casos, por ajudar a compreender os processos estudados com mais detalhes.

No que se refere às sugestões, pela resposta do aluno A8 fica claro que gostaria de trabalhar mais com as simulações, uma vez que sugere que a oficina fosse focalizada em simulações. O que, aliado ao fato de terem contribuído no processo de aprendizagem, indica potencialidades das simulações computacionais, pois há uma predisposição de alunos para estudar com esse tipo de recurso didático.

Essas respostas refletem exatamente a impressão que a pesquisadora teve durante a aplicação da Abordagem Didática, na qual os alunos sempre se mostraram motivados para trabalhar com as atividades envolvendo as simulações computacionais. Essa predisposição é um dos requisitos para Aprendizagem Significativa (AUSUBEL, 2003), além da própria simulação computacional se configurar como uma estratégia facilitadora da aprendizagem.

Os alunos indicam em suas respostas o que a literatura especializada nesse assunto já afirma em estudos anteriores, que as simulações podem aumentar a atratividade das aulas e estimular a aprendizagem dos alunos (MARTINS; FIOLEAIS; PAIVA, 2003).

O aluno A6 sugere que deveria ser dedicado um tempo maior para as atividades envolvendo essas simulações e o aluno A3 chama atenção para um fator relevante do uso das simulações: uma vez que elas sozinhas não podem resolver os problemas de aprendizagem, elas devem ser utilizadas em conjunto com um material que forneça os conhecimentos prévios necessários para o melhor aproveitamento dessas atividades.

Neste caso, ressalta-se que o papel das simulações não é verificar uma teoria. Elas devem fazer parte de um contexto histórico e investigativo, no qual deve-se levar em consideração os conhecimentos prévios e atividades que façam as simulações adquirirem sentido e que sua exploração tenha significado para o aluno. As simulações oferecem oportunidades para entender a solução de um problema científico histórico, seu objetivo não é verificar uma teoria, ou seja, não se apresenta uma teoria e em seguida o aluno verifica se ela está certa. O que se faz é apresentar o contexto histórico e científico da época, expor os problemas a serem resolvidos e

disponibilizar as simulações para que o aluno consiga encontrar possíveis soluções.

Nesse sentido, ressalta-se a relevância de levar em consideração as limitações das simulações, devendo-se deixar claro para o aluno que são resultados de simplificações e não representam toda a complexidade de um fenômeno real (MEDEIROS; MEDEIROS, 2002). Além do mais, as simulações por si só não resolvem os problemas educacionais, elas precisam estar inseridas em uma abordagem didática condizente com o contexto exigido por elas e com teorias de aprendizagens construtivistas (GOWIN; ALVAREZ, 2005). Somente quando estão inseridas em um projeto bem fundamentado é que elas são capazes de fazer com que os alunos alcancem os objetivos propostos (MORAN, 1994).

A seguir são apresentadas as opiniões dos alunos a respeito dos Experimentos Históricos.

Quadro 34 – Unidades Temáticas em relação à opinião dos alunos a respeito da utilização de experimentos históricos em sala de aula

UNIDADES TEMÁTICAS (UT)	REGISTROS
UT1: Ajuda a entender o trabalho dos cientistas e o próprio conteúdo.	<p>“ A ideia é importante, pois traz uma realidade ainda maior, conseguimos entender qual era a ideia real dos cientistas da época.”(A2)</p> <p>“Eles são uteis e viáveis para contextualizar a época em que certas coisas foram estabelecidas e podem ajudar no melhor entendimento do conteúdo.” (A3)</p> <p>“São importantes, pois mostram o trabalho e as dúvidas que os cientistas tiveram e nos mostram que as coisas são plausíveis, não descobertas que vem de um dia para o outro.” (A9)</p> <p>“Acredito ser positivo para que seja representado todo o processo científico a fim de não parecer algo impossível, e sim passível de erros.” (A6)</p> <p>“É importante para saber como o conhecimento científico foi desenvolvido.” (A7)</p> <p>“Ajuda na construção do conhecimento científico sobre determinado assunto.” (A4)</p>
UT2: Util em abordagens históricas	<p>“ Me parece útil quando não é necessário aprofundar o assunto ou quando é inviável abordar toda a sua complexidade.” (A5)</p> <p>“Acho fundamental a construção histórica paralela a construção conceitual, logo que a primeira serve de embasamento para a construção de uma abordagem significativa.” (A8)</p> <p>“Acho essencial e uma pena não serem utilizados hoje em dia, a primeira vez que tive contato com experimentos históricos foi esse ano (2018).” (A1)</p>

Fonte: a própria autora

Ao analisar as unidades temáticas acima, percebe-se que a maioria dos alunos (seis) relaciona o uso de experimentos históricos a um melhor entendimento da Natureza da Ciência e dos conteúdos científicos. Eles entendem que o uso de experimentos históricos pode ajudar a entender como os cientistas pensavam, qual era o contexto da época em que o conhecimento científico foi desenvolvido, bem como mostrar casos que desmistificam a ideia de que o processo de elaboração de conhecimentos é um caminho somente de glórias, em que tudo ocorre como planejado.

Isso está de acordo com o que Heering e Hottecke (2014) e Chang (2011) consideram como objetivos dos experimentos históricos para fins educacionais, que é a compreensão da prática experimental, de acordo com a natureza do conhecimento científico, ao passo que pode ajudar os alunos a entenderem que o conhecimento científico não é elaborado de um dia para o outro e que, como uma atividade humana, está passível de erros e imprevistos em seu processo de desenvolvimento. Assim, esses casos oferecem aos alunos a oportunidade de entender como os cientistas coordenavam o funcionamento e os limites dos aparatos experimentais e a capacidade de trabalhar com equipamentos simples e improvisados (CAVICCHI, 2008b; GOLIN, 2002).

Dessa forma, as atividades envolvendo experimentos históricos podem ajudar professores e alunos a entenderem que o desenvolvimento de um experimento pode ser mais complicado do que se imagina e com isso auxiliar na superação das descrições simplistas da atividade científica (CHANG, 2011). Acredita-se que essa superação também pode lhes ajudar a refletir a respeito das dificuldades e exigências encontradas nas atividades experimentais de laboratórios didáticos (KIPNIS, 1996; 1994).

Além disso, essa estratégia se demonstrou útil para associar as vantagens do uso de abordagens históricas e conceituais, que exploraram benefícios da História da Ciência e de práticas experimentais em um mesmo recurso. O que corrobora com os argumentos de Heering e Wittje (2012).

Os outros três alunos também acham relevante sua utilização em sala de aula. Vale registrar a resposta do aluno A1, que citou ser a primeira vez que entrava em contato com atividades que envolviam experimentos históricos, o que

mostra sua pouca utilização em sala de aula e sugere a necessidade de investigações científicas a respeito de suas potencialidades em sala de aula.

Com relação ao V de Gowin, as opiniões dos alunos podem ser classificadas nas seguintes Unidades Temáticas.

Quadro 35 – Unidades Temáticas em relação à opinião dos alunos a respeito da utilização do V de Gowin

UNIDADES TEMÁTICAS (UT)	REGISTROS
UT1: Teve dificuldades no início, mas usaria novamente.	<p>“Achei muito útil para a organização e sistematização do conteúdo, por isso usaria novamente a fim de potencializar a fixação do conteúdo no aluno.” (A8)</p> <p>“A9: Achei legal, tive dificuldade com o tempo. Para algum trabalho grande, como o desenvolvimento da Teoria Eletrofraca, é fácil de visualizar o total.” (A9)</p> <p>“É uma ferramenta bastante útil nas um pouco complexa. Usaria novamente. É bom para avaliar o entendimento do experimento.” (A7)</p>
UT2: Teve dificuldades e não usaria novamente.	<p>“Eu tive dificuldades em utilizar termos diferentes em diferentes partes do V. Minhas construções foram muito cíclicas e recorrentes, creio não ter entendido direito o funcionamento eficiente do V. Acho que não usaria novamente.” (A4)</p>
UT3: Usaria novamente, mas sugere alterações no uso ou no preparo para o uso	<p>“O V de Gowin ajudou na construção de ideias e na fixação dos conteúdos, mas acredito ser necessário deixar mais explícitas todas as etapas para não ocorrer erros na sua produção. Auxilia no conhecimento teórico e na organização do estudo.” (A6)</p> <p>“Achei uma ferramenta útil, tive dificuldade a princípio na elaboração e poderei sim usá-lo novamente, mas como lista e não como V.” (A1)</p> <p>“É um bom método, um pouco complicado, mas por ser feito passo a passo o ato de entender a resposta de alguma pergunta fica mais fácil. Mas poderia ser um H.” (A2)</p> <p>“É difícil se acostumar, não sei se melhorou minha compreensão do experimento, mas é um ótimo instrumento para a organização das ideias. Usaria sim, mas sem escrever, apenas mentalmente. Elaborar projetos de pesquisa pelo lado esquerdo e responder o problema do lado direito, após feita a pesquisa.” (A5)</p> <p>“Ele é útil para organizar os pensamentos, mas acho que existem questões-foco para as quais ele não é apropriado, tais como “Como algo ocorre”. O V de Gowin pode me auxiliar em atividades experimentais, como o exemplo “Qual a resistência do resistor X?” (A3)</p>

Fonte: a própria autora

Pode-se perceber que a maioria dos alunos (A1, A2, A5, A7 e A9) apresentou dificuldades no início das elaborações do V de Gowin e, embora A3 e A6 não tenham relatado em suas respostas que tiveram dificuldade, indicaram sugestões, o que indica que tiveram algum nível de dificuldade. A8 não indicou

dificuldades e A4, além de indicar dificuldade, não se mostra disposto a utilizar esse instrumento novamente. A literatura indicava se tratar de um instrumento complexo e essas opiniões acima confirmam o que Prado (2015) evidenciou em seu estudo: a maioria dos alunos apresenta uma dificuldade inicial na elaboração dos “Vs”, no entanto, após atividades recorrentes e a devida compreensão de todos os elementos epistemológicos essa atividade passa a apresentar bons resultados.

Dentre as sugestões dos alunos, A6 sugere a necessidade de explicitar todos os elementos epistemológicos para que não ocorra confusão no momento de elaboração. Percebe-se pelas elaborações de A6 que não ficou claro, com as explicações iniciais a respeito do V de Gowin, a diferença entre conceitos e princípios e nem que a questão-foco precisaria estar no formato de questão. Essa dificuldade foi recorrente para A7 e A9, o que indica que as explicações iniciais precisam ser mais aprofundadas e que seria relevante utilizar mais de um exemplo inicial antes que os alunos construam os “Vs” a respeito do conteúdo a ser estudado.

A1, A2 e A5 usariam esse instrumento novamente, mas não no formato de um V, A5 prefere mentalizar as etapas enquanto A1 e A2 preferem formatos diferentes para representação dos elementos epistemológicos.

Dentre as vantagens citadas pelos alunos estão: organização do pensamento (A3), representar o desenvolvimento de uma pesquisa (A5), facilitar o entendimento de respostas (A2), auxiliar em atividades experimentais (A3, A7), ajudar a compreender o processo total de elaboração de uma teoria (A9), fixar conteúdos (A6, A8), auxiliar no conhecimento teórico e organização do estudo (A6), organização e sistematização de conteúdo (A7). Os exemplos de vantagens são variados, o que sugere que os alunos perceberam potencialidades distintas para esse instrumento, já mencionadas por Gowin e Alvarez (2005), Moreira (2012) e Valadares (2014).

A opinião dos alunos em relação às abordagens histórico-filosóficas pode ser resumida nas unidades temáticas apresentadas no Quadro 36.

Quadro 36 – Unidades Temáticas em relação à opinião dos alunos a respeito de abordagens histórico-filosóficas

UNIDADES TEMÁTICAS (UT)	REGISTROS
UT1: Abordagens histórico-filosóficas são relevantes	“É importante, pois consegue dar uma base histórica a respeito dos conceitos científicos.” (A2)

	<p>“Muito útil, pois determinadas partes do conteúdo científico ficam melhor explicadas por abordagens históricas.” (A4)</p> <p>“Acho muito importante, pois além de entender melhor a cronologia, temos uma ideia da parte humana da ciência.” (A9)</p> <p>“Acho também essenciais, entender como os cientistas do passado pensavam e como chegaram a conclusões conhecidas, nos dá ferramentas para desenvolver nossos próprios pensamentos.” (A1)</p> <p>“Tal abordagem constrói o conhecimento pouco a pouco de forma mais lógica.” (A6)</p> <p>“Como é uma abordagem fora do comum, passa a ser mais chamativa e cativante, logo que vem a construir o conhecimento junto da história.” (A8)</p> <p>“É importante para saber as questões abordadas pelos cientistas e se fazer as mesmas questões.” (A7)</p>
<p>UT2: Abordagens histórico-filosóficas são relevantes, mas precisam de complementos.</p>	<p>“Me parece ajudar a desmistificar concepções erradas e a dar um suporte conceitual a quem não precisa (não quer) entender a teoria a fundo. No entanto, é pouco útil para estudar a teoria em toda sua complexidade. Uma formação apenas com abordagens H-F é rasa e pouco sólida, mas somando com uma abordagem matemática será uma formação muito sólida.” (A5)</p> <p>“É útil, porém para um aluno que não tenha bagagem teórica suficiente para entender a parte filosófica, esta abordagem irá apenas lhe causar confusões.” (A3)</p>

Fonte: a própria autora

É possível perceber que a maioria dos alunos entende que as abordagens histórico-filosóficas são relevantes para abordagem dos conteúdos, pois mostram o lado humano da Ciência, desmistificam noções erradas, apresentam o contexto histórico, melhoram a compreensão dos conteúdos, ajudam a entender como os cientistas pensavam e a desenvolver os próprios pensamentos, apresentam a elaboração dos conteúdos pouco a pouco, são atrativas e cativantes.

Esses argumentos estão de acordo com o que Matthews (1995) cita em favor da inserção da História e Filosofia da Ciência, a humanização das ciências, aulas mais reflexivas e desafiadoras, contribuição para o entendimento dos conceitos científicos e desmistificação de uma Ciência feita por gênios e demasiadamente matemática.

No entanto, como bem lembraram os alunos A3 e A5, o ideal é que as abordagens histórico-filosóficas complementem as explicações científicas e não as substituam. O ensino de conteúdos científicos deveria levar em consideração aspectos histórico-filosóficos para que se possibilite uma noção de Ciência como um

objeto que está inserido em um contexto plural, mas não devem dar ênfase somente nesses aspectos. Em outras palavras, a História e Filosofia da Ciência deve ser utilizada como um instrumento contextualizador e não substituir os conteúdos do currículo, ou seja, uma aula de Física não deve ser transformada em uma aula de História da Física (MENDES; BATISTA, 2016).

Além da opinião de aspectos específicos relacionados à Abordagem Didática, os alunos opinaram a respeito da abordagem em si, dos pontos positivos e negativos por eles percebidos e eventuais sugestões para aprimoração dessa abordagem. As opiniões podem ser resumidas nas seguintes unidades temáticas descritas no Quadro 37.

Quadro 37 – Unidades Temáticas em relação à opinião dos alunos a respeito da Abordagem Didática

UNIDADES TEMÁTICAS (UT)	REGISTROS
UT1: Pontos positivos	<p>“[...] O ponto positivo é que se aprende muito em pouco tempo, além de ser muito menos chato simular que ficar montando o experimento. Para quem nunca quis seguir a vida como físico experimental é irritante passar horas apertando parafusos.” (A5)</p> <p>“Desmistificação do cientista e da Ciência, simulações originais e próprias para a Física, textos originais e próprios para a Física, contextualização histórica do desenvolvimento da teoria, faz o participante pensar a respeito do que aprendeu.” (A3)</p> <p>“Achei a parte teórica e as simulações muito boas. [...]” (A9)</p> <p>“Achei ótimo estudar os experimentos e fazer as simulações, o passo a passo da montagem experimental me ajudaram a entender melhor a parte teórica.” (A1)</p> <p>“Toda a estrutura foi bem pensada, principalmente na construção do conhecimento prévio necessário [...]” (A6)</p> <p>“Considero positivo o conteúdo programado e a abordagem histórica, assim como sua organização por meio do V de Gowin [...]” (A8)</p> <p>“[...] Bem elaborada e estruturada.” (A7)</p>
UT2: Pontos negativos	<p>“Os dois últimos experimentos não tinham muito onde errar, poderia ter mais maneiras de errar e “explodir o experimento”, como no caso do primeiro experimento. [...]” (A5)</p> <p>“[...] Como ponto negativo aponto a segregação entre o texto e as simulações, logo que este poderia estar anexado as simulações, trazendo um caráter ilustrativo e interativo. Outro ponto negativo foi a carga horária, em minha opinião essa oficina deveria ser ministrada ao longo de 6 dias, pelo menos, diminuindo a carga horária.” (A8).</p> <p>“Achei a oficina muito longa com 4h consecutivas [...]” (A7)</p>

	“[...] Acho que fazer o V de Gowin na hora é muita pressão.” (A9)
UT3: Sugestões	<p>“Em vez de 3 encontros de 4 h, poderia ser 4 encontros de 3h.” (A2)</p> <p>“Talvez pelo não entendimento suficiente, eu optaria por uma construção de conhecimento sem o uso do V de Gowin. De resto, foi uma excelente oficina.” (A4).</p> <p>“[...] mas acho necessário mais tempo para as atividades para que elas sejam mais bem aproveitadas e divididas em mais dias para evitar o cansaço.” (A6)</p>

Fonte: a própria autora

Quanto aos pontos positivos, percebe-se que os alunos citam as simulações, a abordagem histórica, o V de Gowin, a construção dos conhecimentos prévios, a contextualização histórica e a apresentação de simulações e textos originais específicos para o Ensino de Física. Essa diversidade de pontos positivos indica a necessidade da pluralidade de meios de ensino, uma vez que os alunos apresentam preferências distintas em relação aos recursos para aprendizagem (MOREIRA, 2010).

É possível perceber pelas respostas dos alunos que a maioria gostou da oficina, no entanto apresentam sugestões e críticas que podem aprimorar uma abordagem futura. Um dos pontos negativos ou sugestões de aprimoramento mais citados foi a questão da carga horária da oficina, que na opinião dos alunos ficou muito carregada. A sugestão dada por eles é que tivesse mais dias de oficina, porém com uma carga horária menor. Além disso, A8 citou a necessidade de mais tempo para desenvolver as atividades de familiarização com o V de Gowin.

Esse tempo maior de contato com o V de Gowin se mostrou necessário, uma vez que A7, A6 e A9 mostraram dificuldades nas elaborações e A4, mesmo apresentando uma estrutura correta do V de Gowin, sentiu-se inseguro e desmotivado para usá-lo novamente. Isso sugere que ao utilizar o V de Gowin, ou outro instrumento de igual ou maior complexidade, sejam elaboradas diferentes atividades para exemplificar o uso ou elaboração do instrumento. Assim, aumentam-se as oportunidades de compreensão desse novo instrumento por parte dos alunos antes que eles precisem utilizar em atividades relacionadas aos conteúdos específicos (MOREIRA, 2006; VALADARES, 2014).

Além disso, um número maior de encontros com uma carga horária reduzida tornaria as atividades menos cansativas. Mesmo os encontros da oficina tendo intervalos de aproximadamente 15 minutos, percebeu-se que ao final dos

encontros eles já estavam cansados e, provavelmente, em um nível menor de rendimento. Dessa forma, aliando a reformulação da carga horária das atividades e dos encontros os alunos podem vir a apresentar melhores resultados.

Ao reunir as noções da pesquisadora a respeito da aplicação da Abordagem Didática e os resultados obtidos por meio da análise dos questionários, seja em relação às noções de NdC, conhecimento científico ou de avaliação da Abordagem Didática, chega-se à sugestão dos seguintes aprimoramentos: é necessário um número maior de encontros para abordar os conteúdos e atividades com calma, no entanto esses encontros precisam ter uma carga horária menor para não tornar o processo cansativo; precisa ser dedicado mais tempo e atividades para a familiarização com o V de Gowin; se desejar noções mais aprofundadas em relação a um conceito científico específico, deve-se disponibilizar mais tempo de discussão e, se possível, fornecer uma atividade relacionada ao assunto; em termos técnicos, para a execução das simulações, são necessários computadores com memória RAM superior a 4 Gb.

A5 e A8 apresentaram sugestões para as simulações, A5 sugeriu que houvesse maior interatividade na simulação do experimento de detecção indireta dos bósons mediadores da interação fraca, enquanto A8 sugeriu que o texto que utilizaram para auxiliar nas atividades com as simulações poderia estar incluído nas simulações. Essas sugestões serão discutidas em mais detalhes na próxima seção, na qual são apresentadas as avaliações das simulações computacionais, feitas por pares e pelos alunos que participaram da oficina.

6.5 AVALIAÇÃO DAS SIMULAÇÕES

As simulações foram avaliadas de três formas diferentes. A avaliação feita por pares foi dividida em duas partes, uma para avaliar aspectos de Física, Ensino e História da Ciência e outra para avaliar aspectos técnicos de *Design*. A terceira avaliação foi feita pelos usuários, alunos da Oficina de Pesquisa, por meio de um questionário de opinião. A seguir serão apresentados os resultados dessas avaliações.

6.5.1 Avaliação por pares dos aspectos referentes à Física, Ensino e História da Ciência

Dos quatorze avaliadores convidados, seis responderam ao questionário, um dos avaliadores registrou suas impressões e sugestões via *e-mail* e outro preferiu conversar pessoalmente, cuja conversa foi gravada. Desses oito avaliadores, cinco são alunos de pós-graduação, dois são professores de Física Moderna e um é pesquisador na área de Física de Partículas. A seguir serão apresentados os resultados obtidos por meio da avaliação desses avaliadores.

O questionário continha 26 questões, 25 de múltipla escolha com possibilidade do avaliador comentar o que achasse necessário, e uma descritiva para que ele pudesse expor sua opinião a respeito das simulações. Quando necessário os avaliadores serão tratados por AV1, AV2, AV3, ..., AV8.

No Quadro 38 serão expostos os resultados para cada questão e em seguida serão apresentados os comentários que os avaliadores acharam necessário pontuar. Seis avaliadores responderam ao questionário, então esse quadro apresenta somente os dados referentes a esses avaliadores.

Nesse quadro, da esquerda para a direita, após a afirmação, estão as alternativas: Concordo Plenamente (CP), Concordo (C), Não Opina (NO), Discordo (D) e Discordo Plenamente (DP).

Quadro 38 – Resumo das respostas do questionário de avaliação das simulações por avaliadores das áreas de Física, Ensino e História da Ciência

AFIRMAÇÃO	CP	C	NO	D	DP
É um <i>software</i> que pode promover atividades investigativas.	3	3			
Conceitos científicos são lembrados no decorrer do processo.	2	4			
O <i>Software</i> permite interação do usuário.	4	2			
As tarefas mantém e/ou aumentam a motivação do aprendiz.	2	4			
É possível utilizar essas simulações computacionais em atividades em grupo.	4	1			
Os conhecimentos prévios, a respeito dos conhecimentos científicos, são levados em consideração.	2	3		1	
A simulação permitiu a abordagem de um assunto abstrato.	3	3			
Proporciona uma compreensão do mundo real, que seria inviável de observação direta.	1	5			
O erro é valorizado, proporcionando novas oportunidades de aprendizagem.	2	4			
O aprendiz tem liberdade para testar suas hipóteses.	3	3			
A sequência das atividades, nas simulações, está coerente.	4	2			
Quando o estudante "acerta" ou "erra" alguma atividade da simulação, ele obtém um feedback.	5	1			
Os conteúdos estão adaptados ao nível de formação do aprendiz.	3	1	2	1	
As informações exibidas nas mensagens são pertinentes.	3	3			
O conteúdo se adapta ao currículo institucional.	2	2	2		

Existe erro conceitual ou técnico nas simulações.		2	2	2	
O conteúdo está apresentado de forma clara.	5	1			
As simulações fornecem as informações necessárias para a realização das atividades.	2	3			
Recomendaria esse material para fins de aprendizagem.	2	4			
As informações históricas, com imagens e vídeos a respeito dos experimentos históricos, foram úteis para entender como o experimento foi realizado.	4	2			
Com base nas informações históricas contidas nas atividades, os experimentos foram representados de forma coerente nas simulações computacionais.	4	2			
É interessante o uso de simulações computacionais, como essa, com frequência.	2	4			
Essas simulações computacionais são fáceis de usar.		6			
É necessário o auxílio de uma pessoa com conhecimentos técnicos para usar essas simulações.			1	4	1
As pessoas aprenderão rapidamente como usar essas simulações.	2	2		2	

Fonte: a própria autora

Como pode-se perceber no quadro acima, a maioria das respostas é favorável a uma avaliação positiva das simulações computacionais elaboradas.

Uma das discordâncias é em relação aos conhecimentos prévios, pois não deve ter ficado claro para o avaliador que essas simulações somente seriam utilizadas no contexto de uma Abordagem Didática que fornecesse os conhecimentos prévios necessários para que os alunos conseguissem explorar as simulações significativamente.

Inclusive essa é uma preocupação recorrente entre os avaliadores, à medida que quatro deles citaram em seus comentários a necessidade de acompanhamento de um material para as atividades com as simulações, isso pode ser notado no comentário do avaliador AV4, a seguir.

“Os simuladores são ótimos com ambiente computacional agradável. Penso que é de extrema importância uma abordagem teórica antes da utilização dos simuladores. Acredito que aplicação direta da simulação sem uma revisão teórica não efetivaria o aprendizado.” (AV4)

Aqui, retoma-se que o papel das simulações não é verificar uma teoria, caso possa parecer que o avaliador tenha pensado nisso. Elas necessitam sim de um apoio teórico, devem ser introduzidas em um contexto no qual sejam abordadas as temáticas a elas relacionadas e os problemas que elas podem ajudar a elucidar, nesse contexto elas foram planejadas para atividades investigativas e não de verificacionismo.

Além disso, são fornecidas algumas informações a respeito de itens

dos experimentos simulados, pois se os alunos não os conhecem, é dada a possibilidade de obterem informações a respeito dos mesmos. Esse detalhe foi percebido pelo avaliador A5, que em seu comentário avalia que os conhecimentos prévios são levados em consideração.

“Sim, uma vez que a simulação foi desenvolvida para estudantes que já possuem algum conhecimento a respeito de Física Moderna. Interessante também que as simulações possuem breves explicações dos materiais do experimento, caso o estudante não tenha tal conhecimento prévio.” (AV5)

Outras afirmações em que não se obteve um consenso entre os avaliadores foi a respeito das simulações estarem adaptadas para o nível do aprendiz e se os seus conteúdos se adaptavam ao currículo institucional. Isso pode ser justificado pela ausência desses temas na formação docente, mesmo estando previstas em ementas de disciplinas. Isso pode ser observado no comentário do avaliador AV3.

“No item 13 coloquei duas respostas, pois na minha graduação não estudamos física de partículas, partículas elementares, o que foi estudado de partículas foi o átomo de Bohr e sua descrição por meio da equação de onda. No Ensino Médio somente dividimos as partículas de acordo com o modelo padrão, mas sem abordagem histórica, que seria essencial para os alunos (Os livros didáticos não tratam do assunto e os vestibulares não cobram, ou cobram muito pouco). Agradeço muito o convite para participar da pesquisa e espero que realmente sejam utilizados recursos como esse na graduação e os estudantes de licenciatura tenham um melhor suporte para a sua formação como professor.” (AV3)

Com relação aos erros indicados pelos avaliadores estão dois: um erro de digitação em um dos experimentos (AV6) e a sugestão de inserção de um botão para facilitar a ação de sair das simulações (AV5 e AV6).

Dentre outros comentários, AV5 sugeriu que o texto que auxilia o desenvolvimento das simulações fosse incorporado às simulações, pois assim o aluno não precisa sair da simulação para obter as informações que precisa para a realização das atividades.

Quanto à avaliação obtida via *e-mail*, as contribuições foram significativas em relação às terminologias utilizadas. Por exemplo, uma das simulações estava com o título “Detecção dos Bósons W^+ , W^- e Z^0 ”, embora nas simulações fosse esclarecido que essa detecção era indireta, o avaliador AV7 sugeriu que o título fosse trocado para não passar a falsa ideia de detecção direta.

Além desse caso, outras sugestões foram feitas pelo avaliador AV7 em relação às terminologias, especialmente do experimento UA1 e da Câmara de Gargamelle.

AV8 preferiu conversar pessoalmente em virtude de incompatibilidades do computador que ele utilizava e o material da avaliação, por motivos desconhecidos aparecia uma mensagem de erro ao extrair os arquivos. Para obter essa avaliação a pesquisadora levou o próprio computador para que o professor pudesse explorar as simulações e emitir suas opiniões.

O avaliador AV8 achou interessante a maneira de abordar os experimentos e citou casos em que situações dos experimentos simulados poderiam ser abordados em aulas de Física: a ação dos campos elétricos e magnéticos na explicação do funcionamento dos aceleradores, ação da força magnética em partículas carregadas e a aplicação em aceleradores circulares e materiais paramagnéticos, magnéticos e ferromagnéticos para a explicação da desmagnetização adiabática. Esses são alguns dos exemplos de tópicos que envolvem a Física de Partículas e que podem ser explicados utilizando conceitos de Física Geral, o que fortalece a hipótese de que a Física de Partículas não precisa necessariamente ser discutida em disciplinas específicas, ou somente em Física Moderna.

O professor também chamou atenção para termos que podem induzir a um erro, como por exemplo: em uma parte textual do primeiro experimento havia uma frase que afirmava que um material *emite ou absorve calor*, essa frase poderia dar a impressão errada de que o calor é uma substância. Então optou-se por trocar essa explicação por outra, envolvendo o aumento ou diminuição de temperatura do material por meio da variação da entropia. Além disso, percebeu-se um erro de digitação na simulação do experimento da observação das correntes neutras. Dessa forma, AV8 também contribuiu para o aprimoramento da apresentação dos conceitos científicos presentes nas simulações.

Com relação à possibilidade de abordar os conteúdos de Física de Partículas, AV8 menciona a dificuldade que é abordar a parte matemática desses conteúdos e cita a existência de duas opiniões a respeito de abordar ou não. “*Uma das correntes diz que: ou você estuda a Física e Matemática necessária para entender e tirar todas as conclusões necessárias, ou nem vale a pena estudar! Eu já sou da corrente que defende que esse estudo pictórico e qualitativo é muito válido.*”

O que eu tenho dúvida é como conciliar essas duas coisas. Eu tenho materiais para disponibilizar para que, ainda que qualitativamente, possa se discutir esses assuntos.” (AV8). Desse comentário se percebe como a escolha dos conteúdos a serem abordados em sala da aula pode ser feita. Vai depender da maneira como o professor reflete a respeito do Ensino da Física.

Essa avaliação por pares foi relevante para que fossem obtidas as impressões de especialistas nas áreas de Física, Ensino e História da Ciência, a respeito das simulações em termos de conteúdos científicos, pedagógicos e históricos. Essa apreciação externa pode resultar em sugestões de aprimoramento e afirmação de pontos positivos, como foi o caso.

6.5.2 Avaliação por pares dos aspectos referentes a *Design* e Programação

A avaliação por pares relacionados aos aspectos técnicos foi realizada por uma turma de alunos, do terceiro ano do curso de *Designer* Gráfico da Universidade Estadual de Londrina, os avaliadores serão tratados como AD1, AD2, AD3, ..., AD16. Ao todo, dezesseis alunos avaliaram as simulações e responderam ao questionário. A seguir são apresentados os resultados referentes a esse questionário e os eventuais comentários feitos pelos avaliadores em relação aos aprimoramentos sugeridos.

No Quadro 39, da esquerda para a direita, após a afirmação, estão as alternativas: Concordo Plenamente (CP), Concordo (C), Não Opina (NO), Discordo (D) e Discordo Plenamente (DP).

Quadro 39 – Resumo das respostas do questionário de avaliação das simulações por avaliadores da área de *Design*

AFIRMAÇÃO	CP	C	NO	D	DP
A interface contém todas as informações necessárias para atingir os objetivos propostos.	5	8	1	2	
Em termos de características gráficas: as imagens, vídeos e sons são adequados para as simulações.	6	9	1		
As cores da interface são adequadas para que a navegação seja uma experiência agradável.	4	10		1	1
As telas estão organizadas de maneira lógica.	6	7	2	1	
As mensagens de erro ajudam os usuários a reconhecer, diagnosticar e sanar os erros.	5	7	1	2	
Há visibilidade de status do sistema.	4	8	3		
A interface dá liberdade e controle ao usuário.	3	5	3	4	
O usuário tem acesso a um manual de ajuda para a utilização das simulações.	1	10	4	1	

As simulações apresentam facilidade para correções quando ocorrem erros.	5	6	1	4	
As mensagens evitam que o usuário se confunda com as atividades.	3	7	2	4	
Existe um padrão de design que facilita a interação do usuário.	5	9	1	1	
É interessante o uso de simulações computacionais, como essa, com frequência.	8	6	2		
É necessário o auxílio de uma pessoa com conhecimentos técnicos para usar essas simulações.	2	3	1	9	1
As pessoas aprenderão rapidamente como usar essas simulações.	2	10	2	1	

Fonte: a própria autora

Ao analisar o quadro acima, pode-se perceber que, embora haja algumas discordâncias, o resultado geral ainda é favorável para uma avaliação positiva em aspectos técnicos. Infelizmente, nem todos os avaliadores que discordaram de algumas informações justificaram o motivo. A seguir serão apresentadas algumas das sugestões.

