



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

MARCIA DA COSTA

**UMA ABORDAGEM HISTÓRICO-DIDÁTICA COM AUXÍLIO
DE MULTIMÍDIAS PARA O ENSINO DE PARTÍCULAS
ELEMENTARES NO ENSINO MÉDIO**

Londrina
2015

MARCIA DA COSTA

**UMA ABORDAGEM HISTÓRICO-DIDÁTICA COM AUXÍLIO
DE MULTIMÍDIAS PARA O ENSINO DE PARTÍCULAS
ELEMENTARES NO ENSINO MÉDIO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre 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
2015

**Catálogo elaborado pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central da
Universidade Estadual de Londrina**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

C837a Costa, Marcia da.

Uma abordagem histórico-didática com auxílio de multimídias para o ensino de partículas elementares no ensino médio / Marcia da Costa. – Londrina, 2015. 208.f. : il.

Orientador: Irinéa de Lourdes Batista.

Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática, 2015.

Inclui bibliografia.

1. Física – Estudo e ensino – Teses. 2. Partículas (Física nuclear) – Teses. 3. Tecnologia educacional – Teses. 4. Física moderna – Formação de conceitos – Teses. I. Batista, Irinéa de Lourdes. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática. III. Título.

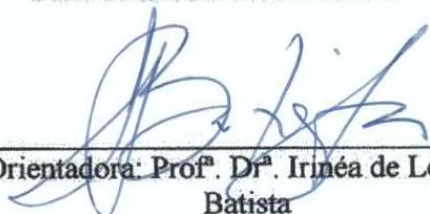
CDU 53:37.02

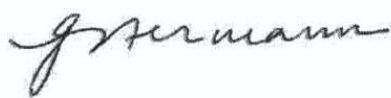
MARCIA DA COSTA


**UMA ABORDAGEM HISTÓRICO-DIDÁTICA COM AUXÍLIO
DE MULTIMÍDIAS PARA O ENSINO DE PARTÍCULAS
ELEMENTARES NO ENSINO MÉDIO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre 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. Irineia de Lourdes
Batista
Universidade Estadual de Londrina - UEL


Prof^a. Dr^a. Fernanda Ostermann
Universidade Federal do Rio Grande do Sul -
UFRGS


Prof^a. Dr^a. Mariana A. B. Soares de Andrade
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 04 de Março de 2015.

A Deus por me guiar e dar forças em todos os momentos.

A minha família pelo apoio e carinho.

AGRADECIMENTOS

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

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.

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.

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 dois anos.

Às professoras, Dr^a. Fernanda Ostermann e Dr^a. Mariana A. B. Soares de Andrade, que gentilmente contribuíram para a melhoria deste trabalho.

Aos integrantes do grupo de pesquisa IFHIECEM, que contribuíram com o aperfeiçoamento desta pesquisa.

Aos professores do Programa de Pós Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática da Universidade Estadual de Londrina, que contribuíram para minha formação acadêmica.

À direção, equipe pedagógica, colegas de trabalho e alunos da Escola Estadual em que foi aplicada a Unidade Didática construída nesta pesquisa.

E por fim, agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, pelo apoio financeiro.

Meu mundo era tão pequeno há algumas
semanas...A1

COSTA, Marcia da. **Uma Abordagem Histórico-didática com Auxílio de Multimídias para o Ensino de Partículas Elementares no Ensino Médio**. 2015. 208 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2015.

RESUMO

Esta pesquisa investigou as potencialidades de uma abordagem histórico-didática a respeito de um tema de Física Moderna, com auxílio de multimídias, no Ensino Médio. Pesquisas evidenciam que a História e Filosofia da Ciência, bem como o estudo de tópicos de Física Moderna, podem levar a uma compreensão adequada da natureza do conhecimento científico. Com base nesses argumentos foi construída e aplicada uma Unidade Didática contemplando o estudo de um tópico de Física Moderna por meio de uma abordagem histórico-didática que levou em consideração princípios da Aprendizagem Significativa. Procurou-se observar possíveis indícios de alterações nas noções dos alunos investigados a respeito da Natureza da Ciência e de conteúdos científicos específicos. Foram utilizados como instrumentos de coleta de dados, a Unidade Didática, questionários, mapas conceituais 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 de um texto teórico conceitual a respeito do tema Partículas Elementares, levantamento dos conhecimentos prévios em relação aos assuntos abordados, construção e aplicação da Unidade Didática, tomada e análise de dados. Com base nos resultados obtidos, constatou-se que a proposta didática contribuiu para a compreensão de conteúdos relacionados à Física de Partículas, para a construção de noções reais e abrangentes a respeito da Natureza da Ciência, bem como possibilitou gerar indícios de Aprendizagem Significativa.

Palavras-chave: Partículas elementares. História e filosofia da ciência. Ensino de física. Multimídias. Aprendizagem significativa.

COSTA, Marcia da. **A Historical-didactical Approach with the Support of Multimedia to the Teaching of Elementary Particles in High School**. 2015. 208 p. Dissertation (Master Degree in Teaching of Science and Mathematics Education) – State University of Londrina, Londrina, 2015.

ABSTRACT

This research investigated the potentialities of a historical-didactical approach regarding a Modern Physics subject, with the help of multimedia, in High School. Researches show that the History and Philosophy of Science, such as the study of topics of Modern Physics, can lead to a proper understanding of the nature of scientific knowledge. Based on these arguments it was built and applied a Didactic Unit contemplating the study of a topic of Modern Physics through a historical-didactical approach that took into account principles of Meaningful Learning. At the end, we tried to observe possible signs of changes in notions of the investigated students about the Nature of Science and specific scientific content. The Didactic Unit, questionnaires and conceptual maps were used as data collection. We decided to make use of the procedures of Content Analysis as a data analysis tool. This research is characterized as qualitative with an interpretative nature, whose main stages were: the bibliographic survey related to the issues involved, elaboration of a conceptual theoretical text on the subject Elementary Particles, survey of prior knowledge on the issues addressed, construction and application of the Didactic Unit, acquisition and data analysis. Based on the results obtained, it could be seen that the didactic proposal contributed to the understanding of the content related to Particles Physics, for the construction of real and comprehensive notions about the Nature of Science, as well as it was possible to generate Meaningful Learning of evidence.

Key words: Elementary particles. History and philosophy of Science. Physics teaching. Multimedia. Meaningful learning

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Mapa Conceitual elaborado pela pesquisadora a respeito da constituição da matéria	45
Figura 02 – Primeiro Mapa Conceitual elaborado pelo aluno A5	153
Figura 03 – Primeiro Mapa Conceitual elaborado pelo aluno A3	154
Figura 04 – Primeiro Mapa Conceitual elaborado pelo aluno B2.....	155
Figura 05 – Segundo Mapa Conceitual elaborado pelo aluno A5	156
Figura 06 – Terceiro Mapa Conceitual elaborado pelo aluno A5.....	156
Figura 07 – Terceiro Mapa Conceitual elaborado pelo aluno A1.....	158
Figura 08 – Terceiro Mapa Conceitual elaborado pelo aluno A3.....	159
Figura 08 – Terceira versão do Mapa Conceitual coletivo	160

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Artigos selecionados por ano e revista34
Tabela 02 – Número artigos, por revista, em cada Unidade Temática.....	.34

LISTA QUADROS

Quadro 01	– Registros das UR referentes aos dados da Questão 01	123
Quadro 02	– Registros das UR referentes aos dados da Questão 02.....	126
Quadro 03	– Registros das UR referentes aos dados da Questão 03.....	129
Quadro 04	– Registros das UR referentes aos dados da Questão 04.....	132
Quadro 05	– Registros das UR referentes aos dados da Questão 05.....	134
Quadro 06	– Registros das UR referentes aos dados da Questão 06.....	136
Quadro 07	– Registros das UR referentes aos dados da Questão 07.....	139
Quadro 08	– Registros das UR referentes aos dados da Questão 08.....	142
Quadro 09	– Registros das UR referentes aos dados da Questão 09.....	146
Quadro 10	– Registros das UR referentes aos dados da Questão 10.....	148
Quadro 11	– Registros das UR referentes aos dados da Questão 11.....	150
Quadro 12	– Unitarização dos mapas nas URM referentes a UCM1.....	152
Quadro 13	– Unitarização dos mapas nas URM referentes a UCM1.....	157

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACCC	Atividades Complementares Curriculares em Contraturno
C&E	Ciência & Educação
CBEF	Caderno Brasileiro de Ensino de Física
CERN	European Laboratory for particle Physics
CMS	Compact Muon Solenoid
CQD	Cromo Dinâmica Quântica
DESY	Deutsches Elektronen-Synchrotron
DONUT	Direcet Observation of the Nu
Enz	Enseñanza de Las Ciencias
FNAL	Fermi National Accelerator Laboratory
HC	História da Ciência
HFC	História e Filosofia da Ciência
IENCI	Investigações em Ensino de Ciências
IFHIECEM	Investigações em Filosofia e História da Ciência, Educação Científica e Matemática
LHC	Large Hadron Collider
NdC	Natureza da Ciência
OPERA	Oscillation Project with Emulsion-tRacking Apparatus
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
PETRA	Positron-Electron Tandem Anel Accelerator
RBEF	Revista Brasileira de Ensino de Física
RBPEC	Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências
SEED	Secretaria de Estado da Educação
SUED	Superintendência da Educação
UC	Unidade de Contexto
UR	Unidade de Registro
UT	Unidade Temática

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
1 HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA E ENSINO DE CIÊNCIAS	18
1.1 CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA NATUREZA DA CIÊNCIA	23
1.2 HFC NO ENSINO DE FÍSICA	31
1.2.1 Publicações de Abordagens Histórico-filosóficas Empíricas no Ensino de Física	32
2 FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO	38
2.1 FÍSICA DE PARTÍCULAS NO ENSINO MÉDIO.	41
2.2 PARTÍCULAS ELEMENTARES	46
2.2.1 Férmions	50
2.2.1.1 Léptons	50
2.2.1.1.1 O Elétron	50
2.2.1.1.2 Neutrino do elétron	53
2.2.1.1.3 O pósitron	56
2.2.1.1.4 O múon	59
2.2.1.1.5 O neutrino do múon	61
2.2.1.1.6 O Tau	62
2.2.1.1.7 O Neutrino do tau	62
2.2.1.2 Quarks	64
2.2.1.2.1 Os quarks up, down e strange	64
2.2.1.2.2 O quark charme	72
2.2.1.2.3 O quark bottom	73
2.2.1.2.4 O quark top	74
2.2.2 Os bósons	75
2.2.2.1 O Fóton	76
2.2.2.2 Bósons de Gauge (bósons intermediadores, W^+, W^-, e Z^0)	77
2.2.2.3 Glúons	78
2.2.2.4 Bóson de Higgs	79
3 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA	82
3.1 TIPOS DE APRENDIZAGEM	83

3.2	ORGANIZADORES PRÉVIOS.....	85
3.3	DIFERENCIAÇÃO PROGRESSIVA	86
3.4	RECONCILIAÇÃO INTEGRADORA.....	86
3.5	ORGANIZAÇÃO SEQUENCIAL.....	87
3.6	CONSOLIDAÇÃO	87
3.7	MAPAS CONCEITUAIS	88
3.8	MULTIMÍDIAS NO ENSINO DE CIÊNCIAS.....	93
3.8.1	Vídeos	95
3.8.2	Simulação Computacional	96
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	100
4.1	ATIVIDADES NO CONTRATURNO	102
4.2	CONSTRUÇÃO DA UNIDADE DIDÁTICA	103
4.2.1	Estrutura da Unidade Didática	103
4.2.2	Descrição das Atividades	108
4.3	ANÁLISE DE CONTEÚDO	109
4.3.1	Unidades de Análise das Noções da Natureza da Ciência.....	110
4.3.2	Unidades de Análise das noções de conteúdo.....	116
4.3.3	Unidades de Análise dos Mapas Conceituais	119
5	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS	122
5.1	CONTEXTO DA APLICAÇÃO DA UNIDADE DIDÁTICA.....	122
5.2	ANÁLISE DOS DADOS	123
5.2.1	Análise das noções a respeito da Natureza da Ciência e do conteúdo	123
5.2.2	Análise dos Mapas Conceituais	152
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	165
	REFERÊNCIAS	167
	APÊNDICE A	180
	APÊNDICE B	182
	ANEXO A.....	185

INTRODUÇÃO

A crise enfrentada no ensino, principalmente nas áreas exatas, tem inquietado muitos professores e pesquisadores que buscam por alternativas para contextualizar o ensino, a fim de conseguir instigar a curiosidade e atenção dos alunos perante os conteúdos a serem ensinados. A maioria dos estudantes não consegue relacionar o que estuda em sala de aula com seu cotidiano. 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 das dificuldades de compreensão dos fenômenos estudados.

Após essa breve problemática, abro um parêntese para falar em primeira pessoa com o propósito de esclarecer os motivos que levaram-me ao estudo realizado nesta dissertação. O início da história remete-me aos tempos de infância, no qual meu sonho de ser professora já era evidente. Minha brincadeira favorita era “brincar de escola” com meus dois irmãos. Durante minha formação, passando pelo Ensino Fundamental e Médio, esse sonho foi amadurecendo até se concretizar na atitude de fazer vestibular para um curso de licenciatura. Escolhi o curso de Física, da Universidade Estadual do Centro Oeste – UNICENTRO.

Durante o período de formação no Ensino Superior, 2006-2010, tive a oportunidade de participar de vários 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 na pesquisa. Foi durante a participação no PET, que tive a oportunidade, pela primeira vez, de participar em 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 tratava-se do último ano da graduação, o tempo dedicado a essa nova linha de pensamento foi pouco e fiquei no anseio por 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 me matriculei em um curso de Pós-Graduação, Especialização em Ensino de Matemática, pois na cidade em que residia não havia nenhum curso que fosse voltado para o Ensino de Física. O que não me impediu de voltar minhas atenções para essa disciplina, meu projeto de pesquisa, durante a especialização, tratava do

uso de simulações computacionais no Ensino de Física.

Logo que comecei a especialização, participei de um teste seletivo para ingressar como professora colaboradora, na UNICENTRO. Passei e comecei a lecionar no Ensino Superior. Foi uma experiência gratificante que, juntamente com meu projeto de pesquisa na especialização, me convenceu de seguir na carreira acadêmica. Procurei por cursos de Pós-Graduação que atendessem meu desejo de investigar alternativas para o Ensino de Física. O Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática, da Universidade de Londrina – UEL, atendeu meus requisitos e ingressei como mestranda em 2013.

Comigo trouxe a proposta de continuar investigando simulações computacionais no Ensino de Física. Em conversas e orientações com minha orientadora, Dra. Irinéa de Lourdes Batista, surgiu a ideia de pesquisar a respeito de simulações computacionais de experimentos históricos. Essa proposta foi amadurecendo conforme nossos estudos teóricos e reuniões do nosso grupo de pesquisa, IFHIECEM¹. Chegamos a conclusão de que dois anos não seriam suficientes para um estudo esclarecedor em relação ao assunto. Optou-se então por trabalhar com uma abordagem histórico-didática que contemplasse a utilização de multimídias, entre elas as simulações computacionais. Sou apaixonada pela Física, pela área de Ensino e é com grande satisfação que realizei este trabalho, fecho parênteses.

Na disciplina de Física, muitos alunos apresentam dificuldade de compreensão de fenômenos que exigem abstração, interpretação e reflexão (BATISTA, 2004). Quando o professor não contextualiza os conteúdos ou não apresenta-os por meio de uma abordagem diferente das tradicionais, o aluno acaba, na maioria das vezes, sentindo-se perdido em relação a aquilo que lhe é apresentado, não consegue entender o motivo, o significado e a relevância de determinados conteúdos para sua formação. Tal constatação se torna evidente ao observar em discursos de alunos as seguintes falas: *“Quando eu vou utilizar isso em minha vida?”* *“Por que eu preciso saber disso?”*.

Para superar essas dificuldades, uma das alternativas que vem sendo amplamente discutida, divulgada e incentivada em congressos e artigos científicos da área, para superação dessas dificuldades, é a inserção de História e Filosofia da Ciência (HFC) no Ensino de Ciências. Outra alternativa, igualmente discutida na literatura especializada, é o estudo de tópicos de Física Moderna no Ensino Médio. Ambas as alternativas buscam proporcionar um ensino contextualizado, provocando uma aproximação entre a Física

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

ensinada em sala de aula e as esferas científicas e tecnológicas presentes no cotidiano do aluno.

Na presente pesquisa foram abordadas as duas alternativas supracitadas em uma Unidade Didática elaborada e aplicada, segundo princípios da Aprendizagem Significativa (AUSUBEL 2003; NOVAK, GOWIN, 1996). O público alvo da unidade foram os alunos de segundo e terceiro anos do Ensino Médio da Rede Pública de Ensino.

O objetivo da investigação consistiu em analisar potencialidades e delimitações da Unidade Didática em relação a alguns critérios. O primeiro deles era em relação a Natureza da Ciência, procurou-se meios de responder o seguinte questionamento: Uma abordagem histórico-didática de um tema da Física Moderna pode levar a um entendimento adequado da Natureza da Ciência? O outro critério estava relacionado a Aprendizagem Significativa do conteúdo, o segundo questionamento a ser respondido era: A Unidade Didática elaborada e aplicada proporcionou indícios de Aprendizagem Significativa?

Esta pesquisa está estruturada em cinco capítulos que descrevem todo o procedimento adotado na investigação. Os primeiros três capítulos são constituídos pelos referenciais teóricos utilizados para fundamentar os passos dados a fim de alcançar os objetivos estabelecidos acima.

No primeiro capítulo, é apresentada uma reflexão teórica a respeito das contribuições da HFC no ensino de ciências e das noções em relação a Natureza da Ciência, apresentadas por alunos de vários níveis de ensino. Ainda nesse capítulo, em uma das seções é apresentado um levantamento das publicações científicas a respeito de abordagens que envolvessem HFC aplicada em sala de aula, com o propósito de observar os resultados já existentes a respeito da temática.

No segundo capítulo, é discutida a inserção de tópicos de Física Moderna no Ensino Médio e as justificativas para trabalhá-los, bem como os motivos que reforçam a escolha do tema *Partículas Elementares* como conteúdo da Unidade Didática. Como a pretensão da pesquisa era abordar HFC e Física Moderna, foi elaborado um texto teórico-conceitual a respeito do tema, apresentado em uma das seções do capítulo, no qual são apresentados alguns trechos históricos que serviram de base para discussões de aspectos da Natureza da Ciência. A construção do texto tem início nas primeiras explicações dadas à constituição da matéria e chega até as evidências da detecção do bóson de Higgs.

No terceiro capítulo, são apresentados princípios da Teoria da Aprendizagem Significativa, uma vez que a Unidade Didática foi elaborada e aplicada seguindo princípios dessa teoria. Em seguida, em uma das seções, é feita uma explanação a

respeito dos Mapas Conceituais, que justifica a utilização dos mesmos como instrumentos de avaliação do conteúdo. Por fim, é discutido o uso de materiais potencialmente significativos, por meio de reflexões a respeito das multimídias no Ensino de Ciências, assim como na Física. Discute-se as implicações da utilização de vídeos e simulações computacionais como recursos didáticos em sala de aula.

No quarto capítulo, são apresentados os procedimentos metodológicos adotados na investigação. Trata-se de uma pesquisa qualitativa de cunho interpretativo (BOGDAN, BIKLEN, 1994). São descritas a estrutura, a aplicação da Unidade Didática e as unidades de análise dos dados, de acordo com a Análise de Conteúdo (BARDIN, 1977).

O quinto capítulo é destinado à apresentação dos dados, mediante o contexto de aplicação da unidade, e as inferências feitas a partir da fundamentação teórica adotada em relação aos resultados obtidos.

Ao final são apresentadas as considerações finais, as referências utilizadas na fundamentação teórica, e, na sequência os apêndices e anexos.

1. HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA E ENSINO DE CIÊNCIAS

Neste capítulo são apresentadas algumas considerações a respeito de abordagens de HFC no Ensino de Ciências, justificando o uso dessas abordagens no Ensino de Física e sua utilização na Unidade Didática proposta neste trabalho.

A busca por meios de se contextualizar o ensino e apresentar o processo de desenvolvimento da Ciência tem evidenciado a HFC como uma estratégia que traz benefícios em vários níveis de ensino, como retratado em pesquisas nacionais e internacionais (ALLCHIN *et al*, 1999; BATISTA; ARAMAN, 2009; TEIXEIRA; GRECA; FREIRE, 2009, 2012; HÖTTECKE; SILVA, 2011; TIAGO, 2011).

De acordo com Matthews (1995), a História, Filosofia e Sociologia da Ciência não resolvem todos os problemas, mas possuem algumas soluções, como: humanizar as ciências e aproximá-las dos interesses da comunidade; tornar as aulas mais reflexivas e desafiadoras, permitindo a formação do pensamento crítico; contribuir para um entendimento efetivo dos conteúdos científicos; demonstrar que a Ciência é mutável e instável; melhorar a formação de professores ao passo que compreendem a estrutura de sua ciência (MATTHEWS, 1995).

Do ponto de vista ontológico e epistêmico, segundo Batista (2007), a História e Filosofia da Ciência podem contribuir para: Conhecer a evolução das ideias, dos problemas e de suas soluções na Ciência; compreender que o objetivo da Ciência é entender a capacidade de resolver problemas e de identificá-los, de criar inovações e ainda 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 caminhos metodológicos adotados nas pesquisas de determinada área (BATISTA, 2007).

Outra justificativa para a inserção da HFC no Ensino de Ciências está pautada nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), nas Orientações Curriculares Nacionais (OCN) e nas Diretrizes Nacionais para a Educação Básica, que consideram a necessidade da contextualização histórico-social do conhecimento científico, a fim de que os estudantes entendam as ciências como uma construção humana e consigam relacioná-las com o desenvolvimento da sociedade (BRASIL, 2000, 2006, 2013).

Os defensores da HFC no ensino sugerem uma abordagem interdisciplinar e contextualizada historicamente, trabalhando em diversos contextos como: ético, social, histórico, filosófico e tecnológico. Matthews (1995) sugere que se apresente a Ciência para os

alunos como um conhecimento em construção, na qual nada é definitivo, ou seja, a qualquer momento uma teoria pode ser substituída por outra que melhor explique um fenômeno em questão. Assim, o aluno é instigado a questionar e investigar, o que pode levar a uma compreensão do processo de construção do conhecimento científico.

Não é de hoje que pesquisadores defendem o uso de HFC no Ensino de Ciências, Ernest Mach, em 1883, afirmava que a compreensão de um conceito teórico passa pela compreensão de seu desenvolvimento histórico, como descrito a seguir:

A investigação histórica do desenvolvimento da Ciência é extremamente necessária a fim de que os princípios que guarda como tesouros não se tornem um sistema de preceitos apenas parcialmente compreendidos ou, o que é pior, um sistema de pré-conceitos. A investigação histórica não somente promove a compreensão daquilo que existe agora, mas também nos apresenta novas possibilidades. (MACH, 1883/1960, apud MATTHEWS, 1995, p. 169).

Assim, dependendo do que se quer alcançar, diversas são as formas de utilizar a História da Ciência (HC) no ensino. A escolha deve ser feita em relação aos objetivos pretendidos na abordagem, sejam eles: aprender teorias e conceitos; discutir a respeito da Natureza da Ciência; refletir a cerca da relação entre Ciência e o contexto social, entre outros (DUARTE, 2006).

Dada as implicações da HFC no ensino torna-se clara a necessidade de aportes teóricos e filosóficos na formação dos professores, contribuindo para evitar as noções distorcidas a respeito do desenvolvimento do conhecimento científico, além de permitir intervenções mais qualificadas em sala de aula (LEDERMAN, 1992; MATTHEWS, 1995; PÉREZ *et al.*, 2001; ADÚRIZ-BRAVO; IZQUIERDO; ESTANY, 2002; DUARTE, 2004; GURIDI; ARRIASSECQ, 2004; ADURIZ-BRAVO, 2006; EL-HANI, 2006).

Essa necessidade é consenso desde 1918, como citado no Relatório Thompson que sugeria que conhecimentos de HFC deveriam fazer parte do repertório de conhecimento dos professores de ciência das escolas secundárias, pois poderiam promover um ensino de qualidade, estimulante, crítico, humano, etc., uma vez que o professor teria domínio das terminologias, objetivos e conhecimentos das dimensões cultural e histórica de sua disciplina, que levariam a uma compreensão sólida da estrutura de sua ciência (MATTHEWS, 1995).