A sugestão mais indicada pelos avaliadores foi em relação à funcionalidade do *scroll* do *mouse* (AD8, AD7, AD5, AD3, AD2), eles sugeriram que as barras de rolagem dentro das simulações funcionassem com esse comando.

AD15 sugeriu o botão de fechar para sair das simulações, aprimoramento das mensagens que descrevem os itens dos experimentos, pois em alguns casos elas ficam sobrepostas à caixa de seleção do item e só é permitido a seleção desse item com *tooltip* fechado, esse detalhe também foi indicado por AD5. AD15 sugeriu botões como [voltar] quando o aluno abre as abas de informações e ajuda e aprimoramento das imagens utilizadas, uma vez que algumas estão com baixa resolução e não seguem um padrão de exibição.

Esse aprimoramento das imagens também foi citado por AD11, AD7 e AD6, que sugerem melhoras de resolução, molduras e de organização.

Quanto às cores, AD14, AD7, AD4 e AD5 emitiram opiniões sugerindo cores mais fortes ou que chamassem melhor a atenção dos alunos, sendo que AD7 chamou a atenção para a cor amarela do *pop-up* de algumas mensagens que podem dar a impressão de erro, mesmo quando não é esse o caso.

No que se refere ao aprimoramento das correções de erros, AD14 sugeriu que ao refazer o teste da montagem dos experimentos as mensagens de erro da montagem anterior fossem apagadas, para não confundir o aluno na análise dos erros subsequentes.

Houve também duas sugestões para interação do usuário por

hover³⁴ (AD2 e AD3).

6.5.3 Avaliação das simulações realizada pelos alunos participantes da Oficina de Pesquisa

Após desenvolverem atividades com as simulações computacionais dos três experimentos históricos, os alunos responderam a um questionário de opinião, composto por 08 questões, no qual expressaram suas impressões em relação a esse recurso didático. A seguir, serão apresentadas as Unidades Temáticas nas quais foram unitarizadas as respostas fornecidas pelos alunos.

A primeira questão era: Você gostaria de utilizar simulações como essas com mais frequência? Explique o motivo.

Quadro 40 – Unidades Temáticas em relação à questão 01

UNIDADES TEMÁTICAS	REGISTROS
UT1: Gostaria, pois ajuda a entender os experimentos históricos.	<p>“Sim, as simulações nos permitem ter uma ideia mais concreta dos experimentos e das dificuldades encontradas na época.” (A9)</p> <p>“Sim, essas simulações me ajudam bastante a entender como os experimentos foram realizados no passado.” (A1)</p> <p>“Sim, pois elas demonstram possibilidades, não somente o que foi feito e deu certo, além da parte histórica com fotos e documentos.” (A6)</p>
UT2: Usaria, são didáticas e baratas.	<p>“Sim, já estou usando, são práticas, baratas e claras.” (A5)</p> <p>“Sim, pois são didáticas.” (A3)</p> <p>“Sim, pois tem uma ótima didática.” (A7)</p>
UT3: Usaria, pois exemplificam processos experimentais.	<p>“Sim, devido sua eficiência em exemplificar os processos experimentais.” (A8)</p> <p>“Sim, pois a utilização de simulações pode viabilizar a reprodução de um experimento trabalhoso ou caro.” (A4)</p> <p>“Sim, as simulações fazem com que se entenda melhor os experimentos.” (A2)</p>

Fonte: a própria autora

Ao analisar os registros das unidades temáticas acima, percebe-se a aceitação dos alunos em relação a esse recurso, dada sua característica de ajudar a compreender experimentos históricos, ser eficiente na descrição de processos experimentais e ser didática.

³⁴ Recurso que permite ao usuário perceber que itens de um *software* ou página web são clicáveis. Por exemplo, em um arquivo do Word, quando passamos o *mouse* pelas ferramentas elas ficam levemente destacadas.

Isso está de acordo com o que a literatura já apresenta a respeito das simulações como um todo, são didáticas e por isso são atrativas em comparação com uma atividade de leitura, por exemplo. Além disso, as simulações conseguem representar processos experimentais que, por motivos variados, são de difícil execução em sala de aula (MARTINS; FIOLEAIS; PAIVA, 2003).

Neste caso específico, as simulações abordam experimentos históricos e essa característica pode fornecer mais aspectos atrativos para o ensino, como a contextualização histórica, fornecendo uma visão do trabalho científico que pode levar os alunos a desenvolverem uma noção realista da Ciência.

A segunda pergunta era em relação a eventuais dificuldades ou confusões apresentadas na exploração das simulações. Por unanimidade os alunos responderam não ter tido nenhuma dificuldade na utilização das simulações.

A terceira pergunta era: As mensagens exibidas nas simulações foram úteis para seu desempenho? Explique.

Quadro 41 – Unidades Temáticas referentes à questão 03

UNIDADES TEMÁTICAS	REGISTROS
UT1: Foram uteis pois indicavam os erros	<p>“Sim, principalmente as de erros, elas ajudaram a chegar na montagem correta.” (A9)</p> <p>“Sim, pois o próprio programa vai nos dando dicas e explicando o porque a minha simulação estava dando errado, até que eu acertei.” (A1)</p> <p>“Sim, logo que explicam os erros e acertos.” (A8)</p> <p>“Sim, demonstram o erro e dão dicas do porquê não dá certo.” (A6)</p> <p>“Sim, pois eles mostravam exatamente aonde estava o erro.” (A2)</p>
UT2: Foram úteis, serviram como guias	<p>“Sim, pois iam auxiliando na execução e explicando o funcionamento do experimento.” (A4)</p> <p>“Sim, pois davam dicas e mostravam o caminho certo a seguir, o que facilitou muito.” (A5)</p> <p>“Sim. As mensagens me ajudaram a não me perder na realização das simulações.” (A3)</p> <p>“Sim, as mensagens serviram como guia.” (A7)</p>

Fonte: a própria autora

É possível perceber que as mensagens foram significativas no processo de exploração das simulações, à medida que os alunos acham que foram úteis, seja na correção dos erros ou para servir de guia na utilização das simulações.

Isso sugere que as mensagens de erro cumprem um papel na aprendizagem dos alunos, quando se referem à aprendizagem pelos erros, na qual o

ser humano aprende corrigindo seus erros (MOREIRA, 2010). O *feedback* é instantâneo, assim o aluno sabe onde errou e o motivo de ter errado, proporcionando uma valorização do erro enquanto oportunidade de aprendizagem, oportunidade de construir conhecimentos.

A quarta pergunta era: As simulações foram úteis para que você entendesse como o experimento histórico foi realizado? Explique.

Quadro 42 – Unidades Temáticas referentes à questão 04

UNIDADES TEMÁTICAS	REGISTROS
UT1: Sim, uma ilustração gráfica complementa o texto.	<p>“Sim, pois apenas teoricamente fica difícil realmente enxergar como o experimento foi realizado.” (A1)</p> <p>“Sim, é muito mais claro entender pelo experimento que por um texto, por exemplo.” (A5)</p> <p>“Sim, na verdade muito útil. Pois, facilitou a visão do experimento. Deu "vida" à o que antes estava apenas em textos.” (A8)</p>
UT2: Ajudou a entender o experimento e as dificuldades.	<p>“Sim, ajudam a entender a magnitude e a dificuldade das coisas.” (A9)</p> <p>“Sim, porque a partir da montagem dos componentes do experimento consegue-se ter um bom entendimento do experimento como um todo.” (A4)</p> <p>“Sim, as simulações mostravam exatamente como os experimentos foram realizados.” (A2)</p> <p>“Sim, pois explicavam de modo com que o usuário aplicasse as leis da física e seus conhecimentos.” (A7)</p> <p>“Sim, elas mostram o processo do experimento e as dificuldades que surgem.” (A6)</p>
UT3: Cita a parte histórica.	<p>“Sim. Ao fim das simulações, as sessões de fotos ajudaram a explicitar a relação da simulação com experimento real.” (A3)</p>

Fonte: a própria autora

Pelas respostas dos alunos é possível perceber que as simulações ajudaram de alguma forma a entenderem o experimento. Três alunos consideram que as simulações complementam os textos, ilustram processos que são difíceis de imaginar apenas com a leitura, principalmente quando se trata de processos que envolvem partículas subatômicas que são conceitos que estão fora do alcance dos sentidos do ser humano (MEDEIROS; MEDEIROS, 2002).

Cinco alunos entendem que as simulações ajudam a compreender o experimento como um todo, desde seu processo de execução até as possíveis dificuldades encontradas.

No entanto, é conveniente tomar cuidado com a resposta de A2, na

qual ele cita que as simulações mostraram exatamente como os experimentos foram realizados. Isso não é verdade, pois as simulações foram elaboradas com base nos materiais de consulta aos quais se teve acesso e esses materiais podem não conter todas as informações que descrevem como o experimento foi feito (HEERING, 2005). Além disso, não se pode deixar de lado que uma simulação é um modelo de representação do fenômeno e apresenta simplificações, não representa, nesse caso, todas as características e processos dos experimentos reais (MEDEIROS; MEDEIROS, 2002).

Com relação à representação do experimento real, A3 fala que as fotografias históricas o ajudaram a relacionar a simulação com os experimentos reais.

A quinta pergunta era: As simulações ajudaram você entender o conteúdo que estava sendo discutido? Explique como elas contribuíram.

Quadro 43 – Unidades Temáticas referentes à questão 05

UNIDADES TEMÁTICAS	REGISTROS
UT1: Sim, relaciona a parte teórica e experimental	<p>“Sim. Associam o conhecimento teórico ao experimental.” (A3).</p> <p>“Sim. Elas contribuíram explicando como foi desenvolvida a experiência, que por sua vez tem o intuito de verificar uma hipótese das teorias discutidas.” (A4)</p> <p>“Sim, logo que os conceitos envolvidos ficam explícitos em cada nível da simulação. (A8).</p> <p>“” Sim, pois a aplicação dos conceitos os deixaram mais claro.” (A5)</p>
UT2: Sim, ajudaram a entender o experimento.	<p>“Sim, montando os experimentos foi possível entender o papel de cada peça e como ela contribuiria para a medida necessária.” (A9)</p> <p>“Sim, pela montagem experimental deu pra entender melhor como cada parte agia.” (A1)</p> <p>“Sim, elas demonstram o passo a passo nos ajudando a ter uma visão do todo, mas construído de forma explicativa.” (A6)</p> <p>“Sim, as simulações contribuíram com a visualização dos experimentos.” (A2).</p>
UT3: Contribuíram na aprendizagem.	<p>“Sim, elas contribuíram com minha aprendizagem notória. (A7)</p>

Fonte: a própria autora

É possível perceber que a maioria dos alunos entende a contribuição das simulações associada a dois aspectos: a compreensão dos experimentos e a relação entre teoria e experimentação. Enquanto A7 afirma ter contribuído em sua aprendizagem, mas não explica como.

Assim, entende-se que quatro alunos relacionaram a contribuição das simulações somente para o entendimento do experimento que foi simulado e não citam as implicações dessa aprendizagem nos conhecimentos teóricos adquiridos. Porém, outros quatro alunos relacionaram as simulações dos experimentos com a parte teórica, indicando que a aplicação dos conceitos nas simulações promove um entendimento a respeito deles.

A sexta pergunta era: Comente o que mais lhe chamou atenção nas simulações utilizadas na Oficina de Pesquisa.

Quadro 44 – Unidades Temáticas referentes à questão 06

UNIDADES TEMÁTICAS	REGISTROS
UT1: O procedimento experimental	<p>“” O fato de o usuário montar o próprio experimento, a partir do nada.” (A4)</p> <p>“A montagem experimental.” (A1)</p> <p>“Foram os procedimentos de resolução, logo que o experimento é resolvido em etapas, facilitando vislumbrar o conteúdo envolvido e o resultado obtido.” (A8)</p>
UT2: As mensagens	<p>“As mensagens explicativas.” (A2)</p> <p>“A dinâmica da simulação foi um dos pontos chaves, pois, quando errávamos a montagem dos aparatos, a simulação nos mostrava onde estávamos errando e dava dicas para continuarmos. Então, a interação da simulação com o aluno é o que mais me chamou atenção.” (A9)</p>
UT3: A parte histórica	<p>“A originalidade das simulações, feitas especialmente para a oficina.” (A3)</p> <p>“Fotos históricas do experimento real.” (A6)</p> <p>“A atenção à detalhes dos experimentos.” (A7)</p>
UT4: Interface gráfica	<p>“A interface gráfica muito bem feita.” (A5)</p>

Fonte: a própria autora

Quanto a essa pergunta, foram diversas as opiniões. Três alunos gostaram mais da parte experimental que foi simulada, tanto da parte da montagem dos experimentos, quanto da parte de execução dos experimentos. Outros três alunos indicaram a parte histórica das simulações como a que mais lhes chamou atenção.

Dois alunos citaram as mensagens contidas nos experimentos e a interação que isso proporcionou, pois as simulações indicavam os erros e orientavam as tomadas de decisão. Essas respostas remetem aos resultados da questão 03, referente à contribuição das mensagens para as simulações, indicando

que além de úteis são lembradas por dois alunos como o que mais chamou atenção nas simulações.

A sétima pergunta era: Qual sua opinião a respeito de utilizar Simulações Computacionais de “Experimentos Históricos” no Ensino de Física?

Quadro 45 – Unidades Temáticas referentes à questão 07

UNIDADES TEMÁTICAS	REGISTROS
UT1: Ajuda a resolver problemas de abstração e explicar fenômenos	<p>“Acho muito interessante, pois física é uma matéria muito abstrata para muitos alunos e os experimentos ajudam trazê-la para a realidade, e pelas simulações temos um jeito simples e rápido de apresentar os experimentos em sala.” (A9)</p> <p>“Acho uma ferramenta muito útil e que facilita o entendimento dos fenômenos físicos.” (A7)</p> <p>“Achei muito funcional. Logo que evidencia os processos e atenta aos experimentos e suas dificuldades.”</p>
UT2: Promove interação.	<p>“Deve ser usado com mais frequência pois ensina enquanto promove uma interação do aluno com um meio digital, tão presente no cotidiano atual.” (A4)</p> <p>“Uma ótima forma de reforçar o aprendizado do conteúdo. Visto que sai da forma padrão de aula (professor e quadro), sendo assim possibilitando a interação do aluno com as aulas.” (A5)</p>
UT3: Útil quando não é possível utilizar o experimento real.	<p>“Uma opção interessante quando replicar o experimento não é uma possibilidade.” (A6)</p>
UT4: Acesso rápido e fácil.	<p>“Pensando que estamos cada vez mais inseridos na tecnologia, as simulações chamam atenção para as pesquisas desenvolvidas e possibilitam que todos tenham acesso de maneira rápida e até fácil.” (A2)</p>
UT5: Interessante	<p>“Em uma primeira experiência me parece muito útil e interessante.” (A5)</p> <p>“Seria bem interessante” (A1)</p>

Fonte: a própria autora

Os alunos expressaram diferentes justificativas, mas todos acreditam que esse tipo de simulação deveria estar presente nas salas de aula. A justificativa mais citada é o fato de promoverem o entendimento de fenômenos físicos, que muitas vezes podem ser abstratos. Além disso, pode mostrar as dificuldades nos procedimentos experimentais. Isso sugere que os alunos entendem esse tipo de simulação computacional como qualquer outra que tem por objetivo a ilustração de fenômenos físicos e em alguns casos também abordar as dificuldades enfrentadas para que se obtivesse o entendimento dos fenômenos.

Dois alunos citaram a interação como uma justificativa para a

inserção dessas simulações no ensino, argumento que a literatura apresenta como relevante para que os alunos se tornem ativos no processo de aprendizagem (FIGUEIRA, 2005). Além disso, outras justificativas foram o acesso rápido, fácil e reprodução de experimentos que são inviáveis de reprodução real. Dois alunos disseram que seria interessante, mas não explicaram o motivo.

A oitava pergunta era: Você teria interesse em conhecer / utilizar simulações computacionais de experimentos históricos relacionados a outros conteúdos de Física? Explique o motivo.

Quadro 46 – Unidades Temáticas referentes à questão 8

UNIDADES TEMÁTICAS	REGISTROS
UT1: Sim, pois ajuda a entender teoria.	<p>“Sim, eu acho que o experimento é um complemento importante na apresentação de uma teoria, também acho que é uma abordagem melhor para alunos do ensino médio em vez de resolver dezenas de equações.” (A9)</p> <p>“Com certeza. Assim como estas simulações me ajudaram a entender um pouco mais sobre a Teoria Eletrofraca, creio que possa ajudar a entender outras áreas da física.” (A4)</p> <p>“Sim, tenho interesse. As simulações facilitaram o meu aprendizado em Unificação Eletrofraca. Então, se tiver outras simulações na área de física eu gostaria de usar.” (A2)</p>
UT2: Sim, pela relação dos experimentos com a História da Ciência.	<p>“Sim, eu com certeza gostaria mais de aprender sobre a história da física e fazer simulações dos experimentos realizados pelos grandes cientistas, pra melhor entender como eles pensavam e como eles chegaram as conclusões.” (A1)</p> <p>“Sim. A construção histórica dos conhecimentos científicos ajudam no aprendizado dos mesmos.” (A3)</p> <p>“Sim. Desde o seu processo experimental até sua construção histórica são de fundamentais importância na construção da Aprendizagem Significativa, tendo, em meu ponto de vista, uma abordagem didática e exemplificada.” (A8)</p>
UT3: Por ser acessível e sem custo.	<p>“Sim, por ser mais acessível e sem custo.” (A6)</p> <p>“Em alguns conteúdos sim. Por exemplo o Experimento de Michelson Moreley, pois é muito chato montá-lo, e me parece uma perda de tempo inútil.” (A5)</p>
UT4: Sim, para utilizar em minhas práticas	<p>“Sim, para usar mais para frente em minha carreira como educador.” (A7)</p>

Fonte: a própria autora

Todos os alunos gostariam de utilizar esse tipo de simulação novamente, seja para entender teorias, para obter uma relação entre os experimentos e a História da Ciência, por ser acessível e sem custo, por facilitar a exploração de experimentos que são difíceis ou inviáveis de montar e para utilizar na

futura atuação profissional.

Novamente as justificativas são variadas, mas percebe-se que as mais presentes estão relacionadas ao entendimento de teorias e à relação dos experimentos com a História da Ciência, sugerindo que esses fatores foram relevantes para eles e por isso gostariam de ter acesso a esse tipo de material novamente. Aliás, A3, A1 e A8 já tinham citado a parte experimental ou a parte histórica como fatores que mais lhe chamaram a atenção nas simulações.

As outras justificativas estão relacionadas ao fácil acesso para utilização em sala de aula, na qual A9 reforça sua opinião a respeito do uso desse tipo de simulações, pois trata-se de uma maneira simples e rápida de apresentar os experimentos em sala. Enquanto A5 acredita que alguns experimentos são de difícil montagem e se perde tempo com o experimento real, assim as simulações podem facilitar esse acesso.

A7 se mostra preocupado com a atuação profissional e indica essas simulações para utilização em sua futura carreira como educador. Nessa fala, retoma-se a relevância de oportunidades de contato dos alunos com diferentes metodologias de ensino em sua formação inicial, pois de acordo com Heidemann, Araújo e Veit (2014), o que influencia o uso de metodologias de ensino diferenciadas na atuação profissional é o conhecimento e o contato que os professores possuem a respeito dessas metodologias.

Com base em todas as avaliações feitas a respeito das simulações computacionais elaboradas neste trabalho, em discussão com a equipe multidisciplinar optou-se por aprimorar os seguintes aspectos: correções textuais relacionadas à precisão de terminologias e conceitos científicos e erros de digitação; aprimorações gráficas (cores, contornos, padronização de objetos e a interação por hover); apagar automaticamente as mensagens de erro quando o usuário o corrigir; inserção de um indicativo de finalização da simulação; revisão da funcionalidade do *scroll* do *mouse*; alteração da posição em que aparecem os *tooltips* para que não se sobreponham à caixa de seleção de materiais; inserir um botão de minimizar e reformulação do Passo 2 do Exp. 3 para inserir mais interatividade.

Em referência à inserção do texto nas simulações, que foi sugerida por um dos alunos da oficina e por um dos avaliadores, optou-se por não colocar para evitar que as simulações ficassem “pesadas” e consumissem mais memória

para serem executadas.

6.6 ANÁLISE DO PROCESSO METODOLÓGICO DE ELABORAÇÃO DAS SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

Ao final do processo de elaboração das simulações computacionais de experimentos históricos, após adotar diferentes metodologias para atender requisitos didáticos, técnicos, de conteúdo e históricos, inspirado no ciclo de desenvolvimento de Galvis (1992), é apresentada a seguir uma sequência de etapas para o desenvolvimento das simulações de experimentos históricos, com base na experiência de desenvolvimento da equipe.

Como se trata da simulação de um experimento histórico, a primeira fase foi elaborar a composição histórica a respeito da unificação eletrofraca. Todos os procedimentos dessa fase foram desenvolvidos considerando metodologias de pesquisa em História da Ciência, utilizando na medida do possível as fontes primárias e seguindo os princípios da Composição Histórica, inteligibilidade, valores cognitivos e fidedignidade. Em termos de reprodução de experimentos históricos, foi considerado tanto a definição de experimentos históricos, quanto os cuidados para obtenção dos detalhes que fariam parte das descrições desses experimentos.

Em seguida foram escolhidos os experimentos que seriam abordados, de acordo com a indicação da literatura e com as limitações impostas pelas fontes de informação de cada experimento, pois quando não é possível encontrar informações a respeito de um experimento, sua simulação se torna inviável.

A próxima etapa é a descrição detalhada de cada um dos experimentos, para isso faz-se necessário a utilização do maior número possível de fontes primárias que apresentem informações detalhadas do procedimento experimental, fotografias dos equipamentos, vídeos e esquemas que podem ajudar a entender todo o processo empírico desenvolvido pelos cientistas. Essa descrição precisa englobar um alto nível de detalhamento para que a equipe de programação e design entendam o processo e tenham materiais confiáveis para começarem seu trabalho.

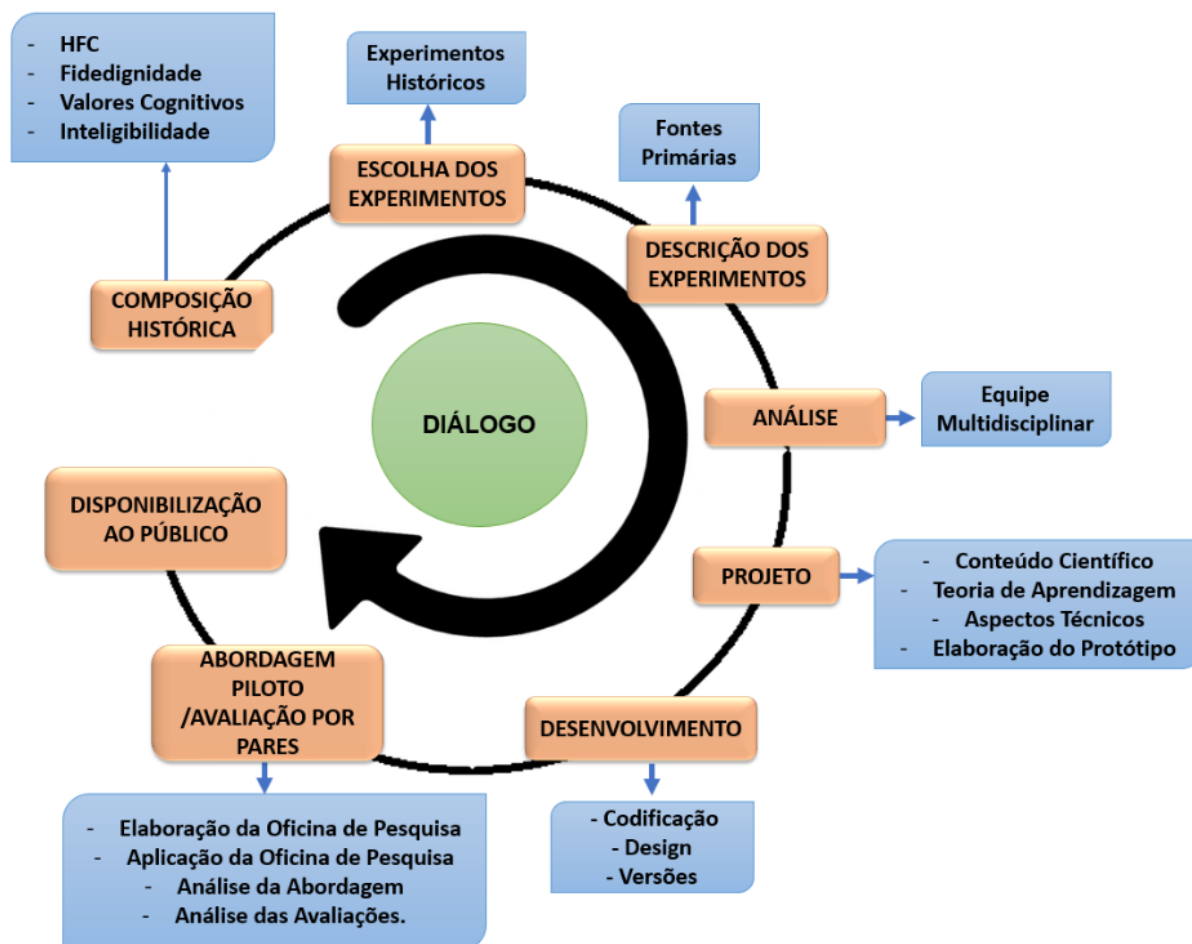
Com todas essas informações em mãos é possível dar início ao projeto, desde que tenha sido montada a equipe multidisciplinar. Como trata-se de

um projeto que envolve múltiplas capacidades, se o desenvolvedor não possui todas elas, faz-se necessário que outras pessoas colaborem com o projeto. Feitas as descrições, foi realizada a análise e elaboração do projeto que resultou no primeiro protótipo das simulações.

Nessa fase de elaboração consideraram-se os requisitos didáticos, de conteúdo e técnicos, ou seja, foram incluídos aspectos da Teoria de Aprendizagem Significativa, os conteúdos que seriam abordados de acordo com o público-alvo e os detalhes técnicos de interface e interação que as simulações deveriam atender. Esse protótipo foi analisado pela equipe, em seguida deu-se início ao processo de desenvolvimento por meio da codificação e aprimoramentos de *design*, sempre em diálogo com a equipe para esclarecer procedimentos e aprovar as elaborações técnicas de programação e *design*.

Assim, surgiu a primeira versão das simulações computacionais dos experimentos históricos escolhidos. Essas simulações foram revisadas pela equipe e em seguida passaram por um processo de validação externa, feita por especialistas e possíveis usuários. Paralelo a esse processo também foi dado início à abordagem-piloto, pois em alguns casos pode não haver tempo hábil para esperar o resultado das avaliações externas, para, então, fazer as aprimorações e a abordagem-piloto. Dessa forma, as avaliações externas e a abordagem-piloto ocorreram ao mesmo tempo e seus resultados foram avaliados para considerar possíveis aprimorações. A abordagem-piloto foi composta pela elaboração e aplicação de uma Abordagem Didática para utilizar as simulações em um contexto para o qual foram planejadas. Após a análise da abordagem-piloto e das avaliações externas foram retomados os diálogos com a equipe para realizar as adequações necessárias e preparar o material para a disponibilização para o público. A Figura 38 mostra uma representação de todo esse processo.

Figura 38 – Representação de um ciclo de desenvolvimento das simulações computacionais de experimentos históricos



Fonte: a própria autora

Nesse caso, também convém ressaltar os ganhos e dificuldades na colaboração multidisciplinar. Entre os ganhos está, sem dúvida, o resultado de um trabalho que reflete critérios relevantes para atender as necessidades de um *software* educacional, pois o ambiente virtual projetado atende critérios de ensino (planejado com base na Teoria de Aprendizagem Significativa), conteúdo (explora conteúdos científicos de Física de Partículas), contextualização (aborda conteúdos de Física Moderna e Contemporânea, HFC e multimeios de representação) e técnicos (assimila princípios de usabilidade, padrões de programação e interface gráfica). Critérios esses que foram atendidos e desenvolvidos pelos especialistas em cada competência e isso, sem dúvida, favoreceu a qualidade do resultado.

Além disso, o intercâmbio de conhecimentos permitiu que os diferentes membros da equipe adquirissem conhecimentos multidisciplinares, no qual especialistas da equipe FEHC passaram a entender aspectos técnicos

referentes à área de programação e *Design* e os especialistas da equipe CD tiveram a oportunidade de conhecer um pouco a respeito dos experimentos que estavam sendo simulados e de princípios de Aprendizagem Significativa que norteavam as atividades. Sem comentar da experiência do trabalho em equipe, que exige um esforço mútuo e proporciona o intercâmbio de conhecimentos.

Em termos financeiros, foi feita uma estimativa dos gastos que seriam necessários para programação e *design*. Trata-se de uma estimativa, pois um orçamento detalhado para este projeto só seria possível com o planejamento e cronograma detalhados, a definição clara das atribuições e um cálculo de horas. Dessa forma, para as atribuições de *design* seria necessário um investimento aproximado de R\$ 5.000 a R\$ 8.000. Enquanto a parte de programação exigiria um investimento em torno de R\$ 20.000 a R\$ 45.000. Isso mostra o ganho financeiro que é alcançado por meio das parcerias entre as diferentes áreas.

No entanto, essa colaboração interdisciplinar também apresenta dificuldades, a primeira delas é a comunicação. Dado que a equipe é composta por integrantes de diferentes áreas científicas, é comum a dificuldade de comunicação. Nessa investigação, percebeu-se que esse processo ainda é mais complicado quando é feito entre a equipe FEHC e o programador, pois há uma lacuna entre o que a equipe FEHC deseja e o que o programador entende que a equipe deseja. Esse impasse foi amenizado com a ajuda do profissional de *design*, que procurava entender, graficamente, o que a equipe FEHC pretendia e com os conhecimentos técnicos, similares à área de programação, conseguia estabelecer um diálogo mais eficiente.

Outra dificuldade relatada pelos integrantes foi a constante mudança de requisitos ao longo do processo, como por exemplo, a inserção de novas funcionalidades, a criação de um tutorial, créditos da equipe, adaptação do *software* em três idiomas, entre outros. Devido esse processo ter ocorrido em meio ao desenvolvimento, isso acarretava mudanças em etapas que já haviam sido cumpridas e esse processo. Assim, recomenda-se uma gestão de requisitos bem estruturada, para que não sejam cometidos erros ou equívocos nos processos de mudança.

Com inspiração em Perry (2005), com base na experiência da equipe, sugere-se dicas que podem favorecer o trabalho em equipe, nos moldes

colaborativos. Os quadros a seguir exemplificam dicas para aprimorar o relacionamento entre membros da equipe. Os termos em itálico correspondem às contribuições de Perry (2005).

Quadro 47 – Relação entre a equipe FEHC e CD

	Deve entender que...	
FEHC	<ul style="list-style-type: none"> > <i>Muitas das perguntas que o programador e/ou o designer fazem são para modelar da melhor forma possível a simulação;</i> > Mudanças nos requisitos aumentam os prazos para finalizar o projeto; > Nem sempre as alternativas didáticas são viáveis em termos de usabilidade; > O software só fica pronto após o aval do usuário; 	CD
CD	<ul style="list-style-type: none"> > Algumas alterações e requisitos são para atender objetivos didáticos; > <i>Designer e programador precisam entender o que está acontecendo no experimento a ser simulado;</i> > Mudanças são necessárias ao passo que novas informações passam a ser relevantes ou quando se percebe erros ou imprecisões a medida que o projeto é desenvolvido; > Os integrantes da equipe FEHC nem sempre dominam o vocabulário técnico de programação e design. 	FEHC

Fonte: a própria autora

Assim, a equipe FEHC deve estar ciente que nem todas as alternativas didáticas são viáveis em termos de usabilidade de *software* e que quando são necessárias muitas alterações durante o projeto, sejam relacionadas a conteúdos ou recursos pedagógicos, essas mudanças irão acarretar alterações no prazo de finalização do projeto e em casos de excesso de alterações podem causar um desgaste com a equipe CD, pois há muito tempo de trabalho e esforços desperdiçados. No entanto, a equipe CD deve entender que novas informações relevantes ao processo podem surgir no decorrer do desenvolvimento e em alguns casos somente depois de colocar em prática as ideias do protótipo é que se percebem falhas ou imprecisões que antes não eram visíveis. Desse modo, é nítido que as alterações no decorrer do projeto são inevitáveis, porém deve-se tomar cuidado para não tornar esse processo constante e comprometer demasiadamente os prazos para finalização do projeto e o trabalho da equipe CD. Além disso, ambas as equipes podem apresentar dificuldades em entender as linguagens técnicas de cada área.