Ainda de acordo com Matthews (1995), um professor com os devidos conhecimentos de HFC pode auxiliar os alunos a entenderem as idealizações adotadas nas ciências evitando que os alunos renunciem seu mundo por ser uma fantasia, ou renunciem o mundo da ciência pelo mesmo motivo.

Alguns cursos de licenciatura das áreas científicas, como Física, Biologia, Química, já vêm adotando de alguma forma a HFC em seus programas, seja por meio de uma disciplina específica ou por abordagens inseridas nas demais disciplinas. Entretanto, uma formação docente que leve em consideração os aportes teóricos e filosóficos, por si só, não garante que isso se reflita em sala de aula. Encontram-se dificuldades quando se trata de passar do contexto de formação para o contexto de sala de aula. No começo, justificava-se uma parte dessa dificuldade na falta de material pedagógico adequado, porém com o passar dos anos o número de materiais colocados à disposição aumentou em quantidade e qualidade. A questão agora é como usar esses materiais.

Outro fator que, ainda, dificulta a inserção de HFC em sala de aula é um currículo escolar voltado para os exames vestibulares. O professor sente-se pressionado a atender uma lista de conteúdos que são cobrados pelas escolas, sejam elas da rede privada ou pública. Também não se pode deixar de lado a responsabilidade do docente nesse processo, que se intitula uma dificuldade quando o mesmo não se apropria dos devidos conhecimentos pedagógicos e de conteúdo para trabalhar em sala de aula (MONK; OSBORNE, 1997; MARTINS, 2007; HÖTTECKE; SILVA, 2011).

Haja vista essas dificuldades, Höttecke e Silva (2011, p. 306), apresentam algumas considerações para que ocorra uma implementação bem sucedida da HFC em sala de aula.

a) Os professores deveriam trabalhar em grupos, em colaboração e apoio mútuo, adaptando a HFC e os materiais para as suas condições locais;

b) Especialistas no assunto deveriam auxiliar os professores em diversos níveis, desde a adaptação até o desenvolvimento de novas ideias e materiais instrucionais, de forma que pesquisa e prática estejam envolvidas;

c) As administrações das escolas deveriam apoiar as inovações como HFC no ensino, adequando os currículos e regulamentos para apoiar essas abordagens.

Essas são algumas das providências a serem tomadas para que os professores possam obter sucesso com relação aos seus objetivos em sala de aula.

É com base nos objetivos que o professor pretende atingir que ocorre a escolha de algumas formas para trabalhar com a HC no Ensino de Ciências. Dentre as possíveis abordagens, pode-se citar como exemplo as que permitam trabalhar com reprodução de experimentos históricos, com textos originais científicos, discussões temáticas, episódios históricos, etc.

Um exemplo de abordagem histórico-temática encontra-se em Rodrigues, Zimmermann e Hartmann (2012), na qual um tema norteador é escolhido para tratar os conteúdos de interesse. Essas abordagens permitem a inclusão de problemas sociais para debate em sala de aula o que pode desenvolver nos alunos a capacidade de tomada de decisões. A visualização das relações dos conteúdos com o cotidiano é relevante para uma boa formação dos alunos, como descrito nas Orientações Curriculares Nacionais (BRASIL, 2006).

Já as abordagens que tratam de reprodução de experimentos históricos devem ser vistas, de acordo com Höttecke (2000), como formas para entender a Ciência, sua natureza e sua história a partir da perspectiva de seus praticantes.

Quando refere-se a experimentos históricos opta-se por caracterizá-los como aqueles que tenham proporcionado um marco capaz de romper obstáculos (PAULA, 2006). 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 JR; CUNHA; LARANJEIRAS, 2012 p. 4602-1).

O método de reprodução de experimentos científicos históricos torna possível entender como a ciência ocorre em laboratórios, permitindo ao aluno entender o significado da experimentação na História da Ciência, compreender as dificuldades da experimentação, desenvolver habilidades experimentais, bem como vivenciar a interferência que o experimentador pode causar nos resultados, por meio das expectativas, habilidades e conhecimentos prévios (HÖTTECKE, 2000). A utilização de experimentos históricos é uma estratégia para a compreensão da ciência a partir da visão de seus experimentadores. Assim, é relevante considerar o contexto histórico dos experimentos, para que a experimentação não seja vista como um episódio isolado na produção do conhecimento científico (PAULA, 2006).

Deve-se tomar o devido cuidado, ao trabalhar com experimentos históricos, para que não seja propagada a ideia de que aquele ou outro experimento fez com que se abandonasse uma teoria em favor de outra, uma vez que um experimento é considerado crucial a posteriori, à medida que se percebe que esse experimento fez com que a comunidade científica seguisse um determinado rumo e não outro.

Além dos experimentos históricos, pode-se voltar a atenção para alguns episódios históricos, que de acordo com Martins (1998), podem mostrar: as relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade; o processo gradativo de construção do conhecimento; a desmistificação do conhecimento científico sem negar seu valor; o processo lento de desenvolvimento dos conceitos, propiciando um melhor aprendizado dos conteúdos pelos

alunos ao passo que percebem que suas dúvidas são cabíveis em relação aos conceitos que levaram todo esse tempo para serem estabelecidos; que a aceitação ou não de uma proposta não depende apenas do seu valor intrínseco e de sua fundamentação, mas de todo o contexto em que se vive.

As possíveis abordagens não se esgotam, esses são apenas alguns exemplos. Todavia, em meio às vantagens do uso da HC, também se encontram alguns cuidados e críticas. Matthews (1995) descreve uma crítica feita por Klein (1972), afirmando que a única história possível de ser levada para sala de aula seria uma história distorcida, que não passava de recortes isolados perante a, complexa e cheia de detalhes, história produzida por historiadores (MATTHEWS, 1995). Entretanto, por mais que se aceite que essa não seja uma tarefa fácil, defende-se que o professor pode se apropriar da história produzida pelo historiador e com isso enriquecer suas aulas. Esse é um desafio tanto para professores, quanto para aqueles que por meio de pesquisas propõem materiais didáticos que abordem a HC. O material deve ser pensado levando em consideração o contexto histórico e o rigor científico, caso contrário a HC levada à sala de aula não passará de cronologias e anedotas históricas.

Outra crítica é em relação ao enfraquecimento das convicções paradigmáticas dos estudantes perante o estudo do processo do desenvolvimento científico, uma vez que ele mostra o lado frágil do processo (KHUN, 2006). Entretanto, defende-se que esse fator seja mais um motivador do que um problema, pois ao entender o caráter mutável da ciência os aspirantes a cientistas podem desenvolver um sentimento de que eles podem fazer parte dessa história, que nem tudo o que é aceito atualmente, necessariamente será aceito para sempre.

Martins (1998) alerta para possíveis maus usos da História da Ciência no ensino, como a utilização de biografias longas, com muitas datas e sem nenhuma referência à Filosofia e às ideias científicas ou ao contexto do que está sendo ensinado. Outro erro cometido é valorizar somente os sucessos, omitindo as dificuldades encontradas e as propostas alternativas. Além disso, deve-se evitar não considerar os conhecimentos prévios dos alunos, pois esses podem estar relacionados a alguma fase do processo de construção dos conceitos estudados.

Haja vista que alguns trabalhos de História da Ciência muitas vezes podem conter erros de vários tipos, tomar conhecimento dos procedimentos necessários em uma pesquisa de História da Ciência pode auxiliar na seleção de bons trabalhos.

De acordo com Martins (2005), a pesquisa em História da Ciência trata-se de um estudo metacientífico, uma vez que se refere ao estudo da ciência, é descritiva, porém

deve ir além da descrição, fornecendo explicações e discutindo cada contribuição dentro do seu contexto científico. A metodologia utilizada nas pesquisas não é a mesma que é utilizada em História ou Ciências, trata-se de uma metodologia própria.

Quanto aos possíveis enfoques da pesquisa, podem ser conceituais ou não conceituais. Uma abordagem conceitual discute os fatores científicos relacionados a um assunto, que é o que se denomina história interna. Já uma abordagem não-conceitual, história externa, trata dos fatores extracientíficos relacionados ao assunto, como a influência dos contextos sociais, políticos, financeiros, entre outros. De maneira que ao incluir essas duas abordagens o estudo torna-se mais abrangente.

Outro fator relevante na pesquisa em História da Ciência são os tipos de fontes utilizadas. Normalmente, se classificam os documentos utilizados em fontes primárias ou secundárias. As fontes primárias são os materiais originais, constituídos por documentos escritos pelos sujeitos estudados. As fontes secundárias são estudos historiográficos e obras de apoio a respeito do período e dos cientistas analisados (MARTINS, 2005).

Por meio de consultas em fontes terciárias, fontes que permitem que se chegue até as fontes primárias e secundárias, que se inicia um caminho que pode proporcionar compreensões a respeito da Natureza da Ciência (NdC) (MATTHEWS, 1995; MARTINS, 2005).

Essa será uma das opções metodológicas seguidas nesta pesquisa, utilizar a HFC para gerar discussões a respeito da natureza do conhecimento científico. Casos da História da Física que levaram à construção de teorias, na Física de Partículas, serão utilizados para trabalhar alguns aspectos da NdC.

Não se pretende, neste texto, afirmar quais são os aspectos da NdC que devem ser evidenciados, pois, como a literatura da área informa, esse é um consenso que está sujeito à mudanças. No item seguinte são feitas algumas considerações a respeito de aspectos da NdC que fazem parte do consenso científico atual, dos quais alguns foram abordados na Unidade Didática.

1.1 CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA NATUREZA DA CIÊNCIA

De acordo com Lederman *et al.* (2002), o termo Natureza da Ciência se refere à epistemologia e sociologia da Ciência, à Ciência como uma forma de conhecer, ou aos valores e crenças inerentes ao conhecimento científico e seu desenvolvimento. Porém, não há um consenso específico em relação ao conceito de NdC entre filósofos, historiadores e

sociólogos da Ciência, dada a complexidade da atividade científica e a diversidade de posições epistemológicas (ABD-EL-KHALICK; LEDERMAN, 2000a). O que não se configura um problema, pois em relação a alguns aspectos há um consenso estabelecido do que vem a ser considerada uma noção adequada da Natureza da Ciência. Isso, levando em consideração um determinado intervalo de tempo e as posições epistemológicas predominantes desse período. Como, por exemplo, atualmente é inegável a influência da carga teórica em observações científicas assim como a pluralidade de métodos científicos (ABD-EL-KHALICK; LEDERMAN, 2000b).

Assim, há alguns aspectos considerados acessíveis e relevantes aos estudantes, como a ideia do conhecimento científico ser de caráter: provisório; empírico; carregado de teoria; em parte produto da interferência humana, a imaginação e a criatividade; social e culturalmente incorporado. Outros aspectos relevantes são a distinção entre observação e inferência, a inexistência de “um método” para fazer ciência, funções e relações de leis e teorias científicas. E cada um desses aspectos da NdC pode ser abordado em diferentes níveis de profundidade e complexidade, dependendo do nível de ensino (LEDERMAN *et.al.*, 2002).

As pesquisas que investigaram as noções de estudantes ou professores em relação à NdC, geralmente se deparavam com ideias ingênuas da dinâmica do conhecimento científico. Por exemplo: o conhecimento científico como definitivo e verdadeiro embasado “no” método científico, na Ciência “comprovada” por dados experimentais advindos da observação, entre outras. A imagem reproduzida, da natureza do conhecimento científico, reflete uma visão empirista-indutivista, absolutista, uma ciência construída por gênios, um conhecimento verdadeiro e imparcial (CAREY, 1989; LEDERMAN, 1992; SOLOMON *et al.*, 1992, CUDMANI; SANDOVAL, 2000; ABD-EL-KHALICK; LEDERMAN, 2000a; ABD-EL-KHALICK; LEDERMAN, 2000b; LEDERMAN *et al.*, 2002; KOSMINSKY; GIORDAN, 2002; GATTI; NARDI; SILVA, 2007; TEIXEIRA; FREIRE; EL-HANI, 2009; TIAGO, 2011; SCHIRMER, 2012; ZANON; MACHADO, 2013).

A seguir são apresentadas noções da Natureza da Ciência adequadas ao consenso científico atual (LEDERMAN *et al.*, 2002).

A natureza empírica do conhecimento científico: A ciência se baseia, em partes, nas observações da natureza, e com o passar do tempo a validade das afirmações científicas é estabelecida por meio das observações de fenômenos. No entanto, os cientistas não têm acesso direto aos fenômenos naturais, essas observações da natureza são filtradas por

meio dos aparatos que se tem em mãos e interpretadas a partir de referenciais teóricos elaborados.

Observação, inferência e entidades teóricas em Ciência: Os alunos devem ser capazes de distinguir entre observação e inferência. As observações são afirmações descritivas a respeito dos fenômenos naturais que são diretamente acessíveis aos sentidos. Por exemplo, objetos lançados acima do nível do solo tendem a cair ao chão. Por outro lado, as inferências são declarações a respeito dos fenômenos que não são diretamente acessíveis aos sentidos. Por exemplo, os objetos tendem a cair ao chão por causa da gravidade.

Teorias e leis científicas: As teorias científicas são bem estabelecidas e altamente fundamentadas, servem para explicar grandes conjuntos de observações aparentemente não relacionados em mais de um campo de investigação, são muitas vezes baseadas em um conjunto de pressupostos ou axiomas e postulam a existência de entidades não observáveis. Assim, as teorias não podem ser diretamente testadas ou comprovadas. O que apoia ou demonstra a validade de teorias são suas provas indiretas. Já as leis científicas são afirmações descritivas de relações entre fenômenos observáveis. Os alunos muitas vezes apresentam uma visão simplista e hierárquica da relação entre teorias e leis, na qual as teorias se tornam leis dependendo da disponibilidade de provas e acreditam que as leis têm um status mais elevado do que as teorias. Ambas as noções são inadequadas. Teorias e leis são diferentes tipos de conhecimento e não se transformam uma na outra. As teorias são resultados tão legítimos como as leis científicas.

Criatividade e imaginação no conhecimento científico: A construção do conhecimento científico também envolve a imaginação e criatividade humana. O fazer ciência envolve a invenção de explicações e entidades teóricas, o que requer uma dose de criatividade por parte dos cientistas. Este aspecto da ciência, juntamente com a sua natureza inferencial, implica que algumas entidades científicas, como átomos, são modelos teóricos funcionais ao invés de cópias fiéis da realidade.

Interpretações carregadas de teoria: O conhecimento científico é permeado de interpretações carregadas de teoria. Desempenhos teóricos e disciplinares, crenças, conhecimento prévio, formação, experiências e expectativas dos cientistas são fatores que influenciam o seu trabalho. Todos esses fatores afetam a forma como eles conduzem suas investigações, o que observam e como interpretam as suas observações. Aí, pode-se citar o papel da teoria na produção do conhecimento científico, uma vez que, a ciência nunca começa com observações neutras, as observações sempre são motivadas e guiadas a partir de certas perspectivas teóricas.

O conhecimento científico e os contextos social e cultural: A ciência é praticada no contexto de uma cultura maior e seus praticantes são produtos dessa cultura. Isso implica que a ciência afeta e é afetada pelos vários elementos da cultura na qual ela está inserida. Como, por exemplo, fatores sociais, políticos, religiosos, filosóficos, financeiros, etc.

O mito do método científico: pode-se dizer que um dos maiores equívocos difundidos a respeito da ciência é a existência de um método científico. Esse mito é transmitido com a crença de que existe uma receita com procedimentos passo-a-passo de como se faz ciência. Essa ideia foi desmistificada, não existe um único método para o desenvolvimento do conhecimento científico. Não há uma única sequência de atividades a ser seguida pelos cientistas que levará às soluções ou respostas válidas.

O caráter provisório do conhecimento científico: O conhecimento científico, embora confiável e durável, nunca é absoluto ou certo. As afirmações científicas podem mudar com novas evidências que surgem devido a reflexões e avanços tecnológicos. Assim, um conhecimento por mais bem estabelecido que seja nunca atingirá o status de conhecimento absoluto.

Esses são alguns dos aspectos da NdC apresentados na literatura especializada, que deveriam fazer parte de reflexões na prática docente, para que o aluno tenha a oportunidade de construir uma noção a respeito do conhecimento científico que lhe permita entender o processo de construção da Ciência.

Nesta pesquisa, alguns desses aspectos foram abordados, por exemplo: o caráter provisório do conhecimento científico; o mito do método científico; o conhecimento científico e os contextos social e cultural; interpretações carregadas de teoria; criatividade e imaginação na construção do conhecimento científico; teorias e leis científicas e a natureza empírica do conhecimento científico.

As noções de alunos, professores e estudantes de licenciaturas em relação a esses aspectos da NdC são investigadas em várias pesquisas, tanto em nível nacional quanto internacional. Os resultados, em geral, indicam noções equivocadas a respeito de quem faz Ciência e como se dá o processo de construção da Ciência.

Em seguida é feito um relato de algumas dessas pesquisas, que subsidiaram a construção das Unidades Temáticas de Contexto e de Registro, apresentadas no capítulo 04.

Kosminsky e Giordan (2002) ao investigarem as noções de estudantes de Ensino Médio perceberam que eles comumente representam quem faz Ciência como uma pessoa do sexo masculino, que trabalha sozinho e está em um laboratório realizando experimentos. Eles não levam em consideração a troca de informações entre pares, as

elaborações teóricas e nem mesmo as ciências não experimentais. Os estudantes tendem a estereotipar o cientista como uma pessoa maluca e solitária.

Esse estereótipo é ainda mais forte nas representações de alunos do Ensino Fundamental, conforme informam Reis, Rodrigues e Santos (2006) e Zamunaro (2002), nas quais o cientista é representado como uma pessoa que inventa coisas para ajudar as pessoas, faz coisas malucas, é geralmente do sexo masculino, veste uma espécie de jaleco, usa óculos, tem barba e um estilo excêntrico, imagens essas que são amplamente divulgadas em filmes e desenhos animados.

Ao estudar as noções dos estudantes de Ensino Superior, Zanon e Machado (2013) perceberam que eles ainda continuam com a ideia de que o cientista trabalha sozinho, não fazem menção à troca de informações ou à existência de uma comunidade científica. No entanto, eles já não reproduzem uma imagem tão estereotipada quanto os alunos do Ensino Fundamental e Médio.

Os resultados dessas pesquisas corroboram uns com os outros a respeito da visão de cientista que é apresentada pelos estudantes, ou seja, uma pessoa que estuda muito, na maioria das vezes está em um laboratório realizando experiências, trabalha sozinho, não troca informações com os pares, entre outras visões reducionistas que são reproduzidas nas mídias, livros didáticos e pelos professores que não possuem noções adequadas em relação à NdC (KOSMINSKY; GIORDAN, 2002; KÖHNLEIN; PEDUZZI, 2002; SILVA et.al., 2005; ZOMPERO; GARCIA; ARRUDA, 2005; REIS; GALVÃO, 2006; REIS; RODRIGUES; SANTOS, 2006; ZAMUNARO, 2002; TOMAZI et.al., 2009; ZANON; MACHADO, 2013, ROCHA, 2013).

O cientista não deve ser visto como um gênio que realiza tudo sozinho, que nunca erra, pois em suas atividades ele está sujeito tanto às virtudes quanto aos defeitos que caracterizam o ser humano (KÖHNLEIN; PEDUZZI, 2002). No processo de construção dos conhecimentos os cientistas procedem por tentativas, podem seguir em uma direção e depois mudarem de ideia, perceber que estavam errados e refazerem medidas, abandonar algumas hipóteses por não contarem com um aparato tecnológico suficiente para realizar os testes, fazer uso da intuição, se decepcionar, se entusiasmar, se apegar a uma teoria (OSTERMANN, MOREIRA, 1999). Esses são exemplos de imagens mais realistas e abrangentes a respeito de quem faz ciência.

Köhnlein e Peduzzi (2002) em um artigo a respeito da noção empirista-indutivista no Ensino de Ciências, apresentam argumentos que refutam essa noção. Entre eles, o de Popper que defende que a Ciência começa com um problema e não com uma observação,

que as observações estão impregnadas de teorias. Ainda de acordo com Popper, as teorias científicas nunca são empiricamente prováveis, por mais evidências que se encontrem a favor de uma teoria não é possível afirmá-la como verdade, pois no futuro poderá mostrar falhas e ser corrigida ou descartada. Outros filósofos também reconheceram as limitações da posição empirista-indutivista, enfatizando que não há sentido fazer uma investigação sem alguma orientação teórica. Hanson (1975) contesta a objetividade da observação científica, pois quem observa não separa a observação da interpretação. De modo que mesmo observando um conjunto de dados idênticos, as pessoas podem tirar conclusões diferentes.

Isso justifica alguns equívocos cometidos por cientistas ao tentar resolver um problema, pois as teorias que orientam as observações podem ser falhas ou inadequadas para a situação. Esse argumento coloca em cheque a proposição de que a observação e os experimentos são uma base completamente segura para a construção do conhecimento científico, pois se a teoria que o orienta o cientista for falha o induzirá ao erro (KÖHNLEIN; PEDUZZI, 2002).

Köhnlein e Peduzzi (2002), no mesmo artigo supracitado, apresentam os resultados de uma pesquisa com estudantes de licenciatura a respeito das visões de NdC. Eles aplicaram o questionário VNOS-C (Views of the Nature of Science, Form C) elaborado e validado por Lederman et.al. (2002). Entre as respostas obtidas, pôde-se perceber que os alunos ainda apresentam noções equivocadas de caráter verificacionista, por exemplo: que os experimentos servem para comprovar teorias ou hipóteses; que é por meio dos experimentos que se criam as teorias; que o desenvolvimento do conhecimento científico requer, necessariamente, experimentos; que as teorias não mudam, apenas são reinterpretadas de maneiras diferentes; que os experimentos são essenciais para que ocorram mudanças nas teorias; que o papel da imaginação e criatividade na Ciência é limitado, etc.

Todavia, algumas noções adequadas também são encontradas nesse estudo, por exemplo: que os experimentos servem para testar hipóteses; que o conhecimento científico pode, também, ser resultado de estudos teóricos; que nem sempre é possível fazer medidas experimentais do objeto de estudo; que as teorias científicas podem mudar ao longo do tempo por obtenção de novas evidências, seja por avanço tecnológico ou teórico; que as conclusões diferentes obtidas por pesquisadores, que analisam o mesmo conjunto de dados, é devido ao caráter singular do conhecimento de cada um; reconhecem a relevância do papel da criatividade e imaginação na construção do conhecimento científico; que a Ciência é influenciada pelos fatores sociais e culturais, que é uma construção humana (KÖHNLEIN; PEDUZZI, 2002).

Um fator preocupante, como afirmam Mengascini *et.al.* (2004) e Scheid, Boer e Oliveira (2003), é que em sala de aula essas imagens deturpadas da Ciência podem ser reproduzidas por professores que não possuem uma formação epistemológica, contribuindo para a formação de uma imagem deformada do conhecimento científico. Isso é relatado em Pérez *et al.* (2001), que faz uma síntese das noções equivocadas que são perpetuadas por professores, entre elas a ideia de uma ciência individualista e elitista, na qual os conhecimentos científicos são tidos como obras de gênios isolados e não existe um trabalho coletivo e cooperativo.

Pérez *et al.* (2001) caracterizaram o que viria a ser uma visão não deformada do trabalho científico, a partir do que se tem em comum nas diversas perspectivas e teses epistemológicas, e elencaram algumas ideias que deveriam ser evitadas, entre elas pode-se citar: a) uma noção empírico-indutivista e ateórica, na qual as observações e experimentos são entendidos como atividades neutras, livres de orientações teóricas, nas quais as teorias e hipóteses não são norteadoras da investigação; b) o emprego do “Método Científico”, que reproduz uma imagem rígida, exata e infalível do trabalho científico; c) uma visão aproblemática e ahistórica, que transmite os conhecimentos já elaborados sem mostrar os problemas que foram enfrentados para que se chegasse a eles, enfatizando somente os resultados; d) visão exclusivamente analítica, que considera o conhecimento das partes suficiente para a compreensão do todo; e) uma visão acumulativa, na qual o conhecimento científico é um processo linear, sem levar em consideração as crises e revoluções; f) uma visão individualista e elitista, que coloca o conhecimento científico como obra de gênios que elaboram os conhecimentos sozinhos; g) imagem socialmente neutra da Ciência, na qual são ignoradas as complexas relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade. Essas são as noções a respeito da NdC que, não raramente, são apresentadas por alunos e professores em diferentes níveis de ensino e que deveriam ser evitadas.

Para que os professores consigam reproduzir uma imagem adequada a respeito da NdC, primeiro precisam de uma formação epistemológica que lhes permita interpretar com criticidade os materiais que consultam no preparo de suas aulas. Pois, o livro didático, que usualmente é a principal fonte de pesquisa utilizada na preparação de aulas, reproduz a ideia da existência do método científico e é um exemplo de noção empirista-indutivista presente nesses materiais (KÖHNLEIN; PEDUZZI, 2002; FRISON, *et al.*, 2009).

Para trabalhar NdC em sala de aula o professor pode optar por duas abordagens, explícita ou implícita. De acordo com pesquisas o uso das abordagens explícitas obtém mais sucesso, independente do público alvo (ABD-EL-KHALICK; LEDERMAN,

2000b). As chances de melhorar ou propiciar noções adequadas da Natureza da Ciência podem ser maiores quando os aspectos da NdC são tratados explicitamente por meio de leituras ou instruções em HFC. O aprendizado da NdC será produto de leituras e discussões a respeito desses aspectos.

Quando os estudantes não têm uma oportunidade explícita de relacionar o exemplo histórico à elementos da NdC, eles possivelmente irão ouvir e considerar interessantes eventuais relatos a respeito da História da Ciência, mas não os tomarão como exemplos esclarecedores (MCCOMAS, 2008).

A abordagem implícita também atinge os objetivos, porém em escala menor, pois como não são colocados de forma explícita os aspectos a serem discutidos, os estudantes podem não perceber. A forma de aprendizado a respeito da NdC em abordagens implícitas se dá na prática do fazer ciência.

Em sua maioria, as abordagens que utilizam uma abordagem implícita se apoiam na ideia de que fazendo pesquisas e desenvolvendo habilidades próprias para uma atividade científica, os alunos construirão uma imagem adequada da Ciência. Porém, pesquisas têm refutado esta ideia, uma vez que aumentar o número de disciplinas científicas, disciplinas de laboratório e aulas de História da Ciência, por si só, não garante uma mudança significativa das noções a respeito da NdC (TIAGO, 2011).

Nesta pesquisa alguns aspectos da NdC foram abordados explicitamente, dadas as investigações supracitadas que fortalecem essa escolha metodológica.

Dada a relevância de estudos dos aspectos da Natureza da Ciência, nos vários níveis de ensino, se faz evidente a necessidade de pesquisas com o propósito de testar propostas metodológicas que venham a contribuir para que estudantes, da Educação Básica ou Ensino Superior, construam noções da NdC que sejam coerentes com o consenso científico da área. Pode-se perceber, pelos estudos já realizados por pesquisadores, que as abordagens de HFC, aliadas com estratégias de ensino apropriadas, podem proporcionar aos estudantes a oportunidade de discutir a respeito desses aspectos e edificar noções adequadas em relação ao trabalho científico.

Embora exista uma vasta literatura que estimule o uso de abordagens históricas e filosóficas no Ensino de Ciências (MATHEWS, 1995; BARROS; CARVALHO, 1998; ABD-EL-KHALICK; LEDERMAN, 2000a; PÉREZ *et al*, 2001, BATISTA, 2004; BRASIL, 2006; HÖTTECKE; SILVA, 2011), assim como as orientações curriculares nacionais (BRASIL, 2006) que defendem o uso das abordagens histórico-filosóficas em defesa de uma formação crítica, o que se percebe é que ainda não há um número considerável

de trabalhos que investiguem a eficácia dessas abordagens, tanto no cenário nacional, quanto internacional (TEIXEIRA; GRECA; FREIRE, 2009, 2012; OLIVEIRA; SILVA, 2013).

Há um crescente reconhecimento da relevância da História da Ciência como auxiliar para o processo de ensino e aprendizagem das ciências. Existem bons indícios de que não é um modismo e que sua inserção é um ingrediente relevante no ensino das disciplinas de ciências, como por exemplo, no Ensino de Física (DUARTE, 2006).

Na próxima seção é feita uma discussão a respeito de abordagens histórico-filosóficas no Ensino de Física e também são apresentados os resultados de uma pesquisa feita em periódicos da área de Ensino a respeito das publicações que envolvem HFC. O objetivo desse estudo teórico, além de situar essa pesquisa, foi indicar possíveis caminhos para a construção da Unidade Didática.

1.2 HFC NO ENSINO DE FÍSICA

Quando nos referimos ao Ensino de Física, estamos conscientes dos problemas que atingem o ensino de forma geral. Em Física, especificamente, muitos alunos apresentam dificuldades de compreensão e retenção² dos conceitos, que exigem abstração, interpretação e reflexão para que sejam aprendidos pelos alunos (BATISTA, 2004). Uma das possíveis soluções são abordagens que levem em consideração a História e Filosofia da Ciência.

Batista (2004) argumenta que uma abordagem histórico-filosófica pode contribuir “para a compreensão do por que uma proposição é considerada comprovada, estabelecida como conhecimento, e como ela se relaciona com outras proposições na Física” (BATISTA, 2004, p. 473). Nessa perspectiva, assume-se que a formação, que estimula e trabalha com abordagens histórico-filosóficas, pode permitir que o professor e/ou o aluno desenvolva sua própria ideia a respeito da Ciência e de como se estabelece um conhecimento científico.

A Física deve apresentar-se, portanto, como um conjunto de competências específicas que permitam perceber e lidar com os fenômenos naturais e tecnológicos, presentes tanto no cotidiano mais imediato quanto na compreensão do universo distante, a partir de princípios, leis e modelos por ela construídos. Isso implica, também, na introdução à linguagem própria da Física, que faz uso de conceitos e terminologia bem definidos, além de suas formas de expressão, que envolvem, muitas vezes, tabelas, gráficos ou relações matemáticas. Ao mesmo tempo, a Física deve vir a ser reconhecida como um processo cuja construção

² A palavra retenção, neste texto, não está ligada à retenção mecânica, mas à retenção significativa (AUSUBEL, 2003).

ocorreu ao longo da história da humanidade, impregnado de contribuições culturais, econômicas e sociais, que vem resultando no desenvolvimento de diferentes tecnologias e, por sua vez, por elas impulsionado (BRASIL, 2002, p. 59).

Utilizar a História da Ciência pode, além de enriquecer o Ensino de Física e tornar mais interessante seu aprendizado, possibilitar uma visão da Ciência como uma construção humana. Quando se fala em Filosofia da Ciência, entende-se que a mesma tem grande relevância na construção da noção de Ciência pelos professores, refletindo nas abordagens em sala de aula (BRASIL, 2006).

Defende-se, que o desenvolvimento didático do conteúdo de Física a ser ensinado leve em consideração a história e os problemas epistemológicos do mesmo, ou seja, a abordagem pedagógica deve englobar a História, a Filosofia e a Ciência. Em alguns casos uma abordagem histórico-filosófica pode atuar como um fio condutor dos raciocínios justificando a coordenação didática dos conteúdos (BATISTA, 2004).

Espera-se que o Ensino de Física dê significado ao desenvolvimento humano, subsídios para compreender e admirar o esforço coletivo de adaptação e transformação representado pela ciência. Quando se reduz a Física a puras técnicas experimentais e matemáticas, propicia-se uma formação limitada, acrítica, sem espaço para questionamentos. Assim, o Ensino de Física não deve ignorar o desenvolvimento histórico das ideias científicas. O papel que a HFC desempenham na melhoria do ensino de Física se estabelece com a relação que esses diferentes domínios de conhecimento possuem com as estruturas cognitivas de conhecimento e com as concepções prévias (BATISTA, 2004).

A seguir apresenta-se um levantamento das publicações científicas relacionadas às investigações de abordagens histórico-filosóficas no Ensino de Física. Este estudo foi realizado com o objetivo de procurar possíveis caminhos a serem seguidos ou evitados na aplicação da Unidade Didática.

1.2.1 Publicações de Abordagens Histórico-filosóficas Empíricas no Ensino de Física.

Como citado anteriormente, são inúmeros os trabalhos publicados em eventos e periódicos que incentivam o uso da História e Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências, especialmente na disciplina de Física. Contudo, se for analisado o número de trabalhos que investigam abordagens implementadas em sala de aula, o que se percebe é que esse número é pequeno em relação ao número total de trabalhos que incluem a temática (TEIXEIRA; GRECA; FREIRE, 2009, 2012; OLIVEIRA; SILVA, 2013).

Teixeira, Greca e Freire Jr. (2012) publicaram um trabalho expondo uma revisão sistemática das pesquisas publicadas no Brasil a respeito do uso didático de História e Filosofia da Ciência no Ensino de Física. A pesquisa que esses autores fizeram englobou os principais periódicos brasileiros que publicam trabalhos em Ensino de Ciências e Ensino de Física. Foi incluída uma revista espanhola devido a proximidade dos idiomas espanhol e português e por ser bem conceituada no Brasil, estrato A1 no Qualis da Capes. A busca pelos trabalhos que abordassem o tema foi realizada diretamente nos sites dos periódicos: *Ciência & Educação (C&E)*, *Investigações em Ensino de Ciências (IENCI)*, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF)*, *Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF)*, *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (RBPEC)* e *Enseñanza de Las Ciencias (Enz)*.

A busca resultou em 160 artigos relacionados com o uso de História e Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências, desde 1984 até meados de 2011. Após essa primeira seleção, os artigos passaram por três critérios de exclusão: i) Artigos que não tratam do ensino de Física, mas sim do ensino de Ciências em geral ou de alguma disciplina específica que não seja a Física; ii) artigos de natureza teórica, sem aplicação didática; iii) artigos que tratam de aplicação em geral, produção, uso ou análise de materiais didáticos, mas sem análise de resultados da intervenção didática. Ao final restaram 14 trabalhos que foram estudados na pesquisa. Esse número representa 9% do número total de trabalhos, expondo a escassez de trabalhos que investigam a intervenção dessas abordagens em sala de aula.

Com base nesse trabalho, retomou-se a busca nos periódicos, no período de 2011 até o final de 2014 com o objetivo de obter-se uma visão geral e atual das publicações que envolvessem a temática História e Filosofia da Ciência nesse período, bem como de fazer um estudo mais detalhado dos artigos encontrados que abordassem investigações empíricas a respeito de abordagens histórico-filosóficas no ensino de Física, revelando as tendências atuais da área de pesquisa (COSTA; BATISTA, 2014).

A busca foi realizada nos mesmos periódicos (C&E, IENCI, CBEF, RBEF, RBPEC e Enz) com a inclusão da revista *Ensaio*, pois também é bem reconhecida no Brasil, apresentando estrato A2 no Qualis da Capes. A pesquisa foi realizada diretamente no site das revistas, analisando todos os números publicados nesse período. Foram selecionados os artigos com base nos títulos, resumos, palavras-chave e quando necessário em uma leitura breve do artigo.

Ao invés de utilizar os critérios de exclusão para selecionar os artigos, utilizados por Teixeira, Greca e Freire (2012), utilizou-se Unidades Temáticas, pois o objetivo

era, também, obter um panorama geral das publicações. Os artigos foram classificados nas seguintes Unidades Temáticas:

Unidade Temática 1 (UT1): Artigos que tratam do ensino de Ciências em geral, ou que tratem de alguma disciplina específica como Química, Biologia, entre outras, que não tratem da disciplina de Física.

Unidade Temática 2 (UT2): Artigos de natureza teórica, que tratem de reflexões a respeito da HFC no ensino de Física ou de considerações históricas e/ou filosóficas de conteúdos de Física.

Unidade Temática 3 (UT3): Artigos que tratem da produção, uso e análise de abordagens didáticas que trabalhavam com HFC no ensino de Física, mas que não apresentem resultados de intervenção em sala de aula.

Unidade Temática 4 (UT4): Artigos que apresentem uma intervenção didática em aulas de Física com uso de HFC, bem como os resultados dessa intervenção.

Durante a busca nos periódicos, pode-se observar que algumas revistas tinham um número significativo de publicações relacionadas à História e Filosofia da Ciência, como por exemplo, a RBEF e CBEF, como pode-se notar na tabela 01. Isso se justifica pelo fato de que elas reservam um tópico em suas edições voltado a essa temática.

Tabela 01: Artigos selecionados por ano e revista.

Ano	Número de Artigos por ano	Número de artigos por revista						
		C&E	IENCI	CBEF	RBEF	RBPEC	Enz	Ensaio
2011	25	1	3	8	11	1	1	0
2012	17	4	0	5	6	0	1	1
2013	21	1	0	4	13	0	3	0
2014	20	4	1	6	5	1	3	0
Total	83	10	4	23	35	2	8	1

Fonte: a própria autora.

Os artigos foram unitarizados nas quatro Unidades Temáticas citadas acima. a tabela 02 apresenta essa unitarização.

Tabela 02: Número de artigos, por revista, em cada Unidade Temática.

Revistas	Número de artigos por Unidade Temática			
	UT1	UT2	UT3	UT4
C&E	4	3	1	2
IENCI	3	1	0	0

CBEF	2	17	2	2
RBEF	0	32	2	1
RBPEC	2	0	0	0
Enz	6	2	0	0
Ensaio	1	0	0	0
Total	18 (21,7%)	55 (66,3%)	5 (6,0%)	5 (6,0%)

Fonte: a própria autora.

Nota-se que, nem sempre um número considerável de publicações que aborda a temática implica em um número proporcional delas que investiguem intervenções em sala de aula. Como exemplo, a revista RBEF que publicou o maior número de trabalhos na temática, 35 artigos, mas apresentou apenas um artigo a respeito de intervenções didáticas com abordagens histórico-filosóficas no Ensino de Física. As revistas C&E, IENCI, Enz, Ensaio e RBPEC apresentaram índices relativos altos na UT1, isso se justifica pelo fato de serem voltadas ao ensino de Ciências como um todo, envolvendo as demais disciplinas e a disciplina de Ciências. Já as revistas CBEF e RBEF por serem específicas da área de Física, publicam um número menor de trabalhos que não tenham como foco a área de Física, assim, seus artigos se encaixaram, em sua maioria, na UT2, a qual comporta os artigos de natureza teórica.

Na UT1, com uma taxa percentual de 21,7%, têm-se os artigos que abordam a temática HFC, mas que não tratam da disciplina de Física e sim das disciplinas de Química, Biologia, Matemática ou Ciências.

Percebe-se uma elevada porcentagem de artigos na UT2. Nessa unidade o número maior de artigos é referente a conteúdos de Física, em que o conteúdo é exposto levando em consideração uma investigação histórica e/ou filosófica, somando 45 artigos dos 55 artigos da categoria. Isso se dá pelo fato das revistas CBEF e RBEF apresentarem um tópico em suas edições reservado para a temática, na RBEF se chama História da Física e Ciências afins e no CBEF se chama História e Filosofia da Ciência. Assim, tem-se um número relativamente grande de publicações que abordam conceitos físicos com viés histórico e/ou filosófico.

Ainda prevalece escasso o número de publicações que investigam a construção e aplicação de abordagens histórico-filosóficas no ensino de Física, representando 12,0% do total de artigos, sendo que 6,0% apenas investigam a produção e análise de abordagens didáticas (UT3) e 6,0% investigam além da produção e análise dessas abordagens os resultados da intervenção em sala de aula (UT4). Esses números são pequenos levando em

consideração a vasta literatura que estimula o uso de HFC no ensino das ciências e em específico na disciplina de Física.

Esse resultado corrobora com o que Teixeira, Greca e Freire Jr. (2012) constataram em sua pesquisa nos anos anteriores, em que somente 14 (8,75%) dos 160 artigos selecionados tratavam de pesquisas empíricas que investigavam a intervenção didática em sala de aula. Segundo Carvalho e Vannucchi (1996), há uma discrepância entre o que se sugere em eventos e o que se pratica em sala da aula. Pois, mesmo existindo uma variedade de propostas curriculares, que incluem o uso de HFC, sugeridas em eventos e literatura especializada, não é o que se vem observando em resultados de pesquisas e em sala de aula.

Em relação aos artigos que abordaram estudos empíricos de abordagens histórico-filosóficas, após uma leitura mais detalhada, percebeu-se que todos apresentaram resultados positivos. Dos cinco artigos, apresentados no Apêndice C, quatro deles sugeriram que houve uma mudança de ideias quanto a Natureza da Ciência, levando os alunos a apresentarem noções menos ingênuas a respeito do assunto. Isso é um ponto significativo, pois de acordo com Pérez *et al.* (2001) uma compreensão adequada do trabalho científico é de interesse, principalmente para os futuros formadores que tem como responsabilidade levar o conhecimento científico aos seus alunos que, como todos, estão imersos num mundo no qual a ciência e a tecnologia são fundamentais. Assim, abordagens que possibilitem discussões a respeito do desenvolvimento do conhecimento científico colaboram para uma imagem não deformada do fazer ciência.

Também percebeu-se nos trabalhos que os alunos apresentaram indícios de compreensão adequada dos conteúdos físicos. Isso por que as abordagens que levam em consideração a História e/ou a Filosofia da Ciência podem contribuir na compreensão dos conceitos de uma disciplina específica, o que significa, em outras palavras, “contribuir para a superação do mar de falta de significação que se diz ter inundado as aulas de ciências, onde fórmulas e equações são recitadas sem que muitos cheguem a saber o que significam” (MATTHEWS, 1995, p. 165).

As abordagens histórico-filosóficas também apresentam algumas limitações. Nos artigos que investigaram com foco no Ensino Médio percebeu-se que alguns alunos são resistentes a leituras, demonstrando falta de interesse. Outra limitação é a receptividade de alguns alunos, que por estarem acostumados a estudar com abordagens tradicionais demonstram certo receio. Porém, no geral a aceitação das abordagens, tanto no Ensino Médio quanto no Ensino Superior foi positiva.

Os resultados mostram que abordagens didáticas que fazem uso de HFC no ensino devem ser objeto de pesquisa na área, a fim de que se possa afirmar com mais segurança o sucesso dessas abordagens em sala de aula, bem como suas delimitações. Afinal, há poucos trabalhos que tratam da investigação empírica na prática de ensino.

E, de acordo com Peduzzi, “é, sem dúvida, a pesquisa, em condições de sala de aula e com materiais históricos apropriados, de boa qualidade, que vai referendar ou refutar afirmações” (2001, p. 157). Esta pesquisa vem ao encontro dessa necessidade, na qual objetiva-se avaliar uma abordagem histórico-didática no Ensino Médio, contemplando tópicos de Física Moderna. Tanto a inserção de HFC quanto a Física Moderna, no ensino, tendem a contribuir para que os estudantes vejam a Física como uma ciência que corresponde a uma imagem real e abrangente do trabalho científico (PÉREZ; SENET; SOLBES, 1987).

No próximo capítulo é realizada uma discussão em relação à inserção de tópicos de Física Moderna no Ensino Médio e apresentado um texto teórico-conceitual que contempla a questão: De que é feita a matéria que compõe o Universo? O texto aborda o tema Partículas Elementares, que foi o assunto escolhido para construção da Unidade Didática.

2. FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO

O termo “Física Moderna” refere-se à Física que deu seus “primeiros passos” no final do século XIX e que obteve grande estruturação principalmente nas primeiras três décadas do século XX. A passagem da Física Clássica para a Física Moderna foi realizada por meio de uma grande ruptura, iniciada por vários estudos que deslocaram a atenção do macro para o micro, dando início às investigações a respeito da estrutura da matéria.

Os conhecimentos construídos nesse período foram, a maioria, incorporados a tecnologias que, muitas vezes, se fazem presentes no dia a dia. Assuntos relacionados à Física Moderna estão constantemente sendo vinculados pelas mídias impressas, ou analógicas. Isso faz com que alguns estudantes levantem algumas indagações a respeito, como por exemplo: Como funciona um celular? O que é uma bomba atômica? Quais os riscos e utilidades da energia nuclear? O que é um LHC? O que são quarks? O que é supercondutividade? Como funciona a nanotecnologia? Entre outras curiosidades.

Todavia, o Ensino de Ciências, em especial o ensino de Física no Ensino Médio, não acompanha todo esse desenvolvimento e se distancia cada vez mais das necessidades dos alunos em relação ao estudo de conhecimentos científicos atuais (OLIVEIRA; VIANNA; GERBASSI, 2007).

A inserção de Física Moderna no Ensino Médio é apontada como sugestão para atualização do currículo escolar e para propiciar uma aproximação entre a física que se ensina em sala de aula e as tecnologias presentes no cotidiano do aluno (TERRAZZAN, 1992; PÉREZ; SENENT; SOLBES, 1998; MOREIRA; VALADARES, 1998; PINTO; ZANETIC, 1999; OSTERMANN; CAVALCANTI, 1999; OSTERMANN; MOREIRA, 2001).

É indispensável que o aluno tome conhecimento dos fundamentos da tecnologia atual, pois além de estar presente no seu dia a dia ela também pode definir seu futuro profissional. Situa-se aí a relevância da inserção de tópicos de Física Moderna no Ensino Médio. É uma possibilidade de contextualizar a Física estudada em sala de aula e o cotidiano do aluno, o que faz com que eles se sintam motivados e passem a ver o mundo a sua volta com outro olhar.

Terrazzan (1992) faz uma crítica aos currículos de Física, que em termos de Ensino Médio são muito pobres e todos semelhantes. Nos quais a Física que é ensinada fica demasiadamente concentrada nos conhecimentos científicos construídos em séculos passados e pouco evidencia a Ciência deste século. O que pode-se esperar de uma formação que está defasada no tempo? Mesmo tratando-se de uma crítica feita há vários anos, o que se percebe é

que a realidade não mudou muito desde então. Porém, colocar essas reflexões em prática na sala de aula ainda é um desafio.

Haja vista que a Física do Ensino Médio pode ser o último contato que alguns alunos terão com essa ciência, ela deve prepará-los para interpretar e compreender o mundo que os cerca, prontos para participar na sociedade sem serem vítimas de charlatões que prometem milagres com utensílios “quânticos”. A Física, em especial a Física Moderna, pode fornecer explicações e uma compreensão adequada do mundo, informatizado e industrializado, que se vive.

Mas quais os tópicos de Física Moderna que seriam relevantes para discutir no Ensino Médio? Ostermann e Moreira (2000) estabeleceram um consenso de físicos, pesquisadores em Ensino de Física e professores do Ensino Médio elaboraram uma lista com o objetivo de elencar alguns tópicos de Física Moderna que deveriam ser abordados no Ensino Médio com a finalidade de atualizar o currículo de Física. Entre os tópicos estão: efeito fotoelétrico, átomo de Bohr, leis de conservação, radioatividade, forças fundamentais, dualidade onda-partícula, fissão e fusão nuclear, origem do universo, raios-X, metais e isolantes, semicondutores, partículas elementares, relatividade restrita, *big bang*, estrutura molecular e fibras ópticas.

A abordagem desses assuntos em sala de aula pode proporcionar uma atualização no currículo de Física, bem como um ensino contextualizado, próximo das necessidades e curiosidades dos alunos.

O ensino contextualizado também é defendido nos documentos oficiais que contêm os princípios norteadores da educação nacional, uma vez que a contextualização problematiza a realidade vivida pelo aluno. É interessante para ele trazer o mundo abstrato da Física para o mundo construído com suas próprias experiências. De acordo com Brasil (2006),

a maioria dos adolescentes já deve ter se perguntado por que o céu é azul? Como as informações são transportadas pelas ondas de rádio? Por que as coisas possuem cores diferentes? Como se forma o arco-íris? Buscar respostas a essas perguntas contribui para o aprendizado em diversos aspectos (BRASIL, 2006, p. 61).

Além disso, alguns estudos realizados com alunos dos primeiros anos do curso de graduação em Física, indicam que o que mais os influenciou a optarem pelo curso de Física foi a curiosidade a respeito de assuntos relacionados à Física Moderna, como relatividade restrita, partículas elementares, teoria quântica e astronomia (STANNARD, 1990; KALMUS, 1992; SWINBANK, 1992).

Esse é mais um dos motivos para a inserção de tópicos de Física Moderna no Ensino Médio, pois é uma das formas de atrair cada vez mais os jovens para a carreira científica. De acordo com Ostermann e Cavalcanti (1999),

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 um empreendimento humano e, portanto, mais próxima a eles. Além disso, uma boa formação científica faz parte de um pleno exercício da cidadania (OSTERMANN; CAVALCANTI, 1999, p. 267).

A motivação e a atração perante esses temas levam os alunos a estudar os problemas conceituais ainda existentes na Física Moderna, que os coloca diante de uma ciência na qual nem tudo é conhecido ou compreendido, modificando sua maneira de olhar a Física e de forma geral a construção do conhecimento científico.

Ainda nessa perspectiva, acredita-se que o ensino de Física Moderna para alunos do Ensino Médio assume um papel relevante, uma vez que a introdução de conceitos atuais de Física pode contribuir para uma imagem mais adequada desta ciência e da própria natureza do trabalho científico (PÉREZ; SENENT; SOLBES, 1987,1988; PÉREZ; SOLBES; 1993). Essa imagem deve superar a visão linear, puramente cumulativa do desenvolvimento científico.