Quadro 48 – Relação entre a equipe FEHC, C e D

	Devem entender que...	
FEHC e D	<ul style="list-style-type: none"> > <i>Uma alteração pequena pode comprometer a estrutura do código;</i> > <i>Jogar código fora é frustrante;</i> 	C

	> <i>Devem deixar claro quando o objetivo é o teste de uma alternativa.</i>	
	Devem entender que...	
FEHC e C	<ul style="list-style-type: none"> > Design de interface é uma atividade complexa, atividades demandam tempo; > As equipes precisam compreender que o designer precisa do maior número possível de informações e insumos para começar a desenvolver a interface do usuário; > O designer de posse das informações pertinentes vai otimizar tempo e evitar reformulações desnecessárias; > As decisões formais e estéticas vão além de gosto pessoal; 	D

Fonte: a própria autora

Desse modo, deve-se estar atento ao que se pede para as equipes de *design* e programação, pois é frustrante em ambas as áreas ter que desperdiçar tempo e serviço. Recomenda-se que, em termos de programação, não sejam feitas mudanças significativas constantes, a não ser as que sejam necessárias para atender requisitos didáticos e de conteúdo. Já em relação ao *designer*, aconselha-se que seja fornecido o maior número de informações a respeito do que se deseja que ele reproduza. Por exemplo, no desenvolvimento das simulações, todas as fotografias, vídeos e descrições que se obteve a respeito dos experimentos e de componentes dos mesmos eram enviadas ao *designer* para que ele pudesse elaborar a interface gráfica da melhor maneira possível. Assim, esse profissional otimiza o tempo e evita reformulações desnecessárias. Além disso, deve ficar claro que as decisões formais e estéticas vão além do gosto pessoal, ou seja, os elementos e cores das interfaces são pensados levando em consideração a usabilidade e a estética.

Quadro 49 – Relação entre as equipes e os gerentes do projeto

	Devem entender que...	
Gerentes	<ul style="list-style-type: none"> > São necessárias reuniões constantes para acompanhar o desenvolvimento do projeto; > O contato direto entre as equipes pode ser mais eficiente; > O diálogo é sempre necessário para as tomadas de decisão; > A organização do sistema de comunicação entre as equipes é essencial; > Como é um projeto colaborativo, o tempo de execução será maior e o gerente precisa entender o ritmo da equipe; > Prazos curtos podem comprometer a qualidade do software; > É necessário fornecer um feedback para a equipe; > É necessário facilitar a comunicação entre clientes e equipes; 	Equipe
	Devem entender que...	
Equipe	> As decisões gerenciais são tomadas com base em aspectos de cronograma, orçamento e planejamento, ou seja, os gerentes possuem uma visão macro do projeto;	Gerentes

Fonte: a própria autora

Com relação ao relacionamento entre o(s) gerente(s) do projeto, deve ficar claro que as decisões gerenciais são tomadas em função de cronogramas, orçamentos e planejamento. O gerente tem uma visão macro do projeto e com isso consegue propor as atividades para as equipes visando o desenvolvimento das etapas necessárias. No entanto, convém ao gerente entender o ritmo de trabalho da equipe, que por ser um trabalho colaborativo vai demandar mais tempo para execução. Além disso, prazos demasiadamente curtos podem comprometer a qualidade do *software*, uma vez que as atividades de *design* de interface e de programação podem ser complexas e demandar mais tempo para uma execução apropriada.

Outro item relevante são as reuniões para acompanhar e gerenciar o desenvolvimento do projeto. Nesses momentos é necessário que as equipes recebam um *feedback* das atividades e do processo de desenvolvimento, pois o progresso das atividades depende disso. As tomadas de decisão devem ser realizadas em conjunto para que se reflita a respeito da aplicabilidade dos requisitos em todas as áreas, pois nem sempre o que é viável em termos de *design* e didática é viável em termos de programação e essa negociação precisa ser feita para que se alcance uma solução. Além disso, esse contato entre as equipes é mais satisfatório e produtivo quando ocorre sem a intermediação dos gerentes, pois otimiza-se o tempo de comunicação e de respostas. Uma vez que as equipes estão em contato direto, podem tirar suas dúvidas e fazer sugestões a qualquer momento.

Ainda em relação às dicas, dentre as ferramentas computacionais necessárias para o desenvolvimento do projeto, existem aquelas relacionadas ao desenvolvimento das atribuições de cada equipe e aquelas relacionadas à comunicação entre a equipe.

Ferramentas computacionais da Equipe FEHC: internet para as pesquisas de material e metodologias; *Office (Word; Excel e PowerPoint)* para elaboração dos arquivos de texto para a equipe CD; *Notepad++* para elaboração dos arquivos de texto para as simulações; acessórios do Windows (*Paint* e Ferramenta de Captura) para edição de imagens; *Movie Maker* para edição de vídeos e legendas.

Ferramentas computacionais da Equipe CD: Unity 3d para programação, *Notepad++* para elaboração dos arquivos de texto para as

simulações; *Adobe Illustrator* para realizar o desenho dos componentes dos experimentos e da interface gráfica.

Ferramentas de comunicação: houve a necessidade de comunicação remota entre os membros da equipe. Esse tipo de comunicação flexibilizou os horários das reuniões e eliminou as limitações geográficas. Porém, de acordo com os integrantes, faz-se necessário que sejam realizadas reuniões presenciais ao longo do processo, pois isso facilita as explicações e a própria comunicação. Assim, a melhor saída é trabalhar com as duas possibilidades.

Outro item que deve ser bem estruturado é o espaço *online* que disponibiliza o conjunto de ferramentas e materiais a serem utilizados como um sistema de comunicação, espaços de compartilhamento de informação ou coordenação de processos. No caso dessa investigação, foram utilizadas as mais diversas ferramentas, entre elas: Hangouts, e-mail, Dropbox, Trello, WhatsApp, Messenger, Google Drive etc. Essas diversas ferramentas tiveram diferentes propósitos e auxiliaram o processo de comunicação e desenvolvimento, inclusive, no Trello, havia a possibilidade de compartilhar materiais, estabelecer prazos e acompanhar o desenvolvimento das atividades dos integrantes da equipe. No entanto, arquivos grandes não podiam ser compartilhados, isso fez com que outras alternativas como Dropbox e Google Drive fossem utilizadas. Porém, deve-se tomar cuidado em relação à padronização de uso desses repositórios, para que a documentação do projeto não fique descentralizada e desorganizada.

No que diz respeito à elaboração das descrições dos experimentos, houve dificuldades para encontrar informações detalhadas a respeito dos experimentos nos artigos originais. Assim, foi necessário um cruzamento de informações entre as mais variadas fontes de pesquisa, para que fosse possível obter uma descrição detalhada e mais fiel possível aos aspectos científicos e históricos.

Assim, espera-se que o detalhamento do processo metodológico de elaboração das simulações e o compartilhamento da experiência do trabalho em uma equipe multidisciplinar colaborem com futuras investigações a respeito da elaboração de simulações computacionais de experimentos históricos, ou afins, na área de Ensino de Ciências.

CONSIDERAÇÕES

Após o desenvolvimento desta pesquisa, que tinha por objetivo responder aos seguintes questionamentos: *Uma abordagem histórico-didática a respeito da unificação eletrofraca, baseada em simulações computacionais de experimentos históricos e aspectos da Aprendizagem Significativa, pode proporcionar um entendimento significativo do conteúdo científico e de seu processo de elaboração? Que etapas no processo colaborativo entre uma equipe multidisciplinar podem ser identificadas na elaboração de simulações computacionais de experimentos históricos, voltadas para o ensino?*, pôde-se perceber as potencialidades e delimitações dos objetos de estudo, bem como presenciar o processo coletivo de desenvolvimento científico, uma vez que essa investigação foi possível dadas as colaborações com equipes externas e as inúmeras contribuições do grupo de pesquisa IFHIECEM.

Para alcançar o objetivo e responder a esses dois questionamentos foi dado início à investigação com estudos teóricos a respeito de História e Filosofia da Ciência no ensino de Ciências e de Física, inserção de tópicos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Superior, Física de Partículas e a Teoria Eletrofraca, Aprendizagem Significativa, V de Gowin e Simulações Computacionais no Ensino de Ciências. Esses estudos forneceram os aportes teóricos e metodológicos que nortearam a elaboração e aplicação, tanto das simulações computacionais dos experimentos históricos, quanto da Abordagem Didática.

Esses estudos também deram subsídios para a elaboração da Composição Histórica a respeito da Teoria Eletrofraca, que foi elaborada levando em consideração os princípios da Aprendizagem Significativa e alguns episódios históricos que serviram de base para as discussões, em sala de aula, a respeito da Natureza da Ciência e do conteúdo científico. A elaboração desse material proporcionou à pesquisadora um entendimento do processo de construção dos conhecimentos científicos abordados, permitindo conhecer a evolução das ideias, problemas e soluções relacionadas a esse processo, correspondendo ao que se espera de uma abordagem histórico-filosófica.

Além disso, os estudos teóricos indicaram as lacunas existentes em pesquisas a respeito da inserção de experimentos históricos e do ensino de Física

de Partículas. Com relação aos experimentos históricos percebeu-se a necessidade de mais investigações em sala de aula, bem como que elas tratem de assuntos relacionados à Física Moderna, uma vez que a maioria dos assuntos, já abordados em pesquisas anteriores dessa temática, está relacionada ao eletromagnetismo e Física Clássica em geral e, além do mais, se faz necessária a investigação de diferentes estratégias para utilização desse recurso, como as simulações, museus de Ciência, diários de laboratório, narrativas históricas, entre outras.

Quanto ao ensino de Física de Partículas, são poucas as investigações voltadas para a formação de professores e poucos os conteúdos específicos investigados. A maioria discute temas amplos e tanto nas pesquisas a respeito de experimentos históricos, como em relação ao ensino de Física de Partículas a maior parte das investigações a respeito de abordagens em sala de aula, não deixou claro ou não utilizou aportes teóricos metodológicos para fundamentação de suas propostas didáticas.

A elaboração das simulações computacionais de experimentos históricos e a aplicação da Abordagem Didática renderam momentos de reflexão e tomada de dados que foram essenciais para o desenvolvimento dessa pesquisa. E os resultados obtidos contribuem para um saldo positivo em relação às abordagens histórico-filosóficas em sala de aula, aliadas às simulações computacionais. Haja vista a boa aceitação dos alunos perante um novo método de estudo, que instigou suas curiosidades e os levou a serem protagonistas de seus aprendizados.

Utilizar uma Composição Histórica, como base para a elaboração das simulações computacionais e da Abordagem Didática, mostrou-se uma estratégia frutífera, pois a elaboração da composição permitiu, antes, o entendimento do processo de elaboração dos conhecimentos científicos abordados e em seguida guiou a elaboração das simulações, bem como as etapas da Abordagem Didática. Assim, essa estratégia como meio de abordagem do contexto histórico-filosófico se mostrou eficiente para os requisitos dessa pesquisa, permitindo a abordagem de elementos históricos, epistemológicos e científicos para o ensino de Física de Partículas, com uma finalidade pedagógica e de disseminação de conhecimentos.

A elaboração das simulações computacionais se fez possível devido ao trabalho colaborativo da equipe multidisciplinar, de maneira que seria impossível

obter o resultado alcançado sem essa colaboração. Esse processo envolveu o comprometimento entre os membros da equipe com o projeto e se desenvolveu durante todo o período de doutoramento, indicando não ser uma tarefa trivial e que depende do compromisso, colaboração e paciência de todos os membros da equipe.

O acompanhamento desse processo permitiu que se detalhasse um encaminhamento metodológico, do trabalho colaborativo, para a elaboração de simulações computacionais de experimentos históricos voltados para o ensino. Espera-se que esse detalhamento e as possíveis dicas para um rendimento eficiente do trabalho em equipe contribuam com futuras pesquisas da área de Ensino de Ciências, uma vez que essas abordagens ainda são pouco investigadas.

Evidencia-se que o resultado alcançado na elaboração das simulações, em termos de qualidade, foi obtido devido à contribuição de ambas as áreas e que essa colaboração resultou em ganhos intelectuais para ambas as equipes, economia de recursos financeiros e em um recurso didático para o ensino de Física de Partículas, que agrega conhecimentos físicos, históricos, didáticos, de *design* e programação, que pode ser utilizado na formação inicial ou continuada de professores e, com as devidas adaptações, também em nível de Ensino Médio. Além disso os desafios enfrentados por ambas as equipes forneceram oportunidades de aperfeiçoamento profissional.

No que diz respeito à Abordagem Didática, a análise dos dados obtidos sugere que a proposta pedagógica implementada contribuiu na fragilização de noções equivocadas em relação à Natureza da Ciência e aos conteúdos científicos. Essa asserção é possível, uma vez que a maioria dos alunos passou a apresentar noções de acordo com o consenso científico atual em relação aos conteúdos discutidos durante a abordagem didática, além de passarem a corrigir algumas noções ingênuas a respeito da natureza do desenvolvimento científico. Convém ressaltar que os resultados de aprendizagem são devidos ao conjunto da abordagem, incluindo, além das simulações, as mediações feitas pela pesquisadora e as demais atividades realizadas.

Quanto à sensibilização provocada pela Abordagem Didática, percebe-se que a maior contribuição foi em relação aos conteúdos científicos, pois a maioria deles era desconhecida pelos alunos, diferente das noções de NdC investigadas, que em alguns casos já se aproximavam de noções epistemológicas

contemporâneas mesmo antes da oficina. Com base nessas evidências, sugere-se que sejam disponibilizados mais tempo e atividades específicas quando o objetivo é discutir com mais profundidade algumas noções de NdC ou conceitos científicos, ou seja, ao abordar uma noção de NdC em particular, deve-se proporcionar atividades e tempo de discussão vinculadas a essa noção ou conceito científico, que sejam suficientes para atingir o objetivo.

Toma-se como positivo os resultados obtidos em relação a NdC, uma vez que os alunos passaram, na medida do possível, a apresentar noções menos imprecisas. Em termos de nível de entendimento, assume-se que eles não passaram a apresentar noções aprofundadas, até pelo fato desse não ser o objetivo. Defende-se que eles passaram a apresentar um nível de entendimento menos impreciso em relação a noções empírico-indutivistas referentes ao papel da experimentação na Ciência, bem como passaram a entender o trabalho científico como um processo não neutro. Além disso, embora não seja possível afirmar que entendem o que é uma teoria, eles assumem que as teorias podem mudar com o passar do tempo devido a diferentes fatores, como por exemplo o avanço tecnológico e o surgimento de novas evidências. No entanto, as contribuições teóricas ainda são pouco citadas como motivo de mudanças em teorias. Em relação a participação da criatividade e imaginação na elaboração de conhecimento, a maioria dos alunos entende como necessárias, mas não em todas as etapas. Já a respeito das diferentes conclusões obtidas com uma mesma base de dados eles entendem que os cientistas podem ser influenciados por sua base teórica e visão de mundo.

Em relação à aprendizagem dos conceitos científicos, adota-se como satisfatório o fato de que a maioria dos alunos passou a incorporar os conceitos e definições discutidos na oficina em suas respostas ao questionário posterior e nas elaborações do V de Gowin. Defende-se que essa Abordagem Didática possibilitou indícios de aprendizagem significativa devido às evidências de reconciliação integradora e organização hierárquica dos conteúdos abordados. Além disso, o fato da maioria dos alunos apresentar noções de acordo com o consenso científico atual permite a hipótese de que as discussões e atividades da oficina permitiram a oportunidade de assimilação de conteúdos, que podem se tornar subsunçores para aprendizagens futuras.

Com relação às simulações computacionais, percebe-se a predisposição dos alunos em utilizar esses recursos e os resultados obtidos das avaliações, por pares e pelos alunos, permitiram que elas fossem aprimoradas e, ao mesmo tempo, sugerem que elas cumprem com o papel para o qual foram planejadas, colaborando no aprendizado dos conteúdos, auxiliando na representação de fenômenos de difícil acesso real e permitindo que o aluno entenda o contexto histórico no qual o experimento original foi realizado. Dessa maneira, torna-se um recurso didático para o ensino de Física de Partículas, contribuindo como uma alternativa que engloba uma dimensão pós-positivista, contextualizada e construtivista.

No que diz respeito aos experimentos históricos, considera-se positiva a impressão dos alunos em relação a essa maneira de abordagem da História da Ciência e da experimentação, uma vez que relacionaram como pontos positivos um melhor entendimento da Natureza da Ciência e dos conteúdos científicos, o que está de acordo com o objetivo dos experimentos históricos, que é a compreensão da prática experimental de acordo com a natureza do conhecimento científico. Além do mais, registram que esse tipo de abordagem ajudou a entender como o experimento foi realizado e as dificuldades enfrentadas pelos cientistas, possibilitando uma visão realista do trabalho científico. Ainda em relação a esse aspecto, os alunos demonstraram interesse na parte histórica do experimento e isso, assim como a predisposição ao uso das simulações, é um aliado para um ensino que visa a Aprendizagem Significativa.

Quanto à experiência dos alunos com a utilização do V de Gowin, assim como a utilização de experimentos históricos, foi inovadora, pois foi o primeiro contato deles com esse tipo de atividade. As primeiras elaborações do diagrama expressam algumas das dificuldades enfrentadas pelos alunos para entender a diferença entre os elementos epistemológicos. No entanto, sugere-se que nas atividades de familiarização com esse instrumento seja feito um acompanhamento da primeira elaboração dos alunos, já com um *feedback* em relação às imprecisões. Isso pode resolver esse problema, de maneira que essa dificuldade não seja um obstáculo ao seu uso no ensino.

Os resultados obtidos por meio das elaborações do V de Gowin evidenciam que se trata de um instrumento de uso diversificado e que atendeu as

expectativas em relação às atividades envolvendo as simulações e leituras de texto. Por mais que os alunos tenham apresentado dificuldade na elaboração do diagrama para sistematização das informações do texto e na diferenciação entre conceitos e princípios, entende-se que, de forma geral, esse instrumento foi essencial para que os alunos expressassem seus conhecimentos de forma espontânea, sem perguntas predefinidas. Isso, do ponto de vista da Aprendizagem Significativa, é um meio de mapear a estrutura cognitiva dos alunos, entender como eles estão dando significado aos processos, o que não permite dizer que um diagrama está certo ou errado, pois ele representa a organização da estrutura cognitiva dos alunos.

Em referência à Abordagem Didática como um todo, acredita-se que alguns aprimoramentos podem torná-la mais eficiente. Um dos pontos a ser revisto é a questão do tempo e do número de encontros, com a sugestão de mais encontros com cargas horárias menores que 4 horas. Isso tornará os encontros menos cansativos e mais produtivos, além de possibilitar que os alunos explorem melhor todas as atividades. Ainda em relação aos aprimoramentos, outra sugestão é proporcionar mais atividades, em que haja a participação ativa do aluno, relacionadas às noções de Natureza da Ciência e aos conteúdos científicos, quando o objetivo é que os alunos apresentem noções aprofundadas e detalhadas.

Ao término desta pesquisa, nascem outras. Ao responder às questões propostas, outras surgem. Espera-se que em futuros estudos as aprimorações dessa Abordagem Didática sejam investigadas, bem como possíveis adaptações para utilização no Ensino Médio. Além do mais, um desafio para próximas investigações e para a implementação em sala de aula é a adequação da proposta para a realidade do Ensino Superior atual, considerando a carga horária da disciplina e a carga horária semanal. Outro desdobramento desse trabalho poderá incluir a formação continuada de professores, uma vez que essa proposta didática foi pensada para fornecer aos futuros professores ou professores atuantes uma formação em tópicos de Física Moderna e Contemporânea e História e Filosofia da Ciência, agregando a essa abordagem a estratégia do uso de experimentos históricos e aspectos da Aprendizagem Significativa, representados pelas simulações e pelo V de Gowin.

Dessa maneira espera-se que os resultados alcançados nesta investigação, representados pela Composição Histórica, as Simulações

Computacionais e a Abordagem Didática, possam inspirar os professores e tornarem-se alternativas para disseminação de conhecimento, contextualização do Ensino de Física, compreensão da Natureza da Ciência e promovam aulas desafiadoras e reflexivas, fazendo dos alunos os protagonistas no processo de aprendizagem, com objetivo de alcançar a Alfabetização Científica.

Para finalizar as considerações, relata-se a satisfação de realizar uma pesquisa que visa contribuir com outras investigações que compartilhem da mesma preocupação, no sentido de proporcionar resultados de pesquisas aplicadas, que evidenciem potencialidades e delimitações de propostas didáticas que envolvam o Ensino de Física por meio de História e Filosofia da Ciência e Teorias de Aprendizagem com ênfase construtivista. O sentimento que se externaliza é de gratidão por ter a oportunidade de proporcionar alternativas que visam a contribuir com o Ensino de Ciências.

REFERÊNCIAS

- ABDALLA, M. C. B. **O discreto charme das Partículas Elementares**. 1.ed. São Paulo: Fundação Editora Unesp, 2006.
- ABDALLA, M. C. B. Sobre o Discreto Charme das Partículas Elementares. **Física na Escola**, v. 6, n. 1, p. 38-44, 2005.
- ABD-EL-KHALICK, F. Examining the sources for our understandings about science: enduring confluences and critical issues in research on nature of science in science education. **International Journal of Science Education**, v. 34, n. 3, p. 353-374, 2012a.
- ABD-EL-KHALICK, F. Examining the Sources for our Understandings about Science: Enduring confluences and critical issues in research on nature of science in science education. **International Journal of Science Education**, v. 34, n. 3, p. 353–374, 2012.
- ABD-EL-KHALICK, F. Nature of science in science education: toward a coherent framework for synergistic research and development. In: FRASER, B. J.; TOBIN, K; McROBBIE, C. (Eds.). **Second international handbook of science education**. The Netherlands: Springer, p. 1041-1060, 2012b.
- ABREU, P. A contribuição do cern para a divulgação da física de partículas. In: XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física, Uberlândia, **Anais [...]**, 2015.
- ACEVEDO-DIAZ, J. A., VÁZQUEZ-ALONSO, A., MANASSERO-MAS, M. A., & ACEVEDO-ROMERO, P. A. Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: fundamentos de una investigación empírica. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, v. 4, n. 1, p. 42-66, 2007.
- ADÚRIZ-BRAVO, A. IZQUIERDO Y M. Acerca de la didáctica de las ciencias como disciplina autónoma. **Revista Electrónica de Enseñanza de las ciencias**, v. 1, n. 3, p. 130-140, 2002.
- ALLCHIN, D. Evaluating knowledge of the nature of (Whole) Science. **Science & Education**, v. 95, n. 3, p. 518-542, 2011.
- ALLCHIN, D. **Teaching the Nature of Science: Perspectives & Resources**. St. Paul, MN: SHIPS Education Press, 2013.
- ALLDAY, J. The nature of force in particle physics. **Physics Education**, 1997. Apud OSTERMANN e MOREIRA, A.M. 2000.
- ALMEIDA, A. V.; FARIAS, C. R. O A Natureza da Ciência na formação de professores: reflexões a partir de um curso de licenciatura em ciências biológicas. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 16, n. 3, p. 473-488, 2011.
- ALVARENGA, B. In: CARUSO, F.; SANTORO, A. **Do átomo grego à Física das interações fundamentais**. Rio de Janeiro. AIAFEX, p.179-196, 2ª edição, 2000.
- ALVARENGA, B., MÁXIMO, A. **Curso de física**. 4.ed., São Paulo: Scipione, 1997. 3v. Apud OSTERMANN e MOREIRA, 2000.

ALVES, I. A.; PARIZZOTTO, G. M.; GENOVESE, L. G. R. Enfoque CTS para inserção de partículas elementares no Ensino Médio: uma proposta de pesquisa a partir do LHC. In: XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física, Uberlândia, **Anais [...]**, 2015.

AMALDI, U. **Imagem da Física**. São Paulo: Scipione, 1995. Apud OSTERMANN e MOREIRA, 2000. Apud OSTERMANN e MOREIRA, 2000.

ANDERSON, E. Feminist Epistemology and Philosophy of Science. In: Edward N. (ed.) ZALTA. **The Stanford Encyclopedia of Philosophy** (Spring 2011 edition). online: Disponível em: <http://plato.stanford.edu/archives/spr2011/entries/feminism-epistemology/>. Acesso em: 17 de agosto de 2018.

ANDERSON, P. W. Plasmons, Gauge invariance, Mass. **Physical Review**, v.130, n. 1, 1963.

ARAÚJO, I. S.; VEIT, E. A. & MOREIRA, M. A. Adapting Gowins V diagram to computational modelling and simulation applied to physics education. *In: GIREP Conference*, Amsterdam. **Anais [...]**, 2006.

ARAÚJO, I. S.; VEIT, E. A.; MOREIRA, M. A. Modelos computacionais no ensino-aprendizagem de física: um referencial de trabalho. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 17, n. 2, p. 341-366, 2012.

ARAÚJO, R.; DIAS, V. S. International physics masterclasses e oficina de física de partículas no ift – Unesp: sentidos atribuídos por estudantes e professores do ensino médio. *In: XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física, São Carlos, Anais [...]*, 2017.

ARAÚJO, R.; DIAS, V. S. International physics masterclasses e oficina de física de partículas no IFT – Unesp: sentidos atribuídos por estudantes e professores do ensino médio. *In: XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física, São Carlos, Anais [...]*, 2017.

ATAYDE, A. p. R. **Metodologia de avaliação de qualidade de software educacional infantil** – MAQSEI. 2003. 250 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

AUBRECHT, G. J II. The newest Standard Model Chart from the Contemporary Physics Education Project. **Latin-American Journal of Physics Education**, v. 10, n. 4, p. 4303-1, 2016.

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e retenção de conhecimentos: Uma perspectiva cognitiva**. Tradução: TEODORO, V. D. Editora Plátano, 1 ed. 2003.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia Educacional**. Trad. Eva Nick. 2.ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

AZEVEDO, M. C. P. A. Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula. In: CARVALHO, A. M. P. (Org) **Ensino de ciências: unindo a pesquisa e a prática**. São Paulo: Thomson, p. 19-33, 2004

BALTHAZAR, W. F.; OLIVEIRA, A. L. O LHC (Large Hadron Collider) e uso da abordagem Ciência, Tecnologia e Sociedade e História da Filosofia da Ciência, como proposta para o ensino de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. *In: XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física, Vitória, Anais [...]*, 2009.

BANHEZA, T. G.; JARDIM, M. I. A. Física de partículas elementares no ensino médio. *In: X Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências, Águas de Lindóia, Anais [...]*, 2015.

BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 1977.

BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. Trad. RETO, L. A.; PINHEIRO, A. São Paulo, Edições 70, 2011.

BARLOW, R. Particle physics: from school to university. **Physics Education**, v. 27, n. 2, p. 92-95, Mar. 1992. Apud OSTERMANN e MOREIRA, 2000.

BARNETT, R. M. et al. Learning with the ATLAS experiment at CERN. **Physics Education**, v. 47, n. 1, p. 28-37, 2012.

BARROS, N. R.; SARAIVA, C. P.; SCHMIEDECKE, W.G. O “experimento crucial” das cores de Newton e algumas contribuições no processo de formação de professores de Física. *In: XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física, São Carlos, Anais [...]*, 2017.

BASSALO J. M F. Partículas Elementares: do átomo grego à supercorda. *In: CARUSO, F.; SANTORO, A. Do átomo grego à Física faz Interações Fundamentais*, ed. 1, Editora Aiafex, Rio de Janeiro, 1994.

BASSALO J. M. F. O Bóson de Higgs (“A Partícula Deus”) e a Partícula Z0 (“A Partícula De Deus”). **Norte Ciência**, v. 3, n. 1, p. 1-26, 2012.

BASSALO J. M. F.; CATTANI, M. S. D. **Teoria de Grupos para Físicos**. Publicação IF E-BOOK 1661/2011.

BASSALO, J. M. F. O prêmio Nobel de Física de 2013. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 31, n. 2, p. 306-332, 2014.

BATISTA, I, L. Reconstruções histórico-filosóficas e a pesquisa interdisciplinar em educação científica e matemática. *In: BATISTA, I. L.; SALVI, R. F. (Orgs), Pós-graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática: um perfil de pesquisas*. Editora Eduel, Londrina, p. 35-50, 2009.

BATISTA, I. L. **A teoria universal de Fermi: Da sua formulação inicial até a reformulação V-A**. 1999, 122f, Tese (Doutorado em Filosofia), São Paulo, 1999.

BATISTA, I. L. As partículas estranhas e a Teoria Universal de Fermi. *In: PIETROCOLA, M.; FREIRE JR. (Orgs.). FILOSOFIA, CIÊNCIA E HISTÓRIA: uma homenagem aos 40 de colaboração de Michel Paty com o Brasil*. Editora Discurso, São Paulo-SP, p. 437-471, 2005.

BATISTA, I. L. Uma adoção da História e Filosofia da Ciência no desenvolvimento dos saberes docentes interdisciplinares. *In: BATISTA, I. L (Org). Conhecimentos e saberes na educação em ciências e matemática*. 372p, Londrina, UEL, 2016.

BATISTA, I. Reconstruções Histórico-Filosóficas e a pesquisa em Educação Científica e Matemática. *In: NARDI, R. (org.). A pesquisa em Ensino de Ciências no Brasil: alguns recortes*. 1. ed. São Paulo: Escrituras Editora, p. 257-272, 2007.

BATISTA, S. C. F. **Softmat: um repositório de softwares para matemática do ensino média – um instrumento em prol de posturas mais conscientes na seleção de softwares educacionais.** 2004, 202 f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Engenharia), Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos Goytacazes, 2004.

BEAUFOND, C. E. C.; CLUNIE, G. T. SASE: uma ferramenta de apoio à avaliação de *software* educacional. In: Congresso Iberoamericano de Informática Educativa, Chile, **Anais [...]** 2000.

BERTOLDI, S. **Avaliação De Software Educacional: Impressões e Reflexões.** 1999, 31f, Monografia (Ciência da Computação), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

BETHE, H. A. The meson theory of nuclear forces. **Physical Review.**, v. 57, p. 260-272, 1940.

BETHE, H. A.; NORDHEIM, L. W. On the theory of meson decay. **Physical Review.**, v.57, p. 998-1006, 1940.

BEVILACQUA, F. BONERA, G. BORGHL, L. AMBROSIS, A de, MASSARA, C. Computer simulation and historical experiments. **European Journal of Physics.** v.11, p. 15-24, 1990.

BIESOT, L. et al. Building and testing a high school calorimeter at CERN. **Physics Education.** v. 51, 2016.

BOGDAN, R. C.; BIKLEN, S. K. **Investigações qualitativas em educação.** Portugal: Porto Editora, 1994.

BOIDO, G. La reconstrucción de experimentos en la historia de la ciencia: Galileo en debate. **Revista enseñanza de la Física**, v.6, n1. p. 66-72, 1993.

BONIOLO, G.; BUDINICH, P.; The Role of Mathematics in Physical Sciences and Dirac's Methodological Revolution. In BONIOLO, G.; BUDINICH, P.; TROBOK, M. **The Role of Mathematics in Physical Sciences — Interdisciplinary and Philosophical Aspects.** Dordrecht: Springer, p. 75-96, 2005.

BORGES, O. N; BORGES, A. T; GOMES, A. E; TERRAZZAN, E. A. Reformulação do Currículo de Física do Ensino Médio em Minas Gerais: Versão Preliminar do Currículo Proposto. *In: XII Simpósio Nacional de Ensino de Física*, Belo Horizonte, **Anais [...]**, 1997.

BOSS *et al.* Textos históricos e experimentos - a construção de subsunçores para Aprendizagem Significativa de conceitos de eletrostática no ensino médio. *In: XIV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*, Maresias, **Anais [...]**, 2012.

BOSS, S. L.B. **Tradução Comentada de Artigos de Stephen Gray (1666-1736) e Reprodução de Experimentos Históricos com Materiais Acessíveis - subsídios para o ensino de eletricidade.** 350f. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência), Universidade Estadual de Campinas, 2011.

BOZZO, G. BONANO, A. SAPIA, P. A 'sparkling' low-cost revisitacion of the historical Hertz's experiment. **Physics Education.** v. 52, 2017.

BRASIL, **Diretrizes Nacionais Curriculares para os Cursos de Física.** *Parecer CNE/CES 1.304/2001.* Brasília, Diário Oficial da União de 7/12/2001, Seção 1, p. 25, 2001b.

BRASIL, **Orientações Curriculares para o Ensino Médio -Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Volume 2. MEC, Brasília, 2006.

BRASIL, **Parâmetros Curriculares Nacionais- Ensino Médio**. MEC, Brasília, 2000.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**. Documento homologado pela Portaria nº 1.570, publicada no D.O.U. de 21/12/2017, Seção 1, Pág. 146, 2017.

BRASIL. **Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação de Professores da Educação Básica**. Parecer CNE/CP 9/2001a.

BRASIL. **Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Ciências Biológicas**. CNE/CES nº 1.301 de 6/11/2001. Brasília, Diário Oficial da União de 7/12/2001, Seção 1, p. 25 ss, 2001c.

BRASIL. **Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química**. Parecer CNE/CES nº 1.303 de 6/11/2001. Brasília, Diário Oficial da União de 7/12/2001, Seção 1, p. 25 ss, 2001d.

BRASIL. Ministério da Educação. **Diretrizes Curriculares Nacionais Gerais da Educação Básica**. Brasília: Ministério da Educação, Secretária de Educação Básica, 542p, 2013.

BRASIL. **Ministério da Educação**. Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCN+). Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2002.

BROOKE, J. **SUS - A quick and dirty usability scale**. 1986.

BROWN L.; HODDESON L.; RIORDAN M.; DRESDEN M. The Rise of the Standard Model: 1964-1979. (Eds). **The Rise of the Standard Model**, Cambridge Univ. Press, p.179-198, 1997.