Além das justificativas já mencionadas, Pinto e Zanetic (1999) defendem um ensino que não contemple a Física Moderna apenas a título de curiosidade, mas como uma Física que surge para explicar fenômenos que a Física Clássica não consegue explicar, constituindo uma nova visão do mundo.

Há distintas recomendações de posturas metodológicas com o propósito de viabilizar a introdução de Física Moderna, tanto na Educação Básica, quanto na formação de profissionais. Por exemplo, Fischer e Lichtfeldt (1993) propõem a não utilização de referência aos modelos semiclássicos. Eles argumentam que as referências aos modelos da Física Clássica poderão se tornar obstáculos para a aprendizagem conceitual.

Já, Pérez e Solbes (1993) defendem que a inserção de Física Moderna, na Educação Básica, seja feita por meio da evolução histórica dos conceitos e que os limites da Física Clássica sejam debatidos, para deixar claros os limites de validade da mesma com a finalidade de proporcionar um entendimento a respeito da construção da ciência moderna.

Quanto à opinião dos professores, da Educação Básica, a respeito da inserção de Física Moderna, a maioria deles concorda com a relevância desses estudos. Entretanto, ainda é a minoria que implementa discussões em relação aos tópicos de Física

Moderna em seus planejamentos e em sua sala de aula (MACHADO; NARDI, 2003; OLIVEIRA; VIANNA; GERBASSI, 2007).

Monteiro, Nardi e Bastos Filhos (2009), em uma pesquisa que investigou a relevância que professores de Física atribuem à questão, bem como as perspectivas, possibilidades e dificuldades que eles enfrentam ao abordar o tema em sala de aula. O que perceberam é que mesmo evidenciando a relevância desses temas, os mesmos não se mostram entusiasmados, o que se percebeu por meio de registros foram as marcas de uma formação pautada em perspectivas teóricas e racionalidade técnica o que inviabilizou uma compreensão satisfatória do próprio objeto de conhecimento.

De acordo com esse perfil de professores, se faz necessário discussões a respeito da formação profissional e seria pertinente que se refletisse a respeito das palavras de Lévy-Leblond:

Assim, em vez de querer modernizar a todo custo os conteúdos específicos do ensino científico, parece-me muito mais urgente levar os alunos à compreensão do que é realmente Ciência, de seus processos de trabalho, seus desafios epistemológicos, suas implicações sociais. (LÉVY-LEBLOND, 2002, p. 72, Apud MONTEIRO; NARDI; BASTOS FILHOS, 2007, P. 576).

Refletindo a respeito dessas palavras, reforça-se a relevância desta investigação, que procura, além de discutir conhecimentos científicos, a construção de noções adequadas em relação à natureza do conhecimento científico.

Nesta pesquisa optou-se por trabalhar com um tema de Física de Partículas e por meio dele discutir a ideia de Partículas Elementares e elementos da NdC. Em seguida, se justifica a escolha do tema por estar entre indicativos de resultados de pesquisa da área.

2.1 FÍSICA DE PARTÍCULAS NO ENSINO MÉDIO.

Os tópicos de Física Moderna, bem como os tópicos que se relacionam com a estrutura da matéria, são contemplados nos documentos oficiais que regulamentam a Educação Básica. Porém, é relevante explicitar que esses documentos não devem ser encarados sem criticidade, uma vez que o ideal é que sejam reflexos de indicativos de resultados de pesquisa. A seguir são descritas algumas partes de documentos oficiais que refletem alguns desses indicativos.

Nas Orientações Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais, um dos objetivos da unidade temática *Compreensão humana do Universo*, contida no tema *Universo Terra e Vida* é “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).

No Caderno de Expectativas de Aprendizagem, do estado do Paraná, são contempladas as expectativas em relação aos conteúdos estruturantes e aos conteúdos associados a estes. Dentre as expectativas, as 64, 65, 66 e 67 se referem especificamente à natureza da matéria, Partículas Elementares, Modelo Padrão e as interações fundamentais. Espera-se que ao final do Ensino Médio o aluno:

64. Compreenda os modelos concebidos para o átomo como uma possibilidade de interpretação da natureza da matéria, tendo em vista a ciência como um processo histórico e em construção e como uma tentativa humana de representação e entendimento da realidade em diferentes momentos históricos, concebendo o átomo como divisível e não como o constituinte elementar da matéria.

65. Compreenda a estrutura da matéria em termos de partículas elementares, identificando o que e quais são essas partículas e classificando-as segundo seus atributos físicos, por exemplo, carga, massa e spin.

66. Compreenda o modelo padrão como uma “teoria construída” na busca por uma unificação das interações fundamentais que supõe a existência de simetrias (por exemplo, partículas e antipartículas), porém ainda em construção.

67. Aprenda as interações fundamentais: gravitacional, eletromagnética, forte (nuclear ou hadrônico) e fraca, buscando estabelecer relações entre elas e entendendo-as como uma busca teórica na unificação das forças fundamentais da natureza. (PARANÁ, 2012, p. 48)

O Caderno de Expectativas de Aprendizagem é resultado de uma das etapas de implementação das Diretrizes Curriculares Orientadoras de Educação Básica para a Rede Estadual do Paraná. Trata-se de uma elaboração coletiva, contando com as contribuições de professores e de técnicos-pedagógicos que atuam nos Núcleos Regionais da Educação, com o objetivo de proporcionar o direito à educação com qualidade e equidade. Assim, essas Expectativas de Aprendizagem expressam aquilo que é essencial ao aluno conhecer ao final de cada ano do Ensino Fundamental e Ensino Médio.

Estudos anteriores, (ROCHA, 2011; PINHEIRO, 2011; CALHEIRO; GARCIA; GOMES, 2014), indicam que a maioria dos estudantes do Ensino Médio não apresenta noções adequadas em relação aos temas: Modelo Atômico, Partículas Elementares e Modelo Padrão. O que revela a necessidade de pesquisas que sugiram alternativas para abordagens dessas temáticas em sala de aula.

Amparados pela vasta literatura e documentos oficiais que incentivam a inserção de Física Moderna no Ensino Médio, espera-se que os professores implementem esses estudos em sala de aula. Quanto às maneiras como o professor deveria abordar esses tópicos, Terrazzan (1994) defende que deva existir uma abertura para que os professores escolham as metodologias que considerarem adequadas a cada tópico. Contudo, destaca o

papel da História da Ciência no ensino desses tópicos e a utilização de experiências de pensamento como recurso didático para a construção dos conceitos.

Além do mais, de acordo com Rinaldi e Guerra (2011), uma abordagem envolvendo HFC pode capacitar o aluno a perceber a construção da Ciência e da tecnologia ao longo da história, que pode ser uma alternativa para diminuir o distanciamento entre usuário e as tecnologias. Nessa perspectiva,

essa abordagem permitiria discutir com os alunos que os conhecimentos científicos não foram construídos por gênios especiais desligados do mundo, que não se constituem em conhecimentos repletos de verdades inquestionáveis, mas que isso não faz com que a produção científica, por exemplo, não tenha validade e não traga respostas a muitos problemas com os quais o homem se defrontou ao longo de sua existência (RINALDI; GUERRA, 2011, p. 655).

Com o objetivo de abordar o tema *Partículas Elementares*, contemplado em uma abordagem histórico-filosófica, foi elaborado um texto teórico-conceitual a respeito do tema. Percebeu-se a necessidade de um material de apoio para Unidade Didática, que fizesse uma breve explanação dos conteúdos levando em consideração alguns episódios históricos que fornecessem oportunidades para uma discussão de aspectos da Natureza da Ciência relacionados ao questionário utilizado na pesquisa. Além da oportunidade de elaborar um material que levasse em consideração princípios da Aprendizagem Significativa, por exemplo, hierarquização dos conteúdos, diferenciação progressiva e reconciliação integradora.

Não se pretende, neste texto, tratar da ontologia do conceito de Partículas Elementares, uma vez que isso levaria a discussões de objetos quânticos e ainda não se sabe de que forma essa discussão a respeito da ontologia e epistemologia do conceito pode ser levada para sala de aula. Esse impasse se configura como um problema de pesquisa ainda em aberto.

Também é relevante explicar a maneira como ocorreu a junção de HFC e Aprendizagem Significativa. No texto teórico conceitual utilizamos a HFC por meio da inserção dos episódios históricos que permitissem a discussão de elementos da NdC utilizamos a Aprendizagem Significativa para estruturar a apresentação dos conteúdos.

A ideia é que o texto seja um material de apoio para os professores e não para os alunos, uma vez que nem sempre a linguagem é acessível ao nível dos alunos, por exemplo, quando surgem termos técnicos específicos da Física Quântica. O propósito é que esse material seja uma fonte de informações a respeito do tema Partículas Elementares e inspire os professores no preparo de aulas referentes aos assuntos contemplados neste texto.

Com essa finalidade, eventualmente serão indicados alguns recursos didáticos úteis na explanação dos conteúdos.

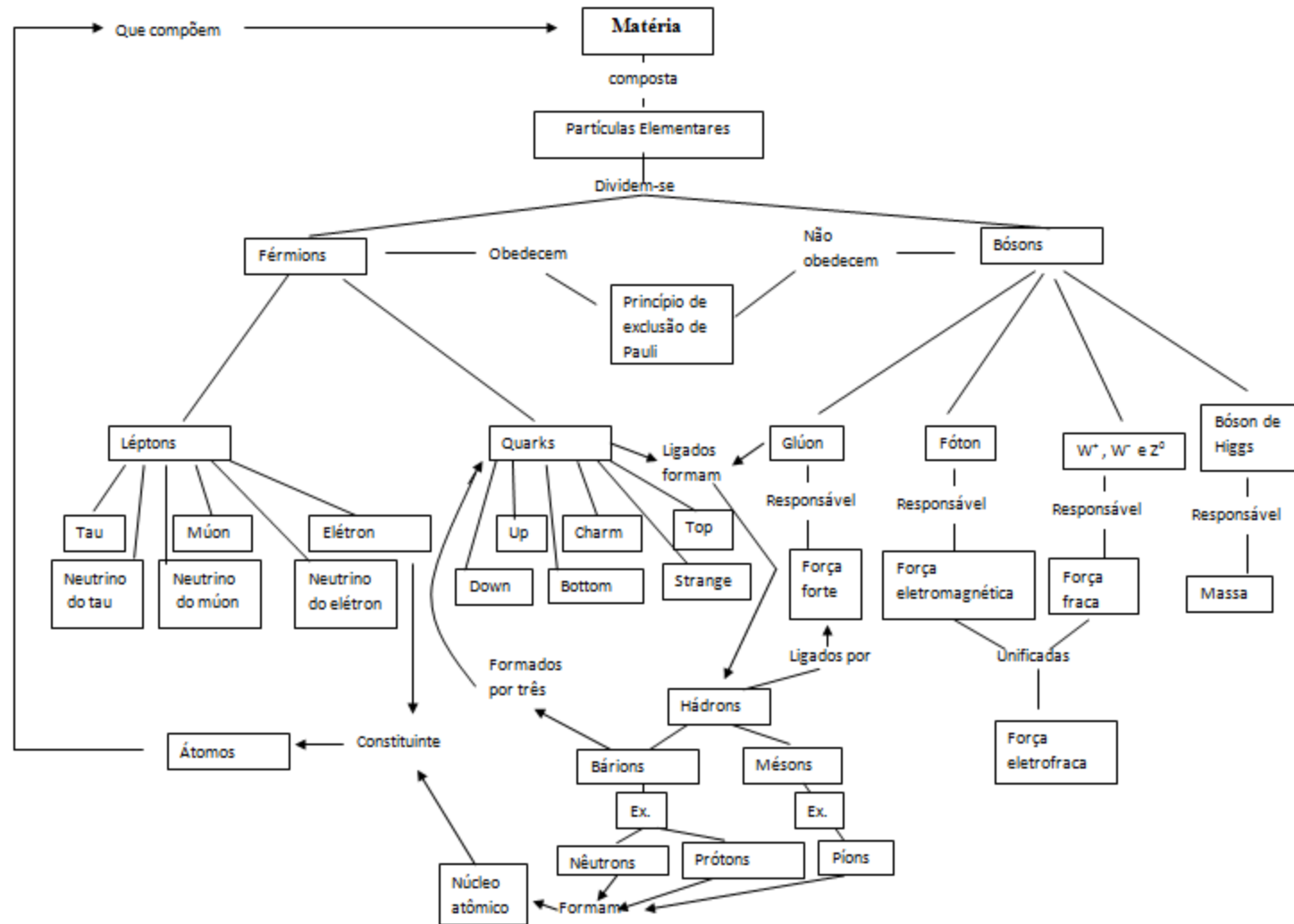
Vale ressaltar que existem outros textos, já elaborados, que podem servir de base para uma aproximação dos professores com o tema, como por exemplo: *Um texto para professores do Ensino Médio sobre Partículas Elementares* (OSTERMANN, 1999), *Um Pôster para ensinar Física de Partículas na escola* (OSTERMANN; CAVALCANTI, 2001), *Sobre o Discreto Charme das Partículas Elementares* (ABDALLA, 2005), além de outros trabalhos que trataram do assunto.

O texto elaborado, reproduzido na próxima seção, também, poderá servir de base para que os professores se familiarizem com o conteúdo. O texto contempla a questão: *De que é feita a matéria que compõe o Universo?* Contemplando desde as primeiras explicações dadas a essa questão até as evidências do Bóson de Higgs.

Em notas de rodapé serão indicados alguns recursos multimídias, bem como alguns questionamentos que podem ser úteis na discussão dos conteúdos.

Antes de iniciar a seção seguinte será apresentado um Mapa Conceitual, elaborado pela pesquisadora, que busca responder o questionamento acima e facilitar a compreensão do texto teórico conceitual.

Figura 01: Mapa Conceitual elaborado pela pesquisadora a respeito da constituição da matéria.



Fonte: a própria autora.

2.2 PARTÍCULAS ELEMENTARES

De que é feito o Universo³? Como ele se mantém unido? O que é uma partícula elementar? Como é a estrutura da matéria? Questões como estas motivaram muitos estudos em busca de respostas que nos dissessem algo a respeito da composição do Universo.

Com o passar do tempo diferentes civilizações tentaram responder algumas dessas questões. Na maioria das vezes suas explicações eram mitológicas. Aos poucos com o enfraquecimento dos mitos e da religião em algumas civilizações, surgiu o pensamento filosófico. Os primeiros filósofos acreditavam que existiria um elemento primordial, e que deste todas as outras coisas seriam constituídas. Chamavam esse elemento de *arqué* (que em grego significa princípio). Toda a matéria se constituiria e iria se decompor nesse elemento. Porém, não havia um consenso entre eles a respeito de que elemento seria esse (MARTINS, 1994).

Tales de Mileto (624-546 a.C.) propunha que tudo poderia ser composto por um único elemento, a água, pois os animais e sementes precisam de água para existir. Anaximandro de Mileto (610 – 547 a.C.) tinha como elemento primordial o *ápeiron*, que quer dizer indefinido, todas as coisas surgiriam dele e a ele retornariam. O *ápeiron* seria infinito, ocupando todo o espaço e todas as coisas. Anaxímenes de Mileto (585 – 524 a.C.) acreditava que o elemento fundamental seria o ar, pois ao impedir um ser vivo de respirar, este morre. Na visão de Anaxímenes o ar, ao se tornar rarefeito, produziria o fogo e ao se tornar mais denso produziria as nuvens, água, terra e rochas. Já, Xenófanes da Jônia (570 - 460 a.C.) tinha a terra como elemento principal. Heráclito de Éfeso defendia o fogo como elemento a partir do qual os demais se compunham. Por fim, Empédocles (481 – 421 a.C.) é considerado o primeiro filósofo a tomar os quatro elementos (água, ar, terra e fogo) como a origem de todas as coisas. Esses elementos se agrupariam em diferentes porções e seriam responsáveis por formar as plantas, animais e tudo o que conhecemos. A partir daí, passou-se a aceitar que seriam esses os elementos fundamentais: água, ar, terra e fogo (ABDALLA, 2006; MARTINS, 1994). Essa explicação foi aceita, na época, sem muita resistência.

³ Esse questionamento se mostrou eficiente para instigar a curiosidade dos alunos em relação ao tema previsto na Unidade Didática. Antes de iniciar explicações a respeito desse questionamento recomenda-se utilizar organizadores prévios para promover discussões iniciais a respeito do que será estudado. Isso ajudará a identificar os conhecimentos prévios e permitirá que os alunos tenham um primeiro contato com os conteúdos. Nesta Unidade foram utilizados dois recursos, um vídeo que trata do tema Partículas Elementares e da relevância de estudar a constituição da matéria (Disponível em: <http://univesptv.cmais.com.br/licenciatura-em-ciencias-particulas-elementares>) e uma animação computacional para discutir as escalas micro e macroscópica (Disponível em: <http://htwins.net/scale2/lang.html>).

Conterrâneo de Empédocles, Demócrito de Abdera (460-371 a.C.) desenvolveu a teoria atomista, criada por Leucipo de Mileto (470 – 420 a.C.), a qual propunha que a matéria era composta por partículas pequenas que não poderiam ser divididas ou quebradas. Todas as coisas seriam formadas quando os átomos se reunissem e seriam destruídas quando esses átomos fossem separados. Os átomos poderiam ter diversas formas e tamanhos, mas todos seriam pequenos a ponto de não serem observados diretamente, existiriam em abundância no universo capazes de formar todo tipo de objeto e mundos em um processo aleatório. Outros atomistas da época foram Epicuro de Samos (342 – 270 a.C.) e Lucrécio (98 – 55 a.C.). É de Epicuro o mais antigo texto atomista original completo que se conservou. Defendendo a ideia do vazio, Epicuro argumenta que se existisse somente matéria as coisas não teriam como se mover, pois todo o lugar estaria cheio de matéria. Lucrécio adiciona outros argumentos como exemplos que mostram que a matéria pode atravessar a matéria (umidade é capaz de atravessar rochas), isso só seria possível se houvesse espaços vazios dentro do que parece ser sólido. Entretanto, como na época não tinham como demonstrar experimentalmente as hipóteses do atomismo, muitos não a adotaram. (ABDALLA, 2006; MARTINS, 1994).

As noções a respeito do átomo foram mudando ao longo dos tempos, de início, Leucipo e Demócrito propunham que toda matéria seria formada por átomos, estes seriam indivisíveis e não possuíam outras características além do tamanho e forma geométrica. Epicuro também assumia o átomo com as características supracitadas, porém, atribuiu-lhes outra propriedade, o peso. A versão da teoria atomista de Epicuro foi divulgada por Lucrécio em sua obra *De rerum natura* (Da Natureza das Coisas). Foram as obras de Lucrécio, encontradas pelo estudioso Poggio Bracciolini em 1417, que permitiram a difusão do atomismo na Europa renascentista (PORTO, 2013).

Giordano Bruno foi um dos personagens renomados do renascimento do atomismo, antes que a teoria se estabelecesse no pensamento científico. Ele concebeu um universo infinito, formado por átomos em movimento e uma alma universal. Também, Pierre Gassendi (1592 -1655) fez uso da perspectiva atomista para criticar o cartesianismo. Ele fez uma tentativa de conciliar a atomismo com o cristianismo, eliminando aspectos que conflitavam com a religião cristã. Na sua versão, os átomos não eram eternos, seriam criados e destruídos por Deus, suas colisões e movimentos não seguiam uma aleatoriedade, mas seriam frutos de uma intervenção divina (PORTO, 2013). Galileu Galilei, em seu livro *II Saggiatore* (O Ensaíador), também defendeu a universalidade da matéria, sendo a mesma um agregado de unidades materiais. No século XVII, o atomismo é aderido por Christiaan

Huygens, Robert Hooke, Robert Boyle, Isaac Newton, entre outros (BATISTA, 1993; VIANA, 2007; VIANA, PORTO, 2007; PORTO, 2013).

Newton utilizou o atomismo para explicar eventos ocorridos em escalas microscópicas, sua hipótese era que da mesma forma que existia uma força entre dois planetas, que dependia, dentre outros fatores, da distância entre eles, também poderia existir uma força entre duas partículas microscópicas. As partículas, segundo Newton, seriam estáticas e as mudanças de condições provocariam o movimento, assim, os estados da matéria dependeriam das posições relativas das partículas (FLEMING, 1974, apud VIANA, 2007). Newton aceitou o atomismo sem se preocupar com a origem ou composição do átomo, ele estava interessado na forma de interação da matéria e não em sua composição (OSTERMANN, 1999).

John Dalton, no século XIX, tenta explicar a solidificação da água utilizando as ideias de corpuscularismo de Newton. Dalton propôs que a matéria seria composta por átomos esféricos e sólidos, que seriam as menores partículas existentes na natureza. Ele elaborou um modelo atômico⁴, no qual o átomo era considerado uma esfera maciça, impenetrável, indivisível, indestrutível e neutro. Ao que parece, as noções atomistas de Dalton derivaram do livro *Opticks* de Newton, que em parte da obra se expressa da seguinte maneira:

Parece-me provável que Deus, no início, formou a matéria em partículas sólidas, maciças, duras, impenetráveis e móveis, de tamanhos e formatos tais, e com tais outras propriedades, e em tal proporção, de modo a melhor conduzi-las à finalidade para a qual ele as formou; e que essas partículas primitivas, sendo sólidas, são incomparavelmente mais duras do que quaisquer corpos porosos compostos por elas. São tão duras que nunca se desgastariam ou se quebrariam. Nenhum poder comum seria capaz de dividir o que o próprio Deus fez Um, na primeira criação (NEWTON, 2002 [1704], p. 290).

Com os laboratórios e instrumentos da época, os testes do modelo atômico de Dalton tinham o átomo como uma partícula elementar, pois nada se sabia a respeito de sua estrutura interna.

No final do século XIX, com os estudos de Faraday, Coulomb, Ampère, Oersted, Dalton, entre outros, observou-se que o átomo não era indivisível e que existia uma partícula em seu interior, o elétron. A seguir, com o esforço de físicos teóricos e

⁴ Com a ideia de discutir as construções de modelos atômicos, recomenda-se discutir a evolução das ideias que levaram à constituição do modelo atômico atual. Para iniciar essa discussão pode-se falar a respeito do modelo de Dalton e pedir para que os alunos fiquem atentos às mudanças que virão pela frente. Utilizamos um vídeo (Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=58xkET9F7MY>) editado no Movie Maker e que traz uma representação deste modelo. Aconselha-se a edição de alguns vídeos, pois eles podem conter imprecisões histórico-filosóficas, ou serem demasiadamente longos e com trechos que não interessam para as discussões.

experimentais os resultados foram evidências de novas partículas, que passo a passo foram tornando mais claras e coerentes as explicações a respeito da estrutura da matéria (OSTERMANN, 1999).

A teoria do Modelo Padrão é a mais aceita pela comunidade científica atual para descrever a estrutura da matéria, ela identifica as partículas elementares e a maneira como interagem. Define-se como partícula elementar⁵ aquela que não possui estrutura interna. De acordo com a teoria, a matéria é composta por dois grupos, os férmions e bósons.

Em 1926, Enrico Fermi incorporou o Princípio de Pauli⁶ à Mecânica Estatística e obteve uma nova estatística que, assim com a estatística de Bose-Einstein, se aplicava na natureza. Com a definição de spin⁷ como número quântico, em 1927, foi possível, mais tarde, efetuar a divisão das partículas existentes em dois grupos, os férmions e os bósons. Pauli, em 1940, apresentou a justificativa de resultados empíricos obtidos anteriormente, na qual as partículas de spin inteiro obedeceriam à estatística de Bose-Einstein e as partículas de spin semi-inteiro obedeceriam à estatística de Fermi. Assim, as partículas que apresentam spin semi-inteiro são classificadas no grupo dos férmions e as que possuem spin inteiro são classificadas no grupo dos bósons.

Os férmions são compostos por outros dois grupos, léptons e quarks. Os léptons são encontrados livremente, porém os quarks são observados somente em combinações de quarks ou de quarks e antiquarks. A combinação de três quarks ligados por glúons formam os bárions e a combinação de um quark e um antiquark ligados por glúons originam os mésons. Os mésons e bárions formam o grupo dos hádrons. Os bárions mais conhecidos são os prótons e nêutrons, que ligados por mésons formam o núcleo atômico, que por sua vez, ligados por fótons aos elétrons formam os átomos.

Já os bósons, são partículas de spin inteiro que se responsabilizam pelas interações fundamentais: interação forte, interação fraca, interação eletromagnética e interação gravitacional. As partículas mediadoras da força forte são os glúons, da força fraca

⁵ Recomenda-se que seja feita uma discussão e relação às representações do termo “Partículas Elementares”, pois os alunos imaginam que são objetos massivos e concretos. Para discutir essa questão foi feita uma atividade de “adoção de partículas”, descrita no capítulo 04. É necessário deixar claro que as representações que existem a respeito das partículas atômicas são pictóricas, que não é possível vê-las ou tocá-las.

⁶Férmions são partículas de spin semi-inteiro, que obedecem ao Princípio de Exclusão de Pauli e a Estatística de Fermi-Dirac. O Princípio de exclusão de Pauli afirma que dois férmions não podem apresentar números quânticos idênticos. A Estatística de Fermi-Dirac afirma que as partículas vão se posicionando desde o nível mais baixo de energia até o mais alto (BATISTA, 2001, ABDALLA, 2006).

⁷“Spin é um dos números quânticos característicos das partículas elementares. É a propriedade associada ao movimento de rotação devido à velocidade angular em torno do seu próprio eixo e que independe da sua velocidade linear” (ABDALLA, 2006, p. 30).

os bósons W^+ , W^- e Z^0 , da interação eletromagnética os fótons e da interação gravitacional os grávitons. Destas, somente o gráviton ainda não foi detectado experimentalmente.

Todo esse conhecimento demorou a ser construído e contou com a colaboração de vários cientistas, que instigados por problemas de pesquisa de sua época levantaram hipóteses e buscaram testá-las.

2.2.1 Férmions

Férmions são partículas de spin semi-inteiro, que obedecem ao Princípio de Exclusão de Pauli e a Estatística de Fermi-Dirac. O Princípio de exclusão de Pauli afirma que dois férmions não podem apresentar números quânticos idênticos. A Estatística de Fermi-Dirac afirma que as partículas vão se posicionando desde o nível mais baixo de energia até o mais alto. No grupo dos férmions há 12 tipos diferentes de partículas, que também podem ser interpretados como 12 “sabores”⁸ diferentes, sendo seis léptons e seis quarks. Vale ressaltar que para cada partícula tem-se associada uma antipartícula.

2.2.1.1 Léptons

A família dos léptons é formada por seis partículas e suas respectivas antipartículas: o elétron, antielétron, o neutrino do elétron, o antineutrino do elétron, o múon, o antimúon, o neutrino do múon, o antineutrino do múon, o tau, o antitau, o neutrino do tau e o antineutrino do tau. Elas interagem apenas com os fótons e os bósons mediadores (W^+ , W^- e Z^0), que são responsáveis respectivamente pelas interações eletromagnética e fraca (WEINBERG, 1967). Os léptons podem ter, ou não, carga elétrica e apresentam spin semi-inteiro. A seguir, é apresentada cada uma dessas partículas e a antipartícula do elétron.

2.2.1.1.10 Elétron

O elétron foi a primeira partícula elementar observada em experimentos, isso ocorreu em 1897, juntamente com outros resultados relevantes da época. Os anos de 1895 a 1897 foram períodos os de grandes momentos para a ciência com as evidências dos raios X, do elétron, do efeito Zeeman e da radioatividade. No século XIX, vários cientistas estavam

⁸ O termo sabor não está relacionado com o significado usual. Trata-se de uma forma de diferenciar os tipos de partículas.

estudando descargas elétricas em gases contidos em tubos de vácuo e a observação do elétron foi resultado dessas investigações.

Michael Faraday, já em 1833, em um estudo a respeito de descargas elétricas em gases observou que a rarefação do ar favorecia fenômenos de incandescência. Examinou essa incandescência em vários gases a baixa pressão, porém não conseguiu isolá-la em descargas alternadas visíveis. O vácuo que Faraday conseguia estabelecer em seus experimentos, mesmo sendo o melhor que se podia obter na época, não era um vácuo absoluto. Em 1858, Julius Plucker ao aproximar um ímã de um tubo de vácuo percebeu que conseguia desviar a descarga elétrica. No ano seguinte, ele conseguiu registrar uma fosforescência verde no vidro do tubo perto do cátodo e com um ímã mudar a posição da fosforescência.

Johann Hittorf, em 1869, usando bombas de mercúrio conseguiu esvaziar os tubos além do que seus antecessores conseguiram, obtendo mais sucesso em seus experimentos. Ao colocar um objeto entre o cátodo e o anteparo, observou uma sombra no anteparo e deduziu que a descarga elétrica se iniciava no cátodo. Goldstein, em 1876, nomeou essa descarga elétrica de raios catódicos. Em 1879, Willian Crookes estudou sistematicamente os raios catódicos em tubos que ele havia esvaziado com uma bomba de vácuo que tinha projetado. Em 1895, Jean Baptiste Perrin reuniu provas de que os raios catódicos eram partículas carregadas negativamente. Ao produzir raios catódicos em um tubo de descarga bem exaurido de ar, deslocou-os por meio de um campo magnético demonstrando que tinham carga negativa. Thomson, mais tarde, desenvolveu um trabalho parecido. Com essas atividades coincidindo no tempo, percebe-se que os cientistas se informaram das publicações e dos trabalhos uns dos outros (SEGRÈ, 1987).

Hoje, sabe-se que os raios catódicos são elétrons que se movem rapidamente, mas na época eles nem cogitavam a existência do elétron. Sabia-se que esses raios eram produzidos no cátodo, atingiam a parede oposta tornando-a luminosa, viajavam em linha reta, pois se um objeto fosse colocado em seu caminho produzia uma sombra, e que podiam ser desviados por um ímã. Alguns acreditavam que eram formados por partículas, outros afirmavam que era uma onda (SEGRÈ, 1987).

O termo elétron foi usado pela primeira vez pelo físico George Johnstone Stoney, em 1891, para nomear a menor quantidade de carga elétrica (SEGRÈ, 1987). Em 1897, o físico Joseph John Thomson em uma experiência utilizando raios catódicos observou que o átomo, que era considerado indivisível, poderia ser dividido. Foi quando se observou o elétron.

Thomson utilizou uma ampola de Crookes para estudar os raios catódicos, que surgem quando se aplica uma diferença de potencial entre duas placas de metal dentro de um tubo de vidro sob vácuo. Esse feixe emitido pelo cátodo passa por uma fenda no ânodo e ao incidir em uma tela fluorescente produz um ponto de luz. A tendência seria que o feixe seguisse em linha reta, mas sob ação de um campo magnético ele ficava curvado. Assim, essa curva poderia ser explicada caso o feixe tivesse uma carga elétrica negativa. Thomson também observou a deflexão do feixe devido à ação de um campo elétrico e foi o primeiro a observar esse tipo de deflexão. Isso se deu pelo fato de que os outros experimentos não conseguiram estabelecer um nível suficiente de vácuo nos tubos, tornando impossível a formação do campo elétrico. Com as medidas das deflexões que o feixe sofria, ele pôde calcular a velocidade e a razão entre a carga e a massa das partículas constituintes do feixe. Testando várias chapas de metal e diferentes gases ele percebeu que a razão carga/massa não variava, assim, concluiu que essas partículas existem em toda a matéria, tratava-se de uma partícula elementar (SEGRÈ, 1987).

Na tentativa de explicar a estrutura da matéria, Thomson propôs seu modelo atômico como sendo similar a um bolo de passas. O átomo seria uma esfera carregada positivamente e os elétrons estariam imersos como ameixas dentro de um bolo. Os elétrons teriam a mesma carga elétrica que a esfera, porém negativa, tornando a matéria eletricamente neutra.

As evidências da existência do elétron⁹ trouxeram consigo a informação de que o átomo não era indivisível, como pensavam atomistas anteriores. Isso o descaracterizou como limite fundamental da matéria.

Além do elétron, outro assunto discutido na época era o fenômeno da radioatividade, observado por Röntgen pela primeira vez em 1895, que juntamente com a identificação dos tipos de radiação no final do século XIX criou um novo campo de pesquisa na Física. Em 1898, Rutherford distinguiu 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, 2001). Porém, havia algo instigando os pesquisadores. Quando o núcleo decaía, o produto do decaimento não apresentava a mesma quantidade de energia armazenada no núcleo. Bohr e Pauli estavam procurando formas de resolver essa falha, enquanto Bohr

⁹ Foi utilizado um vídeo (Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=4g0tX6WcUvo>) que tratava das primeiras evidências da existência do elétron. E discutidos os seguintes questionamentos: *A observação do elétron foi resultado das investigações de um único cientista, ou de vários? Você acha que os cientistas trocam informações entre si e se informam das publicações de outros grupos de pesquisa?* com a finalidade de discutir o trabalho coletivo e as influências teóricas na construção do conhecimento científico.

chegou a propor a violação do princípio de conservação, Pauli postulou a existência de uma nova partícula (BATISTA, 2001).

2.2.1.1.2 Neutrino do elétron

A existência do neutrino¹⁰ foi proposta para explicar uma aparente falha da conservação de energia nas medidas do decaimento beta (β). O que se observava era que a soma da energia dos produtos do decaimento era menor que a energia do núcleo original, ou seja, parte da energia desaparecia. Wolfgang Pauli, em 1930, propôs a existência de uma partícula leve, neutra, que interagia pouco com a matéria e seria a responsável por carregar a parcela de energia que estava faltando. Os neutrinos¹¹ não eram vistos nem detectados, e isso fez com que alguns cientistas duvidassem da teoria da conservação da energia. O que, na época, foi discutido por alguns físicos como: Bohr, Nernst, Sommerfeld, que propuseram um abandono, em partes, da teoria de conservação da energia para que se conseguisse uma melhor interpretação quântica da matéria. A proposta de Pauli foi tomada por muitos como algo sem sentido, pois propunha a existência de uma nova partícula, nunca detectada antes e de difícil detecção simplesmente para salvar uma lei (BATISTA, 1999).

Pauli fez a primeira exposição da hipótese do neutrino em uma carta para uma reunião de especialistas em radioatividade, em 1930, pois, não poderia estar presente na reunião e não se sentia seguro a ponto de publicar sua ideia no momento. Assim, pediu que os mesmos refletissem a respeito de uma forma de detecção de tal partícula (BATISTA, 1999).

“Zurich, 4 de Dezembro de 1930

Caros Senhoras e Senhores radioactivos

Peço-vos que ouçam atentamente o portador dessa carta. Ela vos dirá que, devida à “errada” estatística dos núcleos de N e Li e do espectro beta contínuo, encontrei um remédio desesperado para salvar as leis de conservação de energia e a estatística. É a possibilidade de existirem partículas eletricamente neutras, a que chamarei de neutrões, que existem no núcleo que tem spin $\frac{1}{2}$ e obedecem ao princípio de exclusão, e que diferem dos fótons também porque não se movem com a velocidade

¹⁰ Na época em que Pauli propôs a partícula ele tinha nomeado-a de nêutron. Porém, mais tarde, em 1932, foi dado o nome de nêutron a outra partícula observada. Então, Fermi, em 1933, ao adotar a partícula de Pauli em sua teoria denominou-a de neutrino (BATISTA, 2001).

¹¹ Ao trabalhar com o neutrino do elétron foram discutidos os seguintes questionamentos: *Por que o neutrino do elétron foi proposto? Vocês conseguem perceber a presença de criatividade e imaginação na proposta de Pauli? A proposta de Pauli foi bem aceita pela comunidade científica da época? As evidências experimentais da existência no neutrino do elétron somente se deram 20 anos após ter sido proposto. O que manteve essa hipótese em vigor? Qual motivo Pauli apresentou a seus colegas para não se fazer presente no evento em que sua proposta foi discutida?* O objetivo era refletir a respeito da criatividade e imaginação na construção da Ciência, estereótipo de cientistas, experimentação e estudos teóricos no desenvolvimento científico e presença da comunidade científica. Também foi apresentado um vídeo (Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=SOYml0I8mVM>.) que tratava das pesquisas envolvendo neutrinos solares.

da luz. A massa dos neutrões deve ser da mesma ordem da dos electrões e não deve exceder em caso algum 0,01 da massa do protão. O espectro beta contínuo seria então compreensível se considerasse que durante o declínio beta é emitido com cada electrão um neutrão, de modo que a soma das energias do neutrão e do electrão é constante. Admito que o meu remédio pode parecer muito improvável, porque a muito teríamos visto estes neutrões se eles realmente existissem. Mas apenas ele, que se atreve a vencer todos os obstáculos, e a seriedade da situação provocada pelo espectro contínuo é iluminado por uma nota do meu honrado predecessor, Mr. Debye que recentemente me disse em Bruxelas: “Oh, é melhor não pensar em nada disso, tal como nas novas taxas.” Portanto podíamos discutir seriamente cada passo possível para nos ajudarmos. Assim, caro povo radioactivo, examinem e julguem. Infelizmente não posso aparecer em Tübingen pessoalmente, porque sou indispensável aqui, devido à um baile que vai ter lugar em Zurich, na noite de 6 para 7 de Dezembro.

O vosso mais obediente criado

W. Pauli” (PAULI, 1930 Apud HOLTON, 1987, p. 49)

Essa foi a carta enviada. Nela, ao se referir às senhoras radioactivas, ele se remete a Lise Meitner, física que trabalhava com fissão nuclear, e quando fala em neutrões são os atuais neutrinos.

Em 1931, Pauli e Fermi se encontraram em um congresso e começaram a conversar mais a respeito da proposta de uma nova partícula, pois Fermi se mostrava muito interessado e otimista no assunto. Em 1933, Heisenberg, em um congresso, apresentou sua teoria para o decaimento beta. Essa teoria assumia a quebra das leis de conservação. Bohr e outros de sua equipe aceitaram a teoria. Mas, Pauli e Fermi acreditavam que essa não era a melhor alternativa. Como afirma Pauli:

“As leis de conservação continuam válidas, a expulsão de partículas β sendo acompanhada de uma radiação muito penetrante de partículas neutras, que não foram observadas até o momento. A soma das energias da partícula β e da partícula neutra (ou de partículas neutras, uma vez que não se sabe se existe uma ou várias) emitidas pelo núcleo em um único processo, será igual à energia que corresponde ao limite superior do espectro β . Isso sem dizer que nós admitimos não somente a conservação de energia como também a conservação do momento, do momento angular e da estatística em todos os processos elementares” (PAULI, 1934, p. 324, apud BATISTA, 1999, P. 13-14).

Ainda em Batista (1999) temos a descrição feita por Pauli a respeito das partículas neutras:

“Quanto às propriedades das partículas neutras, os pesos atômicos dos elementos radioativos nos ensinam primeiramente que a massa de tais partículas não pode exceder muito aquela do elétron. É possível que a massa própria [de repouso] dos neutrinos seja igual a zero, de maneira que elas deveriam se propagar com a velocidade da luz, como os fótons. No entanto seu poder penetrante excederia muito aquele dos fótons de mesma energia. Parece-me admissível que os neutrinos tenham spin $\frac{1}{2}$ e que eles obedeçam à estatística de Fermi, ainda que as experiências não nos forneçam qualquer prova direta dessa hipótese” (PAULI, 1934, p. 324, apud BATISTA, 1999, p. 13-14).

Como se percebe a comprovação experimental seria decisiva para a aceitação ou não da hipótese de Pauli. Essa comprovação só veio mais de vinte anos depois, o que manteve a hipótese foi a formalização matemática que Fermi deu à mesma (BATISTA, 1999).

Para resolver um problema de desbalanceamento de spin, Enrico Fermi, sugeriu que além da força que une os núcleons (prótons e nêutrons) entre si, existiria outra força, força nuclear fraca, que seria capaz de converter em nêutron um próton, juntamente com a emissão de um elétron acompanhado de uma partícula, o neutrino (HOLTON, 1987). Em 1933, Fermi publicou a Teoria de Fermi do decaimento beta, explicando que a energia que faltava era transportada pelo neutrino. Como a teoria explicava satisfatoriamente a variação de energia dos elétrons emitidos, a existência do neutrino foi aceita mesmo antes de ter sido detectado experimentalmente. A primeira evidência foi por meio do cálculo de momentos, pois se o neutrino transportava energia deveria também transportar um momento. Para comprovar essa hipótese foram feitas experiências para medir o momento do núcleo e do elétron resultantes do decaimento. Assim, calculava-se o momento que faltava e era feita a comparação com o momento que era previsto para o neutrino. Porém, ainda havia a necessidade da detecção do neutrino livre (HOLTON, 1987).

Os teóricos Hans Bethe e Rudolf Peierls, pensando em uma maneira de detectar os neutrinos, propuseram que poderia ser observado o decaimento beta inverso, no qual um neutrino seria absorvido pelo próton gerando um nêutron e um pósitron (GUZZO; NATALE, 2012). As tentativas de detectar o neutrino foram muitas, sendo o mesmo conhecido como “o pequenino que não está lá”.

Pouco antes da segunda guerra mundial, observou-se que bombardeando núcleos de urânio com nêutrons ocorria um processo de fragmentação do núcleo e que os nêutrons também eram liberados na reação, o que levou os cientistas a cogitar uma reação em cadeia. Durante a guerra, foi criado o primeiro protótipo de um reator nuclear na Universidade de Chicago por um grupo de cientistas liderados por Fermi. O que foi aprendido com esse experimento permitiu que um grupo de cientistas elaborasse a primeira bomba atômica no Laboratório Nacional de Los Alamos, nos Estados Unidos. Depois da guerra, dois físicos desse grupo de cientistas, Clyde Cowan e Fred Reines, se propuseram a estudar uma forma de detectar os neutrinos liberados durante os testes nucleares. Para isso, instalaram detectores no subsolo abaixo de reatores nucleares (GUZZO; NATALE, 2012).

Na época, sabia-se que quando uma partícula carregada passava por um líquido orgânico ocorria uma cintilação, pois elétrons eram arrancados dos seus átomos e

quando esses elétrons se recombinavam com os átomos uma luz era emitida. Cowan e Reines pensaram em usar um tanque com um líquido cintilador para fazer as observações, pois assim que o neutrino fosse absorvido pelo próton, o pósitron gerado iria aniquilar-se com os elétrons do meio o que resultaria em raios gama. Os raios gamas são bons ionizadores, assim, o líquido emitiria luz que poderia ser detectada por fotocélulas colocadas nas paredes do tanque (GUZZO; NATALE, 2012).

A primeira tentativa foi feita com um tanque vinte metros abaixo da superfície, porém, a radiação externa, proveniente de fora de nossa atmosfera, ainda deixava rastros no cintilador. Na segunda tentativa, foram intercalados pequenos tanques de água com cloreto de cádmio. Esse aditivo permitia que ao final do processo o nêutron fosse capturado pelo núcleo de cádmio, que ficaria excitado e decairia emitindo mais raios gamas, um processo com duração de cinco microssegundos. Logo, se após a cintilação gerada pelos raios gamas houvesse uma segunda cintilação no intervalo de tempo de cinco microssegundos, a existência do neutrino ficaria duplamente comprovada (GUZZO; NATALE, 2012).

Essa evidência é um fato interessante em Física de partículas, pois primeiro se fez a previsão teórica e depois a detecção experimental. A Física de Partículas é um exemplo da interdependência entre teoria e experimentação. Por um lado, para explicar resultados experimentais é proposta a existência de novas partículas e por outro lado constroem-se máquinas e equipamentos para poder detectar essas partículas previstas teoricamente (MOREIRA, 2007).

2.2.1.1.3 O pósitron

Paul A. M. Dirac em 1928, publicou um trabalho no qual propunha uma nova teoria para o elétron, ele combinou a Mecânica Quântica geral com a Teoria Especial da Relatividade de Einstein. Com isso, ele foi capaz de fazer cálculos detalhados de vários fenômenos atômicos com precisão, o que encantou a comunidade científica e garantiu aceitação da teoria. Contudo, a teoria tinha um problema: ela predizia haver estados permitidos para o elétron com energia total negativa.

Da relação entre energia, momento e massa de repouso, $E^2 = m_0^2 \cdot c^4 + p^2 c^2$, Paul Adrien Maurice Dirac percebeu que a correta relação entre massa e energia exigia que se extraísse a raiz quadrada incluindo os dois sinais possíveis da energia, assim a relação fica, $E_{\pm} = \pm \sqrt{m_0^2 \cdot c^4 + p^2 c^2}$. Porém, um estado de energia total negativa era algo que ainda

não era esclarecido, pois esses estados ainda não tinham sido observados. A primeira tentativa de explicar essa ocorrência foi supor que todos os estados de energia negativa estavam cheios, assim, nenhum elétron poderia entrar ou sair deles, de forma que esses processos não seriam observados. Todavia, se houvesse um estado particular nesse “mar de Dirac” que estivesse vago, ou seja, com um elétron a menos, assumia-se que seria um “buraco” no mar negativo atuando como uma carga positiva, que poderia ser o próton. No entanto, futuros cálculos de J. Robert Oppenheimer e Dirac mostraram que esse modelo era falho e se houvessem os “buracos” eles deveriam ser um novo tipo de partícula com massa igual a do elétron e de carga positiva (HOLTON, 1987).

Essa partícula poderia ser observada quando um fóton energético colidisse com um elétron que estivesse em um dos estados negativos, assim o fóton daria ao elétron energia suficiente para arrancá-lo desse estado e elevar para um dos estados de energia positiva, deixando para trás um buraco, que seria o pósitron¹². O resultado desse processo seria o desaparecimento de um fóton e o aparecimento de um par elétron-pósitron (HOLTON, 1987).

Em 1932, Carl David Anderson, observou a partícula prevista por Dirac. Anderson utilizou uma câmara de nuvens, sob a ação de um campo magnético para observar os traços deixados pelos raios cósmicos, uma vez que as trajetórias de partículas carregadas se curvam na presença de um campo magnético, as positivas se curvam para um lado e as negativas para outro (SEGRÈ, 1987).

A câmara de nuvens foi resultado do trabalho de Anderson e Millikan, que projetaram um dispositivo para medir o espectro de energia dos elétrons secundários provenientes da incidência de raios cósmicos na atmosfera terrestre. Esse novo dispositivo permitia o registro e medidas dos traços deixados pelas partículas. Nos primeiros experimentos, observou-se que aproximadamente metade dos registros era de uma partícula positiva. Na época, acreditava-se que os raios cósmicos eram constituídos em sua maioria, por elétrons. A primeira hipótese levantada foi a de que essa partícula poderia ser um próton. Porém, constatou-se que as massas dessas partículas positivas não eram próximas à do próton e sim à dos elétrons (PEDUZZI, 2011; SEGRÈ, 1987).

Em seus relatórios, Anderson foi cauteloso, não afirmou ser o pósitron a partícula que havia observado. Relatou que era uma partícula de carga positiva que tinha

¹² O propósito de discutir a respeito do pósitron nas aulas foi introduzir ideias em relação à antimatéria. Utilizou-se como recurso didático um vídeo, (Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=W53L2Hr17F0>) editado no Movie Maker, para tratar da assimetria de matéria e antimatéria e apresentar a Ciência como um processo de construção, que existem perguntas ainda sem respostas.

massa e carga em valores comparáveis ao do elétron. Vale ressaltar que após um ano da observação, foram publicados no mínimo sete trabalhos a respeito da experiência por distintos pesquisadores (HOLTON, 1987). Assim, foi possível identificar o pósitron. A partir daí começa a busca pela antimatéria.

Após as evidências mostradas por Anderson, outros físicos observaram em fotos, que haviam tirado anteriormente, vestígios de pósitrons. Na época esses vestígios tinham passado despercebidos ou foram mal interpretados. Os próprios Joliot e Curie tinham visto vestígios de pósitrons em uma câmara de nuvens antes de Anderson, quando estudavam a radiação do polônio e berílio. Contudo, interpretaram essas partículas como elétrons que se moviam em direção à fonte e não como pósitrons que se originavam na fonte. Deixando assim passar despercebido o pósitron (SEGRÈ, 1987).