BUCKLEITNER, W. **Children's Software Evaluation Instrument**. 1998.

CACHAPUZ, A. *et al.* **A Necessária Renovação do Ensino das Ciências**. São Paulo: Cortez, 2005.

CACHAPUZ, A. F. (coord.) Proceedings of the Int. Seminar on the state of the art in **Science Education Research**. Aveiro, Portugal, 2004.

CACHAPUZ, A. F. PRAIA, J.; JORGE, M. Da Educação em Ciência às orientações para o ensino de Ciências: um repensar epistemológico. **Ciência & Educação**, v. 10, n. 3, p. 363-381, 2004.

CACHAPUZ, A., PRAIA, J., PÉREZ, G. D., CARRASCOSA, J. e MARTÍNEZ-TERRADES, F. A emergência da didática das ciências como campo específico de conhecimento. **Revista Portuguesa de Educação**, v.14, n.1, p. 155-195, 2001.

CALHEIRO, L. B. **Inserção de tópicos de Física de Partículas de forma integrada aos conteúdos tradicionalmente abordados no Ensino Médio**. 188f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

CALHEIRO, L. B.; GARCIA, I. K. Proposta de inserção de tópicos de física de partículas integrada ao conceito de carga elétrica por meio de unidade de ensino potencialmente significativa. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.19, n.1, p. 177-192, 2014.

CAMARGO, L.; ZANOTELLO, M.; TAKAI, H. Uma reflexão sobre desafios para o ensino da física de partículas no âmbito de um curso de formação continuada para professores da educação básica. *In: Anais do XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física, São Carlos, Anais [...]*, 2017.

CAMPOS, F. C. A; CAMPOS, G. H. B. de; ROCHA, A. R. C. da. **Dez etapas para o desenvolvimento de software educacional do tipo hipermídia**. Rio de Janeiro: COPPE/ UFRJ, 1995.

CAMPOS, G. H. B. **Metodologia para avaliação da qualidade de software educacional. Diretrizes para desenvolvedores e usuários**. 1994. 232 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1994.

CAREY, S. “An experimente is when you try it and see if it works”: a study of grade 7 students` understanding of the construction of scientific knowledge. **International Journal of Science Education**, v. 11, Special Issue, p.514-529, 1989.

CARRILLO, J. A. E. **Métodos de regularização em Teoria de Campos e Fluidos**. 1995, 129f, Tese (Doutorado em Física), Universidade Estadual de Campinas, 1995.

CARUSO, F. SANTORO, A. **Do átomo grego à Física das interações fundamentais**, Editora AIAFEX, 1 ed. Rio de Janeiro, 1994.

CARUSO, F.; OGURI, V.; SANTORO, A, Ed(s). **Partículas elementares 100 anos de descobertas**. Editora Livraria da Física, São Paulo, p. 187-202, 2012.

CASSANI, A. LEVINAS, L. La reinterpretación radical del experimento de Michelson-Morley por la relatividad especial. **Scientiæ Studia**, v. 3, n. 4, p. 547-81, 2005.

CATALDI, Z. LAGE, F. GARCÍA, R (2003). Metodología Extendida para la creación de *software* educativo desde una visión integradora. **Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa**, v.2, n.1, 2003.

CATALDI, Z.; LAGE, F.; PESSACQ, R. GARCÍA-MARTÍNEZ, R. Metodología extendida para la creación de *software* educativo desde una visión integradora, **Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa**. v. 2, v. 1, p. 1-32, 2003.

CAVICCHI, E. Historical experiments in students' hands: Unfragmenting science through action and history. **Science & Education**, v.17, n.7, p.717-749, 2008a.

CAVICCHI, E. M. Experiences with the magnetism of conducting loops: Historical instruments, experimental replications, and productive confusions. **American Journal of Physics**, v.71, p.156–167, 2003.

CAVICCHI, E. Opening possibilities in experimental science and its history: Critical explorations with pendulums and singing tubes. **Interchange**, v.39, p.415-442, 2008b.

CERN, **Design study of a proton-antiproton colliding beam facility**. CERN LIBRARIES, 135 p, 1978.

CHANG, H. How Historical Experiments Can Improve Scientific Knowledge and Science Education: The Cases of Boiling Water and Electrochemistry. **Science & Education**, v.20, p. 317–341, 2011.

CHAVES, A. S. **Desenvolvimento de um Criostato para Caracterização Eléctrico GaAs Semi-isolante**. 2012. 82 f. Dissertação (Mestrado em Materiais para Engenharia) - Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2012.

CLAVIJO, S.; SERRANO, G.; CATALÁN, L. La argumentación en el marco de las tecnologías emergentes y la física contemporánea. **Revista Enseñanza de la Física**. v. 26, n. Extra, p. 75-84, 2014.

CLINE, D. B.; RUBBIA, C.; MEER, S. V. D. The search for intermediate vector bosons. **Scientific American**, v. 246, n. 3, p. 48-59, 1982.

CLOUGH, M. P. Learners' responses to the demands of conceptual change: considerations for effective nature of science instruction. **Science & Education**, v. 15, n. 5, p. 463-494, 2006.

CLOUGH, M. P. Teaching the nature of science to secondary and post-secondary students: questions rather than tenets. **The Pantaneto Forum**, 25, 2007. Disponível em: < <http://isuret.pbworks.com/f/Clough+NOS+Questions+Rather+than+Tenets.pdf> >. Acesso em: 17 ago. 2018.

CONTEMPORARY PHYSICS EDUCATION PROJECT. Disponível na Internet. <http://www-pdg.lbl.gov/cpep.html>. 23 dez.1998. Apud OSTERMANN e MOREIRA, 2000.

COSTA, A. P. D. **Metodologia hibrida de desenvolvimento centrado no utilizador**. 2012, 251f. Tese (Doutorado em Educação), Universidade de Aveiro, Aveiro, 2012.

COSTA, F. Contributos para um Modelo de Avaliação de Produtos Multimédia Centrado na Participação dos Professores. *In*: 1º Simpósio Ibérico de Informática Educativa, Aveiro, **Anais [...]**, 1999.

COSTA, M. BATISTA, I. L. Experimentos históricos no ensino de física: revisão sistemática de publicações científicas. *In*: XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física, São Carlos, **Anais [...]** 2017.

COSTA, M. BATISTA, I. L. História e Filosofia da Ciência no Ensino de Física. O que informam as publicações a respeito das intervenções em sala de aula. *In*: IV Simpósio Nacional de Ensino de Ciências e Tecnologia – SINECT, Ponta Grossa, **Anais [...]**, 2014.

COSTA, M. **Uma Abordagem Histórico-didática com Auxílio de Multimídias para o Ensino de Partículas Elementares no Ensino Médio**. 2015. 208f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2015.

COSTA, M.; BATISTA, I. L. Noções de alunos do Ensino Médio a respeito da estrutura da matéria: investigação de uma abordagem histórico-didática para o ensino de Física de Partículas. **Revista Electrónica De Investigación En Educación En Ciencias**. v.12, n. 2, p. 41-62, 2017.

COSTA, M.; BATISTA, I. L. Simulação Computacional de Experimentos Históricos no Ensino de Física: Panorama Geral de Publicações Científicas. *In*: V Simpósio Nacional de Ensino de Ciências e Tecnologia – SINECT, Ponta Grossa, **Anais [...]**, 2016.

COSTA, P. V. N.; ALLERSDORFER, A.; BEGALLI, M. Desenvolvimento de um jogo didático de Física de Partículas para o Ensino Médio. In: **XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física**, São Carlos, **Anais [...]**, 2017.

CREASE R. P; MANN C.C. **The second creation: makers of the revolution in twentieth century physics**. New Jersey, 1996.

CRONJE, J. **The process of evaluating software and its effect on learning**. University of Pretoria. Department of Didactics, 1998.

CUARTAS, C. E. J. S. La reproducción de experimentos históricos en relación con la forja de ethos científico **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, vol. 3, núm. 1, 2006, pp. 60-76

CUDMANI, L. C.; SANDOVAL, J. S. Cambios em las concepciones de los estudiantes sobre la Ciência: Resultados de uma experiência de aula. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 22, n.1, 2000.

D` ANDREA, A. D. Q. **Câmara de Wilson eletrônica para o auxílio na aprendizagem de Física Moderna no Ensino Médio**. 2014, 128f. dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Exatas), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014.

DALMON, D. L.; BRANDÃO, L.O. Sobre o Desenvolvimento de *Software* Educacional: proposta de uma Linha de Produto de *Software* para Módulos de Aprendizagem Interativa. **Revista Brasileira de Informática na Educação**, v. 21, n.3, p. 115- 130, 2013.

DANIEL, M. Particles, Feynman diagrams and all that. **Physics Education**, v. 41, n. 2, p. 119-129, 2006.

DARRIULAT, P. The Discovery of the W & Z, a personal recollection. **European Physical Journal C**. v. 34, n. 1, 2004.

DEVONS, S., HARTMANN, L.: A History-of-Physics Laboratory, **Physics Today**, v. 23, n. 2, p. 44–49, 1970.

DIAS, A.; SILVA, A. P, O Indutivismo no ensino de Ciências e a Inconsistência do argumento indutivista. In: VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Florianópolis, **Anais [...]**, 2009.

DIAS, V.S, **História e Filosofia da Ciência na Pesquisa em Ensino de Ciências no Brasil: Manutenção de um Mito?** 2008, 115f, Tese (Doutorado em Educação para a Ciência), Universidade Estadual Paulista, 2008.

DORMIDO, S. Control learning: present and future. *In*: IFAC WORLD CONGRESS, Barcelona, **Anais [...]**, 2003.

DORNELES, P. F. T.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Integração entre atividades computacionais e experimentais como recurso instrucional no ensino de Eletromagnetismo em Física Geral. **Ciência & Educação**, v. 18, n. 1, p. 99-122, 2012.

DREWES, A. PALMA, H. Crítica al experimento crucial: Michelson y la hipótesis del éter (1887- 1930). Algunas implicaciones para la enseñanza de la física (15/17 años). **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, v. 3, n. 3, p. 432-451, 2006.

DRIVER, R. H.; LEACH, J.; MILLAR, R.; SCOTT, P. **Young people's images of science**. Buckingham: Open University Press, 1996.

DUNNE, P. A reappraisal of the mechanism of pion exchange and its implications for the teaching of particle physics. **Physics Education**, v. 37, n. 3, p. 211- 222, 2002.

DUNNE, P. Looking for consistency in the construction and use of Feynman diagrams. **Physics Education**, v. 36, n. 5, p. 366-374, 2001.

DUQUE, E. R. **História da ciência e o uso da instrumentação: construção de aparato histórico científico simples como estratégia de ensino**. 2009, 90f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática), CEFET/RJ. Rio de Janeiro, 2009.

EGGEN, P.O. *et al.* Reconstructing Iconic Experiments in Electrochemistry: Experiences from a History of Science Course. **Science & Education**, v.21, p. 179–189, 2012.

EL HANI, C. N.; TAVARES, E. J. M. P.; ROCHA, L. B. Concepções epistemológicas de estudantes de biologia e sua transformação por uma proposta explícita de ensino sobre História e Filosofia das Ciências. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 9, n. 3, p. 265-313, 2004

FARMELO, G. Teaching particle physics in the open university's science foundation course. **Physics Education**, 1992. Apud OSTERMANN e MOREIRA, 2000.

FERMILAB. **Discovering the nature of nature**. Disponível na Internet. <http://www.fnal.gov/Fermilab>. 23 dez. 1998. Apud OSTERMANN e MOREIRA, 2000.

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

FERREIRA, J. M. H.; MARTINS, A. F. Avaliando a inserção da temática natureza da ciência na disciplina de história e filosofia da ciência para graduandos em física na UFRN. In: Peduzzi, L. O. Q.; Martins A. F.; Ferreira, J. M. H. **Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino**, Natal: EDUFRN, 2012.

FEYNMANN, R. P.; GELL-MANN, M. Theory os the Fermi Interactions. **Physical Review**., v.109, p. 193-198, 1958.

FIGUEIRA, J. S. Easy Java simulations: Modelagem computacional para o ensino de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 27, n. 4, p. 613-618, 2005.

FIGUEIRA, J. S. Easy Java Simulations: Modelagem computacional para o Ensino de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.27, n.4, p. 613 - 618, 2005.

MARQUES FILHO, E. C. **Crenças de futuros professores de física em contexto de inovação curricular: o caso de um curso de física moderna e contemporânea no ensino médio**. 2011, 418f, Dissertação (Mestrado em Educação), Universidade de São Paulo, SP, 2011.

FIOLHAIS, C.; TRINDADE, J. Física no computador: o computador como uma ferramenta no ensino e na aprendizagem das ciências físicas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, n. 3, p. 259-272, 2003.

FORATO, T. C. M.; MARTINS, R. A.; PIETROCOLA, M. Enfrentando obstáculos na transposição didática da história da ciência para a sala de aula. In: PEDUZZI, L. O. Q.; MARTINS, A. F. P., FERREIRA, J. M. H. (Org.) **Temas de história e filosofia da ciência no ensino**. Natal: EDUFRRN, p. 123-154, 2012.

FORMAN, P. The fall of parity. **The Physics Teacher**, v. 20, n. 5, p.281-288, 1982.

FORTES, E.C.F.S.; TIJERO, M.C.; PLEITEZ, E V. A descoberta das correntes neutras das interações fracas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 29, n. 3, p. 415-435, 2007.

FRANKLIN, A. **Experiment Right or Wrong**, Cambridge Univ. press, New York, 1990.

FRANKLIN, A. **The Neglect of experiment**, Cambridge Univ. press, New York, 1986.

FREITAS, B. A. BARROS, M. A. apropriação do conceito de campo magnético a partir do experimento histórico de Oersted. In: XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física – SNEF, São Paulo, **Anais [...]**, 2015.

FREITAS, B. F.; SCARINCI, A. L. Constituição da matéria nos livros didáticos de física entre 1940 e 1960. In: Anais do X Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências, Águas de Lindóia, **Anais [...]**, 2015.

FREITAS, F. H. FREIRE JR. O. O Plano Inclinado Galileano: Uma Experiência em Sala de Aula. XV Simpósio Nacional de Ensino de Física, Curitiba, **Anais [...]**, 2005.

FREITAS, F. H. FREIRE JUNIOR. O. O Plano Inclinado Galileano: Uma Experiência em Sala de Aula. In: XIV Simpósio Nacional de Ensino de Física, Natal, **Anais [...]**, 2003.

Fundamental Particles and Interactions Chart Committee. Fundamental particles and interactions. a wall chart of modern physics. **The Physics Teacher**, Story Brook, v.26, n. 9, p. 556-565, Dec. 1988. Apud OSTERMANN e MOREIRA, 2000.

GALETTI, D. Fusão nuclear com múons. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 7, n. 3, p. 203-211, dez. 1990. Apud OSTERMANN e MOREIRA, 2000.

GALISON, P. How the first neutral-current experiments ended. **Reviews of Modern Physics**. v. 55, n.2, p. 477, April, 1983

GALISON, P. **How experiments End**. Univ. of Chicago Press, Chicago, 1987.

GALVIS, A.H. **Ingeniería de Software Educativo**. Santafé de Bogotá: Ediciones Uniandes, 1992.

GAMEZ, L. **TICESE: técnica de inspeção de conformidade ergonômica de software educacional. Manual do avaliador**. Porto, 1998. 45 f. Parte de Dissertação (Mestrado em Engenharia Humana), Universidade do Minho, Porto, 1998.

GANGNON, M. A bubble chamber simulator: a new tool for the physics classroom. **Physics Education**, v, 46, n. 4, p. 443-450, 2011.

GARWIN, R. L., LEDERMAN, L. M. & WEINRICH, M. Observation of the Failure of Conservation of Parity and Charge Conjugation in Meson Decays: The Magnetic Moment of the Free Muon, **Physical Review**. V. 105, p. 1415, 1957.

GERMANO, M. G. LIMA, I. P. C. SILVA, A. P. B. PILHA VOLTAICA: ENTRE RÃS, ACASOS E NECESSIDADES. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. 1: p. 145-155, 2012.

GLADCHEFF, A. P. **Um instrumento de avaliação da qualidade para software educacional para software educacional de matemática**. São Paulo, 2001. 212 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

GLASER, D. A.; RAHM, D. C. Characteristics of Bubble Chambers. **Physical Review**, v. 97, n. 2, p. 474-483, 1955.

GLASHOW L. S. **Towards a unified theory threads in a tapestry**. Nobel Lecture, 8 December, 1979.

GLASHOW S. L. Partial-symmetries of weak interactions. **Nuclear Physics**, v.22 p.579—588, 1961.

GODOI, K.; PADOVANI, S. Avaliação de material didático digital centrada no usuário: uma investigação de instrumentos passíveis de utilização por professores. **Produção**, v.19, n.3, pp.445-457, 2009.

GODOI, K.; PADOVANI, S. Proposta de diretrizes para o desenvolvimento de instrumentos avaliativos para software educativo. **Revista Brasileira de Design da Informação**, v. 7, n. 3, p. 01–18, 2011.

GOLIN, G. Introducing Fundamental Physical Experiments to Students. **Science & Education** v.11, p.487–495, 2002.

GOMBRADO, R.; LONDERO, L. A programabilidade da física de partículas elementares em coleções didáticas. *In: XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física*, São Carlos, SP, **Anais [...]**, 2017.

GOMES, G. S. et al. Usando o modelo padrão de partículas para discutir radioatividade: relato da experiência de pibidianos. *In: XX Simpósio Nacional de Ensino de Física*, São Paulo, **Anais [...]**, 2013.

GOMES, J. L. A. M. C. FORATO, T. C. M. SILVA, A. P. B. Temperatura e Teorias sobre a Natureza do Calor: Um Projeto de Aplicação da História e Filosofia da Ciência ao Ensino de Física. *In: VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, Campinas, **Anais [...]**, 2011.

GONÇALVES, F. P.; MARQUES, C.A. Contribuições pedagógicas e epistemológicas em textos de experimentação no Ensino de Química. **Investigações em Ensino de Ciências**. v. 11, n.2, p. 219-238, 2006.

GONZALES, E. G. CALUZI, J. J. O papel do experimento na epistemologia de Ludwig Fleck: o motor de Ampère. *In: XVII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*, Campos do Jordão, **Anais [...]**, 2018.

GOURLAY, H. Learning about A level physics students' understandings of particle physics using concept mapping. **Physics Education**. v.52, 2017.

GOWIN, D. B. **Educating**. Ithaca: Cornell University Press, 1981.

GOWIN, D. B.; ALVAREZ, M. A. **The art of educating with V diagrams**. Cambridge University Press, 2005.

GRAELLS, Pere Marques. **Plantilla para la Catalogación y Evaluación Multimedia**. 2001.

GRECA, I. M., SEOANE, E., ARRIASSECQ, I. Epistemological issues concerning computer Simulations in science and their implications for science education. **Science & Education**, Millsboro, v. 23, p. 879-921, 2014.

GUEDES, A. G. et al. O ippog masterclasses e a capacitação de professores em física de partículas. *In*: XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física, São Carlos, **Anais [...]**, 2017.

GUÉMEZ, J. FIOLEAIS, C. FIOLEAIS, M. Reproducing Black's experiments: freezing point depression and supercooling of water. **European Journal of Physics**. v.23, p.83–91, 2002a.

GUÉMEZ, J. FIOLEAIS, C. FIOLEAIS, M. Revisiting Black's Experiments on the Latent Heats of Water. **The Physics Teacher**, v. 40, January, P 26-31, 2002b.

GUERRA-RAMOS, M. T. Teachers' ideas about the nature of science: A critical analysis of research approaches and their contribution to pedagogical practice. **Science & Education** v.21, n.5, p.631-655, 2012.

HAIDT D. The discovery of neutral currents. **European Physical Journal. C**, v. 34, n. 1, 2004.

HAIDT, D. Discovery of Weak Neutral Currents. *In*: XXVI International Conference on Neutrino Physics and Astrophysics, Boston, **Anais [...]** 2015.

HAIDT, D. P. The weak neutral current- discovery and impact. **Revista Del Nuovo Cimento**, vol. 36, n.8, 2013.

HAIDT, D. The Discovery of the Weak Neutral Currents. **AAPPS Bulletin** v. 15, n. 1, p. 47- 50, 2005.

HAIDT, D.; PULLIA, A. The weak neutral current—discovery and impact. **Rivista Del Nuovo Cimento**, v. 36, n. 8, p. 335-395, 2013

HAMMOND, R. **Chien-Shiung Wu: Pioneering Nuclear Physicist**. New York, 2010.

HANNA, L.; RISBEN, K.; ALEXANDER, K. Guidelines for usability testing with children. **Interactions**, v. 4, n.5, p. 9-14, 1997.

HANSON, N. R. Observação e Interpretação. *In*: **Filosofia da Ciência**. São Paulo: Editora Cultrix, MORGENBESSER, S. (Org.), p. 126-138, 1975.

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

HASERT, F. J. *et al.* Observation of neutrino-like interactions without muon or electron in the Gargamelle neutrino experiment. **Physics Letters**, v. 46B, n.1, 1973b.

HASERT, F. J. *et al.* Observation of neutrino-like interactions without muon or electron in the Gargamelle neutrino experiment. **Nuclear Physics B**, v.73, p.1-22, 1974.

HASERT, F. J. *et al.* Search for elastic muon-neutrino electron scattering. **Physics Letters**, v. 46B, n. 1, 1973a.

HEERDT, B. **Saberes docentes: gênero, natureza da ciência e educação científica**. 2014, 240f, Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática), Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.

HEERING, P. Analysing unsuccessful experiments and instruments with the replication method. **Éndoxa**, n. 19, p. 315–40, 2005.

HEERING, P. Getting Shocks: Teaching Secondary School Physics Through History. **Science & Education**. v.9, n. 4, 363–373, 2000.

HEERING, P. WITTJE, R. An Historical Perspective on Instruments and Experiments in Science Education. **Science Education**, v. 21, p. 151–155, 2012.

HEERING, P., & HÖTTECKE, D. Historical-Investigative Approaches in Science Teaching. In Matthews, M. R. (Org.). **International handbook of research in history, philosophy and science teaching** (pp. 1473- 1502). New York: Springer, 2014.

HEERING, P., MÜLLER, F. Cultures of Experimental Practice – An Approach in a Museum. **Science & Education**, v.11, n. 2, p. 203–214, 2002.

HEERING, P.; KLASSEN, S. Doing it differently: attempts to improve Millikan's oil-drop experiment. **Physics Education**, v.45, n. 4, p. 382- 393, 2010.

HEIDEMANN, L. A.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E.A. Atividades experimentais e atividades baseadas em simulações computacionais: quais os principais fatores que influenciam a decisão de professores de conduzir ou não essas práticas em suas aulas. **Revista Eletrônica de Investigación em Educación em Ciências**, v. 9, n. 2, p. 42-57, 2014.

HENKE, A.; HÖTTECKE, D. Physics Teachers' Challenges in Using History and Philosophy of Science in Teaching. **Science & Education**, v. 24, n. 4, p. 349–385, 2015.

HENQUE, A.; HÖTTECKE, D. Physics Teachers' Challenges in Using History and Philosophy of Science in Teaching. **Science & Education**, v.24, n.4, 2014.

HERMAN, B. C.; CLOUGH, M. P.; OLSON, J. K. Teachers' Nature of Science Implementation Practices 2–5 Years After Having Completed an Intensive Science Education Program. **Science & Education**, v. 97, n.2, p. 271-309, 2013.

HIDALGO, M. R.; LORENCINI JUNIOR, A. Reflexões sobre a inserção da história e filosofia no ensino de ciências. **HISTÓRIA DA CIÊNCIA E ENSINO: construindo interfaces**. v. 14, p. 19-38, 2016.

HODDESON, L.H.: Pilot Experience of Teaching a History of Physics Laboratory, **American Journal of Physics** v. 39, p. 924–928, 1971.

HOFSTEIN, H. & LUNETTA, V. The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. **Science & Education**, v.88, p.28-54, 2003.

HOLTON, G., RUTHERFORD, J.F., WATSON, F.G. **Project Physics Course**. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1970. Apud OSTERMANN e MOREIRA, 2000.

HÖTTECKE, D. How and What Can We Learn From Replicating Historical Experiments? A Case Study. **Science & Education**. v.9, Issue 4, p.343-362, 2000.

HÖTTECKE, D.; HENKE, A.; RIESS, F. Implementing History and Philosophy in Science Teaching: Strategies, Methods, Results and Experiences from the European HIPST Project. **Science & Education** v.21, p1233–1261, 2012.

HÖTTECKE, D.; SILVA, C. C. Why Implementing History and Philosophy in School Science Education is a Challenge: Na Analyses of Obstacles. **Science & Education**. v. 20, p. 293-316, 2011.

HÛ, O; CROZAT, S.; TRIGANO, P. EMPI: Une méthode pour l'évaluation de multimedia interactive pédagogique. **Sciences et techniques éducatives**, v. 8, n. 3-4, 2001.

HUDSON, R. P. Reversal of the Parity Conservation Law in Nuclear Physics. In LIDE, D. R. **A Century of Excellence in Measurements, Standards and Technology**. A Chronicle of Selected NBS/NIST Publications 1901-2000. NIST Special Publication 958, Washington, 2001.

HUME, D. **Investigação Sobre o Entendimento Humano**. São Paulo: Editora Escala, 2012.

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

ISTE International Society for Technology in Education. **Educational Software Evaluation Form**. 2002.

IZQUIERDO-AYMERICH, M.; ADÚRIZ-BRAVO, A.: 'Epistemological Foundations of School Science', **Science & Education** v.12, p.27–43, 2003.

JARDIM, W. T.; GUERRA, A. Experimentos históricos e o ensino de física: agregando reflexões a partir da revisão bibliográfica da área e da história cultural da ciência. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.22, n. 3, p. 244-263, 2017.

JARDIM, W. T.; GUERRA, A. Práticas científicas e difusão do conhecimento sobre eletricidade no século XVIII e início do XIX: possibilidades para uma abordagem histórica da pilha de volta na educação básica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, n. 3, p.3603, 2018.

JERZEWSKI, V. B. **Partículas elementares e interações: uma proposta de mergulho no ensino e aprendizagem através de uma sequência didática interativa**. 108f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física), Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2015.

JERZEWSKI, V. B.; MACKEDANZ, L. F. Partículas elementares e interações: uma proposta de estudo para o ensino médio politécnico. *In: Anais do XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física, Uberlândia, Anais [...]*, 2015.

JESUS, G.S, JARDIM, M.I.A. Física de Partículas Elementares e a Utilização de Jogos no Ensino Médio. *In: X Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências, Florianópolis, Anais [...]*, 2017.

JOHANSSON, K. E. Exploring quarks, gluons and the Higgs boson. **Physics Education**. v.48, n.1, p. 96-104, 2013.

JOHANSSON, K. E.; NILSSON, C.; ENGTEDT, J. SANDQVIST, A. Astronomy and particle physics research classes for secondary school students. **American Journal of Physics**, Melville, v. 69, n. 5, p. 576-581, May 2001.

- JONES, D. G. C. Cosmology and particle physics. **Physics Education**, 1992. Apud OSTERMANN E MOREIRA, 2000.
- KALMUS, P. I. Particle physics at A-level-the universities viewpoint. **Physics Educations**. v.27, n.2, p.62-64, 1992.
- KAMPOURAKIS, K. The “General Aspects” Conceptualization as a Pragmatic and Effective Means to Introducing Students to Nature of Science. **Journal of Research in Science Teaching**, vol. 53, n. 5, p. 667-682, 2016.
- KAMPOURAKIS, K. The “General Aspects” Conceptualization as a Pragmatic and Effective Means to Introducing Students to Nature of Science. **Journal of Research in Science Teaching**, vol. 53, n. 5, p. 667-682, 2016.
- KARAN, R. PIETROCOLA, M. Discussão das relações entre matemática e física no ensino de relatividade restrita: um estudo de caso. In: VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Florianópolis, **Anais [...]**, 2009.
- KIKUCHI, L. A. **O Ensino da Física do Plasma e a Formação de Professores**. 2016. 123f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática), Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.
- KIPNIS, N. History of Science in teaching physics. In KOVÁCS, L (ed). **Extended Proceedings of History Teaching Physics Conference** Szombathely, 1994.
- KIPNIS, N. The ‘historical-investigative’ approach to teaching science. **Science & Education**, v.5, n.3, 277- 292, 1996.
- KITAGAWA, M. S. GASPAS, M. B. O experimento de herschel na descoberta da radiação infravermelha: a utilização de fontes primárias no ensino de física. In: XIX Simpósio Nacional de Ensino de Física, Manaus, **Anais [...]**, 2011.
- KLEIN O. On the theory of charged fields, Surveys in High apresentado na **Conferência sobre Novas Teorias Físicas**, em Kazimierz, Polônia, 1939.
- KLERK, D.; HUDSON, R. P. Installation for Adiabatic Demagnetization Experiments at the National Bureau of Standards. **Journal of Researc of the National Bureau of Standards**, v. 53, n. 3, p.173- 184, 1954.
- KNEUBIL, F. B. Explorando o CERN na Física do Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 2, p. 2401, 2013.
- KOPONEN, I. T.; MANTYLA T. Generative Role of Experiments in Physics and in Teaching Physics: A Suggestion for Epistemological Reconstruction. **Science & Education** v.15, p.31–54, 2006.
- KOURKOUMELIS, C.; VOUREAKIS, S. HYPATIA—an online tool for ATLAS event visualization. **Physics Education**, v. 49, n. 1, p. 21-32, 2014.
- KUBLI, F. Galileo’s ‘Jumping-Hill’ Experiment in the Classroom – A Constructivist’s Analysis. **Science & Education** v.10, p.145–148, 2001.
- KÖHNLEIN, J. F. K.; PEDUZZI, L. O. Q. Sobre a concepção empirista-indutivista no Ensino de Ciências. In: VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física, Águas de Lindóia, **Anais [...]**, 2002.
- LEADER, E.; PREDAZZI, E. **Na introduction to Gauge Theories and the New Physics**. Cambridge University Press, 1982.

LEBOEUF, H. A. BATISTA, I. L. O uso do “V” de Gowin na formação docente em ciências para os anos iniciais do ensino fundamental. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.18, n.3, pp. 697-721, 2013.

LEDEN, L. Teachers' Ways of Talking About Nature of Science and Its Teaching. **Science & Education** v.24, p.1141–1172, 2015.

LEDERMAN, L. Unraveling the mysteries of the atom. **The Physics Teacher**, Stony Brook, 1982. Apud OSTERMANN e MOREIRA, 2000.

LEDERMAN, N. G. Nature of science: past, present and future. In: ABELL, S. K.; LEDERMAN, N.G. (Eds.). **Handbook of research on science education**. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2007, p. 831-879.

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

LEDERMAN, N. G., ABD-EL-KHALICK, F. Avoiding De-Natured Science: Activities That Promote Understandings of the Nature of Science. In MCCOMAS, W. F (Ed). **The nature of science in science education: Rationales and strategies** (p.83–126). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1998.

LEDERMAN, N. G.; BARTOS, S. A.; LEDERMAN, J. S. The development, use, and interpretation of Nature of Science assessments. In: MATTHEWS, M. R. (Ed.). **International Hand-book of Research in History, Philosophy and Science Teaching**. The Netherlands: Springer, p. 971-997, 2014

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

LEDERMAN, Norm G., *et al.* Views of Nature of Science Questionnaire: Toward Valid and Meaningful Assessment of Learners' Conceptions of Nature of Science. **Journal of Research in Science Teaching**. v. 39, n. 6, p. 497–521, 2002.

LEE T. D.; YANG C. N. Parity nonconservation and a two component theory of the neutrino. **Physical Review**, v.105, n.5, 1957.

LEE, T. D.; YANG, C. N. Implications of the Intermediate Boson Basis of the Weak Interactions: Existence of a Quartet of Intermediate Bosons and Their Dual Isotopic Spin Transformation Properties. **Physical Review**, v. 119, N. 4, p. 1410-1419, 1960

LEE, T. D.; YANG, C. N. Mass Degeneracy of the Heavy Mesons. **Physical Review**, vol. 102, n. 1, p. 290-291, 1956.

LEITE LOPES J. Weak Interaction Physics: From its Birth to the Electroweak Model. **Química Nova**, V. 11, n.1, Rio de Janeiro, 1988.

LEITE LOPES, J. A model of the universal fermi interaction, **Nuclear Physics**, v.8, p.234, 1958.

LEITE LOPES, J. **Forty years of first attempt at the eletroweak unification and of the prediction of the weak neutral boson Z₀**, preprint, CBPF – NF- 022, 1998.

LESOV A. The Weak FORCE: From Fermi to Feynman. arXiv:0911.0058v1 [physics.hist-ph] 31, 2009.

LIMA A.S. Homenagem à Professora Elisa Frota-Pessoa. **Brazilian Journal of Physics**, vol. 34, no. 4A, December, 2004.

LONDERO, L. A história e filosofia da ciência na formação de professores de física: controvérsias curriculares. **História da Ciência: construindo interfaces**. V. 11, p. 18-32, 2015.

LONDERO, L. MOSINAHTI, G. As Pesquisas sobre o Ensino de Física de Partículas: um estudo baseado em Teses e Dissertações. In: X Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências, Águas de Lindóia, **Anais [...]**, 2015 b.