Vale ressaltar que ao observar o pósitron Anderson sequer tinha conhecimento dos detalhes da teoria do elétron de Dirac. Dessa forma, a observação do pósitron não se guiou pelos estudos da teoria de Dirac, foi algo acidental (ANDERSON, 1961). Anderson também fez uma interessante apreciação a respeito das dificuldades de aceitação de vários conceitos introduzidos por Dirac e de como é relevante a situação do momento em que certas ideias se apresentam, podendo tanto facilitar quanto dificultar a sua disseminação. Como se pode perceber nas palavras de Anderson, em seu artigo *Early Work on the Positron and Muon* de 1961,

“Retrocedendo alguns anos, digamos, logo depois que a teoria de Dirac foi anunciada, é interessante especular sobre o que uma pessoa sagaz, trabalhando nesse campo, poderia ter feito. Caso estivesse trabalhando em qualquer laboratório bem equipado e aceito de imediato a teoria de Dirac, poderia ter descoberto o pósitron em uma única tarde. A razão para isso é que a teoria de Dirac poderia ter propiciado uma excelente orientação sobre como proceder para formar pares pósitron-elétron a partir de um feixe de fótons de raios gama. Mas isso não ocorreu de maneira tão direta e eficiente, conforme mostra a história, provavelmente porque a teoria de Dirac, apesar de seu sucesso, trazia consigo muitas ideias novas e aparentemente não físicas, como massa negativa, energia negativa, densidade de carga infinita etc. Seu caráter altamente esotérico não estava em sintonia com o pensamento científico dominante naquele momento. Além disso, elétrons positivos não eram necessários para explicar quaisquer outras observações. Claramente, o próton era a unidade fundamental de carga positiva e o elétron a de carga negativa. Esse tipo de pensamento impediu quase todos os experimentais de aceitar sem restrições a teoria de Dirac e de relacioná-la ao mundo físico real até que a existência do pósitron fosse estabelecida em bases experimentais” (ANDERSON, 1961, p. 827).

O antipróton e o antinêutron foram propostos depois da observação do antielétron. Porém devido à falta de tecnologia suficiente para produção e detecção dessas partículas, elas somente foram observadas anos mais tarde. Para a produção de um antipróton havia a necessidade de um feixe de partículas com uma energia de aproximadamente 6 GeV, e

a única fonte disponível era a radiação cósmica, que não era possível de controlar e energias tão altas são raras, de forma que com a radiação cósmica não foi possível detectar claramente nenhum antipróton. Depois da construção de um acelerador de partículas, em 1954, que atingisse energia suficientemente grande para a produção dos antiprótons é que foi possível sua detecção. Após um ano de funcionamento do acelerador, Emílio Segrè, Owen Chamberlain e seus colaboradores encontraram o antipróton. A observação do antinêutron se deu em 1956, no ano posterior às evidências do antipróton (HOLTON, 1987).

2.2.1.1.4 O múon

Foi o interesse de muitos cientistas pela radioatividade e pela propriedade das substâncias radioativas ionizarem gases, que levou aos estudos da radiação cósmica. H. Geitel e Charles T. R. Wilson, em 1900, mostraram que em algumas condições, gases em recipientes fechados eram capazes de conduzir eletricidade, ou seja, o gás estaria ionizado. Como responsável por esse fenômeno levantou-se quatro hipóteses: 1) ionização espontânea do gás; 2) presença de substâncias radioativas no gás; 3) radiação proveniente das paredes do recipiente e 4) radiação externa (PEDUZZI, 2011).

A princípio acreditavam que essa radiação seria externa e advinda de substâncias radioativas presentes no solo. Para testar essa hipótese, Wulf usou um eletrômetro, instrumento sensível ao registro de pequenas correntes, em um experimento no alto da Torre Eiffel. Esperava-se que o instrumento registrasse um número menor de ocorrências, porém, o que ocorreu foi o contrário. Wulf cogitou o uso de balões para fazer o mesmo experimento em maiores altitudes, quem adotou a ideia foi Victor Hess, os eletrômetros usados por Hess mostraram que a ionização produzida nessas altitudes era ainda maior. Hess apresenta os resultados de seus experimentos, afirmando que a radiação responsável pela ionização dos gases era uma radiação desconhecida, mas de grande poder de penetração na atmosfera terrestre, sendo capaz de ionizar o ar na superfície terrestre (PEDUZZI, 2011).

No início de 1930, em estudos a respeito da radiação cósmica, foram observadas algumas partículas que eram mais penetrantes que as outras, chamadas de partículas “duras” da radiação cósmica. Não se sabia ao certo se eram elétrons e prótons com excesso de energia ou se eram novas partículas. Em 1937, medidas feitas em laboratório elucidaram a questão e mostraram que teria sido observada uma nova partícula, que na época, acreditavam ser a partícula proposta por Yukawa (HOLTON, 1987).

Hideki Yukawa propôs uma teoria para a força nuclear, que atuaria em um raio de ação muito pequeno e seria responsável por manter os núcleons (prótons e nêutrons) unidos no núcleo. Essa força seria mais forte que a força eletromagnética e seria capaz de produzir, em certas condições, um novo tipo de partícula de massa intermediária entre o próton e o elétron. Em 1937 os físicos Seth H. Neddermeyer e Carl David 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 (ABDALLA, 2006).

Na época, devido à guerra¹³, 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. A guerra atrasou o avanço dessa área de pesquisa, e somente após o término da mesma que novos métodos de detecção de partículas foram desenvolvidos e fenômenos relacionados aos raios cósmicos puderam ser esclarecidos (BATISTA, 1999).

Os físicos japoneses vibraram com as evidências dessa partícula. Entretanto, começaram a perceber alguns pontos que não se encaixavam, 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 M. Conversi, E. Pancini e O. 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, elas deveriam reagir violentamente tanto em núcleos leves como nos pesados. Assim, a experiência mostrou que os mésons não eram as partículas previstas (SEGRÈ, 1987). O múon foi a primeira partícula elementar instável observada.

Como o múon não era a partícula prevista começou a pensar-se que tipo de partícula seria e de onde surgiria. Em 1942, no mesmo grupo de pesquisadores de Yukawa,

¹³ Foram propostos alguns questionamentos por exemplo: *A pesquisa em Física de Partículas sofreu alguma influência devido à Segunda Guerra Mundial? Surgiu um novo problema ou uma nova questão depois que os cientistas perceberam que o múon não era a partícula prevista por Yukawa?* O propósito era discutir a influência de fatores externos no processo de desenvolvimento científico, bem como a ideia de Ciência em construção.

Sakata propôs uma solução na qual o múon seria produto do decaimento da partícula de Yukawa. Porém, essa proposta só veio a ficar conhecida mais tarde. A solução para esse problema foi estabelecida em 1947 por Lattes, Occhialini e Powel na observação do modo de desintegração de dois mésons (MARQUES, 2012).

2.2.1.1.5 O neutrino do múon

Os neutrinos são partículas abundantes em nosso meio, atingindo uma cifra de 300 a cada centímetro cúbico do universo. Em cada hora nós emitimos 20 milhões de neutrinos devido à existência de Potássio $^{40}_{19}K$ em nosso organismo. Por outro lado, somos atingidos a cada segundo por 50 bilhões de neutrinos advindos de fontes radioativas naturais da Terra, sem falar nos 100 bilhões vindos dos reatores nucleares espalhados pelo mundo e dos 100 a 400 trilhões de neutrinos que vem da radiação solar. Algo que sequer era imaginado na época em que foi proposto pela primeira vez, em 1930 (GUZZO; NATALE, 2012).

A evidência da existência de um segundo tipo de neutrino foi um evento relevante para a Física de Partículas, pois deu indícios de que além da primeira família de léptons, formada pelo elétron e seu neutrino, também havia uma segunda família, que seria formada pelo múon e seu neutrino. Ficou estabelecido que dois neutrinos diferentes correspondem a dois diferentes léptons.

Em 1957, o físico italiano, Bruno Pontecorvo, formulou uma teoria na qual mostrava que se houvessem diferentes neutrinos, eles deveriam ser capazes de oscilar entre os diferentes tipos de neutrinos.

Em 1962, os cientistas do Brookhaven National Laboratory observaram a primeira evidência do neutrino do múon, ou seja, realmente existia mais de um tipo de neutrino. Foi o físico Melvin Schwartz que, usando um feixe de neutrinos para estudar a interação fraca, comprovou a existência dos mesmos. O experimento que levou a observação foi feito por meio de um dos aceleradores mais sofisticados da época, utilizando três feixes de prótons para produzir um chuveiro de mésons π , píons. No caminho os mésons se deparavam com um anteparo que freavam os píons que, por sua vez, decaíam em múons e neutrinos, e só os neutrinos conseguiam passar através da parede na direção de um detector. No final da década de 50, Schwartz, Leon Lederman, Jack Steinberger e outros elaboraram a experiência que levou a observação dos dois neutrinos, o do elétron e o do múon. O impacto dos neutrinos contra as placas de alumínio produziu rastros do múon, comprovando a existência de

neutrinos do múon. Os cientistas acima receberam o Prêmio Nobel de Física de 1988 pelo trabalho desenvolvido (GUZZO; NATALE, 2012).

2.2.1.1.6 O Tau

A história do lépton tau começou no final dos anos 1960, quando Martin Perl e seus colegas estudavam colisões elétron – pósitron com uma produção anômala de elétrons e múons. Esses elétrons e múons eram produtos do decaimento de uma nova partícula gerada nas colisões elétron - pósitron, a princípio denominada U (unknown), mais tarde Perl e seu aluno de pós-graduação propuseram o nome de tau (PERL, 1992).

Em dezembro de 1975, Perl e uma equipe de cientistas dos laboratórios Lawrence Berkeley e Stanford Linear Accelerator Center, publicaram na *Physical Review Letters*, um artigo que apresentava indícios da existência de uma nova partícula, o lépton tau (PERL, 2008). Eles concluíram que os resultados provenientes dos experimentos não poderiam ser explicados por partículas ou interações existentes e já conhecidas, e que uma possível explicação seria a produção ou decaimento de um novo tipo de partícula (PERL *et al.*, 1975). A detecção da nova partícula foi confirmada em 1977, eles observaram uma grande taxa de produção de múon anômalo, o que se esperava dos decaimentos do novo lépton, também conhecido como lépton pesado (FELDMAN *et al.*, 1977).

O tau (τ) veio para formar a terceira geração dos léptons. Assim como o elétron e o múon, o tau também apareceu em duas versões, com carga positiva e com carga negativa. Como os outros léptons todos tinham seu neutrino, especulou-se a existência de mais um neutrino, o neutrino do tau.

2.2.1.1.7 O Neutrino do tau

Depois que W. Pauli em 1930, por meio de uma carta postulou a existência de uma nova partícula (o neutrino) ao investigar uma possível falha no decaimento beta, muitas investigações procederam a fim de se conhecer um pouco mais a respeito das propriedades de tal partícula. Com as evidências da existência do tau em 1975, o que se esperava era que ele viesse acompanhado de seu neutrino. Os cientistas começaram então sua busca pela detecção do neutrino do tau¹⁴.

¹⁴ Quanto à detecção de neutrinos os alunos foram questionados em relação ao levantamento de hipóteses e ao avanço tecnológico que, em alguns casos, fez-se necessário para a detecção de partículas (*Como se chegou à*

Em julho de 2000 foi noticiada em uma conferência pública, no Fermilab, a primeira observação do neutrino do tau por um grupo de aproximadamente 52 cientistas da colaboração Tau DONUT (Direct Observation of the Nu) (PATAZAK, 2001). Esses cientistas eram de diversos países como Estados Unidos, Japão, Coreia e Grécia (FUNCHAL, 2000).

Levaram-se vinte cinco anos até que a observação fosse possível. Como os neutrinos eram produzidos juntamente com seus parceiros, para se observar o neutrino desejado, deveria ser produzido o tau. Como os neutrinos não possuem carga elétrica e por consequência interagem pouco com a matéria, sua detecção não era algo simples. Foi necessário aprimorar os sistemas de detectores para que se alcançasse o objetivo.

As pesquisas se deram no acelerador¹⁵ Tevatron e os dados foram coletados em 1997. O processo de análise desses dados levou três anos para ser concluído. Os pesquisadores fizeram uso de um intenso feixe de neutrinos na busca do neutrino tau. O feixe passava por um alvo de 15 metros de comprimento, constituído de placas de ferro e emulsões adequadas ao registro dessas interações. Apenas um neutrino, de um trilhão deles, interage com o núcleo de ferro e se transforma em um neutrino tau. Esse tau, que vive apenas 300 femto-segundos¹⁶, deixa um rastro na emulsão suficiente para garantir a existência da partícula. O tau percorre na emulsão cerca de 1 a 2 mm antes de decair, na maioria das vezes ele decai em uma partícula carregada e em um ou mais neutrinos, como somente as partículas carregadas deixam rastros nas emulsões a característica da trajetória do tau é uma linha reta seguida de uma mudança de inclinação, onde ocorre o decaimento. O experimento registrou seis mil eventos, dos quais mil foram selecionados pelos computadores. Quatro deles exibiam evidências concretas da existência do neutrino do tau (ABDALLA, 2006; FUNCHAL, 2000).

Mesmo depois da observação do neutrino do tau, outras questões continuaram a inquietar os pesquisadores. Os neutrinos podem ter massa? Poderiam decair em outros neutrinos? Essa última pergunta foi respondida em 2010, por pesquisadores do experimento OPERA, no Gran Sasso National Laboratory, na Itália. Eles perceberam quatro evidências do neutrino do tau entre um fluxo de bilhões de neutrinos do múon, seria a primeira observação de um tipo de neutrino se transformando em outro. As pesquisas ainda

proposta do neutrino do tau? Que tipos de aprimoramento foram necessários realizar nos laboratórios de pesquisa para a detecção dos neutrinos?).

¹⁵ Para discutir um pouco a respeito dos experimentos em Física de Partículas foi utilizado um documentário da BBC Brasil (Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Nx7sU9rA-Ww>.) para tratar dos aceleradores de partículas.

¹⁶ O prefixo femto equivale à 10^{-15}

continuam com o objetivo de esclarecer mais a respeito das massas dos neutrinos (APS, 2011).

2.2.1.2 Quarks

Os quarks¹⁷ foram propostos simultaneamente por Gell-Mann e Zweig em 1964. De acordo com a proposta, os hádrons (bárions e mésons) que se conheciam seriam constituídos por combinações de quarks. Três deles combinados formariam os bárions e os pares quark-antiquark os mésons.

2.2.1.2.1 Os quarks up, down e strange

Gell-Mann procurava por um formalismo matemático que permitisse a classificação das partículas desde 1962. Com essa intenção elaborou um modelo no qual apareciam soluções que podiam ser encaradas como elementos de classificação, denominando essas soluções de quarks. Ele não imaginava que as soluções matemáticas que ele havia encontrado representavam partículas reais (SALMERON, 2012).

Gell-Mann propôs que todos os hádrons seriam formados por três partículas fundamentais e suas respectivas antipartículas, as quais nomeou de quarks, que são férmions de spin $\frac{1}{2}$. De acordo com Gell-Mann, os quarks seriam de três tipos, up representado pela letra u, down representado pela letra d e strange (quark componente das partículas estranhas) representado pela letra s, denominados de sabores, além de suas respectivas antipartículas (\bar{u} , \bar{d} e \bar{s}). A matéria comum em nossa volta é composta por quarks leves u e d, exemplo, o próton (uud) e o nêutron (udd). Embora o modelo tenha sido um sucesso, novamente parecia que uma partícula estava violando alguma regra. A partícula Ω^- é formada por três quarks strange e de acordo com o Princípio de Exclusão de Pauli eles não poderiam ocupar o mesmo estado, pois apresentavam números quânticos idênticos (ABDALLA, 2006).

Para resolver esse impasse foi proposto um novo número quântico, a cor, proposto pelos físicos Yochiro Nambu e Moo-Youn Han. Agora, além do sabor os quarks tinham também três cores diferentes, vermelho, verde e azul. Assim, podia se escrever a

¹⁷ Ao estudar a respeito dos quarks os alunos foram instigados com alguns questionamentos, por exemplo: *Gell-Mann, no início, acreditava que os quarks eram partículas reais? Que problema levou os cientistas a proporem um novo número quântico? A proposta de Gell-Mann foi bem aceita pela comunidade científica da época? O que levou à proposta de um quarto, quinto e sexto quark? As evidências do quark top tiveram a contribuição de vários países, como eles contribuíram? Por que houve tanta demora na detecção do quark top?*

partícula Ω^- de forma que cada quark fosse de uma cor diferente, resolvendo o problema. Os antiquarks também apresentam anticores. A anticor é produzida misturando as duas cores que restam, por exemplo, o ciano (mistura de azul e verde) é a anticor do vermelho (ABDALLA, 2006).

Assim, ficou resolvido o problema de partículas formadas por quarks idênticos, pois cada um deles pode ser de uma cor diferente, não violando o Princípio da Exclusão de Pauli, segundo o qual duas partículas iguais não podem ocupar o mesmo estado quântico. A cor também é uma propriedade da matéria, algumas partículas como os quarks possuem cor, já os léptons não possuem. Apesar de levar o nome “cor” essa propriedade não tem nada relacionado ao conceito de cor que se conhece (MOREIRA, 2007).

Gell-Mann acreditava que com a colisão de dois hádrons, se fosse suficientemente violenta, poderia quebrá-los em um monte de quarks livres. No entanto, apesar das buscas, não foram observados livres. Pensou-se que fosse um evento raro, então foram analisadas amostras do berço antigo de oceanos, poeira cósmica, meteoros, e não houve sucesso. Depois de muitos esforços a melhor imagem que se tem dos mesmos é que estão colados por uma espécie de cola elástica chamada glúon, um bóson mediador, para intermediar a interação forte entre os quarks (ABDALLA, 2006).

Ao propor sua ideia, Gell-Mann não acreditava que seria levado a sério, tanto que ao tentar publicar sua proposta nem procurou a revista de maior prestígio temendo que a mesma não fosse aceita. Já Zweig relatou que a reação da comunidade de físicos não foi agradável, a ponto de que um físico teórico conceituado na universidade que ele estava prestes a ser contratado vetou sua contratação alegando que sua proposta era trabalho de charlatão. Esses exemplos demonstram o que Stephen Toulmin chama de fórum institucional, que é constituído pela comunidade científica, periódicos, grupos de referência e eminentes cientistas. Esse fórum pode dificultar a difusão de novas ideias (MOREIRA, 2007).

Como citado anteriormente, os quarks não são encontrados isolados, sempre estão agrupados. A combinação de quarks ou de quarks e antiquarks geram outras partículas, como o próton, nêutron, pión, etc. A ligação desses quarks é feita pelos glúons, uma espécie de “cola” de quarks. O próton é formado por uma ligação de três quarks, dois quarks up e um quark down, o nêutron também é formado por quarks up e down, porém em proporção contrária à dos prótons. Os píons são mésons formados por um quark up e um antiquark down.

O próton, o nêutron e o pión são exemplos de partículas que se mantêm coesas devido à interação forte, denominadas hádrons. Esse grupo é dividido em duas

categorias, os bárions (exemplo, próton e nêutron) e os mésons (exemplo, pión). Os mésons desempenham um papel relevante na estabilidade do núcleo atômico, pois a interação forte residual que mantém o núcleo coeso se dá devido à troca de mésons. Essa interação, por ser mais intensa que a eletromagnética, não permite o rompimento do núcleo devido à força de repulsão entre os prótons (OSTERMANN; CAVALCANTI, 1999).

a) *O próton*

Os estudos que acabaram levando à observação do próton se iniciaram com Eugen Goldstein, em 1886, que realizou a experiência com a ampola de Crookes perfurando o cátodo da ampola, percebendo assim um feixe em direção contrária ao feixe de raio catódico, o que levou a deduzir que o novo feixe assumiria uma carga positiva. Mas, por usar um campo magnético relativamente fraco não conseguiu resultados satisfatórios. Doze anos mais tarde, usando um campo magnético mais forte, Wilhelm Wien retomou as experiências. Com isso conseguiu calcular a razão e/m_p , onde e é a carga do elétron (ABDALLA, 2006).

Rutherford, em 1911, decidiu bombardear átomos de ouro em um experimento com o objetivo de obter informações a respeito da estrutura atômica¹⁸. No experimento, Ernest Marsden e Hans Geiger, alunos de Rutherford, utilizaram uma fonte de partículas α contida dentro de uma caixa de chumbo com vácuo. Os feixes emitidos eram colimados a fim de se conseguir um feixe bem definido de partículas que incidiriam em uma folha fina de ouro. As partículas α eram espalhadas ao colidirem nos átomos de ouro e interceptadas por uma tela móvel que cintilava ao ser atingida por elas (MOTTA, 2012). Dessa forma, era possível observar a forma como as partículas estavam sendo espalhadas. Tomando como base o modelo atômico de Thomson, Rutherford calculou como seria o padrão de deflexão das partículas. Como ele sabia de onde vinham as partículas e onde elas incidiam após colidirem com os átomos de ouro ele conseguia calcular o ângulo de espalhamento.

Como resultado, Rutherford percebeu que alguns ângulos de espalhamento eram grandes e incompatíveis com o que se esperava do modelo atômico de Thomson. As deflexões observadas levaram à hipótese de que as cargas positivas do átomo estariam concentradas em uma região do átomo, e não espalhadas como Thomson acreditava. Em

¹⁸ Ao estudar com mais detalhes as evidências do próton, foi retomada a discussão dos modelos atômicos e exibido o vídeo *Tudo se Transforma, História da Química, História dos Modelos Atômicos* (Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=58xkET9F7MY>), editado no Movie Maker.

junho de 1919, Rutherford realizou um experimento em que as partículas α colidiam com átomos de nitrogênio, como na experiência anterior ele observou as cintilações na tela provocadas pelas partículas α . Porém, dessa vez, observou algo a mais. Algumas das cintilações não pareciam ser provenientes das partículas α ou dos átomos de nitrogênio que poderiam estar colidindo com a tela. Essas cintilações eram parecidas com as provocadas pelos átomos de hidrogênio. Investigando detalhadamente, Rutherford concluiu que essas partículas vinham de fato do nitrogênio. Ele percebeu que alguns átomos de nitrogênio se desintegravam ao serem atingidos por uma partícula α e surgiam átomos de oxigênio. Na época Rutherford acabava de observar uma transmutação de elementos, o que significava que o núcleo não é indivisível, ou seja, possui uma estrutura. Assim, o núcleo de nitrogênio continha dentro de si núcleos de hidrogênio, que por ser o núcleo mais leve, levou muitos a crerem que ele seria uma partícula elementar. Rutherford deu a essa partícula o nome de próton (MOTTA, 2012).

As partículas Alfa eram providas por elementos radioativos que poderiam produzir três tipos de radiação (α, β, γ). O fato dos elementos radioativos emitirem essas partículas levou muitos físicos a acreditarem que os átomos seriam constituídos dessas partículas, na época consideradas elementares. Com o passar do tempo se concluiu que as partículas α são núcleos do átomo de hélio, as β são elétrons acelerados e as γ são fótons bastante energéticos (ABDALLA, 2006).

Assim como as partículas α, β , e γ , o próton se manteve por décadas como uma partícula elementar. No início dos anos 60, Robert Hofstadter realizou um experimento semelhante ao de Rutherford, mas ao invés de partículas α utilizou elétrons de alta energia para bombardear o núcleo atômico. Devido à alta energia, os elétrons incidentes conseguiam passar pelos elétrons ao redor do núcleo e penetrar no núcleo. Assim, como o espalhamento de Rutherford indicou uma estrutura para o núcleo, o espalhamento sofrido pelos elétrons indicava que os prótons também tinham uma estrutura. O que tira ele da lista de partículas elementares (MOTTA, 2012).

b) O nêutron

Questões que intrigaram muitos pesquisadores e levaram à observação do nêutron estavam relacionadas à estabilidade do núcleo atômico, como o núcleo permanecia unido sendo que era constituído por cargas de mesmo sinal? Como cargas de mesmo sinal se repelem, esperava-se que existisse uma partícula neutra no núcleo para que os prótons

permanecessem no núcleo sem desintegrar o átomo. Em 1920, alguns físicos acreditavam que essa partícula seria formada de um próton e um elétron, e que teria uma massa muito próxima da do próton (ABDALLA, 2006).

Rutherford foi o primeiro a levantar a hipótese da existência de uma partícula neutra de massa igual ao próton, imaginou-a como um átomo de hidrogênio no qual um elétron teria entrado no núcleo e neutralizado a carga. Essas ideias foram apresentadas em sua conferência Baker em 1920 (SEGRÈ, 1987).

Em seguida, em 1928, Walter Bothe e Herbert Becker observaram uma radiação neutra, muito penetrante, em um experimento no qual usavam polônio como fonte de partículas Alfa (α) para bombardear berílio. Mas eles interpretaram como raios X. Quem também investigou essa radiação penetrante foram Frédéric Joliot e Irène Curie que, após lerem a publicação de Bothe e Becker, usando uma amostra forte de polônio observaram que a radiação podia arrancar prótons de uma camada de parafina (SEGRÈ, 1987).