LONDERO, L. MOSINAHTI, G. As pesquisas sobre o Ensino de Física de Partículas: um estudo baseado em atas de congressos científicos. In: X Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências, Águas de Lindóia, **Anais [...]**, 2015 a.

LONDERO, L.; TEÓFILO, M. A. M. A física de partículas na prática didático-pedagógica dos participantes da escola de física cern. In: XV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Maresias. **Anais [...]**, 2014.

LONG, L. More 'hands-on' particle physics: Learning with ATLAS at CERN. **Physics Education**, v.46, n. 3, p. 270-280, 2011.

LONGHORN, M.; HUGLES, S. Modern replication of Eratosthenes' measurement of the circumference of Earth. **Physics Education**, v.50, n.2, p.175-178, 2015.

LOZADA, C. O. **O essencial invisível aos olhos: uma viagem divertida e colorida pela estrutura da matéria através de uma sequência ensino-aprendizagem para a introdução de Física de Partículas Elementares na 8ª série do Ensino Fundamental**. 2007. 424f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Cruzeiro do Sul, São Paulo. 2007.

LOZADA, C. O.; ARAÚJO, M. S. T. O essencial invisível aos olhos: uma viagem pela estrutura da matéria através de uma sequência ensino-aprendizagem para a introdução de Física de Partículas Elementares no Ensino Fundamental. In: VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências, Campinas, **Anais [...]**, 2011.

LOZADA, C. O.; ARAÚJO, M. S. T. Ensino de física de partículas elementares no ensino Médio: as perspectivas dos professores em relação ao ensino do modelo padrão. In: XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física, São Luís, **Anais [...]**, 2007a.

LOZADA, C. O.; ARAÚJO, M. S. T. Física de Partículas Elementares no Ensino Médio: As Perspectivas dos Professores em Relação ao Ensino do Modelo Padrão. In: VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Florianópolis, **Anais [...]**, 2007b.

LUDOVICO, M. M. **Proposta de um jogo didático para a abordagem do tema Física de Partículas com alunos do Ensino Médio**. 2017, 104f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2017.

LYRA, A.; LEITÃO, D. A.; AMORIM, G. B. C. de; GOMES, A. S. Ambiente virtual para análise de *software* educativo. In: WIE 2003 WORKSHOP BRASILEIRO DE INFORMÁTICA EDUCATIVA, Campinas, **Anais [...]**, 2003.

- MAIA, M. C. **Uma Abordagem do Modelo Padrão da Física de Partículas acessível a alunos do Ensino Médio**. 2011. 70f. Dissertação (Mestrado Profissional no Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2011.
- MAIANI, L. Neutral currents: A perfect experimental discovery **CERN Courier**, v. 53, n. 7, p. 53- 54 2013.
- MARTIN, G. F. S. M. **A Física de Partículas Elementares nos cursos de Licenciatura em Física**. 2005. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2005
- MARTINS, A. F. P. (2015). Natureza da Ciência no ensino de ciências: uma proposta baseada em “temas” e “questões”. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v. 32, n. 3, p. 703. 2015
- MARTINS, A. J.; FIOLEAIS, C.; PAIVA, J. Simulações on-line no ensino de Física e da Química. **Revista Brasileira de Informática na Educação**, v.11, n. 2, 2003.
- MARTINS, A.F.P. História e Filosofia da Ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho... **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 24, n. 1, p. 112 -131, 2007.
- MARTINS, L. A. P. A história da Ciência e o Ensino de Biologia. **Jornal Semestral do gepCE**, n.5, p. 18-21, 1998.
- MARTINS, L. A. P. História da Ciência: objetos, métodos e problemas. **Ciência e Educação** (UNESP), São Paulo, v. 11, n.2, p. 305-317, 2005.
- MARTINS, R.A. A história das ciências e seus usos na educação. In: SILVA, C.C. (Org). **Estudos de História e Filosofia das Ciências: subsídios para aplicação no Ensino**. Introdução. São Paulo: Livraria da Física. 2006.
- MASSIMI, M.; BHIMJI, W. "Computer simulations and experiments: the case of the Higgs boson", **Studies in History and Philosophy of Modern Physics**, v.51, p. 71–81, 2015.
- MATTHEWS, M. R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164-214, dez. 1995.
- MATTOS, M. B. P. **Falsos rótulos de produtos educativos: a importância da avaliação da qualidade educacional de um software**. 2006, 168f, Dissertação (Mestrado em Educação), Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2006.
- MAYER, V.V. VARAKSINA, E. I. Modern analogue of Ohm's historical experiment. **Physics Education** v.49, n.6, p.689-692, 2014.
- MCCOMAS, W. F. Seeking historical examples to illustrate key aspects of the nature of science. **Science & Education**, v. 17, n. 2-3, p. 249-263, 2008.
- MCCOMAS, W. F., CLOUGH, M. P., & ALMAZROA, H. The role and character of the nature of science in science education. In W. F. McComas (Ed.), **The nature of science in science education: Rationales and strategies**. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1998.

MCCOMAS, W. Uma proposta de classificação para os tipos de aplicação da história da ciência na formação científica: implicações para a pesquisa e desenvolvimento. In: SILVA, C.C.; PRESTES, M. E. (Orgs.). **Aprendendo ciência e sobre sua natureza: abordagens históricas e filosóficas**. 1. ed. São Carlos, SP: Tipografia Editora, 2013. cap. 4, p. 425-448.

MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. Possibilidades e Limitações das Simulações Computacionais no Ensino da Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.24, n.2, 2002.

MEDEIROS, A.; MONTEIRO Jr, F. N. A reconstrução de experimentos históricos como uma ferramenta heurística no ensino de Física. *In: Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências, Atibaia, Anais [...]*, 2001.

MENDES, G. H. G. I.; BATISTA, I. L. Matematização e ensino de Física: uma discussão de noções docentes. **Ciência & Educação**, v. 22, n. 3, p. 757-771, 2016.

DIDIŞ, N.; ERKOÇ, S. History of Science for Science Courses: "Spin" Example from Physics. **Latin-American Journal of Physics Education**, v. 3, n. 1, p. 9-12, 2009.

METZ, D.; STINNER, A. A role for historical experiments: capturing the spirit of the itinerant lecturers of the 18th century. **Science & Education**, v.16, n.6, p.613–624, 2007.

MEURER, Z. H. **Ensino de Ciências na 5ª série através de software educacional: o despertar para a Física**. 2008, 292f, Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

MIHAS, P. Developing Ideas of Refraction, Lenses and Rainbow Through the Use of Historical Resources. **Science & Education**, v.17, p.751–777, 2008.

MONK, M.; OSBORNE, J. Placing the History and Philosophy of Science on the Curriculum: A model for the Development of Pedagogy. **Science Education**. v. 81, p. 405-424, 1997.

MONTEIRO, M. A., NARDI, R., BASTOS FILHO, J. B., Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio e a formação de professores: Desencontros com a ação comunicativa e a ação dialógica emancipatória, **Revista Eletrônica de Investigação em Ciências**, v.8, 2012.

MONTEIRO, M. A.; NARDI, R.; BASTOS FILHO, J. B. A Sistemática incompreensão da teoria quântica e as dificuldades dos professores na introdução da física moderna e contemporânea no ensino médio. **Ciência e Educação**, v.15, n.3, p. 557-580, 2009.

MONTEIRO, M. M.; MARTINS, A. F. História da Ciência na sala de aula: uma sequência didática sobre o conceito de inércia. **Revista brasileira de Ensino de Física**, v. 37, n. 4, p. 4501, 2015.

MORAN, J. M. Ensino e aprendizagem inovadores com tecnologias audiovisuais e telemáticas. In: Moran, J. M.; Masetto, M. T.; Behrens, M. A. **Novas tecnologias e mediação pedagógica**. Campinas, SP: Papirus, p. 11-65, 2001.

MORAN, J.M. Interferências dos Meios de Comunicação no nosso Conhecimento. INTERCOM. **Revista Brasileira de Comunicação**, v. 17, n. 2, p. 38-49, 1994.

MOREIRA, A. M. & OSTERMANN, F. Sobre o ensino do método científico. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.10, n. 2, p. 108-117, 1993.

- MOREIRA, M. A. A física dos quarks e a epistemologia, **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.29, n.2, p.161-173, 2007.
- MOREIRA, M. A. Aprendizagem Significativa crítica. *In*: III Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa, Lisboa (Peniche), **Anais [...]**, 2000.
- MOREIRA, M. A. DIAGRAMAS V E APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA. **Revista Chilena de Educación Científica**, 2007, v. 6, n. 2, p. 3-12. Revisado em 2012.
- MOREIRA, M. A. **Física de partículas: uma abordagem conceitual e epistemológica**. Editora Livraria da Física, São Paulo, 1 ed. p. 143, 2011.
- MOREIRA, M. A. **Mapas conceituais e diagramas V**. Porto Alegre: o autor, 2006.
- MOREIRA, M. A. O Bóson de Higgs na mídia, na Física e no Ensino da Física. **Textos de Apoio ao Professor de Física**, v.28 n.2, 2017.
- MOREIRA, M. A. O modelo padrão da física de partículas, **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.31, n.1, p.1306-1306, 2009.
- MOREIRA, M. A. Partículas e interações, **Física na Escola**, v.5, n.2, p.10-14, 2004.
- MOREIRA, M. A. **Textos de Apoio ao Professor de Física: Diagramas V no Ensino de Física**. Porto Alegre, Instituto de Física – UFRGS, 1996.
- MOREIRA, M. A. Um mapa conceitual sobre partículas Elementares. **Revista de Ensino de Física**, v. 11, p. 114-129, 1989.
- MOREIRA, M.A. **Aprendizaje significativa crítica**. Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, 2010.
- MOREIRA, W. Revisão de literatura e desenvolvimento científico: conceitos estratégias para confecção. **Janus**, Lorena, v. 1, n. 1, p. 19-30, 2004.
- MORRISON, M. **Unifying Scientific Theories: Physical Concepts and Mathematical Structures** (pp. I-IV). Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
- MOSINAHTI, G. L.; LONDERO, L. As pesquisas sobre o ensino de física de partículas: Um estudo baseado em periódicos científicos. *In*: XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física, São Carlos, **Anais [...]**, 2017.
- MOSINAHTI, G. LONDERO, L. A pesquisa sobre o Ensino de Partículas Elementares: panorama e perspectivas. **Revista Enseñanza de la Física**, v. 27, n. extra, p. 7-16, 2015.
- MOURA, S. R. **Da World Wide Web as Partículas Elementares: sequência didática baseada no método DBR-TLS com vistas à alfabetização científica e técnica**. 2016, 196f, Dissertação de (Mestrado em Educação em Ciências e Matemática), Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.
- MOURA, S. R. et al. Quarks, elétrons, fótons e glúons... Bem-vindas: as partículas elementares no ensino médio. *In*: XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física, Uberlândia, **Anais [...]**, 2015.
- NERSESSIAN, N.: 'Should Physicists Preach What They Practise?', **Science & Education** v.4, p.203–226, 1995.
- SILVA NETO, J. L. **Partículas Elementares no Ensino Médio**. 2011. 95f. Dissertação Mestrado em Ensino de Física) – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2011.

JESUS NETO, J. T. **Imagens, conhecimento físico e ensino de Partículas Elementares: Discursos na formação inicial de professores de Física**. 2015, 164f. Dissertação (Mestrado e Educação Científica e Tecnológica), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

JESUS NETO, J. T.; SILVA, H. C. A problemática da representação de partículas elementares: a construção de um átomo. *In: XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física*, Uberlândia, **Anais [...]**, 2015.

JESUS NETO, J. T.; SILVA, H. C. Intericonicidade, regularidade e memória em imagens sobre partículas elementares. *In: XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física*, São Carlos, **Anais [...]**, 2017.

NEVES, M. C. D. *et al.* Galileu fez o experimento do plano inclinado? **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 7, n.1, p. 226-242, 2008.

NEVES, M. C. D. Resenha: Pushing gravity: new perspectives on le sage s theory of gravitation. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.20, n.3: p. 400-405, 2003.

NÓBREGA, F. K.; MACKEDANZ, L. F. O LHC (Large Hadron Collider) e a nossa física de cada dia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 1, p. 1301, 2013.

NOVAES, F. P. **Construção de um website sobre física de partículas**. 2017, 64f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física), Universidade Federal do ABC, Santo André, 2017.

NOVAK, J. D.; GOWIN, D. B. **Learning how to learn**. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.

NOVAK, JOSEPH D. A View on the Current Status of Ausubel's Assimilation Theory of Learning. *In: Third Misconceptions Seminar Proceedings, Strategies in Science and Mathematics*, Misconceptions Trust: Ithaca, **Anais [...]**, 1993.

OLIVEIRA, F. F.; VIANNA, D. M.; GERBASSI, R. S. Física Moderna no ensino médio: o que dizem os professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.29, n.3, p.447-454, 2007.

OLIVEIRA, L. D. Utilizando ambientes virtuais no estudo da física de partículas: contribuições de uma visita ao CERN. *In: IX Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências*, Águas de Lindóia, **Anais [...]**, 2013.

OLIVEIRA, R. A. SILVA, A. P. B. William Herschel, os raios invisíveis e as primeiras ideias sobre radiação infravermelha. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 4, p.4603, 2014.

ORGANTINI, G. A ball pool model to illustrate Higgs physics to the public. **Physics Education**, v. 52, 2017.

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

OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. H. Um pôster para ensinar física de partículas na escola. **Física na Escola**, v.2, n.1, p.13-19, 2001.

OSTERMANN, F., MOREIRA, M. Tópicos de física contemporânea na escola média brasileira: um estudo com a técnica Delphi. In: Encontro De Pesquisa Em Ensino De Física, Florianópolis, **Anais [...]**, 1998.

OSTERMANN, F. Um texto para professores do ensino médio sobre partículas elementares. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 21, n. 3, 1999.

OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. H. Física moderna e contemporânea no ensino médio: elaboração de material didático, em forma de pôster, sobre partículas elementares e interações fundamentais. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 16, n. 3, p. 267-286, 1999.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M.A. Atualização do currículo de Física na escola de nível médio: um estudo dessa problemática na perspectiva de uma experiência em sala de aula e da formação inicial de professores. **Caderno Catarinense de Ensino de Física** v.18, n. 2, p. 135-151, 2001.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M.A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “física moderna e contemporânea no ensino médio”. **Investigação e Ensino de Ciências** v. 5, n.1, p. 23-48, 2000.

PAIVA, J. R. **Representações pictóricas no ensino de física moderna: uma construção dos alunos**. 2010. 209f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo. 2010.

PANTANO, O. TALAS, A. Physics thematic paths: laboratorial activities and historical scientific instruments. **Physics Education** v.45, n.2, p.140 -146, 2010.

PARTICLE PHYSICS AND ASTRONOMY RESEARCH COUNCIL. **At the edge of knowledge**. Disponível na Internet. <http://www.pparc.ac.uk/> 07 maio 1998. Apud OSTERMANN e MOREIRA, 2000.

PASCOLINI, A.; PIETRONI, M. Feynman diagrams as metaphors: borrowing the particle physicist's imagery for science communication purposes. **Physics Education**, v. 37, n. 4, p. 324-328, 2002.

PATY, M. O conhecimento na Física: do invisível segundo a observação ao visível segundo o pensamento. **Scientiæ Sudia**, v. 8, n. 2, p. 293-8, 2010.

PAULA, R. C. O. LARANJEIRAS, C.C. O uso de experimentos históricos no ensino de física: um resgate da dimensão histórica da ciência a partir da experimentação. In: V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Bauru, **Anais [...]**, 2005.

PAULA, R. C. O. **O uso de experimentos históricos no ensino de física: integrando as dimensões histórica e empírica da ciência na sala de aula**. 140f, 2006. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências), Universidade de Brasília, 2006.

PAULINO, G. O. MELO, W. S. O experimento demonstrativo de Oliver Lodge no ensino do eletromagnetismo no ensino médio. In: XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física – SNEF, São Carlos, **Anais [...]**, 2017.

PAVLIDOU, M.; LAZZERONI, C. Particle physics for primary schools—enthusing future physicists. **Physics Education**, v. 51, 2016.

PEREIRA, A, P. OSTERMANN, F. Sobre o ensino de física moderna e contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente. **Investigação e Ensino de Ciências**, v.14, n.3, p. 393-420, 2009.

PEREIRA, A, P. OSTERMANN, F. Uma análise da produção acadêmica recente sobre o ensino de física moderna e contemporânea no Brasil. In: VI Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências, Florianópolis, **Anais [...]**, 2007.

PEREIRA, G.J.S.A.; MARTINS, A.F. A inserção de disciplinas de conteúdo histórico-filosófico no currículo dos cursos de licenciatura em física e em química da UFRN: uma análise comparativa. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v.28, n.1, p.229-258, 2011.

GATTI, S. R. T; NARDI, R.; SILVA, D. A história da ciência na formação do professor de física: subsídios para um curso sobre o tema atração gravitacional visando às mudanças de postura na ação docente. **Ciência & Educação**, v. 10, n. 3, p. 491-500, 2004.

PEREIRA, J. M.; LODEIRO, L. O ensino de partículas elementares por meio da leitura de "Alice no país do quantum". In: XX Simpósio Nacional de Ensino de Física, São Paulo, **Anais [...]**, 2013.

PEREIRA, J.; LONDERO, L.; ALMEIDA, M. J.P.M. Produção de sentidos da física de partículas mediante a leitura de textos por alunos do ensino médio. In: XIV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Maresias, **Anais [...]**, 2012.

PEREIRA, O. S. **Raios Cósmicos: introduzindo física moderna no segundo grau**. 1997, 183f, Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo. 1997.

PÉREZ, D. G.; SENENT, F.; SOLBES, J. Análisis crítico de la introducción a la Física Moderna em la enseñanza media. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 2, n.1, p. 16-21, 1988.

PÉREZ, D. G.; SENENT, F.; SOLBES, J. La introducción a la Física Moderna: um ejemplo paradigmático de cambio conceptual. **Enseñanza de las Ciencias**, n.extra, p. 209-210, 1987.

PÉREZ, D. G.; SOLBES, J. The introduction of modern physics: overcoming a deformed vision of science. **International Journal of Science Education**, London, v. 15, n. 3, p. 255-260, 1993.

PÉREZ, G. D.; MONTORO, I. F.; ALÍS, J. C.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.

PERKINS, D. Gargamelle and the Discovery of Neutral Currents. IN: BROWN L.; HODDESON L.; RIORDAN M.; DRESDEN M. The Rise of the Standard Model: 1964-1979. (Eds). **The Rise of the Standard Model**, Cambridge Univ. Press, p.428-446, 1997.

PERRY, G. T. **Proposta de uma metodologia participativa para o desenvolvimento de software educacional**. Dissertação submetida à Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

PESSANHA, M. **Estrutura da Matéria na Educação Secundária: Obstáculos de Aprendizagem e o Uso de Simulações Computacionais**. 2014. 231f, Tese (Doutorado em Ensino de Ciências), Universidade de São Paulo, São Paulo. 2014.

- PESSANHA, M.Ç PIETROCOLA, M. O ensino de estrutura da matéria e aceleradores de partículas: uma pesquisa baseada em design. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 16. n. 2. p. 361- 388, 2016.
- PESTRE, D. **Studies In Cern History Gargamelle And Bebc: How Europe's Last Two Giant Bubble Chambers Were Chosen**. Cern Libraries, Geneva, 1992.
- PETRÔNIO, R. Epistemologia da matéria: Algumas reflexões sobre sua representação e estatuto ontológico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 4, p. 4305, 2014.
- PICKERING A. Against putting the phenomena first: The discovery of the weak neutral current. **Studies in History and Philosophy of Science Part A**, v. 15, n.2, p. 85-117, 1984.
- PIMENTA, et al. O bóson de Higgs. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 2, p. 2306, 2013.
- PINCELLI, M. M. *et al.* The kickstart of the age of the Earth race: revisiting the experiment of the Comte de Buffon at school. **Physics Education**. v.53, 2018.
- PINHEIRO, L. A. **Partículas Elementares e interações Fundamentais no Ensino Médio**. 2011, 313f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- PINHEIRO, L. A.; COSTA, S. S. C. Relato sobre a implementação de uma unidade de aprendizagem sobre partículas elementares e interações fundamentais no ensino médio. **Experiências em Ensino de Ciências**, v.4, n. 3, p. 101-116, 2009.
- PINTO, J. A. SILVA, A. P. ; FERRERIRA, É. J. B. Laboratório desafiador e história da ciência: um relato de experiência com o experimento de Oersted. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 1, p. 176-196, 2017.
- PIRES, A. S. T.; CARVALHO, R. P. **Por dentro do átomo: Física de Partículas para leigos**. Editora Livraria da Física, 1 ed. São Paulo, 2014.
- PLEITEZ V. A Física de Partículas Elementares e o Prêmio Nobel de Física de 2008. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.30, n. 4, p. 4301, São Paulo, 2008.
- PRADO, G. P. **O ensino de estrutura da matéria na disciplina de Física: uma análise de estruturas conceituais para a modelagem do currículo**. 119f. dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência), Universidade Estadual Paulista, Baurú, SP, 2015.
- PRADO, R. T. **Utilização do diagrama v em atividades experimentais de Física em sala de aula de Ensino Médio**. 114f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2015.
- PRESCOTT C. Weak-Electromagnetic Interference in Polarized Electron-Deuteron Scattering In: HODDESON L.; BROWN L.; RIORDAN M.; DRESDEN M (Eds). **The Rise of the Standard Model**, Cambridge Univ. Press, p.179-198, 1997.
- PRESCOTT *et al.* Parity non-conservation in inelastic electron scattering. **Physics Letters B**, vol.77, n.3, 1978.
- PULLIA, A.; VIALLE, J. P. Weak neutral currents discovery: a giant step for particle physics, **Europhysics News** Vol. 41, No. 1, 2010, pp. 23-26.

QUINTAL, J. R. GUERRA, A. G. a história da ciência no processo ensino-aprendizagem. *In: XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física, Espírito Santo, Anais [...]*, 2009a.

QUINTAL, J. R. **Física na história: um caminho em direção à Aprendizagem Significativa.** 2008, 180f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Ensino de Ciências e Matemática) Centro Federal de Educação Tecn. Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, 2008

QUINTAL, J.; GUERRA, A. Física na história: uma abordagem histórico-filosófica no ensino de ciências. **Enseñanza de las Ciencias**, Número Extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, Barcelona, p. 813-816, 2009b.

RAICIK, A. C., & PEDUZZI, L. O. Q. ANGOTTI, J. A. P. da instantia crucis ao experimento crucial: diferentes perspectivas na filosofia e na ciência. **Investigações em Ensino de Ciências** – v.22, n.3, p. 192-206, 2017.

RAICIK, A. C., & PEDUZZI, L. O. Q. Um resgate histórico e filosófico dos estudos de Stephen Gray. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v.16, n. 1, p.109-128, 2016.

RAICIK, A. C., & PEDUZZI, L. O. Q. UM RESGATE HISTÓRICO E FILOSÓFICO DOS ESTUDOS DE CHARLES DU FAY **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v. 17, n. 1, p. 105-125, 2015.

REEVES, T. C; HARMON, S. W. Systematic evaluation procedures for interactive multimedia for education and training. *In: REISMAN, Sorel. **Multimedia Computing: preparing for the 21st Century**. Hershey, PA: Idea Group Publishing, p.472-582, 1996.*

REIS, J. C., GUERRA, A., & BRAGA, M. (2010). Da necessidade de valorizar a história e a filosofia da ciência na formação de professores. *In: XII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física – SP, Águas de Lindoia, Anais [...]*, 2010.

REIS, Y. et al. Design de uma sequência de ensino-aprendizagem sobre aceleradores e detectores de partículas. *In: XVI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Natal, Anais [...]*, 2016.

REIS, Y.; SIQUEIRA, M.; BATISTA, C. A. Aceleradores e detectores de partículas sob o olhar da transposição didática. *In: X Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências, Águas de Lindóia, Anais [...]*, 2015.

RIESELMANN, K. Weak neutral current. Symmetry: dimensions of particle physics. August 2009 issue of symmetry now online, 2009. Disponível em: <https://www.symmetrymagazine.org/article/august-2009/weak-neutral-current>, acesso em 29/01/2019.

REZENDE, C.S. **Modelo de avaliação de qualidade de software educacional para o ensino de ciências.** 2013, 131f, Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências), Universidade Federal de Itajubá, Minas Gerais, 2013.

RIBEIRO JUNIOR. L. A; CUNHA, M. F; LARANJEIRAS. C. C. Simulação de Experimentos Históricos no Ensino de Física: Uma Abordagem Computacional das Dimensões Histórica e Empírica da Ciência na Sala de Aula. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 4, 2012.

RIESS, F. History of Physics in Science Teacher Training in Oldenburg. **Science & Education** v.9, p.399–402, 2000.

RINALDI, E. GUERRA, A. História da ciência e o uso da instrumentação: construção de um transmissor de voz como estratégia de ensino. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.28, n.3, p. 653-675, 2011.

ROCHA, L. P. **A replicação de experimentos históricos como estratégia para o ensino de ciências naturais no ensino fundamental'** 2018. Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais), Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2018.

ROCHA, T. U. **As Contribuições da História e Filosofia da Ciência para o Ensino de Física Quântica na Educação Básica.** 2013, 319f, Dissertação (Mestrado Educação em Ciências e em Matemática) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2013.

RODRIGUES JR., E. LUNA, F. J. HYGINO, C. B. Implicações didáticas de história da ciência no ensino de Física: uma revisão de literatura através da análise textual discursiva. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 3, p. 769-808, dez. 2015.

RODRIGUES, K. B. **O evento científico como uma ferramenta colaborativa no processo de transposição didática para o tema Física de Partículas Elementares.** 2014, 81f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências), Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2014.

RODRIGUES, L. D. C. R.; WATANABE, G.; GURGEL, I. A física, a cultura e os aceleradores de partículas: articulações possíveis em sala de aula. In: XX Simpósio Nacional de Ensino de Física, São Paulo, **Anais [...]**, de 2013.

ROUSSET, A. The discovery of weak neutral currents. **Nuclear Physics B.** v. 36, p 339- 362, 1994.

ROY, A. Discovery of Parity Violation Breakdown of a Symmetry Principle. **RESONANCE**, Vol.6, No.8, pp.32-43, 2001.

RYDER, L. The new elementary particles and charm. **Physics Education**, Bristol, v. 21, n. 1, p. 28-32, Jan. 1976. Apud OSTERMANN e MOREIRA, 2000.

RYDER, L. The standard model. **Physics Education**, Bristol, 1992. Apud OSTERMANN e MOREIRA, 2000.

SACRISTÁN, J. G. **O currículo: uma reflexão sobre a prática.** Trad. Ernani F. da Fonseca Rosa. Porto Alegre: Artmed, 2000.

SALAM, A. **Gauge Unification of Fundamental Forces.** Nobel lecture, 1979.

SALAM, A. Gauge unification of fundamental forces. **Review of Modern Physics**, v.52, n. 3, p. 525, 1980.

SALAM, A. Unificação das forças fundamentais. In: SALAM, A.; DIRAC, P.; HEINSEBERG, W. **Em busca da unificação.** 1.ed, Editora Gradativa, Lisboa, 1991.

SALAM, A.; DIRAC, P.; HEINSEBERG, W. **Em busca da unificação.** 1.ed, Editora Gradativa, Lisboa, 1991.

SAMPAIO, J. L. **Eletrostática e Física de Partículas sob o olhar da História da Ciência: uma proposta para a construção de animações e vídeos no Ensino Médio**. 2017, 122f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física), Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2017.

SANTOS, A. J. J.; VOELZKE, M. S; ARAÚJO, M. S. T. O projeto Erastóstenes: a reprodução de um experimento histórico como recurso para a inserção de conceitos da astronomia no ensino médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física.**, v. 29, n. 3: p. 1137-1174, dez. 2012.

SANTOS, S. et al. Concepções alternativas de física de partículas: uma discussão com a câmera de nuvens. In: XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física, São Carlos, Anais [...], 2017.

SARAN, M. C. B. **Astrofísica de Partículas na Sala de Aula - Uma Sequência de Ensino e Aprendizagem sobre Raios Cósmicos para o Ensino Médio**. 2012. 131f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências), Universidade de São Paulo, São Carlos. 2012.

SCHROCK, Kathy. **Software evaluation form**. 2000.

Schwab, J. The practical 3: translation into curriculum. **School Review**, v.81, n.4, p.501-22, 1973.

SCOTT, A. J. 3-D spreadsheet simulation of a modern particle detector. **Physics Education**, v. 39, n. 1, p. 91-95, 2004.

SEGOLOU, F. KOUMARAS, P. TSELFES, V. History of Science and Instructional Design: the case of electromagnetism. **Science & Education**, v. 7. p. 261-280, 1998.

SEGRÈ, E. **Dos raios X aos quarks: Físicos modernos e suas descobertas**. Trad. de FERREIRA, W. H. Brasília: Universidade de Brasília, 345f, Coleção pensamento científico, 24, 1987.

SEROGLOU, F.; KOUMARAS, P.; TSELFES, V. History of Science and Instructional Design: the case of electromagnetism. **Science & Education**, v. 7, p. 261-280, 1998.

SHELLARD, R. C. O presente e futuro das investigações em astropartículas no Brasil. In: XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física, Uberlândia, **Anais [...]**, 2015.

SHIINO, H. et al. Uma proposta de aulas para tratar física nuclear e física de partículas no ensino médio. In: IX Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências, Águas de Lindóia, **Anais [...]**, 2013

SHIINO, H. S. et al. Uma proposta para sala de aula sobre a física nuclear e a física de partículas. In: XX Simpósio Nacional de Ensino de Física, São Paulo, **Anais [...]**, 2013a.

SICHAU, C. Practising Helps: Thermodynamics, History and Experiment. **Science & Education**, v. 9, p. 389-398, 2000.

SILVA JR, O. P. **O mirabolante mundo das partículas elementares: uma sequência didática para professores de Física**. 2015, 86f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física), Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, SP, 2015.

SILVA, B. V. C. Young fez, realmente, o experimento da fenda dupla? **Latin-American Journal of Physics Education**. v. 3, n. 2, p.280-287, 2009.

SILVA, C. C., MARTINS, R. A. A teoria das cores de newton: um exemplo do uso da história da ciência em sala de aula. **Ciência & Educação**, v.9, n.1, p. 53-65, 2003.

SILVA, C. R. DE O. MAEP: **Um método ergopedagógico interativo de avaliação para produtos educacionais informatizados**. Florianópolis, 2002. 224 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2002.

SILVA, E. D. **Partículas Elementares: Uma proposta de capacitação e apoio ao professor do Ensino Médio**. 2015, 109f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática), Pontifca Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

SILVA, F. M.; FURTADO, W. W. Mediação computacional como fator de motivação e de Aprendizagem Significativa no ensino de ciências do 9º ano: tópicos de astronomia. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v.2, n.1, p. 1-20, 2012.

SILVA, G. R. História da Ciência e experimentação: perspectivas de uma abordagem para os anos iniciais do Ensino Fundamental. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 6, n. 1, p. 121-132, 2013.

SILVA, L. G.; NEY, W. G. Partículas Elementares no Ensino Médio: Uma Análise de Livros Didáticos e Paradidáticos em Física e Química. In: XX Simpósio Nacional de Ensino de Física, São Paulo, **Anais [...]**, 2013.

SILVEIRA, F. L.; OSTERMANN, F. A insustentabilidade da proposta indutivista de “descobrir a lei a partir de resultados experimentais”. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.19, n. Especial, p. 7-27, 2002.

SIQUEIRA, M. R. P. **Do Visível ao Indivisível: uma proposta de Física de Partículas Elementares para o Ensino Médio**. 2006. 257f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo. 2006.

SIQUEIRA, M.; PIETROCOLA, M. A estruturação de um curso de física moderna e contemporânea: a física de partículas elementares no ensino médio. In: XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Curitiba, **Anais [...]**, 2008.

SIQUEIRA, M.; PIETROCOLA, M.; UETA, N. A física moderna e contemporânea em sala de aula: uma atividade com os raios x. In: XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física, São Luís, **Anais [...]**, 2007.

SMETANA, L. K., BELL, R. L. Computer Simulations to Support Science Instruction and Learning: A critical review of the literature. **International Journal of Science Education**, Abingdon, v.34, n.9, p.1337-1370, 2012.

SOARES, B. L. **Simetrias globais e locais em teorias de calibre**. Tese de doutorado apresentada ao Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo, 2007

SOARES, T. C. et al. A Física de Partículas vista Pelas Interações Fundamentais – um curso de extensão para professores. In: XV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Maresias. **Anais [...]**, 2014.

SOLOMON, J.; SCOT, L. Teaching about the Nature of Science through History: Action Research in the classroom. **Journal of Research in Science Teaching**. v. 29, n. 4, p. 409-421, 1992.

SOUSA, et al. A vigilância epistemológica de Chevallard aplicada ao espalhamento das partículas alfa. In: XIV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Maresias, **Anais [...]**, 2012.

SOUSA, M. L. K. O. **Masterclasses UFABC/CERN/LHC: Uma releitura freireana da proposta sobre física de partículas**. 2016, 128f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física), Universidade Federal do ABC, Santo André, 2016.

SOUSA, W. F. **Inserção de conceitos de Física de Partículas Elementares no Ensino Médio por meio de um material paradidático**. 2016, 87f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física), Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

SOUZA, A.; NASTEVA, I. Um novo exercício de International Masterclass para ensinar Física de Partículas. In: XVI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Natal, **Anais [...]**, 2016.

SOUZA, A.S. G. **Um novo exercício de International Masterclass para ensinar Física de Partículas**. 2017, 96f, Dissertação (Mestrado em Ensino de Física), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Macaé, 2017.

SOUZA, R. S.; SILVA, A. P. B; ARAUJO, T. S. James Prescott Joule e o equivalente mecânico do calor: reproduzindo as dificuldades do laboratório, **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.36, n.3, 2014.

SPALTER, A. M.; VAN DAM, A. Problems with using components in educational *software*. **Computers and Graphics**, v. 27, p. 329–337, 2003.

SQUIRES, D. PREECE, J. Predicting quality in educational *software*: evaluating for learning, usability and synergy between them. **Interacting with Computers**, v. 11, n. 5, p. 467-483, 1999.

SQUIRES, D. PREECE, J. “Usability and Learning: Evaluating the potential of Educational *Software*”, **Computers Education**., v. 27, n. 1, p. 15-22, 1996.

STANNARD, R. Modern physics for the young. **Physics Education**, v.25, n. 3, p.133-143, 1990.

STEINLE, F. Entering new fields: exploratory uses of experimentation. **Philosophy of Science**, v. 64, p. 565-574, 1997.

STEINLE, F. Experiments in History and Philosophy of Science. **Perspectives on Science**, v. 10, n. 4, p. 408-432, 2002.

STRAULINO, S. Reconstruction of Galileo Galilei’s experiment: the inclined plane. **Physics Education** v.43, n.3, p,316- 321, 2008.

SUPERKIDS EDUCACIONAL SOFTWARE REVIEW. 1998. Disponível em: <<http://www.superkids.com/aweb/pages/reviews/teacher.html>> Acesso em: jan. 2018.

SWINBANK, E. Particle physics: a new course for schools and colleges. **Physics Education**, Bristol, v. 27, n. 2, p. 87-91, 1992.

SZPAK, W. **Deteção acústica do efeito magnetocalórico: parâmetros que influenciam a ciclagem térmica**, 2009, 195f, Tese (Doutorado em Física), Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009.

’T HOOFT G. Renormalization of Gauge Theories. In: HODDESON L.; BROWN L.; RIORDAN M.; DRESDEN M (Eds). **The Rise of the Standard Model**, Cambridge Univ. Press, p.179-198, 1997.

'T HOOFT, G. Gauge theories of the forces between elementary particles. **Scientific American**, v. 242, n. 6, p. 90–116, 1980.

TAKAHASHI, Y. P. *et al.* Opiniões e expectativas de estudantes do ensino médio sobre experimentos históricos na disciplina de física. In: XX Simpósio Nacional de Ensino de Física, São Paulo, Anais [...], 2013.

TAVARES, R. Aprendizagem Significativa. **Revista Conceitos**, n.55 p. 10-50, 2006.

TCHOUNIKINE. P. **Computer Science and Educational Software Design - A Resource for Multidisciplinary Work in Technology Enhanced Learning**. Springer, ISBN: 978-3-642-20002-1 180p. 2011.

TEDESCO, J.C. (org.). (2004). **Educação e novas tecnologias**. Tradução de BERLINER, C.; LEITE, S. C. São Paulo: Cortez; Buenos Aires: Instituto de Planeamiento de la Educacion; Brasília: UNESCO.

TEICHMANN, J. History and historical experiments in physics education with special regard to astronomy, **Physics Education**, v. 26, p. 46-51, 1991.

TEIXEIRA, E. S.; GRECA, I. M.; FREIRE JUNIOR, O. Uma revisão sistemática das pesquisas publicadas no Brasil sobre o uso didático de História e Filosofia da Ciência no ensino de Física. In: Peduzzi, L. O. Q.; Martins, A. F. P.; Ferreira, J. M. H. (Orgs.) **Temas de História e Filosofia da Ciência no ensino**. EDUFERN, 372f, 2012.

TEIXEIRA, E. S.; FREIRE, O.; EL-HANI, C. N. A influência de uma abordagem contextual sobre as concepções acerca da natureza da ciência de estudantes de física. **Ciência & Educação**, v. 15, n. 3, p. 529-556, 2009.

TEIXEIRA. E. S.; FREIRE JUNIOR. O. “Um Estudo sobre a Influência da História e Filosofia da Ciência na Formação de Estudantes de Física”. In: XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física, São Luís, **Anais** [...], 2007.

TORREZZAN W. C. A.; BEHAR P. A. Mapeamento de competências de equipes desenvolvedoras: um olhar na construção interdisciplinar de materiais educacionais digitais. **ETD – Educação Temática Digital**. v.18 n.1 p. 136-155, 2016.

TORREZZAN, C. A. W. **ConstruMed: Metodologia para a construção de materiais educacionais digitais baseados no design pedagógico**. 2014. 240 f. Tese (Doutorado em Informática na Educação), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

TOVAL, Ambrosio; FLORES, Mariano. Computer systems simulation in education: description of an experience. **Computers & Education**, v.2, n.4, p.293-303, 1987.

TREBIEN, E. S. E. **Proposta de metodologia de desenvolvimento de software voltadas à educação**. 2002, 123f, Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

UA1 Collaboration, CERN, Geneva, Switzerland. Experimental observation of isolated large transverse energy electron with associated missing energy at . **Physics Letters**, v. 122B, n.1, p. 103, 1983a.

UA1 Collaboration, CERN, Geneva, Switzerland. Experimental observation of lepton pairs of invariant mass around 95 GeV/c² at the cern SPS collider. **Physics Letters**, v. 126B, n.5, p. 398, 1983b.

UA1 Collaboration, CERN, Geneva, Switzerland. Further evidence for charged intermediate vector bosons at the SPS collider. **Physics Letters**, v. 129B, n.3, p. 273, 1983c.

UA2 Collaboration, CERN, Geneva, Switzerland. Evidence for $Z^0 \rightarrow e^+e^-$ at the cern collider. **Physics Letters**, v. 129, n.1, p. 130, 1983b.

UA2 Collaboration, CERN, Geneva, Switzerland. Observation of single isolated electrons of high transverse momentum in events with missing transverse energy at the cern collider. **Physics Letters**, v. 122B, n.5, p. 476, 1983a.

VALADARES, J. A importância epistemológica e educacional do Vê do Conhecimento. In M. Moreira, Valadares, J, Caballero, C. E Teodoro, V. (Orgs.), **Teoria da Aprendizagem Significativa – Contributos do III Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa**, p. 87-120, 2000.

VALADARES, J. **Organizadores gráficos facilitadores da Aprendizagem Significativa: Diagramas em Vê e Mapas conceituais**. UIED, Coleção Educação e Desenvolvimento, 1ª edição, Lisboa, Portugal, 2014.

VALENTE, J.A. **Diferentes Usos do Computador na Educação**. In: **Computadores e Conhecimento: Repensando a Educação**. 2ª edição, Campinas, São Paulo: Unicamp, 1998.

VALENTE, JA & Almeida, F.J. Visão Analítica da Informática na Educação: a questão da formação do professor. **Revista Brasileira de Informática na Educação**, Sociedade Brasileira de Informática na Educação, nº 1, pg. 45-60. 1997.

VALENTE, L. **A Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: caminhos para a sala de aula**. 2009, 219f, Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo. 2009.

VAZ, R. P. **Sentidos e significados de eletromagnetismo: a relação entre eletricidade e magnetismo situados em uma perspectiva histórica compreendida no período de 1820 a 1831**. 2017. Dissertação (Mestrado Profissional em Docência em Educação em Ciências e Matemáticas), Universidade Federal do Pará, Belém, 2017.

VIDAL, C. X. MANZANO, R. C. LHC en unos pocos números. **Latin-American Journal of Physics Education**, v. 4, n. 2, p. 449-454, 2010.

VIDAL, X. C.; CID, R.; VRETENAR, M. Using basic electromagnetism to introduce LINAC4 (CERN). **Physics Education**. v. 51, 2016.

VIDEIRA, A. A. P.; FRANCISQUINI, M. F. B. Méson π : descoberto ou confirmado? O surgimento da física de partículas como disciplina científica. In: XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física, São Carlos, **Anais [...]**, 2017.

VIEIRA, F. M. S. Avaliação de *software* educativo: reflexões para uma análise criteriosa. 1999. Disponível em: <
<http://www.educacaopublica.rj.gov.br/biblioteca/tecnologia/0001.html> >. Acesso em: jan 2018.

VYGOTSKY, L. S. **Pensamento e Linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 2002.

WATANABE, G. **Construindo subsídios para a promoção da educação científica em visitas a laboratórios de pesquisa**. 2012, 225f, Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

WATANABE, G. et al. O evento CERN Masterclasses: Hands on Particle Physics: contribuições sobre seu papel na comunicação científica a partir de percepções de seus participantes. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 38, n. 3, e3401, 2016.

WATANABE, G. et al. Os aceleradores de partículas em aulas de física: dificuldades encontradas por professores na elaboração de propostas. In: XII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Águas de Lindóia, **Anais [...]**, 2010.

WATANABE, G.; GURGEL, I.; MUNHOZ, M. O que se pode aprender com o evento Masterclasses – CERN na perspectiva do ensino de física de partículas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 1, p. 1503, 2014.

WATANABE, G.; KAWAMURA, M. R. A divulgação científica e os físicos de partículas: a construção social de sentidos e objetivos. **Ciência & Educação**, v. 23, n. 2, p. 303-320, 2017.

WATANABE, G.; KAWAMURA, M. R. D.; MUNHOZ, M. Por que cientistas fazem divulgação científica? Uma análise de um evento de física de partículas. In: X Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências, Águas de Lindóia, **Anais [...]**, 2015.

WATANABE, G.; MUNHOZ, M. A divulgação científica através de um acelerador de partículas. In: VI Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências, Florianópolis, **Anais [...]**, 2007.

WATANABE, G.; MUNHOZ, M. O acelerador de partículas pelletron: uma visão sobre o divulgar ciência em laboratórios de pesquisa. In: VII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências, Florianópolis, **Anais [...]**, 2009.

WATKINS, P. **Story of the W and Z**. Cambridge University Press, 1986.

WEINBERG S. The making of the Standard Model. **Eur. Phys. J. C**. v. 34, n. 1, 2004.

WEINBERG, S. A model of leptons. **Physical Review Letters**, v. 19, n. 21, November, 1967.

WEINBERG, S. Conceptual foundations of the unified theory of weak and electromagnetic interactions. **Review of Modern Physics**, v. 52, n. 3, p. 515, 1980.

WEINBERG S. Electroweak Reminiscences. In, NEWMAN H B; YPSILANTIS T. **History of Original Ideas and Basic Discoveries in Particle Physics**, Plenum Press, New York, 1996.

WIENER, G. J. et al. Introducing the LHC in the classroom: an overview of education resources available. **Physics Education**, v. 51, 2016.

WIENER, G. J.; SCHMELING, S. M.; HOPF, M. Introducing 12 year-olds to elementary particles. **Physics Education**, v. 52, 2017.

WIENER, G. J.; SCHMELING, S. M.; HOPF, M. Introducing 12 year-olds to elementary particles. **Physics Education**, v. 52, 2017.

WILLIAMS, G. Antimatter and 20 th century Science. **Physics Education**, v. 40, n. 3, p.238-244, 2005.

WINSBERG E. Computer Simulations in Science. **Stanford Encyclopedia of Philosophy**. First published Mon May 6, 2013; substantive revision 23, 2015.

WOITHE, J.; WIENER, G. J.; VAN DER VEKEN, F. F. Let's have a coffee with the Standard Model of particle physics! **Physics Education**, v. 52, 2017.

WU, C. S. Parity Violation. In: NEWMAN, H. B.; YPSILANTIS, T. **History of Original ideas and Basic Discoveries in Particle Physics**. Plenum Press, New York, 1996.

WU, C. S.; AMBLER, E.; HAYWARD, R. W.; HOPPES, D. D.; HUDSON, R. P. Experimental Test of Parity Conservation in Beta Decay. **Physical Review**. v. 105, p. 1413-1415, 1957.

YANG, C. N.; MILLS, R. L. Conservation of Isotopic Spin and Isotopic Gauge Invariance. **Physical Review**, v. 96, n. 1, 1954.

ZABALA, A. **A Prática educativa: como ensinar**. Trad. Ernani F. da F. Rosa, Porto Alegre, Artmed, 1998.

ZOMPERO; A. F.; LABURÚ, C. E. Atividades investigativas no ensino de ciências: aspectos históricos e diferentes abordagens. **Revista Ensaio**, v. 13, n. 3, p. 37-80, 2011.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Quadro dos cursos que apresentam ementas que contemplam tópicos de Física de Partículas.

Universidade de São Paulo - USP
Obrigatória
<u>FÍSICA MODERNA II</u> (8º período / 60h)
Quantização do momento angular. Experiência de Stern Gerlach. O spin do elétron. Os momentos de dipolo magnético do elétron. Partículas idênticas. Indistinguibilidade. Princípio de Pauli. Noções de estatísticas quânticas. Átomos de muitos elétrons. O íon. Moléculas. Poços duplos e múltiplos. Potencial periódico. Bandas de níveis. Cristais iônicos e covalentes. Propriedades elétricas dos sólidos. Caracterização de condutores, isolantes e semicondutores. Condução elétrica em metais. Resistividade. Noções de supercondutividade. Semicondutores intrínsecos e extrínsecos. Junções p-n. Propriedades gerais do núcleo atômico. Forças entre núcleons. Energia de ligação nuclear. Estabilidade nuclear. Radioatividade. Fissão. Fusão nuclear. Reações nucleares. Interação de partículas carregadas e nêutrons com a matéria. <u>Fenomenologia de partículas elementares. Aceleradores.</u>
Optativas
<u>PARTÍCULAS A DANÇA DA MATÉRIA E DOS CAMPOS</u> (4º período / 60h)
1) Força e matéria: a Física e suas leis. 2) Natureza: contínua ou discreta? 3) A luz e sua natureza. 4) Onda ou Partícula: o mundo do muito pequeno. 5) Simetrias e leis de conservação. 6) Quântica e Relatividade. <u>7) A música do balé: as interações. 8) Invariância de gauge: a grande unificação.</u> 9) Vácuo: a natítese do vazio. 10) Cosmologia: o princípio e o fim.
<u>TÓPICOS DE HISTÓRIA DA FÍSICA MODERNA</u> (9º período / 30h)
A crise da Mecânica Clássica no final do século XIX. Surgimento, desenvolvimento e formalização da Mecânica Quântica. Desenvolvimento da Física Nuclear. <u>Desenvolvimento da Física das Partículas Elementares. Partículas Elementares</u> e Cosmologia.
<u>ASTROFÍSICA DE ALTAS ENERGIAS</u> (8º período / 60h)
<u>Partículas elementares e interações fundamentais: uma introdução. Instrumentos e técnicas de detecção em altas energias: missões espaciais e detectores terrestres/subterrâneos.</u> Os estágios finais da evolução estelar. Tipos de supernova e sua física básica. Expansão de remanescentes de supernova no MIS. Os objetos compactos desde o ponto de vista físico. Teoria de anãs brancas. Observações de anãs brancas. Estrelas de nêutrons: estrutura e evolução. Pulsares. A física básica dos buracos negros. Os eventos de formação de objetos compactos. Estatística e questões em aberto. O problema do acréscimo de massa: acreção esférica e discos de acreção. Binárias que contém objetos compactos: classificação e observações. Micro-quasares e quasares. Núcleos ativos de galáxias e o universo em formação. Astrofísica de neutrinos: o Sol e SN1987A. Radiação gravitacional: a próxima fronteira. O problema dos surtos de raios gama. <u>Raios cósmicos: origem, propagação e problemas.</u>
<u>ACELERADORES DE PARTÍCULAS. FUNDAMENTOS E APLICAÇÕES</u> (6º período / 60h)
<u>1) Aplicações de aceleradores: médicas; industriais; acadêmicas. 2) Técnicas de Aceleração: a) DC: Descrição, Limitações; b) RF: Descrição, Limitações. 3) Tipos de Aceleradores: Eletrostáticos, Van der Graaff, Pelletron, Cockcroft-Walton, Bétatrons, Cíclotrons, Lineares, Microtrons, Síncrotrons. 4) Componentes dos aceleradores: Elementos emissores de partículas, Fontes de alta tensão, Vasos, Fontes de RF, Cavidades de RF, Componentes magnéticos, Vácuo, Monitoração e controle, Elementos supercondutores. 5) Introdução à óptica de feixes de partículas: Parâmetros de feixe, partícula guia e cálculo da trajetória,</u>

Espaço livre, Dipolo, Solenóide, Quadrupolo, Sextupolo, Modelagem, Elipse de feixe e o teorema de Liouville, Óptica eletrostática. 6) Aceleradores não acadêmicos: Industriais e Médicos.

Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

Obrigatória

FÍSICA MODERNA B (7º período / 60h)

Os modelos atômicos clássicos; Os modelos quânticos do átomo; A velha Mecânica Quântica; A Mecânica Quântica Matricial; A Mecânica Quântica Ondulatória; Aplicações da equação de Schrödinger; O átomo de hidrogênio; A equação de Dirac; O spin do elétron; **Partículas elementares.**

Universidade de Campinas- UNICAMP

Obrigatória

ESTRUTURA DA MATÉRIA II (9º semestre / 60 h)

Momentos de dipolo magnético, spin, e taxas de transição. Átomos multieletrônicos. Estatística quântica. Moléculas. Sólidos. Modelos Nucleares. **Partículas elementares.**

FÍSICA GERAL IV (6º período / 60 h)

Ondas Eletromagnéticas, Óptica Geométrica, Interferência, Difração, Teoria da Relatividade, Física Quântica, Modelos Atômicos, Condução de Eletricidade em Sólidos, Física Nuclear, **Quarks, Léptons, e o Big-Bang.**

Universidade Federal de São Carlos - UFSCAR

Obrigatória

FÍSICA INTRODUTÓRIA (1º período / 60h) – Campus São Carlos

Noções de matemática superior (cálculo diferencial e integral, vetores) a partir de exemplos físicos. Leis de conservação. Gravitação. Fenômenos térmicos e as leis da termodinâmica. Fenômenos eletromagnéticos e ópticos. Conceitos básicos da teoria da relatividade. **Modelo padrão das partículas elementares e suas interações.**

FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA (7º período / 90 h) – Campus São Carlos

Introdução à descrição quântica de átomos e moléculas; Aspectos básicos da Física da Matéria Condensada; **Interações da natureza e o modelo padrão das partículas elementares;** Elementos de Astrofísica.

FÍSICA MODERNA 2 (8º semestre / 60 h) - Campus Sorocaba

Quantização do momento angular. Experiência de Stern Gerlach. O spin do elétron. Os momentos de dipolo magnético do elétron. Partículas idênticas. Indistinguibilidade. Princípio de Pauli. Noções de estatísticas quânticas. Átomos de muitos elétrons. O íon. Moléculas. Poços duplos e múltiplos. Potencial periódico. Bandas de níveis. Cristais iônicos e covalentes. Propriedades elétricas dos sólidos. Caracterização de condutores, isolantes e semicondutores. Condução elétrica em metais. Resistividade. Noções de supercondutividade. Semicondutores intrínsecos e extrínsecos. Junções p-n. Propriedades gerais do núcleo atômico. Forças entre núcleons. Energia de ligação nuclear. Estabilidade nuclear. Radioatividade. Fissão. Fusão nuclear. Reações nucleares. **Interação de partículas carregadas e nêutrons com a matéria. Fenomenologia de partículas elementares. Aceleradores.**

Optativa

COSMOLOGIA MODERNA E ASTROFÍSICA DAS PARTÍCULAS (6 créditos) – Campus São

<p>Carlos</p> <p>Ementa não disponível.</p>
<p>Universidade Federal de Pernambuco - UFPE</p> <p>Obrigatória</p> <p><u>FÍSICA MODERNA II (8º período / 60h)</u></p> <p>1. Propriedades e Espectros de Moléculas; 1.1. Ligação iônica; 1.2. Ligação covalente; 1.3. Outros tipos de ligação; 1.4. Níveis de energia e espectros de moléculas diatômicas; 1.5. Espalhamento, absorção e emissão estimulada; 1.6. Lasers e masers; 2. Física do Estado Sólido; 2.1. A estrutura dos sólidos; 2.2. Teoria clássica da condução de eletricidade; 2.3. O gás de elétrons livres nos metais; 2.4. Teoria quântica da condução de eletricidade; 2.5. Magnetismo em sólidos; 2.6. Bandas de energia em sólidos; 2.7. Semicondutores dopados; 2.8. Junções e dispositivos semicondutores; 2.9. Supercondutividade; 3. Física Nuclear; 3.1. A composição do núcleo; 3.2. Propriedades dos núcleos no estado fundamental; 3.3. Radioatividade; 3.4. Decaimentos alfa, beta e gama; 3.5. A força nuclear; 3.6. O modelo de camadas; 3.7. Reações nucleares; 3.8. Fissão e fusão; 3.9. Aplicações da energia nuclear; <u>4. Física de Partículas; 4.1. Conceitos básicos; 4.2. Interações fundamentais e partículas mediadoras; 4.3. Leis de conservação e simetrias; 4.4. O Modelo Padrão; 4.5. Além do modelo padrão;</u> 5. Astrofísica e Cosmologia; 5.1. O Sol; 5.2. As Estrelas; 5.3. A evolução das estrelas; 5.4. Eventos cataclísmicos; 5.5. Os estados finais das estrelas; 5.6. Galáxias; 5.7. Cosmologia e gravitação; 5.8. Cosmologia e evolução do universo.</p>
<p>Universidade Federal do Paraná - UFPR</p> <p>Obrigatória</p> <p><u>FÍSICA MODERNA II (8º período /60 h)</u></p> <p>Átomos multieletrônicos: partículas idênticas, princípio de exclusão, teoria de Hartree, espectros de raios X, acoplamento LS, efeito Zeeman. Estatística quântica: bósons e férmions, funções de distribuição quânticas, calor específico, laser, gás de fótons, gás de fônons, condensação de Bose, gás de elétrons. Moléculas: ligações químicas, espectros de rotação, vibração e eletrônicos, efeito Raman. Estado sólido: teoria de bandas, condução elétrica, semicondutores, supercondutores, propriedades magnéticas. <u>Física nuclear e partículas:</u> modelos nucleares, decaimentos nucleares, <u>partículas elementares.</u></p>
<p>Universidade de Brasília - UNB</p> <p>Obrigatória</p> <p><u>HISTÓRIA DA FÍSICA MODERNA (10º semestre / 60 h)</u></p> <p>Teoria cinética dos gases e mecânica estatística de Boltzmann. Equações de Maxwell. Linhas espectrais. Radiação de corpo negro. O problema do éter. O princípio fundamental da relatividade. Elementos de escolha e o papel da experiência. O princípio de constância da velocidade da luz e a teoria eletromagnética. As teorias do elétron de Lorentz, Larmor e Wiechert. As críticas de Poincaré. Einstein e a descoberta da relatividade especial. O Problema da Radiação do corpo negro. A Solução de Planck para o problema da radiação do corpo negro. Einstein e a descoberta do fóton. Movimento browniano. Calores específicos dos sólidos. O modelo de Bohr. A generalização de Sommerfeld e Ehrenfest. A e B de Einstein. Princípio de correspondência. Regras de seleção. Espectroscopia ótica: efeito Zeeman, efeito Stark, efeito Zeeman anômalo. Experimento de Stern-Gerlach. Princípio de exclusão de Pauli. Descoberta do Spin. Dualidade onda-partícula. Efeito Compton. Estatística de Bose-Einstein. Ondas de Broglie. Colapso da velha teoria quântica. A mecânica matricial de Heisenberg. A mecânica quântica de Dirac. A mecânica ondulatória de Schrödinger. A unificação da mecânica matricial e ondulatória. Spin e estatística quântica. Interpretações da mecânica quântica. Interpretação estatística de Born. Princípio de incerteza. Complementaridade. Teorema de Ehrenfest. A relatividade geral e os modelos cosmológicos. Hubble e a expansão do universo. <u>A quantização dos campos e as partículas elementares.</u> A física nuclear e o advento da era atômica. Aspectos éticos associados ao desenvolvimento e à utilização da ciência: a conduta dos cientistas durante as</p>

guerras do século XX e o período da guerra fria.

Optativa

ESTRUTURA DA MATÉRIA (7º semestre / 60h)

Partículas idênticas. Princípio de exclusão. Átomo de Hélio. Teoria de Hartree. Estados fundamentais de átomos multieletrônicos. Tabela periódica dos elementos. Espectro de raios X. Excitações óticas de átomos multieletrônicos. Acoplamento L-S. Efeito Zeeman. Indistinguibilidade e estatística. Funções de distribuição: Boltzmann, BoseEinstein e Fermi-Dirac. Calor específico de um sólido. Laser. Gás de fótons. Gás de fônons. Condensação de Bose. Hélio líquido. Ligações iônicas e covalentes. Espectros de rotação e vibração. Efeito Raman. Tipos de sólidos. Teoria de banda dos sólidos. Condução elétrica em metais. Modelo de elétrons livres. Semicondutores e dispositivos. Supercondutividade. Paramagnetismo. Diamagnetismo. Ferromagnetismo. Antiferromagnetismo e Ferrimagnetismo. Propriedades, formas e densidades nucleares. Massas e abundâncias. Modelos: gota líquida, gás de Fermi, modelo de camadas, modelo coletivo. Decaimentos alfa, beta e gama. Reações nucleares. Fissão nuclear e reatores nucleares. Fusão nuclear e a origem dos elementos. **Isospin. Píons e Múons. Estranheza. Interações fundamentais e leis de conservação. Famílias de partículas elementares. Quarks.**

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

Obrigatória

TÓPICOS DE FÍSICA CONTEMPORÂNEA (1 semestre / 30h)

1.1 - Física da Matéria Condensada. 1.1.1 - Física de Nanoestruturas. 1.1.2 - Física de Semicondutores. 1.1.3 - Física de Supercondutores. 1.2 - Astrofísica e Cosmologia. **1.3 - Física Nuclear e de Partículas.** 1.4 - Física Atmosférica. 1.5 - Ensino de Física. 1.6 - Outras Áreas de Interesse. UNIDADE 02 - ETAPAS DA FORMAÇÃO EM FÍSICA 2.1 - Físico Pesquisador. 2.2 - Físico Educador. 2.3 - Físico Industrial. 2.4 - Regulamentação da Profissão e Fiscalização da Formação do Físico. UNIDADE 03 - A ORGANIZAÇÃO DAS ATIVIDADES EM FÍSICA NO BRASIL E NO MUNDO 3.1 - Sociedade Brasileira de Física. 3.2 - Sociedades Internacionais de Física. 3.3 - Órgãos Financiadores das Atividades em Física.

ESTRUTURA DA MATÉRIA (10 semestre / 60h)

UNIDADE 1 - FÍSICA ATÔMICA 1.1 - Átomos com um elétron. 1.2 - O átomo de hidrogênio e seu espectro. 1.3 - Funções de onda. 1.4 - Efeito Zeeman. 1.5 - Interação Spin-Órbita. 1.6 - Átomos de dois elétrons. 1.7 - Aproximação de Hartree e Hartree-Fock. 1.8 - Aproximação de Thomas-Fermi. 1.9 - A tabela periódica. 1.10 - Espectros de excitações atômicas. UNIDADE 2 – MOLÉCULAS 2.1 - Orbitais moleculares de moléculas diatômicas e sua estrutura eletrônica. 2.2 - Moléculas poliatômicas. 2.3 - Moléculas conjugadas. 2.4 - Rotação molecular. 2.5 - Vibração molecular e transições eletrônicas. UNIDADE 3 - PROPRIEDADES DOS SÓLIDOS E LÍQUIDOS 3.1 - Tipos de sólidos e sua estrutura cristalina. 3.2 - Sólidos não cristalinos. 3.3 - Teoria clássica dos elétrons livres nos metais. 3.4 - O gás de elétrons de Fermi. 3.5 - Teoria quântica da condução elétrica. 3.6 - Teoria de bandas dos sólidos. 3.7 - Supercondutividade. UNIDADE 4 - FUNDAMENTOS DA MECÂNICA ESTATÍSTICA 4.1 - Mecânica estatística clássica e distribuição de Maxwell-Boltzman. 4.2 - Temperatura e equilíbrio térmico. 4.3 - Aplicações à termodinâmica. 4.4 - Funções de distribuição quântica e suas aplicações. **UNIDADE 5 - FÍSICA NUCLEAR E DE PARTÍCULAS ELEMENTARES 5.1 - Estrutura nuclear e processos nucleares. 5.2 - Radioatividade. 5.3 - Fissão e Fusão. 5.4 - Detecção de radiação. 5.5 - Partículas elementares. 5.6 - Partículas e antipartículas. 5.7 - As interações básicas e a classificação das partículas. 5.8 - As leis de conservação. 5.9 - Ressonâncias. 5.10 - A via Octupla e os Quarks.**

Universidade Federal do Espírito Santo – UFES

Obrigatória

EVOLUÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO (7º período / 45 h)

A Ciência na Antiguidade. A Física na Idade Média. A Nova Astronomia. Galileu. Bacon, Descartes e Huygens. Mecânica Newtoniana. Energia, Calor e Entropia. Teoria Eletromagnética. Teoria da

Relatividade Restrita. O Mundo Quântico. As várias Interpretações da Mecânica Quântica. **Partículas Elementares**. A Física no Brasil. Identificar os problemas de fronteira em Física e Ensino de Física e as principais etapas da carreira de Físico Pesquisador e Físico Educador.

FÍSICA MODERNA II (8º período /60 h)

Física Estatística. Moléculas. Sólidos. Física Nuclear. Aplicações de espectroscopia molecular, métodos de física do estado sólido e métodos nucleares em ciência dos materiais, ciências da saúde e meio ambiente. **Física de Partículas**. Noções de Astrofísica e Cosmologia.

Universidade Federal de Sergipe – UFS

Obrigatória

FÍSICA MODERNA II (8º semestre / 60 h)

Física do estado sólido: estrutura e propriedades. **Introdução à Física nuclear e de partículas**. Elementos de Astrofísica e cosmologia.

Optativa

FÍSICA DE PARTÍCULAS ELEMENTARES (10º semestre / 60h)

Conceitos básicos e leis de conservação. Interações Hádron-Hádron e o modelo de quarks. Interações fracas. Interações de Quarks e Lépton. Teoria unificada das interações eletromagnéticas e fracas. Teoria das interações fortes: cromodinâmica quântica. Processos de alta energia. Sinopse de Física de Partículas. Simetrias e leis de conservação. Modelo de quarks. Partículas relativísticas. A interação eletromagnética de quarks hádrons. A interação forte. Interação fraca. Teorias unificadas. Partículas em cosmologia e astrofísica.

Universidade Federal da Bahia- UFBA

Obrigatória

FÍSICA MODERNA A (7º semestre /68 h)

Apresentação dos princípios básicos da Mecânica Quântica. Estudo, de forma introdutória, de elementos da Física Molecular, da Física Nuclear e **Partículas Elementares** e da Física do Estado Sólido.

Universidade Estadual de Maringá – UEM

Obrigatória

FÍSICA MODERNA II (6º semestre / 60h)

Aplicações da equação de Schrödinger: o poço quadrado; o oscilador harmônico, a átomo de hidrogênio, momento angular, spin e adição de momento angular, equação de Schrödinger para várias partículas. Noções de Física atômica, molecular e da matéria condensada: estados fundamentais e excitados de átomos, tabela periódica, ligação molecular e moléculas diatômicas, estrutura de sólidos, elétrons livres e bandas de energia, cristais líquidos, lasers, supercondutividade e superfluidez. Aspectos de física nuclear e de partículas elementares: propriedade dos núcleos no estado fundamental, radioatividade, reações nucleares, **classificação das partículas elementares e leis de conservação, a via Óctupla e os quarks.**

Universidade Federal do Pará – UFPA

Obrigatória

FÍSICA MODERNA II (6º semestre / 68 h) – Campus Belém

Estudar os princípios, conceitos e técnicas para solução de problemas de: Átomos de muitos Elétrons. Moléculas. Noções de estatística Quântica. Núcleo atômico. **Partículas elementares**.

Optativa

INTRODUÇÃO A FÍSICA DE PARTÍCULAS ELEMENTARES (68h)

Fenômenos que evidenciam a existência das partículas elementares. Propriedades das partículas atômicas e nucleares. Teoria de Grupo e partículas. Simetria e Leis de Conservação.