Nesses estudos eles utilizaram uma nova técnica de detecção, a Câmara de nuvens de Wilson. Usaram uma fonte de polônio envolta por um cilindro de berílio que ficava na parte inferior da câmara. Logo acima da fonte era colocada horizontalmente uma folha de parafina. O próton ejetado pela radiação invisível, advinda da interação entre as partículas α e o berílio, é identificado pelo seu traço registrado na parte superior da câmara. Como na época era conhecido que ao incidir raios X em uma placa metálica podia-se observar elétrons provenientes da placa, eles acreditavam que essa radiação invisível fossem raios X (BARRETO, 2012). Eles tentaram interpretar esse fenômeno por meio do efeito Compton, efeito conhecido e respeitado quando se trata de elétrons. James Chadwick, após ler a publicação de Joliot e Curie, não concordou que fossem raios X, pois a energia necessária para ejetar um próton da folha de parafina deveria ser da ordem de 50 MeV, e as radiações até então observadas não eram dessa magnitude (SEGRÈ, 1987).

Chadwick, refazendo o experimento, incidindo partículas Alfa (α) de uma amostra de berílio e polônio incidindo em alvos de hidrogênio, nitrogênio e hélio, percebeu a mesma radiação, invisível e sem carga, que alguns físicos acreditavam ser raios gama (γ). Porém, se estivessem certos os princípios de conservação da energia e de quantidade de movimento estariam sendo violados. Chadwick preferiu uma solução que previa a existência do parceiro neutro do próton, o nêutron. E após medir a massa de algumas dessas partículas, por meio de dados das energias de recuo dos núcleos de diversos gases utilizados, constatou que se tratava de um valor muito próximo da massa do próton. Dessa forma, foi descartada a hipótese de Joliot e Curie, pois radiação eletromagnética não tem massa, ficando assim

estabelecida a existência dos nêutrons. Chadwick publicou seu resultado na Nature em 1932 e ganhou o Prêmio Nobel de Física em 1935 (SEGRÈ, 1987; BARRETO, 2012).

O que fez com que Chadwick fosse o primeiro a observar o nêutron, e não Joliot e Curie, foi o fato de que ele estava mentalmente preparado para aceitar o conceito do nêutron. Ele já havia tentado produzir nêutrons em descargas elétricas fortes e por outros métodos, sem obter sucesso. Quando surgiu a oportunidade ele estava pronto para identificar tal partícula (SEGRÈ, 1987).

Após a chegada do nêutron, por muito tempo se acreditou que as partículas elementares constituintes da matéria fossem o elétron, próton e nêutron. Entretanto, em 1960, houve uma nova mudança. Experimentos e dados teóricos indicavam que o nêutron, assim como o próton, era composto por outras partículas. Logo, não pode ser considerada uma partícula elementar.

c) O pión

Os estudos envolvendo raios cósmicos ficaram mais sofisticados com o desenvolvimento das emulsões nucleares¹⁹, que eram placas fotográficas capazes de registrar trajetórias de partículas ionizantes. Essa nova técnica trouxe vantagens como a portabilidade e maior capacidade de registros, já que as Câmaras de Wilson eram instrumentos pesados e volumosos e somente registravam as trajetórias das partículas ionizantes por um curto intervalo de tempo (MARQUES, 2012).

Os físicos precisaram de um tempo para perceber que o múon não era a partícula prevista por Yukawa. Essa partícula ficou batizada de pión e é quem carrega a força forte, força entre os prótons e nêutrons. Essa força, específica do núcleo, somente poderia ser observada em escala nuclear e teria curto alcance, cerca de um diâmetro de uma partícula nuclear, porém, seria forte ao ponto de ultrapassar as forças elétricas do núcleo. Para entender a proposição de Yukawa pensemos na força eletromagnética, sabemos que um corpo eletricamente carregado possui um campo eletromagnético em sua volta, e esse pode produzir uma força em outro corpo carregado. Imaginamos que o campo eletromagnético é formado por fótons que foram emitidos pelo corpo carregado e a ação desse campo no outro corpo carregado pode ser entendido como a absorção desses fótons pelo seu campo eletromagnético. Assumimos que os fótons são os quanta desses campos, pois transportam energia e momentos

¹⁹ Foram exibidos dois vídeos (Disponíveis em: <https://www.youtube.com/watch?v=CyWqBjZePGE>), editados, para representar as emulsões fotográficas e a partícula de Yukawa.

definidos. Análogo a esse processo podemos entender a interação entre os núcleons como a troca da partícula pión, que seria o quantum do campo de interação forte (HOLTON, 1987).

Yukawa propôs equações que descreviam o movimento dessa partícula, bem como sua massa que deveria ser da ordem de 100 MeV. Na época, essa energia só era disponível nas radiações cósmicas. Lattes²⁰ e Occhialini, em 1947, decidiram usar um novo tipo de emulsão para trabalhar na detecção dos mésons, expuseram, durante um mês, algumas chapas fotográficas, tratadas com bórax, no Pic-du-Midi, na cordilheira dos Pirineus no sul da França. Como resultado, perceberam que as novas emulsões permitiam a revelação com mais detalhes e mais eventos. Em seu artigo “Meu trabalho na Física de méson com emulsões nucleares” Lattes cita a importância de uma assistente, Marietta Kurz, que atenciosa como era, foi quem percebeu ao analisar as chapas que havia um evento diferente dos demais, no qual, um méson parava na chapa de emulsão fotográfica e, saindo de sua extremidade, um novo méson era emitido com alcance de cerca de 600 μ , todo contido na emulsão. Alguns dias depois, o mesmo evento foi observado, porém desta vez, o segundo méson não parava na emulsão, mas conseguiu-se estimar seu alcance por extrapolação, que também era cerca de 600 μ (LATTES, 1984). Esse resultado foi interpretado e publicado no artigo “Processes involving charged mesons” (LATTES *et al*, 1947). Entretanto, para se chegar a alguma conclusão era necessário observar mais eventos.

Para isso, Lattes, ao consultar o departamento de Geografia de Bristol, foi informado que existia uma estação meteorológica, na Bolívia, com 5.600 metros de altitude, o que seria ideal para a coleta de dados, pois quanto maior a altitude melhor é a detecção dos raios cósmicos devido ao fato que eles têm menor possibilidade de interagirem com as moléculas dos gases atmosféricos. Lattes se disponibilizou a fazer a exposição das placas fotográficas desde que Occhialini e Powel conseguissem o financiamento da viagem. Assim que conseguiram o financiamento Lattes viajou para fazer as exposições das chapas. Depois de um mês, já de volta, ao analisarem os resultados identificaram cerca de 30 eventos. Com isso, identificaram o méson mais pesado como sendo a partícula de Yukawa e o outro como sendo a partícula observada, em 1937, por Anderson (LATTES, 1984).

A existência do pión, detectado em pontos altos da atmosfera pelos físicos, Giuseppe Occhialini, Cecil Frank Powel e Cesar Lattes, deu prestígio à teoria de Yukawa. O fenômeno que ocorre é o seguinte: prótons da radiação cósmica interagem com os núcleos

²⁰ Foi utilizado um vídeo, (Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=i6nqu-UEaIU>), que retratava o cientista Cesar Lattes com o propósito de evidenciar a participação de pesquisadores brasileiros na pesquisa em Física de Partículas.

constituintes da atmosfera. Essas interações, chamadas de fortes, dão origem a fragmentos e uma grande quantidade de píons, os quais decaem em múons. As detecções foram feitas por meio de emulsões e também em laboratório, onde foram observadas suas duas possibilidades de carga π^+ e π^- o pión neutro foi mais difícil de detectar, no entanto em 1950 foi encontrado por meio da identificação das partículas produzidas no seu decaimento, assim π^0 completou o time de píons (ABDALLA, 2006).

A interação forte pode se dar por meio da troca de qualquer uma dessas partículas, ou seja, ela não depende da carga, o que faz com que as interações entre prótons, nêutrons, ou entre um próton e um nêutron sejam iguais. O brasileiro Cesar Lattes desempenhou um papel relevante no estudo do pión, tanto na detecção de raios cósmicos como na produção artificial dos mesmos em laboratório no acelerador da Universidade de Berkeley, um ano depois da primeira observação. Porém, há quem dê os créditos da comprovação experimental somente para o físico inglês C. F. Powel, que era chefe do laboratório no qual Lattes realizava seus experimentos. No entanto, foi Yukawa quem ganhou o prêmio Nobel de Física por ter previsto corretamente a existência do pión. César Lattes foi o brasileiro que mais perto chegou de ganhar um prêmio Nobel de Física (MOREIRA, 2007).

O pión não é uma partícula elementar, já que de sua desintegração temos outros mésons.

O desenvolvimento da técnica de emulsões sensíveis e utilização de aceleradores mais sofisticados levou a observação de uma série de partículas na década de 1950, por exemplo, K^+ , K^0 , Λ , $\bar{\Lambda}$, Σ^+ , Σ^0 , Δ^{++} , $\bar{\nu}_e$, Ξ^- , Ξ^0 . Essas 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 mecanismos diferentes. Houve a necessidade de classificar essas partículas, bem como de inserir uma nova lei de conservação para explicar o estranho comportamento de algumas delas. Hoje se sabe que as partículas estranhas são produzidas pela força forte e seus decaimentos regidos pela força fraca (ABDALLA, 2006). Em 1953, Murray Gell-Mann, nos Estados Unidos e Kazuhiko Nishijima no Japão, propuseram independentemente que essas partículas fossem identificadas por um novo número quântico, a estranheza, que seria conservado nas interações fortes, mas não nas fracas. A estranheza é uma propriedade que governa a velocidade com a qual as partículas decaem, e assim como a carga elétrica a estranheza é uma propriedade da matéria, podendo umas ter e outras não. Com a inclusão do número quântico estranheza ficou explicado o fato de existirem partículas, produzidas em

colisões nos aceleradores, que demoram um tempo superior ao previsto para decaírem (BATISTA, 1999). Atribui-se as partículas uma estranheza de 0, ∓ 1 e ∓ 2 , e é postulado que a soma da estranheza de todas as partículas envolvidas não se altera nas interações fortes, com isso se explica o que ocorre em algumas interações de acordo com as evidências experimentais (SEGRÈ, 1987).

2.2.1.2.2 O quark charme

O charme foi o quarto quark a ser proposto. Daniel Bjorken e Sheldon Lee Glashow propuseram, em 1964, a existência de outro férmion fundamental, o quark charme. A ideia da inclusão no início foi apenas estética, pois os léptons fundamentais existiam em número de quatro (e^- , ν_e , μ , ν_μ), assim, por simetria os quarks deveriam ser quatro também (u, d, s, c). Os quarks s e c são mais pesados e compõem as partículas mais instáveis. A evidência experimental do quark charmoso veio em dose dupla, pois foi observado simultaneamente e independentemente por dois laboratórios distintos. A primeira observação foi feita em 1974, por um grupo de pesquisadores liderados por Samuel Chao Chung Ting, que chamou a partícula de *J*. Em seguida, foi observado pelo grupo de pesquisadores liderados por Burton Richter, que chamaram a partícula de *Psi*. Assim, o quark charmoso ficou conhecido como partícula *J/Psi* (ABDALLA, 2006).

Os experimentos nos quais ela foi detectada foram o Mark I e o experimento de S. Ting. O Mark I foi realizado no SLAC (Stanford Linear Accelerator Center) nos pontos de colisão de um anel onde elétrons e pósitrons eram acelerados por campos elétricos e tinham suas trajetórias curvadas por campos magnéticos a fim de que permanecessem dentro do anel. A cada volta que completavam, suas velocidades aumentavam e adquiriam mais energia. Em algum momento o campo magnético desviava os feixes de elétrons e pósitrons a ponto de colidirem nos pontos de colisão, em volta do qual se encontram diversos detectores que procuravam registrar a passagem das diferentes partículas que seriam produzidas nas colisões. Os detectores do experimento Mark I possuíam uma forma cilíndrica em torno do ponto de colisão com duas tampas que também eram detectores. Os detectores cilíndricos são cinco, primeiro tem-se uma câmara de faísca, contadores para *trigger*,²¹ magnetos, calorímetros e uma câmara de faísca para detectar múons. Ela recebeu o nome de *Psi* devido à reconstrução de sua trajetória ter formado o desenho da letra grega Ψ . (BEGALLI, 2012).

²¹ São utilizados para iniciar o registro de um evento, é um mecanismo que seleciona os possíveis eventos candidatos à análise (Oguri, 2012, Begalli, 2012).

O experimento de S. Ting foi um experimento de alvo fixo que usava feixes de prótons para bombardear um alvo de berílio. As partículas formadas nas colisões eram enviadas para magnetos que curvavam as trajetórias das partículas carregadas, fazendo com que elas fossem separadas. A identificação de cada partícula era feita por um detector denominado Cherenkov, que mede a luz produzida por uma partícula carregada quando essa atravessa um meio material com uma velocidade maior do que a velocidade da luz nesse material. Dos dados obtidos com esse detector, é possível obter a massa das partículas produzidas, e foi assim que Ting observou essa nova partícula, pois a massa encontrada era superior as até então encontradas (BEGALLI, 2012).

2.2.1.2.3 O quark bottom

O bottom foi o quinto quark a ser observado. Estudando as duas primeiras famílias dos quarks, pensou-se na possibilidade de existirem quarks mais pesados que os já observados. Um dos fatores que contribuiu para esse pensamento foi a notícia de que existia mais um lépton, o tau. Logo, por simetria, cogitou-se a existência da terceira família de quarks. Isso levou os físicos a procurarem por evidências de tal quark, ainda desconhecido. O físico Leon Ledermann e sua equipe montaram um experimento no FNAL (*Fermi National Accelerator Laboratory*), o que eles mediam era o espectro de massa dos pares de múons. Um aumento na energia dos prótons e uma geometria que permitiu uma boa resolução de massa garantiram o sucesso do experimento (GREEN, 2012).

A intenção do experimento era procurar a formação de um par quark-quark (charme e bottom) que se decairia em um par de múons. Ledermann foi o primeiro a observar a primeira evidência do méson úpsilon [$\Upsilon(1S)$], interpretado como um bottom e um antibottom ligados, indicando a terceira família dos quarks. Esse quark era maior do que qualquer partícula já observada (ABDALLA, 2006).

Os físicos começaram então a cogitar a existência de um sexto quark para completar a terceira família. O sexto quark previsto, após as evidências do bottom, demorou em ser observado, pois sua grande massa exigia altas energias dos aceleradores para que sua observação fosse possível.

2.2.1.2.4 O quark top

Foram muitas as tentativas para detectar o quark top. Essa partícula só existiu em condições naturais na época do Big-bang e com o resfriamento do universo ela deixou de existir, para recriá-la seria necessário contar com aceleradores que atingissem altas energias. Na época o único acelerador que poderia detectar uma partícula tão pesada era o Tevatron. No acelerador, o próton e o antipróton eram acelerados a fim de se encontrarem em alguma parte do percurso. Até que em 1995, observaram o sexto quark.

O quark top foi observado por dois experimentos, o DØ e o CDF, ambos no acelerador Tevatron. O Brasil fez parte dessa conquista com uma equipe de pesquisadores que trabalharam no experimento DØ (SANTORO, 2012). Novamente, existiu a colaboração de uma equipe brasileira no desenvolvimento dos estudos relacionados à Física de Partículas. Sob a coordenação de Alberto Santoro, um grupo de pesquisa da UFRJ e de outras universidades brasileiras analisou uma parte dos eventos que provou realmente se tratar do quark top. Vale ressaltar que os trabalhos colaborativos entre vários países e universidades tiveram um importante peso no desenvolvimento dos estudos de física de partículas. Eles contribuíam com equipamentos, programas computacionais que facilitavam a análise dos dados e equipes de pesquisadores aptos e envolvidos nas pesquisas (MOREIRA, 2007).

Ao analisar as colisões próton-antipróton esperava-se observar a produção de um quark top e sua respectiva antipartícula. O quark top decairia em um quark bottom e bóson W^+ , que decairia em um múon e seu neutrino. Já o antitop decairia em antibottom e um bóson W^- , que decairia em um elétron e seu neutrino (SANTORO, 2012).

Os detectores usados nos experimentos foram selecionados devido às características físicas que o problema impunha, como, boa calorimetria, boa discriminação de jatos e multijatos, prótons e píons, confirmação de múons nos calorímetros, boa resolução da instrumentação, bons algoritmos para as partes do detector e *triggers* e um bom *software* de reconstrução e análise. Os eventos ocorridos no centro do detector são registrados pelas camadas de subdetectores, calorímetros, câmara de múons e são selecionados pelos *triggers* de *hardware* e *software*. No caso do DØ, foram utilizados quatro *triggers*, um que enviava um sinal avisando que o evento era bom, outro que classificava os eventos em classes, um terceiro que digitalizava as informações recebidas e, por fim, outro escrevia os dados brutos (SANTORO, 2012).

Os modelos e teorias que estimaram a massa do quark top previam um valor alto, e o valor encontrado experimentalmente superou todos os valores previstos. Só para ter uma ideia da massa do quark top, ele é equivalente a um átomo inteiro de ouro.

2.2.2 Os bósons

No Universo há quatro tipos de interações, a forte, a fraca, a eletromagnética e a gravitacional. Cada interação vem acompanhada de uma partícula mediadora. Por exemplo, a interação eletromagnética entre um elétron e o núcleo atômico é feita por meio de fótons, a interação forte entre quarks é feita pelos glúons, a interação fraca entre léptons e quarks é feita pelos mésons W^+ , W^- , Z^0 , a interação gravitacional entre corpos com massa é feita pelos grávitons. Essas partículas são denominadas de bósons ou partículas virtuais e possuem spin inteiro. Mediar uma interação significa uma troca de partículas mediadoras, o que ocasiona a força correspondente à interação em questão.

Essas quatro interações são responsáveis por todas as outras existentes no Universo e descrevem todos os fenômenos naturais que se observa, tudo interage por meio das quatro forças fundamentais: gravitacional, eletromagnética, fraca e forte. A força gravitacional atua em todas as formas de matéria e é responsável pela estrutura do Universo e pelos movimentos de corpos celestes. Como existe uma força gravitacional entre massas, entre cargas elétricas há uma força elétrica e entre ímãs uma força magnética, que são duas instâncias de uma força chamada força eletromagnética, responsável pela formação de átomos, ligações moleculares.

A força fraca é responsável pelo decaimento de partículas como nêutrons e múons, decaimento Beta e todas as reações envolvendo neutrinos, que explicam a diversidade de elementos químicos e a origem do pión. A força forte se divide em duas, a forte fundamental e a forte residual. A interação forte ocorre entre quarks, que possuem carga cor. Como os prótons e nêutrons não possuem carga cor eles não ficam sujeitos à interação forte, é aí que entra a força residual que atua sobre os hádrons e se dá por meio de troca de mésons como, por exemplo, o pión. É essa interação que impede o rompimento dos núcleos atômicos, que por ser mais intensa que a interação eletromagnética garante a estabilidade dos núcleos. Essa interação é devida a força residual entre os constituintes dos núcleons, os quarks, e é atrativa para todas as combinações de prótons e nêutrons (OSTERMANN, CAVALCANTI, 2001).

2.2.2.1 O Fóton

O fóton surgiu dos estudos do efeito fotoelétrico²². Hertz, em 1887, foi o primeiro a observar esse efeito. Ele percebeu que a diferença de potencial entre duas placas metálicas gerava faíscas em uma das placas, e que essas faíscas ao atingirem a outra placa produziam outra faísca. Levantou-se a hipótese de que esse efeito fosse ocasionado pela luz produzida pela primeira faísca (PAIS, 1995).

Hallwachs, inspirado nos trabalhos de Hertz, mostrou que corpos metálicos irradiados com luz ultravioleta adquiriam carga positiva. Quem explicou melhor esse evento foi Thomson, em 1899, afirmando que o efeito fotoelétrico gerado pela luz ultravioleta consiste na emissão de elétrons do corpo irradiado. Lenard, em 1902, fez testes variando a intensidade da luz e percebeu que a energia do elétron não dependia da intensidade da luz. E finalmente em 1905, Einstein propôs que um quantum de luz fornece toda a energia a um único elétron, e a energia transferida por esse quantum independe da presença de outros quanta de luz. Esse quanta de luz é o que hoje chamamos de fóton (PAIS, 1995).

Einstein explicou o efeito fotoelétrico propondo que a luz era constituída de corpúsculos²³ elementares, às quais chamamos de fótons, e quando as mesmas atingiam uma placa de metal com uma determinada energia cinética, os elétrons da placa poderiam ser ejetados ao adquirirem essa energia. O fóton foi primeiramente previsto em estudos teóricos e somente mais tarde foi detectado sua existência.

A proposta sofreu forte resistência, mesmo os cientistas que tinham por Einstein uma alta estima consideravam a hipótese dos quanta de luz algo próximo de uma aberração, pois se sabia que a luz era constituída por ondas e não por corpúsculos (PAIS, 1995). Dezoito anos após a proposta teórica de Einstein, foram encontradas as primeiras evidências de que o fóton seria um corpúsculo, por meio do efeito Compton, no qual um quantum de radiação ao atingir um elétron em repouso perde energia e se espalha com energia menor. Em seu experimento, Compton, em 1922, usou raios X para irradiar elétrons e medir a frequência dos fótons espalhados com o objetivo de demonstrar que os fótons possuíam momento, que é uma característica dos corpúsculos. Ao aplicar o princípio de conservação de

²²Para discutir o efeito fotoelétrico os alunos utilizaram uma simulação computacional, (Disponível em: http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/photoelectric.), para responder alguns questionamentos, por exemplo: *O que acontece com o número de elétrons emitidos do metal quando diminuimos o comprimento de onda da radiação? Se aumentarmos a intensidade da radiação, o número de elétrons emitidos do metal aumenta ou diminui? A velocidade dos elétrons ejetados depende da frequência ou da intensidade da radiação?*

²³ Aqui nos referimos a corpúsculos ao invés de partículas, pois o fóton tem momento e energia, mas não tem massa.

energia e de momento foi possível explicar o comportamento experimental observado. Contudo, em nenhum experimento da época foi possível observar um regime monofotônico²⁴.

A partir de 1980, os avanços tecnológicos possibilitaram a implementação de fontes luminosas que operavam com esse regime. Em 1985, por meio de um arranjo experimental denominado interferômetro de Mach-Zehnder, foi realizado um experimento no qual a intensidade da fonte luminosa era diminuída até que fosse emitido apenas um fóton de cada vez. Assim como previsto por Einstein, a luz composta por quantas de energia. Os resultados dessa experiência foram apresentados por Alan Aspect e sua equipe de pesquisa em 1985, publicados em revista em 1986 e tornaram-se as primeiras evidências da existência do fóton (GRANGIER; ROGER; ASPECT, 1986; OSTERMANN *et al.*, 2009).

2.2.2.2 Bósons de Gauge (bósons intermediadores, W^+ , W^- , e Z^0)

Na década de 1960, surgiu uma nova teoria na tentativa de unificar as forças eletromagnética e fraca, que ficou chamada de Teoria Eletrofraca. Steven Weinberg, em 1967, propôs um modelo em que as interações seriam intermediadas por quatro bósons (W^+ , W^- , Z^0 , γ). Os três primeiros bósons seriam massivos e denominados bósons de gauge, o quarto bóson não teria massa. Também colaboraram na formulação dessa teoria, Abdus Salam, em 1968 e Sheldon Glashow, em 1970. Todos receberam o Prêmio Nobel em 1979 devido às suas contribuições teóricas para a unificação das teorias das forças eletromagnética e fraca. E isso ocorreu mesmo antes que esses bósons fossem observados experimentalmente (ABDALLA, 2006).

Somente em 1983 que os três bósons foram confirmados experimentalmente. Em 1972, duas equipes, UA1 e UA2, lideradas por Carlo Rúbia, que usavam diferentes tipos de detectores competiam no mesmo laboratório, o CERN (*European Laboratory for particle Physics*), pela observação do decaimento dos bósons. Depois de contar com inovações tecnológicas nos aceleradores, Simon van der Meer observou no experimento UA1, que tratava de colisões de próton-antipróton, os bósons W^+ e W^- .

O UA1 consistia de quatro sistemas de detecção. O primeiro era um conjunto de câmaras de fios imerso em um campo magnético que tinha o objetivo de determinar as trajetórias e momentos das partículas carregadas provenientes das colisões. Em sequência tinha dois calorímetros, eletromagnético e hadrônico, que mediam as energias dos

²⁴ O regime monofotônico é obtido quando a fonte luminosa emite um fóton de cada vez (OSTERMANN *et al.*, 2009).

elétrons, fótons e hádrons. E por fim uma câmara de fios para detectar a trajetória dos múons que conseguiam passar pelos materiais dos detectores anteriores (OGURI, 2012).