Universidade Federal do Piauí - UFPI

Obrigatória

FÍSICA MODERNA II (8º semestre /60h)

Spin e interações magnéticas. Átomos com vários elétrons. Física Molecular. Noções de Estatística Quântica. Noções de Física do Estado Sólido. **Física Nuclear de Particulares Elementares.**

Universidade Federal de Uberlândia - UFU

Obrigatória

INTRODUÇÃO A RELATIVIDADE E FÍSICA NUCLEAR (8º semestre /60 h)

1.RELATIVIDADE 1.1. O que é a Relatividade 1.2. Postulados básicos 1.3. A medida de um evento 1.4. Eventos simultâneos 1.5. A relatividade do tempo 1.6. A relatividade do comprimento 1.7. As transformações de Lorentz 1.8. A transformação das velocidades 1.9. O efeito Doppler 1.10. Energia e momento linear relativísticos 2. FÍSICA NUCLEAR 2.1. A descoberta do núcleo 2.2. Propriedades nucleares 2.3. Decaimento Radioativo 2.4. Decaimentos alfa e beta 2.5. Datação radioativa 2.6. Medida da dose de radiação 3. ENERGIA NUCLEAR 3.1. Fissão nuclear: o processo básico 3.2. O reator nuclear 3.3. Fusão Termonuclear 3.4. O Tokamak 3.5. Fusão a Laser 4. **PARTÍCULAS ELEMENTARES 4.1. Os léptons 4.2. Algumas leis de conservação para partículas 4.3. O Modelo do Quark 4.4. A expansão do Universo 4.5. O Big-Bang.**

Universidade Estadual de Ponta Grossa- UEPG

Obrigatória

FÍSICA MODERNA (3º ano /136h)

Relatividade Especial: transformação de Lorentz, e equivalência massa - energia. Natureza Ondulatória - Corpuscular da Matéria e da Luz. Fundamentos da Mecânica Quântica. Princípio da Incerteza de Heisenberg. Equação de Schroedinger. Estrutura Atômica. Modelo do Átomo de Hidrogênio. Moléculas. Sólidos. Núcleo Atômico. Forças Nucleares. Energia Nuclear Radioatividade. **Partículas Elementares.**

Universidade Federal de São João Del Rei – UFSJ

Obrigatória

FUNDAMENTOS DE ÓTICA E FÍSICA MODERNA (5º período / 72h)

Óptica geométrica: leis da reflexão e da refração; formação de imagens por espelhos e lentes. Óptica física: interferência e difração. Natureza e propagação da luz. Relatividade: Newtoniana e postulados de Einstein, Transformação de Lorentz, Sincronização e Simultaneidade, Momento e energia relativísticos. Física Nuclear: propriedades do núcleo, radioatividade, reações nucleares, fissão e fusão. **Partículas Elementares: Hádrons e Léptons, spin e antipartícula, as leis de conservação, quarks, partículas de campo, Teoria Eletrofraca e o modelo padrão.**

Universidade Federal de Alagoas – UFAL

Obrigatória

FÍSICA MODERNA II (7º semestre /80h)

Momento angular. Átomos de um elétron. Átomos complexos. Spin e interações magnéticas. Processos nucleares. **Partículas elementares.**

Universidade Federal do Mato Grosso – UFMT
Obrigatória
<u>ESTRUTURA DA MATÉRIA (6º SEMESTRE / 90 H)</u>
Física Atômica. A Tabela Periódica e a Classificação dos Elementos. Estrutura Molecular. Espectros Moleculares. Noções da Física do Estado Sólido. Semicondutores. Supercondutividade. Nanotecnologia. Noções de Mecânica Estatística. Estrutura Nuclear. Reações Nucleares. Radioatividade. Detectores. <u>Noções da Física de Partículas Elementares.</u>
Optativa
<u>FÍSICA NUCLEAR E PARTÍCULAS ELEMENTARES (60h)</u>
Espalhamento de Rutherford. Núcleos estáveis e instáveis. Modelos nucleares: gota líquida, gás de Fermi, modelo de camadas e modelos coletivos. Decaimentos alfa, beta e gama. Aplicações de física nuclear: fissão, fusão, energia nuclear e datação. <u>Deteção e aceleração de partículas. Fenomenologia de partículas elementares. Simetrias: teorema CPT. Apresentação do modelo padrão e de algumas extensões.</u> Astrofísica nuclear.
Universidade Estadual de Santa Cruz – UESC
Obrigatória
<u>FÍSICA IV (5º semestre / 75h)</u>
Equações de Maxwell e ondas eletromagnéticas no vácuo. Óptica geométrica e instrumentos ópticos. Óptica física: interferência, difração e polarização. Corpo negro. Hipótese de Plank. Espectro dos elementos. Modelos atômicos. Relatividade Restrita. <u>Noções de física nuclear e das partículas.</u>
<u>ESTRUTURA DA MATÉRIA (7º semestre / 75h)</u>
Física Nuclear. Física Atômica e molecular. Física dos semicondutores. <u>Introdução à Física das Partículas.</u>
Universidade Federal de Pelotas - UFPEL
Obrigatória
<u>MECÂNICA QUÂNTICA I (7º semestre / 68h)</u>
Semicondutores - Supercondutores - Física nuclear - <u>Física de partículas</u> - Cosmologia e gravitação
Optativa
<u>ESTRUTURA DA MATÉRIA (68h)</u>
1.14. Programa: Unidade 1 - Átomos com um elétron - O átomo de hidrogênio - O espectro do átomo de hidrogênio - A quantização do momento angular - Funções de onda e forças centrais - O efeito Zeeman - O spin do elétron e a interação spin-órbita Unidade 2 - Átomos de vários elétrons - O átomo de hélio - O princípio de exclusão - A estrutura eletrônica dos átomos - Acoplamento L-S - Espectro de raios-X Unidade 3 - Moléculas - Orbitais moleculares de moléculas diatômicas - Configuração eletrônica de algumas moléculas diatômicas - Moléculas poliatômicas - Moléculas conjugadas - Rotações moleculares - Vibrações moleculares - Transições eletrônicas Unidade 4 - Sólidos - Tipos de sólidos e redes cristalinas - Teoria de banda dos sólidos - O modelo quântico de elétrons livres - Movimento de elétrons em uma rede periódica - Condutores, isolantes e semicondutores - Teoria quântica da condutividade elétrica - Transições radioativas em sólidos - Propriedades magnéticas e supercondutoras Unidade 5 - Estruturas e processos nucleares - Isótopos, isótonos e isóbaros - Propriedades do núcleo - Forças nucleares - O modelo de camadas - Transições nucleares radioativas - Decaimento radioativo - Decaimento alfa, beta e gama - Reações nucleares - Fissão e

fusão nuclear Unidade 6 - **Noções sobre partículas fundamentais - Partículas e antipartículas - Instabilidades, interações, simetrias e leis de conservação - Partículas elementares.**

INTRODUÇÃO À FÍSICA DE PARTÍCULAS (68 h)

Introdução ao Modelo Padrão, Simetrias e Grupos, Mecânica Quântica Relativística, Eletrodinâmica Quântica, Estrutura dos Hádrons.

Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL

Obrigatória

FÍSICA MODERNA II (7º semestre / 60 h)

Átomos Multieletrônicos. Moléculas. Noções de mecânica estatística; Estatística de Fermi-Dirac e aplicações; Estatística de Bose-Einstein e aplicações; Propriedades Nucleares: desintegração nuclear - Principais modelos para núcleo; desintegração: decaimento Alfa e Beta. Séries radiativas. O nêutron. Reações nucleares. **Partículas elementares, quarks.**

Universidade Federal de Roraima - UFRR

Obrigatória

FÍSICA MODERNA II (7º semestre / 60 h)

Física atômica; física nuclear; **física de partículas**; astrofísica e cosmologia.

Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca – CEFET-RJ

Obrigatória

INTRODUÇÃO A FÍSICA (1º semestre / 54h)

A física como parte do conhecimento humano e suas correlações com outras áreas. A física como um todo e as partes que a compõem. Apresentação de conceitos clássicos e modernos das várias áreas da física e suas relações. Apresentação dos conceitos contemporâneos das áreas: **física de partículas e campos**, cosmologia, física atômica e nuclear, física dos materiais, complexidade e evolução.

Universidade Federal do Rio Grande - FURG

Obrigatória

ESTRUTURA DA MATÉRIA (6º semestre / 90 h)

Átomos com um elétron. Átomos com muitos elétrons. Noções de Mecânica Estatística. Descrição estatística de sistemas macroscópicos. Distribuição de Maxwell- Boltzmann, de Bose-Einstein e Fermi-Dirac. Aplicações. Moléculas. Sólidos. Estrutura nuclear e processos nucleares. **Partículas elementares.**

Universidade Estadual do Centro-Oeste- UNICENTRO

Obrigatória

FÍSICA MODERNA (3º ano / 136 h)

Relatividade Restrita. Radiação Térmica. Quantum de Energia. Origem da Mecânica Quântica. Experiência de Rutherford. Teoria Atômica de Bohr. Espectro Atômico. Ondas e Partículas. Mecânica Quântica. Estados Livres e Ligados. Noções de Física do Estado Sólido. Noções de Física Estatística. Noções de Física Nuclear. **Noções de Física das Partículas Elementares.**

Universidade de Taubaté- UNITAU

Obrigatória

ESTRUTURA DA MATÉRIA – FÍSICA MOLECULAR, NUCLEAR E PARTÍCULAS (6º semestre / 40 h)
<u>Partículas e antipartículas. Eletrodinâmica sem Spin. Equação de Dirac. Eletrodinâmica de partículas com spin $\frac{1}{2}$. Diagramas e regras de Feynman. Léptons. Quarks. Hádrõs. Simetrias do espaço-tempo. Cromodinâmica quântica. Interações eletrofracas. Ideias gerais sobre o modelo padrão.</u>
Universidade Federal do Amapá - UNIFAP
Obrigatória
<u>PRÁTICA NO ENSINO DE FÍSICA IV (5º semestre / 30h)</u>
Unidade i: análise de livros didáticos e paradidáticos – tema: óptica, partículas e interações 1.1. Estudo, comparação e discussão de conteúdo dos livros didáticos e paradidáticos. Unidade ii: plano de aula fazendo uso dos livros didáticos e paradidático discutidos 2.1. O que é um plano de aula. 2.2. Como preparar. Unidade iii: execução do plano de aula.
<u>OFICINAS E SEMINÁRIOS SOBRE TÓPICOS ESPECIAIS E FÍSICA GERAL (7º semestre / 60h)</u>
Mecânica. Calor e Teoria cinética. Termodinâmica. Fluidos. Eletricidade e Magnetismo. Ótica física. Noções de relatividade. Conceitos básicos de Física Quântica, Física Atômica, Física Nuclear e de partículas.
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí- IFPI
Obrigatória
<u>HISTÓRIA DA FÍSICA (8º semestre / 60h)</u>
A Ciência na Antiguidade. A Física na Idade Média. Desenvolvimentos na Astronomia. As contribuições de Galileu, Bacon, Descartes e Huygens. A mecânica de Newton, Euler, Lagrange e Hamilton. Energia, Calor e Entropia. As consequências do desenvolvimento das máquinas térmicas para a Revolução Industrial no século XVIII. Maxwell e a Teoria Eletromagnética. Einstein e as Teorias da Relatividade Restrita e Geral. Caos e Determinismo. A Mecânica Quântica e suas interpretações. Partículas Elementares. O Modelo Padrão e a Teoria das Cordas. A Física Contemporânea. A História da Física no Brasil.
Optativa
<u>TÓPICOS DE FÍSICA TEÓRICA (8º semestre / 60h)</u>
Tópicos de Física Moderna, Mecânica Estatística, Mecânica Quântica e Física Nuclear e de Partículas.
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - IFSP
Obrigatória
<u>FÍSICA NUCLEAR E DE PARTÍCULAS - Campus Birigui (6º semestre / 64 h) – Campus São Paulo (75 h)</u>
O espaço curricular oferece ao aluno uma visão da evolução dos modelos da constituição da matéria. Utiliza as radiações como meio para se chegar a este conhecimento, ao mesmo tempo que mostra suas aplicações na vida, na sociedade e na tecnologia. Também abordamos especificamente o núcleo e suas propriedades fundamentais e os processos de decaimento, além do modelo de quarks e do modelo padrão . O estudo das reações nucleares, suas implicações e aplicações devem possibilitar ao aluno uma posição crítica embasada, além de fornecer elementos teóricos básicos. São abordadas as propriedades do núcleo atômico e os modelos e as reações nucleares, radioatividade, conversão de massa em energia e a energia de ligação e aplicações da física nuclear: processos de fissão, fusão e reator nucleares, usos e efeitos biológicos da radiação, classificação e

propriedades das partículas elementares, o Modelo Padrão, a teoria do Big Bang. Como atividade de prática de ensino são estudados e propostos projetos voltados à divulgação da utilização, riscos e benefícios da energia nuclear e sobre as aplicações e contribuições da Física nuclear para a sociedade, tais como a produção, de armas, purificação de alimentos, utilização de radiofármacos, proteção radiológica, entre outros.

FÍSICA NUCLEAR E DE PARTÍCULAS (8º semestre / 40 h) – Campus Caraguatatuba

As radiações nucleares e suas aplicações. Aspectos históricos dos modelos atômicos e radiações. A composição do núcleo e suas propriedades. Radioatividade e decaimentos alfa, beta e gama. Introdução à datação radioativa. Tabela periódica e a estabilidade da matéria. Tabela de núclídeos. Decaimentos. Reações nucleares: fissão, fusão e reatores. Modelos nucleares. Enriquecimento de urânio. Energia nuclear no Brasil e no mundo: vantagens e desvantagens dos pontos de vista econômico, social e ambiental. A Física Nuclear e os impactos ambientais das ações humanas. Acidentes e segurança nuclear. Aplicações da energia nuclear. Radiações ionizantes e proteção radiológica. **Física das partículas: interações fundamentais e classificação de partículas. Neutrinos. Léptons e hádrons. Férmions e bósons. Spin. Massa e energia. Detecção de partículas. As quatro interações fundamentais. Quark e Modelo Padrão. Aceleradores de partículas. LHC.**

FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA (6º semestre / 72 h) – Campus Itapetininga

A Física Clássica no século XIX; 2. Radiação do Corpo Negro e a hipótese de quantização de Planck; 3. Efeito Fotoelétrico; 4. Efeito Compton, produção de pares; 5. Raios X: Redes de difração e planos cristalinos; 6. Modelos Atômicos e as experiências de Thomson e Rutherford; 7. Espectros atômicos e o modelo de Bohr; 8. Experimento de Franck-Hertz; 9. Hipóteses de de Broglie e a difração de elétrons; 10. Introdução às equações de Schroedinger; Potenciais finitos e infinitos; 11. Princípio da Incerteza e da Complementaridade; 12. Interpretação probabilística da Função de Onda; 13. As radiações nucleares e suas aplicações; 14. Aspectos históricos dos modelos atômicos e radiações; 15. A composição do núcleo e propriedades no estado fundamental; Radioatividade e decaimentos alfa, beta e gama; Tabela periódica e a estabilidade da matéria; 16. Reações nucleares: fissão, fusão e reatores; 17. Aplicações da energia nuclear; 18. Radiações ionizantes e proteção radiológica; Impactos da radiação ao meio ambiente; 19. **Física das partículas: interações fundamentais e classificação de partículas; 20. Quark e Modelo Padrão.**

FÍSICA MODERNA (6º semestre / 64 h) – campus Piracicaba – Campus Registro

As radiações nucleares e suas aplicações; Aspectos históricos dos modelos atômicos e radiações; A composição do núcleo e propriedades no estado fundamental; Radioatividade e decaimentos alfa, beta e gama; Tabela periódica e a estabilidade da matéria; Reações nucleares: fissão, fusão e reatores; Aplicações da energia nuclear; Radiações ionizantes e proteção radiológica; **Física das partículas: interações fundamentais e classificação de partículas; Quark e Modelo Padrão.** A Física Clássica no século XIX e problemas não resolvidos; Radiação do Corpo Negro e a hipótese de quantização de Planck; Efeito Fotoelétrico; Efeito Compton, produção de pares; Raios X: Redes de difração e planos cristalinos; Modelos Atômicos e as experiências de Thomson e Rutherford; Espectros atômicos e o modelo de Bohr; Experimento de Franck-Hertz; Hipóteses de Broglie e a difração de elétrons; Princípio da Incerteza e da Complementaridade; Experiência da Fenda dupla Interpretação probabilística da Função de Onda.

ESTRUTURA DA MATÉRIA 2 (6º semestre / 68 h) – Campus Votuporanga

Quantização do momento angular; Experiência de Stern Gerlach; O spin do elétron; Os momentos de dipolo magnético do elétron; Partículas idênticas; Indistinguibilidade; Princípio de Pauli; Noções de estatísticas quânticas; Átomos de muitos elétrons. O íon. Moléculas; Poços duplos e múltiplos; Potencial periódico; Bandas de níveis; Cristais iônicos e covalentes; Propriedades elétricas dos sólidos; Caracterização de condutores, isolantes e semicondutores. Condução elétrica em metais. Resistividade. Noções de supercondutividade; Semicondutores intrínsecos e extrínsecos; Junções p-n. Propriedades gerais do núcleo atômico; Forças entre núcleons. Energia de ligação nuclear. Estabilidade nuclear. Radioatividade; Fissão. Fusão nuclear. Reações nucleares; Rejeitos radioativos e aspectos ambientais; **Interação de partículas carregadas e nêutrons com a matéria;**

<p>Fenomenologia de partículas elementares; Aceleradores de partículas; Metodologia para o Ensino de Física Moderna no Ensino Médio; Estudo de trabalhos acadêmicos vinculados ao ensino de Física Moderna no Ensino Médio; Inserção de experimentação para o ensino de Física Moderna no Ensino Médio.</p>
<p>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sergipe - IFS</p>
<p>Obrigatória</p>
<p><u>FÍSICA MODERNA III</u> (8º semestre / 60h)</p>
<p>Introdução à Física Nuclear: propriedades dos núcleos, energia de ligação, forças nucleares, modelo de camadas, transições radioativas nucleares, decaimentos radioativos: alfa e beta, reações de fissão e fusão. <u>Introdução à física de partículas elementares: genealogia das partículas, antipartículas, invariância, simetria e leis de conservação.</u></p>
<p>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Tocantins - IFTO</p>
<p>Obrigatória</p>
<p><u>TÓPICOS DE FÍSICA CONTEMPORÂNEA</u> (8º semestre/ 30h)</p>
<p>Revisão sobre os principais modelos atômicos. Aspectos de Física do Estado Sólido. Física Nuclear. <u>Introdução à Física de Partículas.</u> Produção de energia e meio ambiente.</p>
<p>Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD</p>
<p>Obrigatória</p>
<p><u>FÍSICA MODERNA II</u> (7º semestre / 72h)</p>
<p>Momento de dipolo magnético, spin e taxas de transição. Átomos multieletrônicos. Estatística Quântica. Moléculas. Sólidos. Modelos Nucleares. <u>Partículas elementares.</u></p>
<p>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro- IFRJ</p>
<p>Obrigatória</p>
<p><u>FÍSICA MODERNA III</u> (8º semestre / 54h) – Nilópolis</p>
<p>ESTRUTURA E ESPECTRO DE MOLÉCULAS: A ligação iônica, covalente e outros tipos de ligação; Níveis de energia e espectros de moléculas diatômicas; Absorção, emissão estimulada e espalhamento (Lasers e Masers); FÍSICA DO ESTADO SÓLIDO: A estrutura dos sólidos; Teoria clássica da condução de eletricidade (condução de calor – modelo clássico); O gás de elétrons livres nos metais; Teoria quântica da condução de eletricidade. (condução de calor – modelo quântico); Bandas de energia em sólidos; Semicondutores (junções e dispositivos supercondutores); Supercondutividade (quantização do fluxo magnético e junções Josephson); FÍSICA NUCLEAR: A composição do núcleo; Propriedades do núcleo no estado fundamental; Radioatividade; Decaimentos alfa, beta e gama. (o efeito Mössbauer); A força nuclear; O modelo de camadas; REAÇÕES NUCLEARES E SUAS APLICAÇÕES: Reações nucleares; Fissão, fusão e reatores nucleares (interação de partículas com a matéria); Aplicações; <u>FÍSICA DE PARTÍCULAS: Partículas e antipartículas: Interações fundamentais e classificação das partículas: Leis de conservação e simetrias; O modelo padrão;</u> ASTROFÍSICA E COSMOLOGIA: O Sol; As estrelas; A Evolução das estrelas; Os estados finais das estrelas; Galáxias; Gravitação e cosmologia; Cosmogonia.</p>
<p>Optativa</p>
<p><u>TÓPICOS DE FÍSICA DE PARTÍCULAS</u> (27 h) - Campus Volta Redonda</p>
<p><u>Tipos de interações; Eletromagnética. Forte. Fraca. Gravitacional. Classificação das Partículas segundo o Modelo Padrão. Léptons. Partons: Quarks e Glúons. Bósons de Calibre. Regras de Conservação. Número Bariônico. Número Leptônico. Conservação da estranheza, Charm,</u></p>

Bottom e Top. Princípio básico dos aceleradores de partículas. Aceleradores lineares. Aceleradores circulares. Passagem das partículas pela matéria. Detectores de partículas. Detectores visuais. Detectores Eletrônicos. Sistemas de Detectores. Raios cósmicos.

TÓPICOS DE FÍSICA CONTEMPORÂNEA (27 h) - Campus Volta Redonda

Introdução à Física de Partículas. Tipos de interações. Classificação das Partículas segundo o Modelo Padrão. Regras de Conservação. Princípio básico dos aceleradores de partículas. Passagem das partículas pela matéria. Detectores de partículas. Raios cósmicos. Introdução à Astrofísica. Princípio da equivalência. Geometria e Gravitação. Nascimento e Morte das estrelas: Buracos Negros. **Teoria do Big Bang.** Matéria escura e Energia Escura. Modelos Cosmológicos. Introdução à Física do Estado Sólido. Estrutura Cristalina. Difração de Raios X. Bandas de Energias. Semicondutores. Supercondutividade Sistemas Dinâmicos. Espaço de Fase. Modelo Bak-Sneppen. Criticalidade Auto-organizada. Sistemas caóticos. **Teorias de Tudo. Conceitos unificadores do passado. As grandes unificações: de Galileu até os dias atuais. Atual estado da arte: teorias candidatas à Teoria de Tudo. Questionamentos acerca da possibilidade de uma Teoria de Tudo.**

Instituto Federal de Educação, Ciência E Tecnologia Fluminense - IFFLUMINENSE

Obrigatória

FÍSICA MODERNA II (8º semestre / 100 h)

1. Física Estatística; 2. Propriedades e Espectros das Moléculas; 3. Física do Estado Sólido; 4. Física Nuclear; **5. Física de Partículas;** 6. Astrofísica e Cosmologia.

Instituto Federal de Educação, Ciência E Tecnologia Farroupilha - IFFARROUPILHA

Obrigatória

HISTÓRIA DA FÍSICA (3º semestre / 36 h)

A Física na Antiguidade. Desenvolvimento da Física na Idade Média. Experimentos de Galileo. Estudos de Newton. Estudos de Maxwell. Revolução de 1905. Descobertas do século XX. A Física na Segunda Guerra. Pós-Guerra. **Aceleradores de Partículas. Física no Século XXI. O Grande Acelerador de Hádrons.** Prêmios Nobel.

Optativa

FÍSICA NUCLEAR E PARTÍCULAS (36h)

Física Nuclear. Energia Nuclear. **Física de Partículas.** Cosmologia. **Aceleradores de Partículas.**

Instituto Federal de Educação, Ciência E Tecnologia de Pernambuco - IFPE

Obrigatória

FÍSICA MODERNA II (8º semestre / 72 h)

Física Atômica. Física Estatística. Física do estado sólido. Estrutura e espectros das moléculas. Física Nuclear. Energia Nuclear. **Quarks, Léptons e o Big Bang.** Reações Nucleares e suas aplicações.

Instituto Federal de Educação, Ciência E Tecnologia de Goiás - IFG

Obrigatória

FÍSICA: ÓTICA E MODERNA (5º semestre / 54 h) - Campus Goiânia

Natureza e propagação da luz. Ótica geométrica. Instrumentos ópticos. Interferência. Difração.

Fótons, elétrons e átomos. Ondas de matéria. Fundamentos da mecânica quântica. Estrutura atômica. Moléculas. Física nuclear. **Física das partículas.**

TÓPICOS DE FÍSICA NUCLEAR E DE PARTÍCULAS (8 semestres / 54 h) - Campus Jataí

Propriedades gerais do núcleo atômico; forças nucleares e as reações nucleares; radioatividade; conversão de massa em energia; energia de ligação; aplicações da física nuclear: processos de fissão, fusão e reator nucleares; usos e efeitos biológicos da radiação; **classificação e propriedades das partículas elementares; o Modelo Padrão; a teoria do Big Bang;** a física na atualidade.

Instituto Federal de Educação, Ciência E Tecnologia de Mato Grosso - IFMT

Optativa

INTRODUÇÃO À FÍSICA DE PARTÍCULAS ELEMENTARES E CAMPOS (68h) - Campus Pontes e Lacerda

Introdução histórica à Física de Partículas Elementares; Dinâmica das Partículas Elementares; Cinemática Relativística; Espaço de fase, larguras e seções de choque; Leis de Conservação, simetrias; Estados ligados; Introdução às regras de Feynman; Interações Eletromagnéticas; Interações Fracas; Interações Fortes.

Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG

Optativas

FUNDAMENTOS DE FÍSICA NUCLEAR E DE PARTÍCULAS (30 h)

Os modelos nucleares: suas características e suas previsões. Decaimentos alfa, beta e gama. Reações nucleares. **Forças Forte e Fraca. Modelo Padrão: Quarks e Léptons, mediadores de forças.**

INTRODUÇÃO A FÍSICA DE PARTÍCULAS (60 h)

Histórico sobre descoberta de partículas. Revisão de conceitos sobre Mecânica Quântica. Classificação de partículas. Tipos de interações. Regras de conservação. Métodos experimentais de produção e detecção de partículas. Spin e paridade. Isospin. Neutrino. Descoberta do méson. César Lattes. Interações fortes. Modelo de Quarks. Conceito de cor. Glúons. Partículas mediadoras. Flutuações do vácuo. Interações fracas. Quiralidade. Violação da paridade. Leis de conservação e quebras de simetria. Partícula de Higgs. O big-bang. Cosmologia. Matéria - Antimatéria. CPT. Modelo padrão. Discussão de outros modelos.

Universidade Federal do Ceará - UFC

Optativa

PRINCÍPIOS DE FÍSICA CONTEMPORÂNEA (64 h)

Detectores de Partículas. Aceleradores de Partículas. Cristais. Semicondutores. Transistores. Laser. **Partículas Elementares.** Origem dos Elementos. Origem do Universo.

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

Obrigatória

INTRODUÇÃO À FÍSICA MODERNA (2º semestre / 36 h)

I-Física Quântica 1. As falhas da Física Clássica e o surgimento da Física Quântica. 2. Dualidade onda-partícula. Postulado de De Broglie. 3. A função de onda e a interpretação probabilística de Max Born. Princípio da Incerteza de Heisenberg. 4. Aplicações da Mecânica Quântica tais como microscopia eletrônica, laser, transistor, diodo túnel, microscopia de varredura por tunelamento quântico, materiais supercondutores, superfluidez. II-Relatividade 1. O eletromagnetismo clássico e as teorias de propagação de ondas eletromagnéticas no éter, em meios materiais e no vácuo. 2. A

experiência de Michelson-Morley. 3. Postulados da relatividade restrita. Relação massa-energia, dilatação temporal e contração espacial. 4. O Princípio da Equivalência e a Relatividade Geral. **III- Partículas Elementares 1. Teorias atomistas: de Demócrito a Rutherford-Bohr. 2. Matéria e antimatéria. 3. Raios cósmicos, aceleradores de partículas e a proliferação de “partículas elementares”. 4. Interações fundamentais da matéria. 5. Modelo Padrão.**

ESTRUTURA DA MATÉRIA III (8º semestre / 72 h)

1. Estatísticas quânticas: Aplicações 1.1 Gás de bósons - fônons e outros 1.2 Gás de férmions – elétrons e outros 2. Estado sólido 2.1 Classificação dos materiais sólidos 2.2 Estrutura de bandas de energia em sólidos 2.3 Propriedades elétricas de metais, semicondutores e cerâmicas; comportamento dielétrico 2.4 Propriedades térmicas de materiais: capacidade calorífica; expansão; condutividade térmica; tensões térmicas 2.5 Propriedades Magnéticas: diamagnetismo, paramagnetismo, ferromagnetismo, e antiferromagnetismo; domínios e histerese; materiais magnéticos duros e doces; supercondutividade 2.6 Propriedades óticas: interação da luz com sólidos; propriedades óticas de metais e não metais; luminescência; fotocondutividade; fibras óticas 3. Física nuclear 3.1 Fenomenologia e Propriedades do Núcleo 3.2 Modelos Nucleares 3.3 Decaimento e Reações Nucleares 3.4 Aplicações da Física Nuclear **4. Partículas Elementares. 4.1 Forças Fundamentais da Natureza e Classificação das Partículas 4.2 Leis de Conservação 4.3 Quarks e a Cromodinâmica Quântica 4.4 Forças Fracas e o Modelo Padrão 4.5 Produção e Detecção das Partículas Elementares 4.6 Unificação.**

Optativa

INTERAÇÕES FUNDAMENTAIS (72 h)

O conceito de simetria e a teoria de grupos em Física. O cálculo de Feynman. Teorias de calibre para as interações fundamentais. Eletrodinâmica Quântica. Cromodinâmica Quântica. Teoria Eletrofraca de Weinberg-Salam. Unificação das teorias fundamentais.

Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ

Obrigatória

ESTRUTURA DA MATÉRIA III (7º semestre / 90 h)

1. Estatística Quântica e Aplicações: 1.1. indistinguibilidade das partículas; 1.2. distribuições de Bose-Einstein e Fermi-Dirac; 1.3. aplicações das distribuições estatísticas. 2. Sólidos: 2.1. tipos de sólidos; 2.2. teoria de bandas dos sólidos; 2.3. semicondutores; 2.4. supercondutores; 2.5. propriedades magnéticas dos sólidos. 3. Física Nuclear: 3.1. isótopos, isóbaros, energia de ligação; 3.2. características das interações nucleares; 3.3. modelos da gota líquida e camadas; 3.4. lei do decaimento radioativo; 3.5. decaimentos alfa, beta e gama; 3.6. fissão e fusão. 4. **Partículas elementares: 4.1. forças nucleares, píons e múons; 4.2. bárions, mésons, antipartículas; 4.3. léptons, hádrons; 4.4. interações fundamentais; 4.5. estranheza, hipercarga e quarks; 4.6. famílias de partículas elementares; 4.7 Modelo Padrão.** 5. Atividades de laboratório: 5.1. proteção radiológica; 5.2. características dos principais detectores de radiação; 5.3. tempo morto de um detector Geiger Müller; 5.4. levantamentos radiométricos; 5.5. espectroscopia nuclear; 5.6. meia-vida de radioisótopos; 5.7. coeficiente de atenuação de materiais.

Optativa

INTRODUÇÃO À FÍSICA DE PARTÍCULAS (60 h)

Conceitos básicos, detectores e aceleradores de partículas, princípios de invariância e leis de conservação, interações eletromagnéticas, interações fracas, interações fortes. Conceitos básicos: partículas, antipartículas, férmions e bósons; férmions elementares - quarks e léptons; hádrons, bárions e mésons; interações e campos em Física de Partículas; seções de choque e taxas de decaimento; unidades em Física de Altas Energias. Detectores e aceleradores de partículas; interações de partículas carregadas e radiação com a matéria; aceleradores; detectores de partículas carregadas; detectores de chuva e calorímetros; experimentos em Altas Energias. Princípios de invariância e leis de conservação: invariância e

operadores em Mecânica Quântica; paridade de partículas e antipartículas; conservação de carga, invariância de gauge; invariância por inversão temporal; violação de CP e o teorema CPT; grupo SU(2) de isospin; grupo SU(3) e a ideia de quarks. Interações eletromagnéticas: espalhamento elástico de elétrons sem spin por núcleos; espalhamento de elétrons com spin por núcleos sem spin; espalhamento de elétrons por núcleos; processo $e+e- \mu+\mu-$; Eletrodinâmica Quântica (QED). Interações fracas: decaimento beta nuclear - a teoria de Fermi; interação de neutrinos livres - o decaimento beta inverso; não conservação da paridade no decaimento beta, helicidade do neutrino, teoria V-A; decaimento do lambda, decaimento do K0; decaimento de partículas estranhas - teoria de Cabibbo; correntes fracas neutras, modelo de GIM, ângulos de mistura e charme; bósons intermediários W e Z; massas e oscilações de neutrinos. Interações fortes: espalhamento profundamente inelástico elétron-núcleon, partons; espalhamento inelástico neutrino-núcleon; espalhamento lépton-quark; Cromodinâmica Quântica (QCD) e interações quark-quark; potencial de QCD a pequenas e grandes distâncias, string; efeitos das interações dos quarks no espalhamento profundamente inelástico.

TÓPICOS DE FÍSICA B1 – INTRODUÇÃO A COSMOLOGIA FÍSICA (90h)

1 - Formação do sistema solar; 2 - Estrutura da via láctea; 3 – Formação Estelar e formação de galáxias.; 4 – Introdução a Teoria da Relatividade Restrita; 5 – Expansão do Universo; 6 – **Modelo do Big bang**; 7 – **Deteção da radiação cósmica de fundo**; 8 – Universo inflacionário; 9 – Supernovas cosmológicas; 10 – Matéria e Energia Escura.

Universidade Federal Fluminense - UFF³⁵

Optativa

FÍSICA NUCLEAR E DE PARTÍCULAS (64 h)

Ementa não disponível.

Universidade Federal de Goiás - UFG

Obrigatória

INTRODUÇÃO À FÍSICA NUCLEAR E DE PARTÍCULAS (9º semestre / 32 h)

Visão geral de propriedades nucleares. Modelos nucleares: modelo da gota líquida, modelo do gás de Fermi. Decaimento e reações nucleares. Partículas elementares: modelo padrão, interações eletromagnética, forte e fraca. Detectores de partículas. Raios cósmicos e aceleradores de partículas.

Universidade Estadual do Ceará - UECE

Optativa

FÍSICA NUCLEAR (68 h)

Estrutura e radiação atômica 1. A natureza atômica da matéria 2. Elemento químico. Isótopo 3. Mol. Massa molar 4. Moléculas. Massa molar 5. Unidades de massa e energia 6. Equivalência entre massa e energia 7. A radiação eletromagnética. Os fótons 8. O átomo de Bohr. Energia de ligação dos elétrons nos átomos 9. Ionização e excitação 10. Espectro de raios X 11. Emissão de elétrons Auger II. Estrutura nuclear 1. Constituição do núcleo 2. Nuclídeos 3. Massa, carga e raios nucleares 4. Energia de ligação do núcleo 5. Estabilidade nuclear 6. Modelos nucleares III. Radioatividade e Decaimento Radioativo 1. Processo radioativo. Diferentes tipos de processos radioativos 2. Leis fundamentais da desintegração radioativa 3. Atividade e atividade específica 4. Famílias radioativas 5. Cadeias de desintegração radioativa. Equilíbrios nucleares 6. Radioatividade natural 7. Radioatividade artificial 8. Radioatividade alfa 9. Radioatividade beta. Captura eletrônica 10. Emissão de raios gama. Isomerismo nuclear 11. Conversão interna IV. Reatores Nucleares 1. Tipos de reatores 2. Reatores avançados 3. Equação de transporte de nêutrons 4. Fundamentos de cálculos de recarga **V. Aceleradores de partículas.**

Universidade Estadual Paulista – UNESP

Obrigatória

³⁵ Sem acesso às ementas das disciplinas obrigatórias.

ATUALIDADES EM FÍSICA (1º semestre / 30h)

Vale a pena ser físico? A Física e sua evolução histórica. Novos materiais: avanços teóricos e experimentais. Biomateriais: um caminho para a robotização? Técnicas de caracterização de materiais. A revolução da nanotecnologia. Computação e fenômenos quânticos. **Teorias de Unificação. Aceleradores de Partículas: os grandes laboratórios.** Novas teorias sobre ensino, aprendizagem e difusão do conhecimento científico. A pesquisa científica do Brasil no cenário internacional.

Universidade Estadual de Londrina - UEL

Obrigatória

ESTRUTURA DA MATÉRIA (1º ano / 60 h)

A física dos raios catódicos. Eletricidade, magnetismo e a criação da teoria de campos. Átomos: A estrutura granular da matéria, os átomos de Thomson, Rutherford e Bohr. A Física e a Matemática: Os físicos falam matematicamente. A probabilidade e o modo estatístico de ver a física. Probabilidade e a teoria quântica. Mecânica ondulatória: Partículas, ondas e a dualidade onda partícula. O espectro dos átomos e dos materiais. Relatividade: Os princípios de relatividade de Newton e de Einstein. Simultaneidade. A velocidade da luz e as transformações de Lorentz. A teoria geral da relatividade de Einstein. **Partículas elementares: Investigando o núcleo atômico. A teoria das forças nucleares. Partículas, antipartículas e as simetrias da natureza.** O Planeta como um laboratório: o campo magnético terrestre e as luzes polares. Raios cósmicos. A física do Sol e das estrelas. O universo em expansão.

Física Moderna III (5º ano / 60 h)

Propriedades gerais do núcleo atômico. Força entre núcleons. Energia de ligação e estabilidade nuclear. Reações nucleares e decaimento. **Fenomenologia de partículas elementares. As interações fundamentais. O modelo padrão das interações fundamentais.**

Optativa

INTRODUÇÃO À FÍSICA DAS PARTÍCULAS ELEMENTARES (60 h)

Ementa não disponível.

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

Obrigatória

FÍSICA GERAL IV (5º semestre / 64 h)

Ondas eletromagnéticas. Óptica geométrica. Óptica física: interferência, polarização e difração. Relatividade especial. Introdução à Física Moderna: Física do Estado Sólido, Física Nuclear, **Física de Partículas** e Cosmologia.

Optativa

INTRODUÇÃO A COSMOLOGIA (64 h)

Isotropia e homogeneidade. Modelos cosmológicos. **Modelo padrão.** Formação de estruturas. Modelo inflacionário. Cosmologia e **Física de Partículas.**

Fundação Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Obrigatória

FÍSICA MODERNA II (8º semestre / 72 h)

Introdução à física atômica e molecular. Introdução à física do estado sólido. Introdução à física

nuclear. <u>Introdução à física de partículas.</u>
Instituto Federal de Educação, Ciência E Tecnologia do Maranhão - IFMA
Obrigatória
<u>SEMINÁRIO DE FÍSICA III (3º semestre / 15 h) – Campus Imperatriz</u>
A evolução do conceito de calor. A evolução do conceito e da natureza da luz. A mecânica dos fluidos. A termodinâmica. <u>Os novos conceitos da estrutura da matéria.</u> Instrumentos matemáticos que deram origem à mecânica teórica ou racional.
Optativa
<u>INTRODUÇÃO A FÍSICA NUCLEAR (60 h) Campus Imperatriz</u>
A Física quântica e a nuclear. <u>As interações físicas fundamentais.</u> Teoria da relatividade de Einstein. A Física no Brasil. Física e meio ambiente. Teoria do caos.
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira - UNILAB
Optativa
<u>TÓPICOS DE FÍSICA CONTEMPORÂNEA (45 h)</u>
Uma visão geral da Física da atualidade e sua influência no cotidiano e na sociedade, tendo enfoque nas áreas de física atômica e molecular, ótica, física da matéria condensada, física de materiais, física nuclear, <u>física de partículas e campos,</u> cosmologia, física estatística e matéria mole.
Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS
Obrigatória
<u>ESTRUTURA DA MATÉRIA III (9º semestre / 60 h) Campus Realeza</u>
Modelos nucleares. Decaimento nuclear. Radioatividade. Reações nucleares. Aplicações da Física Nuclear. <u>Partículas elementares.</u>
<u>LABORATÓRIO DE FÍSICA MODERNA (8º semestre / 30 h) Campus Cerro Largo</u>
Experiências de laboratório ou simulações computacionais sobre fundamentos da física moderna e clássica envolvendo conceitos de física nuclear, sobre propriedades físicas dos núcleos atômicos; sobre propriedades radioativas da matéria; sobre fusão e fissão nucleares; e sobre <u>propriedades das partículas elementares.</u>
Optativa
<u>ESTRUTURA DA MATÉRIA II (60 h) Campus Cerro Largo</u>
Estatística quântica. Física do estado sólido. Condutores, semicondutores e isolantes. Dispositivos semicondutores. Efeito Hall quântico. Supercondutividade. Propriedades magnéticas dos sólidos. <u>Física nuclear e de partículas elementares.</u> Tópicos de Física contemporânea.
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - IFBA
Obrigatória
<u>FÍSICA MODERNA (6º semestre / 90 h)</u>
Física estatística. Passeio aleatório. Movimento browniano. Funções distribuição de probabilidade. A equação de Boltzmann. Distribuição de Gibbs-Boltzmann. Relatividade. Princípio da relatividade de Galileu. Relatividade e eletromagnetismo. Experiência de Michelson e Morley. Princípio da relatividade restrita de Einstein. Transformações de Lorentz. Contração do espaço e dilatação do

tempo. Introdução à relatividade geral. Física quântica. Radiação do corpo negro. Hipótese de Planck. Efeito fotoelétrico. Emissão atômica e molecular. Átomo de Bohr. Efeito Compton. Dualidade onda-partícula. Equação de Schrödinger. Átomo de Hidrogênio. Spin. Princípio de exclusão de Pauli. Interpretação da função de onda. Princípio da incerteza de Heisenberg. Aplicações da mecânica quântica: condução elétrica em sólidos. **Partículas e cosmologia. Interações fundamentais e modelo padrão de partículas e campos. Problemas atuais e grandes experimentos. O universo evolutivo e o “Big Bang”.** **Teorias atuais do cosmo.**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - IFRS

Obrigatória

FÍSICA NUCLEAR E DE PARTÍCULAS (8º semestre / 40h)

Nuclear: estrutura nuclear, propriedades nucleares, decaimento nuclear, modelos nucleares, energia nuclear (Fissão e Fusão), detecção de radiação, Astrofísica nuclear, Medicina nuclear, Dejetos e resíduos nucleares. **Partículas: o reducionismo, sondas para observação de partículas, partículas elementares, extensões do modelo padrão, partículas compostas, A cosmologia do Big Bang.**

Instituto Federal de Educação, Ciência E Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais - IFSEMG

Obrigatória

FÍSICA MODERNA III (8º semestre / 60 h)

Física estatística, matéria condensada, **interações fundamentais e partículas.**

Instituto Federal de Educação, Ciência E Tecnologia do Ceará - IFCE

Obrigatória

FÍSICA CONTEMPORÂNEA (7º semestre / 80 h) – Campus Fortaleza

1.Física Atômica; 1.1 O átomo de hidrogênio. 1.2 Relação entre momento angular e momento magnético.1.3 Experimento de Stern-Gerlach,o spin do elétron e o princípio da Exclusão. 1.4Efeitos Zeeman Normal e Anômalo. 1.5Espectro de Átomos com muitos elétrons. 2.Física Estatística. 2.1Estatística Clássica. 2.2Estatística Quântica. 3.Estrutura e Espectro das Moléculas 3.1Ligações iônica e covalente. 3.2Níveis de energia e espectro de ligações diatômicas. 3.3Laser. 4.Física do Estado Sólido 4.1Estrutura dos Sólidos 4.2Teoria clássica para condução de eletricidade e condução de calor nos sólidos. 4.3Teoria quântica da condução de eletricidade e calor nos sólidos. 4.4Semicondutores. 4.5Supercondutividade. 5.Física Nuclear 5.1O núcleo e suas propriedades no estado fundamental. 5.2Radioatividade. 5.3Decaimentos. 5.4 A força nuclear. 5.5 O modelo das camadas **6.Física de partículas 6.1Partículas e antipartículas. 6.2Interações fundamentais e a classificação das partículas. 6.3Leis de conservação. 6.4 O Modelo Padrão.**

EPISTEMOLOGIA E HISTÓRIA DA FÍSICA (5º semestre / 80 h) Campus - Tianguá

Ciência na Antiguidade. A Física na Idade Média. A Nova Astronomia. Galileu. Bacon, Descartes e Huygens. Mecânica Newtoniana. Energia, Calor e Entropia. Física Estatística. Teoria Eletromagnética. Teoria da Relatividade. Caos e Determinismo. Mecânica Quântica. **Partículas Elementares.**

PRINCÍPIOS DE FÍSICA MODERNA (6º semestre / 120 h) Campus - Tianguá

Teoria da Relatividade Restrita: Aspectos Históricos, Cinemática e Dinâmica Relativística. Construção e evolução da Física Quântica: Hipótese de Planck, o efeito fotoelétrico, efeito Compton, dualidade da luz, modelo atômico de Niels Bohr, Louis de Broglie e as propriedades ondulatórias das partículas, princípio da incerteza. Princípios Básicos da Física Nuclear. **Introdução a Física de Partículas.**

FÍSICA CONTEMPORÂNEA (8º semestre / 40 h) Campus - Tianguá

Temas atuais da Física, Laser, Física Nuclear, Semicondutores, Transistores, Nanociência, **Detectores de Partículas, Aceleradores de Partículas**, Cristais, LED, Células Fotovoltaicas, Metamateriais, **Partículas Elementares, Origem dos Elementos, Origem do Universo**. Instrumentos de medidas das pesquisas atuais (microscopia de força atômica, ressonância magnética, microscopia eletrônica de varredura, difração de raios-X, Espalhamento Raman, fotoluminescência.

FÍSICA MODERNA II (7º semestre / 80h) Campus Cedro

1. Mecânica Quântica: Partícula, poço potencial, Oscilador harmônico e efeito túnel; 2. Estrutura atômica: O Hidrogênio, Efeito Zeeman, Spin do elétron e espectro de Raios – X; 3. Moléculas e matéria condensada: Ligações e espectros moleculares, Estrutura de um sólido, bandas de energia, Semicondutores e Supercondutores; 4. Física Nuclear: Ligação e estrutura nuclear, estabilidade nuclear e radioatividade, atividade e meia-vida, reações nucleares, Fissão e Fusão nucleares; 5. Física das partículas e Cosmologia: **Partículas fundamentais, aceleradores e detectores de partículas, Interações entre partículas, Universo em expansão, começo do tempo.**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano - IFSERTÃO

Optativa

PARTÍCULAS ELEMENTARES (60 h) Campus Petrolina / Salgueiro

Introdução histórica às partículas elementares. Simetrias. Diagramas de Feynman. Eletrodinâmica quântica. Eletrodinâmica de quarks e hádrons. Interações fracas.

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN

Obrigatória

TÓPICOS DE FÍSICA MODERNA (8º semestre / 30 h)

Propriedades dos Núcleos; Modelos Nucleares; Radioatividade; Os Processos de Decaimento; Reações Nucleares. Fissão Nuclear; Fusão Nuclear. **Partículas Elementares.**

Universidade Estadual da Paraíba - UEPB

Obrigatória

FÍSICA MODERNA II (7º semestre / 60 h)

A versão de Schrödinger da Mecânica Quântica. Soluções da Equação de Schrödinger: partícula livre, poços de potenciais e o oscilador harmônico simples. O Átomo de hidrogênio. Física Nuclear: modelos nucleares, decaimento nuclear e reações nucleares. **Partículas elementares.**

Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG

Obrigatória

FÍSICA MODERNA II (7º semestre / 60 h)

Átomos Multieletrônicos. Moléculas. Noções de mecânica estatística; Estatística de Fermi-Dirac e aplicações; Estatística de Bose-Einstein e aplicações; Propriedades Nucleares: desintegração nuclear - Principais modelos para núcleo; desintegração: decaimento Alfa e Beta. Séries radiativas. O nêutron. Reações nucleares. **Partículas elementares, quarks.**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Obrigatória

FÍSICA NUCLEAR E DE PARTÍCULAS (8º semestre / 72h) Campus Foz do Iguaçu

Radioatividade, fissão e fusão, modelos de núcleos atômicos, teoria da nucleossíntese, principais tecnologias termonucleares, **modelo padrão das partículas, história da descoberta e da classificação das partículas elementares, simetrias.**

FÍSICA MODERNA B (7 SEMESTRE 60 h) – Campus - Paranaguá

Introdução à física atômica e molecular. Introdução à física do estado sólido. Introdução à física nuclear. **Introdução à física de partículas.**

FUNDAMENTOS DE FÍSICA NUCLEAR E DE PARTÍCULAS (8º semestre / 40h) – Campus Telêmaco Borba

O núcleo atômico. Fenomenologia nuclear. Reações e modelos nucleares. **Partículas elementares e simetrias.**

FÍSICA IV (6º semestre / 67 h) - Campus Telêmaco Borba

Ondas Eletromagnéticas. Ótica Geométrica. Interferência. Difração. Princípios de: Relatividade, Física Quântica. **Física Nuclear e de partículas.**

Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA

Obrigatória

FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA II (7º semestre / 90 h)

Momento angular e spin; Princípio de Exclusão de Pauli; Átomos Multieletrônicos; Estatística Quântica; Moléculas e Ligações Químicas; Espectros; Sólidos Condutores e Semicondutores; Teoria de bandas; Condução elétrica; Dispositivos semicondutores; Supercondutividade; Propriedades magnéticas dos sólidos; Física Nuclear; **Física de Partículas.**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - Jaraguá

Obrigatória

ÓTICA E FÍSICA MODERNA (7º semestre / 120 h)

Ondas eletromagnéticas. Reflexão e refração da luz. Espelhos e lentes. Instrumentos óticos. Dispersão. Interferência de ondas. Difração Radiação, luz e matéria. Postulados de Einstein. Transformações de Lorentz. Fótons e Ondas de Matéria. Caráter dual da radiação eletromagnética. Efeito fotoelétrico. Energia e momento do fóton. Raios X produzidos no freamento de elétrons. Efeito Compton. Difração de raios-X. Dualidade onda eletromagnética-fóton. O modelo atômico de Rutherford e o problema da estabilidade do átomo na física clássica. O modelo de Bohr. O caráter dual da matéria: partícula-onda. Partículas e ondas. A hipótese de de Broglie. Propriedades elétricas dos sólidos. Física nuclear. Energia nuclear. **Fenomenologia de partículas elementares.**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense - Concórdia

Obrigatória

FÍSICA MODERNA II (7º semestre / 60h)

Átomos de um elétron. Momento de dipolo magnético e spin. Física do estado sólido. Física nuclear. **Física de partículas elementares.**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense – Rio do Sul

Obrigatória

FÍSICA VIII: FÍSICA MODERNA II (7º semestre / 60h)
Momento de dipolo magnético, spin. Física do estado sólido. <u>Física nuclear e de partículas elementares.</u> Relatividade.
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte - IFRN
Optativa
<u>ESTRUTURA DA MATÉRIA II</u>
Átomos de um Elétron. Átomos Multieletrônicos. Estatísticas Quânticas. Moléculas. Sólidos Condutores e Semicondutores. Modelos Nucleares. Decaimento Nuclear e Reações Nucleares. <u>Partículas Elementares.</u>
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - IFPB
Obrigatória
<u>FÍSICA IV (4º semestre / 100h)</u>
Natureza e propagação da Luz; Reflexão e Refração em Superfícies Planas; Espelhos e Lentes Esféricas; Interferência; Difração; Redes de Difração e Espectros; Polarização. A luz e a Física quântica; A natureza ondulatória da matéria; O átomo de Hidrogênio; Física atômica; A condução elétrica nos sólidos; Física Nuclear; <u>Física das Partículas</u> e Cosmologia.
<u>FUNDAMENTOS DA ASTRONOMIA E ASTROFÍSICA I (6º semestre / 50 h)</u>
Mecânica do Sistema Solar. Rotação da Terra. Sistema Terra-Lua. Planetas. Meio interplanetário. Cosmogonia. Radiação eletromagnética. Telescópio e detectores. O Sol. Estrelas: distância e magnitude. Sistemas binários. Diagrama H-R. A Galáxia. Rotação Galáctica. Evolução estelar. Estrelas variáveis. Meio interestelar. Evolução galáctica. Outras galáxias. Estrutura do Universo. Cosmologia. <u>O modelo do Big-Bang.</u>
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia DO Pará - IFPA
Obrigatória
<u>FÍSICA MODERNA 2 (8º semestre / 80h)</u>
Átomos de muitos elétrons e Moléculas. Noções de Estatística Quântica e Sólidos. Núcleo atômico. <u>Partículas elementares.</u>
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB
Optativa
<u>INTRODUÇÃO A FÍSICA NUCLEAR E DE PARTÍCULAS (68h)</u>
<u>Descoberta de partículas, tipos de interação, regras de conservação, métodos de detecção de partículas, modelo de Quarks, interação fraca, leis de conservação e quebras de simetrias, partícula de Higgs, teorema CPT, modelo padrão.</u>
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Norte de Minas Gerais IFNMG – Salinas
Obrigatória
<u>Física Geral IV (6º semestre / 80 h)</u>
Interferência. Difração. Experimentos demonstrativos de interferência e difração que sejam aplicáveis ao nível do ensino médio. Quantização da energia. A contribuição de De Broglie e a Função de onda. O Princípio da Incerteza. Funções de onda do átomo de Hidrogênio. Condução elétrica nos sólidos. <u>Noções de Física nuclear e de Física de partículas.</u> Noções de cosmologia.

APÊNDICE B
Questionário Prévio e Posterior com a Ficha de Identificação

Nome Completo:

Consentimento: Mediante compromisso ético de manter preservada minha identidade, concordo em participar dessa pesquisa e autorizo a divulgação dos dados obtidos por meio desse questionário.

Assinatura:

Código:

Perfil do Participante

Formação acadêmica:

Idade:

Sexo:

E-mail:

Telefone:

1. Em sua etapa inicial de formação, há incentivo ao uso das Tecnologias de Informação e Comunicação para facilitar seu aprendizado ou para fazer uso em sua futura atuação profissional? Comente sua resposta citando exemplos.
2. Até o momento de sua formação inicial, você teve a presença de aportes históricos e/ou filosóficos da Ciência em disciplinas ou cursos complementares? Especifique que disciplinas ou cursos.

Questões em relação à Natureza da Ciência

1. Em sua opinião, o que é um experimento.
2. Em sua opinião, o desenvolvimento do conhecimento científico requer experimentos? Explique sua resposta.
3. Em sua opinião, qual a relevância do formalismo teórico e matemático no desenvolvimento de teorias?³⁶
4. Em sua opinião, após os cientistas terem desenvolvido uma teoria científica, a teoria pode mudar ou passar a ser inválida? Explique sua resposta.
5. Os cientistas realizam experimentos/investigações científicas quando estão tentando encontrar respostas para questões propostas por eles ou pela comunidade científica. Os cientistas usam sua criatividade e imaginação durante suas investigações? Explique.
6. É possível que dois grupos de cientistas, de mesma área e competentes, que tenham acesso ao mesmo conjunto de dados, obtenham resultados diferentes? Explique.

³⁶ Essa questão só esteve presente no questionário posterior.

7. Quando você lê ou ouve o termo “cientista”, o que você pensa? Quem é esse profissional? Quais as atividades que esse profissional desenvolve? Descreva tudo o que imagina a respeito.

Questões em relação ao conteúdo científico

8. De acordo com seus conhecimentos a respeito de fenômenos atômicos, descreva o que entende por “interação eletromagnética” ou “força eletromagnética”.
9. De acordo com seus conhecimentos a respeito de fenômenos atômicos, descreva o que entende por “interação fraca” ou “força fraca”.
10. Explique com suas palavras como ocorre o decaimento beta.
11. O que você entende por Paridade? Em sua opinião, a Paridade é conservada ou violada nas interações fracas? Explique.
12. Em sua opinião, o que são correntes neutras?
13. De acordo com seus conhecimentos, descreva como as partículas subatômicas adquirem massa.
14. Em sua opinião o que são bósons mediadores?
15. De acordo com seus conhecimentos, descreva o que é a Teoria de Gauge.
16. De acordo com seus conhecimentos, o que a estrutura matemática $SU(2) \times U(1)$ representa?
17. Em sua opinião, o que significa o termo “unificação de teorias científicas”?
18. Descreva, de acordo com seus conhecimentos, como a Teoria Eletrofraca foi desenvolvida.

APÊNDICE C

Avaliação das Simulações Computacionais dos Experimentos Históricos – Usuários

Esse formulário tem o objetivo de promover uma avaliação das simulações computacionais utilizadas na Oficina de Pesquisa.

Solicito sua colaboração preenchendo o questionário e agradeço a gentileza de participar de nossa pesquisa. Esclarecemos que suas informações serão utilizadas somente para os fins desta pesquisa e tratadas com o mais absoluto sigilo e confidencialidade, de modo a preservar a sua identidade, e garantir seu anonimato.

Email:

Nome:

1. Você gostaria de utilizar simulações como essas com mais frequência? Explique o motivo.
2. Você teve alguma dificuldade na utilização das simulações? Qual?
3. As mensagens exibidas nas simulações foram úteis para seu desempenho? Explique.
4. As simulações foram úteis para que você entendesse como o experimento histórico foi realizado? Explique.
5. As simulações ajudaram você entender o conteúdo que estava sendo discutido? Explique como elas contribuíram.
6. Comente o que mais lhe chamou atenção nas simulações utilizadas na Oficina de Pesquisa.
7. Qual sua opinião a respeito de utilizar Simulações Computacionais de "Experimentos Históricos" no Ensino de Física?
8. Você teria interesse em conhecer / utilizar simulações computacionais de experimentos históricos relacionados à outros conteúdos de Física? Explique o motivo.

APÊNDICE D
Avaliação da Abordagem Didática

1. Qual sua opinião em relação à **Simulações Computacionais** utilizadas em sala de aula? Elas contribuíram para o seu aprendizado? Comente os pontos positivos e negativos.
2. Qual sua opinião a respeito da utilização de **Experimentos Históricos** em sala de aula? Comente sua experiência.
3. Qual sua opinião em relação à utilização do **V de Gowin** nas aulas? Teve alguma dificuldade? Usaria novamente? Em que tipo de atividades você acha que o V de Gowin poderia te auxiliar?
4. Qual sua opinião em relação a **abordagens histórico-filosóficas** para o ensino de conteúdos científicos?
5. **Pontos positivos, negativos, sugestões.** Comente o que você considerou como pontos positivos, como pontos negativos e sugestões para melhora dessa oficina.

APÊNDICE E
Questionário de Avaliação das Simulações por Pares

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Você está sendo convidado (a) para participar da validação de três simulações computacionais de experimentos físicos que contribuíram para a Unificação Eletrofraca. Sou Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática da Universidade Estadual de Londrina - UEL, sob orientação da professora Dra. Irinéa de Lourdes Batista e, em colaboração com o Departamento de Ciência da Computação da UEL, elaboramos três simulações computacionais de Experimentos Históricos da Física de Partículas. Essas simulações serão exploradas em uma Abordagem Didática, com base em princípios da Aprendizagem Significativa, na discussão da Unificação das Interações Eletromagnéticas e Fracas, com alunos de Licenciatura em Física, que estejam cursando a disciplina de Física Moderna ou já tenham cursado, pois, o tema Partículas Elementares faz parte da ementa dessa disciplina e espera-se que os alunos já tenham discutido em disciplinas anteriores conceitos relacionados ao Eletromagnetismo e Interações Fundamentais. As simulações computacionais foram elaboradas com base na consulta de fontes primárias e secundárias a respeito dos experimentos, em princípios da Aprendizagem Significativa e de Usabilidade de *Softwares*.

As simulações serão abordadas, na Abordagem Didática, na seguinte ordem: Comportamento da Paridade nas Interações Fracas; Detecção das Correntes Neutras e Detecção dos Bósons W^+ , W^- e Z^0 .

Em um arquivo separado, está uma breve descrição de cada experimento, de itens das simulações e todas as referências utilizadas para a elaboração computacional dos experimentos.

O objetivo desse questionário é a validação dessas simulações para o contexto educacional, considerando critérios da área de Ensino e Computação que podem contribuir para elaboração de simulações computacionais mais eficientes para a aprendizagem.

Solicito sua colaboração preenchendo o questionário e agradeço a gentileza de participar de nossa pesquisa. Esclarecemos que sua participação é voluntária e comunicamos que suas informações serão utilizadas somente para os fins desta pesquisa e tratadas com o mais absoluto sigilo e confidencialidade, de modo a preservar a sua identidade, e garantir seu anonimato.

Caso você tenha dúvidas ou necessite de mais esclarecimentos poderá nos contatar: Marcia da Costa, via e-mail: marciadacosta52@gmail.com, ou pelo telefone (43) 9 98139915, ou (42) 9 84051799.

Endereço de e-mail:

Nome:

Eu, tendo sido devidamente esclarecido (a) a respeito dos procedimentos da pesquisa, concordo em participar voluntariamente da pesquisa descrita anteriormente.

Sim () Não()

Avaliadores da área de Física, Ensino e História da Ciência

AFIRMAÇÃO	CP	C	NO	D	DP
É um <i>software</i> que pode promover atividades investigativas.					
Conceitos científicos são lembrados no decorrer do processo.					
O <i>Software</i> permite interação do usuário.					
As tarefas mantém e/ou aumentam a motivação do aprendiz.					
É possível utilizar essas simulações computacionais em atividades em grupo.					
Os conhecimentos prévios, a respeito dos conhecimentos científicos, são levados em consideração.					
A simulação permitiu a abordagem de um assunto abstrato.					
Proporciona uma compreensão do mundo real, que seria inviável de observação direta.					
O erro é valorizado, proporcionando novas oportunidades de aprendizagem.					
O aprendiz tem liberdade para testar suas hipóteses.					
A sequência das atividades, nas simulações, está coerente.					
Quando o estudante "acerta" ou "erra" alguma atividade da simulação, ele obtém um feedback.					
Os conteúdos estão adaptados ao nível de formação do aprendiz.					
As informações exibidas nas mensagens são pertinentes.					
O conteúdo se adapta ao currículo institucional.					
Existe erro conceitual ou técnico nas simulações.					
O conteúdo está apresentado de forma clara.					
As simulações fornecem as informações necessárias para a realização das atividades.					
Recomendaria esse material para fins de aprendizagem.					
As informações históricas, com imagens e vídeos a respeito dos experimentos históricos, foram úteis para entender como o experimento foi realizado.					
Com base nas informações históricas contidas nas atividades, os experimentos foram representados de forma coerente nas simulações computacionais.					
É interessante o uso de simulações computacionais, como essa, com frequência.					
Essas simulações computacionais são fáceis de usar.					
É necessário o auxílio de uma pessoa com conhecimentos técnicos para usar essas simulações.					
As pessoas aprenderão rapidamente como usar essas simulações.					

Avaliadores da área de Design Gráfico

AFIRMAÇÃO	CP	C	NO	D	DP
A interface contém todas as informações necessárias para atingir os objetivos propostos.	5	8	1	2	
Em termos de características gráficas: as imagens, vídeos e sons são adequados para as simulações.	6	9	1		
As cores da interface são adequadas para que a navegação seja uma experiência agradável.	4	10		1	1
As telas estão organizadas de maneira lógica.	6	7	2	1	
As mensagens de erro ajudam os usuários a reconhecer, diagnosticar e sanar os erros.	5	7	1	2	
Há visibilidade de status do sistema.	4	8	3		
A interface dá liberdade e controle ao usuário.	3	5	3	4	
O usuário tem acesso a um manual de ajuda para a utilização das simulações.	1	10	4	1	

As simulações apresentam facilidade para correções quando ocorrem erros.	5	6	1	4	
As mensagens evitam que o usuário se confunda com as atividades.	3	7	2	4	
Existe um padrão de design que facilita a interação do usuário.	5	9	1	1	
É interessante o uso de simulações computacionais, como essa, com frequência.	8	6	2		
É necessário o auxílio de uma pessoa com conhecimentos técnicos para usar essas simulações.	2	3	1	9	1
As pessoas aprenderão rapidamente como usar essas simulações.	2	10	2	1	

APÊNDICE F

Lista de fontes primárias e secundárias utilizadas na Composição Histórica e para elaboração das simulações computacionais.

Fontes Primárias	Fontes Secundárias
Salam, Dirac e Heisenberg (1991)	Pickering (1984)
Lee e Yang (1956; 1957; 1960)	Fortes, Tijero e Pleitez (2007)
Wu (1996)	Galison (1983; 1987)
Wu <i>et al.</i> (1957)	Bassalo (2012)
Forman (1982)	Brown <i>et al.</i> (1997)
Garwin, Lederman e Weinrich (1957)	Crease e Mann (1996)
Feynmann e Gell-Mann (1958)	Batista (1999)
Leite Lopes (1958)	Bassalo (1994)
Leite Lopes (1988)	Hammond (2010)
Glashow (1961; 1979)	Franklin (1986; 1990)
'T Hooft (1980; 1997)	Segrè (1987)
Yang e Mills (1954)	Roy (2001)*
Klein (1939)	Pestre (1992)*
Salam (1979; 1980)	Maiani (2013)*
Weinberg (1967; 1980; 1996; 2004)	
Rousset (1994)	
Haidt (2004; 2005; 2013; 2015)	
Hasert <i>et al.</i> (1973a; 1973b; 1974)	
Prescott <i>et al.</i> (1978)	
Prescott (1997)	
Cline <i>et al.</i> (1982)	
Darriulat (2004)	
Watkins (1986)	
UA1 (1983a; 1983b; 1983c)	
UA2 (1983a; 1983b)	
Hudson (2001)	
Klerk e Hudson (1954)*	
Perkins (1997)*	
Pullia e Vialle (2010)*	
Glaser e Rahm (1955)*	
Haidt e Pullia (2013)*	
CERN (1978)*	

* Referências utilizadas somente para o estudo da elaboração das simulações.

APÊNDICE G

Unitarizações dos Dados

Os dados obtidos por meio da Abordagem Didática e unitarizados nas unidades de contexto e registro foram disponibilizados para a banca, a fim de conferir transparência no processo de qualificação e defesa. Na versão final foram retirados dos apêndices, uma vez que esses serão utilizados para a elaboração de artigos científicos. No entanto, os dados ficarão disponíveis para consulta e para pesquisas científicas, e para isso, entrar em contato com a pesquisadora: marciarscosta@homtmail.com.

ANEXOS

ANEXO A

Diagramas de Gowin Elaborados pelos Alunos

Os Diagramas de Gowin elaborados pelos alunos, disponibilizados para a banca, a fim de conferir transparência no processo de qualificação e defesa. Na versão final foram retirados dos apêndices, uma vez que esses serão utilizados para a elaboração de artigos científicos. No entanto, os dados ficarão disponíveis para consulta e para pesquisas científicas, e para isso, entrar em contato com a pesquisadora: marciarscosta@homtmail.com.