Após o decaimento dos bósons podia ser observado nos calorímetros um feixe de partículas que se formavam devido à interação dos elétrons e pósitrons com o calorímetro. Como os neutrinos e antineutrinos não produzem esses feixes, no decaimento dos bósons W^+ e W^- observa-se somente um feixe. Já no decaimento do bóson Z^0 observam-se dois feixes opostos (OGURI, 2012).

As equipes realizaram o experimento durante 30 dias, observando 1 bilhão de colisões, após os critérios de seleção foram analisados 39 eventos, e destes, cinco deles traziam evidências da existência dos W^\pm . Já o Z^0 foi observado somente em 1983, os valores das massas previstas teoricamente foram comprovados experimentalmente.

2.2.2.3 Glúons

A proposta dos quarks teve uma objeção teórica ao passo que foi observada uma partícula que, aparentemente, violava o princípio de exclusão de Pauli por ter em sua composição três quarks idênticos. Na intenção de resolver esse impasse, Moo-Young Han e Yoichiro Nambu, propuseram ao mesmo tempo em que Oscar Greenberg, em 1964, um novo número quântico, a cor. Em virtude disso, a teoria que descreve a interação entre quarks, a interação forte, ficou denominada Teoria CQD (Cromo Dinâmica Quântica). A teoria foi refinada por Fritzsche, Gell-Mann e Heinrich Leutwyler, na qual propuseram que os quarks viriam em três cores, de forma que os estados estáveis resultariam em uma combinação incolor (FLEGEL; SÖDING, 2004).

A primeira sugestão de glúons como mediadores da força forte veio por meio de resultados de experimentos com espalhamento inelástico, mostrando que apenas metade do momento de um próton era carregada pelos quarks. A fração de momento ausente foi interpretada como sendo de constituintes eletricamente neutras, de massa nula, supostamente os glúons. A questão seguinte agora era a detecção de tal partícula.

Estudando colisões de partículas no PETRA (Positron-Electron Tandem Anel Accelerator) do DESY (*Deutsches Elektronen-Synchrotron*), na Alemanha, os cientistas Sau Lan Wu e Georg Zoernig, que trabalhavam no grupo TASSO perceberam um tipo especial de aniquilação de elétron – pósitron, na qual surgiam três jatos de hádrons coplanares se afastando do ponto de colisão. A análise dos eventos mostrou que dois desses jatos eram produzidos por um par quark – antiquark e o outro era gerado por um glúon. Foi essa a

primeira evidência experimental da existência do glúon. Posteriormente, outros três grupos, JADE, MARK J e Plutão, que trabalhavam no PETRA apresentaram resultados semelhantes que foram publicados em eventos e revistas em 1979 (FLEGEL; SÖDING, 2004).

2.2.2.4 Bóson de Higgs

O bóson de Higgs²⁵ foi a última partícula do Modelo Padrão observada. Segundo esse modelo, essa partícula é responsável pela obtenção de massa de outras partículas elementares. Já em 1964, foi levantada a hipótese de um novo campo que permearia todo o espaço e teria um mecanismo responsável por atribuir massa às partículas. Esse campo foi proposto por seis físicos: Peter Higgs, Robert Brout, François Englert, Gerald Guralnik, Carl Hagen e Thomas Kibble. Peter Higgs propôs que deveria existir uma partícula associada a esse campo, o único problema é que ninguém conseguia observar essa partícula. Como a teoria não havia previsto a massa dessa nova partícula suspeitava-se que ela fosse extremamente pesada e em virtude disso não conseguiam observar ela em seus experimentos, pois os aceleradores não tinham a capacidade de operar a altas energias a ponto de produzir partículas de grande massa.

Procurar indícios da existência do bóson de Higgs tornou-se uma meta de grupos de físicos de partículas. Foram financiadas pesquisas e melhorias nos aceleradores para que fosse possível tal detecção, estimam-se gastos de aproximadamente 10 bilhões de dólares no desenvolver da pesquisa.

Em 13 de dezembro de 2011, no CERN os últimos resultados a respeito da busca pelo bóson de Higgs foram anunciados, tanto do ATLAS como do CMS (Compact Muon Solenoid) e ambos tinham detectado as partículas do decaimento do bóson de Higgs. Por precaução, decidiu-se que seria prudente coletar mais dados para estudar se as características da nova partícula observada coincidiam com as características previstas para o bóson de Higgs (MARTIN, 2011, PIMENTA *et al.*, 2013).

Em 04 de julho de 2012, foram apresentados os resultados do experimento ATLAS. A porta-voz do experimento ATLAS, Fabiola Gianotti, em sua comunicação afirmou: “a pesquisa está mais avançada hoje do que imaginávamos possível. Observamos nos nossos dados sinais claros de uma nova partícula [...] O desempenho excelente do LHC,

²⁵ Foi utilizado um vídeo, (Disponível em: <http://tvcultura.cmais.com.br/reportereco/videos/boson-de-higgs>), para discutir a respeito dessa partícula.

do experimento ATLAS e os enormes esforços de muitas pessoas trouxeram-nos a este momento de euforia.” (ATLAS, 2012). Era o prenúncio da observação do bóson de Higgs.

O experimento se concentrou em analisar dois prováveis decaimentos do bóson de Higgs, em dois fótons, o que é bem raro, ou um par de quarks (quark top e anti-top). O quark top é o único que decai antes que seja possível uma formação quark anti-quark (JOHANSSON, 2013). Os dados coletados vêm de colisões de prótons e em três meses de coleta superaram todos os dados armazenados do ano de 2011. Isso foi possível devido aos esforços do grupo do acelerador LHC. Esses dados foram apresentados em um seminário no CERN e resultaram de um quadrilhão de colisões de prótons. O imenso poder da computação foi essencial pra a reconstrução e análise dos dados (ATLAS Colaboration, 2012). A colaboração de várias equipes de pesquisadores, inclusive brasileiras, levou a mais uma das conquistas do mundo científico.

O bóson de Higgs é uma partícula instável, decai quase que imediatamente após ser produzido, neste caso nos experimentos que se observa são os produtos do decaimento. Embora a teoria seja de uma matemática bastante complicada, pode ser entendida com uma analogia simples. Imagine uma sala cheia de físicos conversando calmamente, isso seria equivalente ao espaço permeado pelo campo de Higgs. Em algum momento, alguém entra na sala, criando uma perturbação ao passo que se move através da sala e atraindo um grupo de admiradores a cada passo. Antes de caminhar pela sala, a pessoa era capaz de se mover livremente. Mas, após circular pela sala sua velocidade foi reduzida, o grupo de admiradores tornou difícil sua movimentação, ou seja, ela adquire massa. Isso é análogo a uma partícula sem massa, que adquire massa ao interagir com o campo de Higgs (LBNL, 1995).

Com as evidências do bóson de Higgs, a teoria do Modelo Padrão, que descreve as partículas elementares e as interações fundamentais, exceto a gravitacional, é reconhecida como uma das mais bem sucedidas teorias da história da Ciência. Porém, ainda há muito a ser estudado, pois ocorrem questões que não são explicadas. Como, por exemplo, o caso da interação gravitacional, a oscilação de neutrinos, a assimetria matéria-antimatéria, matéria escura, etc.

Percebe-se ao final dessa síntese o caráter humano, coletivo e dinâmico da Ciência, a qual é construída aos poucos em um trabalho colaborativo, está passível de transformação a qualquer momento, é influenciada por fatores externos, não assume caráter absolutista, não pode ser dada por acabada e que, assim como é influenciada, também influencia, positiva ou negativamente, na sociedade.

Por meio deste texto espera-se provocar mudanças em alguns aspectos, de maneira que ao final da leitura deve parecer claro para o leitor que o átomo é divisível, que é constituído por elétrons, prótons e nêutrons, e que por sua vez, os prótons e nêutrons são constituídos por partículas ainda menores, os quarks; que os quarks se mantêm unidos devido à interação forte e que essa mesma interação explica porque o núcleo atômico não explode; que os elétrons e o núcleo atômico interagem devido à força eletromagnética; que as partículas elementares são definidas como aquelas que não possuem estrutura interna, se dividem em férmions e bósons e são as constituintes fundamentais da matéria; que o Modelo padrão é uma teoria que identifica as partículas elementares e especifica como elas interagem. Assim, proporcionando subsídios para a construção de noções adequadas em relação à estrutura atômica e, em consequência, da constituição da matéria.

A estrutura do texto levou em consideração os princípios de hierarquização, diferenciação progressiva e reconciliação integradora, descritos pela teoria da Aprendizagem Significativa (AUSUBEL, 2003). No capítulo seguinte é feita uma breve síntese dessa teoria, que norteou, além da elaboração do texto acima, a estruturação e aplicação da Unidade Didática.

3. APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Este capítulo foi escrito tomando como referência principal Ausubel (2003). Para que não ficasse repetitiva essa referência em meio ao texto, optou-se por citá-la no início e deixar claro que as definições e afirmações não referenciadas são de autoria desse autor.

Em qualquer escola, seja de nível fundamental, médio ou superior o que se espera é que os alunos adquiram e se apropriem de conhecimentos disponibilizados. No entanto, há casos em que esse processo ocorre de tal forma que os alunos apenas memorizam o conhecimento com a finalidade de reproduzi-los nas avaliações, esquecendo facilmente logo em seguida. Esse procedimento está baseado na narrativa do professor e na aprendizagem mecânica do aluno, modelo reproduzido e aceito em escolas e universidades mesmo sabendo-se de suas deficiências e limitações.

Tanto teorias de aprendizagem como pesquisas da área de ensino apresentam alternativas e resultados para resolver esse problema.

Ausubel propôs, em sua monografia de 1963, uma teoria cognitiva de Aprendizagem Significativa em oposição a uma aprendizagem por memorização. Consistia na ideia de que a aquisição²⁶ e retenção de conhecimentos são produtos de um processo ativo, integrador e interativo entre o material de instrução e a estrutura cognitiva do aprendiz.

A aprendizagem cognitiva é o resultado do armazenamento organizado de informações na mente do sujeito que aprende, devido um processo que potencialize essa organização. Essa estrutura organizada é denominada de estrutura cognitiva, na qual o novo conhecimento se integra a rede cognitiva existente. Para Ausubel, um dos fatores que mais influencia no processo de aprendizagem é o que o aluno já sabe, os conhecimentos prévios. Pois, é devido a eles que uma nova informação é processada e ancorada na estrutura cognitiva.

A Aprendizagem Significativa consiste na aquisição de novos significados a partir do material de aprendizagem. Para isso, é necessário 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

²⁶ Aqui, de acordo com Ausubel, aquisição está com a ideia de “ganhar a posse” de novos conhecimentos que anteriormente não se tinha ou compreendia.

possua conceitos ou proposições relevantes com as quais a nova informação possa ancorar-se. Esses conceitos são denominados conceitos subsunçores, ou simplesmente subsunçores.

Além disso, o aluno precisa apresentar uma predisposição para aprender significativamente. A única condição sobre a qual o professor não exerce controle direto é a motivação dos alunos. Os alunos podem ser motivados indiretamente a aprender significativamente por meio das estratégias de ensino e avaliação. Se as estratégias enfatizam a relação do novo conhecimento com o já existente favorecem a Aprendizagem Significativa. Já as avaliações objetivas tendem a não favorecer a Aprendizagem Significativa, pois não exigem do aluno mais do que uma aprendizagem mecânica.

3.1 TIPOS DE APRENDIZAGEM

A aprendizagem significativa pode ser classificada em três tipos: a representacional, a conceitual e a proposicional.

A aprendizagem representacional se assemelha a aprendizagem por memorização, é pela qual se atribui significado a símbolos isolados. Os sujeitos aprendem palavras isoladas que passam a representar cada objeto, acontecimento ou conceito, trata-se da aquisição de vocabulário dentro de uma determinada língua. Assim, as palavras passam a significar, em termos psicológicos, a mesma coisa que os objetos.

Nas primeiras fases da aprendizagem de vocabulário as palavras representam objetos e casos particulares e não categóricos. À medida que se desenvolve, as palavras começam a representar conceitos ou ideias genéricas.

A aprendizagem representacional não deve ser confundida com memorização, pois, ao contrário, é

um processo cognitivo significativo e ativo que envolve o estabelecimento de equivalências representacionais na estrutura cognitiva entre um novo símbolo e o conteúdo cognitivo idiossincrático e especificamente relevante que o referente do último significa. [...] A aprendizagem representacional continua a satisfazer os critérios mínimos de capacidade de relação não-arbitrária e não-literal da tarefa de aprendizagem para com a estrutura cognitiva, necessária para a Aprendizagem Significativa. (AUSUBEL, 2003, p. 91).

O processo cognitivo envolvido na aprendizagem representacional é um pré-requisito, uma base, para a aprendizagem conceitual e proposicional, pois é necessário conhecer o significado de cada palavra para compreender uma sentença verbal.

Na aprendizagem conceitual ocorre a formação de conceitos, ideias genéricas, representadas por símbolos isolados. Conceitos são objetos, acontecimentos, situações ou propriedades que possuem atributos essenciais comuns e se designam pelo

mesmo símbolo. Logo, aprender um conceito implica na identificação e compreensão de seus atributos essenciais.

Esses atributos são adquiridos por meio de várias experiências reais, nas quais os aprendizes formulam e comprovam suas hipóteses, resultando na formulação de seus conceitos. Outra maneira de adquirir conceitos é por meio da assimilação dos mesmos, que se dá pela relação dos novos conceitos com os já existentes. De início as crianças adquirem conceitos a partir de suas experiências empíricas, porém, quando adultas, a maioria dos conceitos é adquirida por assimilação.

A aprendizagem proposicional atribui significância a ideias expressadas por meio de conjuntos de palavras combinadas em proposições. De acordo com Novak e Gowin (1996, p. 31), “proposições são dois ou mais conceitos ligados por palavras de modo a formar uma unidade semântica”. Em outras palavras, caracteriza-se pela compreensão do significado que supera a soma dos significados das palavras expressas na sentença. Percebe-se dessa maneira a relevância dos outros tipos de aprendizagem, pois, se faz necessário que o sujeito conheça o significado de cada palavra para entender o conjunto de conceitos.

Ainda em relação aos tipos de aprendizagem, de acordo com Ausubel (2003), elas podem ocorrer de forma subordinada, superordenada e combinatória.

Na aprendizagem subordinada, os conceitos ou proposições potencialmente significativos são ancorados ou incluídos em ideias mais amplas da estrutura cognitiva, uma vez que a mesma tem tendência de organizar-se hierarquicamente, há uma relação subordinada das novas informações com as ideias mais subordinantes já existentes na estrutura.

Se a nova informação for compreendida como um exemplo específico de um conceito ou proposição estabelecidos na estrutura cognitiva, ou apoio a ideia subsunçora, diz-se que é uma aprendizagem subordinada derivativa. Entretanto, se a nova informação for uma extensão, elaboração ou modificação de conceitos ou proposições já aprendidos e é incorporada por subsunçores mais inclusivos da estrutura cognitiva, 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 aprendido os conceitos 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.

Com o objetivo de proporcionar uma 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.

3.2 ORGANIZADORES PRÉVIOS

As noções prévias dos alunos em relação a um conceito podem servir de subsunçores para informações novas. Sempre que uma nova informação é ancorada em um subsunçor ocorre um crescimento e uma modificação no mesmo. Dessa forma, eles podem ser abrangentes, bem desenvolvidos ou limitados.

Mas o que acontece quando esses subsunçores não existem?

Ausubel propõe o uso de organizadores prévios, que têm por objetivo desenvolver conceitos subsunçores que facilitem a Aprendizagem Significativa. Trata-se de materiais introdutórios apresentados antes do material de aprendizagem, com maior nível de abstração, generalidade e inclusão, atendendo o aspecto da subjetividade de cada indivíduo, cuja finalidade é servir como ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que ele deve aprender, superando esse limite.

A fundamentação lógica para a utilização dos organizadores prévios, de acordo com Ausubel, baseia-se na:

- a) Importância de ter ideias relevantes estabelecidas, já disponíveis na estrutura cognitiva, para fazer com que as novas informações logicamente significativas se tornem potencialmente significativas;
- b) Maior estabilidade, poder de explicação e capacidade integradora das ideias mais gerais e inclusivas de uma disciplina, que podem ser alterados de forma adequada em interação com o material de aprendizagem.
- c) Identificação de subsunçores na estrutura cognitiva, bem como a indicação de maneira explícita da relevância desses para o novo material de aprendizagem.

Os organizadores prévios são relevantes para a Aprendizagem Significativa ao passo que os subsunçores do aprendiz podem ser demasiadamente gerais e não oferecerem

subsídios para que ocorra a ancoragem das novas informações na estrutura cognitiva. Assim, o material introdutório assume o papel de mediador nesse processo, manipulando a estrutura e facilitando a Aprendizagem Significativa. Além disso, pode contribuir na reconciliação e integração de ideias que estejam em conflito com a estrutura cognitiva.

3.3 DIFERENCIAÇÃO PROGRESSIVA

Quando se programa uma disciplina, curso ou aula, seguindo os princípios da diferenciação progressiva, primeiramente são apresentadas as ideias mais gerais e inclusivas para posteriormente diferenciá-las progressivamente em termos de suas particularidades. Essa ordem de apresentação corresponde à maneira pela qual os conhecimentos se representam, organizam e armazenam na estrutura cognitiva.

Os pressupostos que justificam essa estratégia são dois: é mais simples fazer a diferenciação de uma informação geral do que formular um todo inclusivo a partir das partes diferenciadas; a organização que os indivíduos fazem do conteúdo em seu intelecto consiste em uma estrutura hierárquica. Assim, parece razoável afirmar que a obtenção e retenção de conhecimentos se darão de forma mais eficaz se os professores planejarem sua disciplina da mesma forma. Em outras palavras, é como afirmar que as novas ideias são aprendidas de modo mais eficaz quando na estrutura cognitiva já existem ideias mais inclusivas.

De acordo com Novak e Gowin (1996), o princípio da diferenciação progressiva de Ausubel estabelece que a Aprendizagem Significativa é um processo contínuo, no qual os conceitos podem ser permanentemente modificados e mais inclusivos à medida que vão sendo progressivamente diferenciados.

3.4 RECONCILIAÇÃO INTEGRADORA

Na aprendizagem combinatória ocorre uma recombinação de conceitos da estrutura cognitiva do indivíduo, que se reorganizam e adquirem novos significados. Esse processo é denominado princípio da reconciliação integradora. Esse princípio procura explorar as relações entre as ideias de um assunto, indicar diferenças e semelhanças significativas para se reconciliarem as inconsistências.

O professor pode aplicar esse princípio na organização da disciplina, elaborando o material em linhas paralelas, quando os materiais apresentados são relacionados de forma sequencial, porém não têm dependência sequencial de um tópico para outro. As

atividades programadas levando em consideração a reconciliação integradora permitem que o aprendiz aumente sua capacidade de discriminar novas ideias daquelas já aprendidas.

Segundo Novak e Gowin (1996), esse princípio determina que a Aprendizagem Significativa se aprimora quando o aluno estabelece novas relações conceituais entre conjunto de conceitos ou proposições. O que resulta em uma diferenciação profunda dos conceitos envolvidos.

Os organizadores prévios podem ser pensados para provocar a Aprendizagem Significativa por meio do princípio da reconciliação integradora. Para tal, devem expor pontos em comum e diferenças entre os conceitos novos e os já retidos na estrutura cognitiva.

3.5 ORGANIZAÇÃO SEQUENCIAL

Pode-se maximizar a disponibilidade dos subsunçores para a aprendizagem verbal e retenção significativas 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. Para um processo mais eficaz, sugere-se que sejam fornecidos organizadores para cada unidade do material, visto que cada novo conhecimento pode se tornar um subsunçor útil para as próximas aprendizagens. Uma das vantagens é a disposição sequencial e gradativa de dificuldades, que assegura que cada progresso alcançado se torne uma base para as tarefas seguintes.

3.6 CONSOLIDAÇÃO

O princípio da consolidação consiste em assegurar que os assuntos estudados sejam dominados pelos alunos antes da introdução de um novo assunto. Para tal, são necessárias revisões e repetições do conteúdo estudado em quantidade e espaçamento suficientes, com práticas diferenciadas em torno do material de aprendizagem. É bom lembrar que também se faz necessário proporcionar atividades que confirmem e/ou corrijam as aprendizagens prévias.

Um momento propício para o aluno confirmar ou confrontar suas noções aprendidas é no retorno das avaliações. Trata-se de uma oportunidade de consolidação a etapa da devolutiva das avaliações, pois clarificam e corrigem suas aprendizagens anteriores.

Nas tarefas sequenciais, é relevante que estejam bem estabelecidas as informações obtidas em uma fase anterior, pois elas são subsídios para a compreensão eficaz da fase seguinte.

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. Isso facilita a aprendizagem e a retenção dos novos significados formados.

Em resumo, Ausubel propõe maneiras de planejar os materiais para que seja propiciada a Aprendizagem Significativa e os princípios citados acima têm a finalidade de favorecer esse tipo de aprendizagem, otimizando a aquisição e retenção de informações.

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. Na seção seguinte é feita uma explanação a respeito de Mapas Conceituais, o que são, como são desenvolvidos, tipos de utilização, formas de avaliação e os itens de um Mapa Conceitual que indicam indícios de Aprendizagem Significativa.

3.7 MAPAS CONCEITUAIS

Ausubel esclarece de forma detalhada a relevância do papel desempenhado pelos conhecimentos prévios dos estudantes no processo de Aprendizagem Significativa, entretanto ele não apresenta instrumentos para que os professores averiguem esses conhecimentos. De acordo com Novak e Gowin (1996, p. 56), “esses instrumentos são os mapas conceituais”.

Os mapas conceituais foram desenvolvidos dentro de um programa de pesquisa, em 1972, na Universidade de Cornell, no qual se investigava as mudanças na maneira como as crianças compreendem a ciência. Diante da necessidade de encontrar uma forma de representar a compreensão conceitual de crianças, surgiu a ideia de que esse conhecimento fosse representado na forma de mapas conceituais. Surgia aí um novo instrumento para uso nas pesquisas e no ensino (NOVAK; MUSONDA, 1991). Os mapas conceituais têm por finalidade representar relações entre conceitos na forma de proposições. As proposições consistem de dois ou mais termos ligados por palavras de modo a constituir

uma unidade semântica, ou unidade de sentido, por exemplo, “a flor é linda”. Sintetizando, “um Mapa Conceitual é um recurso esquemático para representar um conjunto de significados conceptuais incluídos numa estrutura de proposições” (NOVAK; GOWIN 1996, p. 31).

A forma de representação dos mapas conceituais consiste na disposição dos conceitos dentro de círculos, quadrados ou algo do gênero, interligados por linhas. As palavras ou frases de ligação que ficam sobre essas linhas especificam a relação entre os conceitos. Outra característica da representação dos mapas é que apresentam os conceitos de maneira hierárquica, ou seja, os conceitos mais gerais e inclusivos ficam no topo do mapa e os mais específicos são dispostos sucessivamente logo abaixo. A estrutura hierárquica depende do contexto no qual o conhecimento está sendo considerado, assim, o ideal é propor uma questão, denominada questão focal, para orientar a construção do mapa (NOVAK; CAÑAS, 2008). Todo Mapa Conceitual responde a uma questão focal, e o primeiro passo para aprender a respeito de algum assunto é fazer questões bem formuladas.

A apropriação dos mapas conceituais pode ser de utilidade em vários campos: como na organização e análise dos conteúdos de uma aula, parte dela ou de uma disciplina inteira; no ensino podem ajudar na explanação e representação hierárquicas dos conteúdos apresentados em uma aula ou na disciplina em si; como instrumentos de avaliação para obter uma imagem da organização conceitual que o aluno estabelece perante determinado conteúdo, etc. Enfim, os mapas podem ser utilizados em diferentes situações e com diversas finalidades (MOREIRA; ROSA, 1986).

Também, de acordo com Novak e Gowin (1996), no processo de elaboração dos mapas conceituais é possível que ocorra a construção de novos significados, pois podem reconhecer novas relações proposicionais entre os conceitos, representando a aquisição de novos significados. Isso pode ser considerado uma atividade criativa e fomentadora de criatividade, que é um requisito para Aprendizagem Significativa.

Quando a aluno se apropria de um novo significado ele passa por um processo que Novak e Gowin (1996) denominam *sentir o significado*, que consiste no momento de emoção ao interiorizar um novo conhecimento. Essa emoção pode ser positiva, no sentido de “ah, agora entendi” ou negativas relacionados ao medo por perceber o quanto suas noções estavam imprecisas.

Pensar em ideias novas requer tempo e atividades mediadoras, não é um processo instantâneo. O processo de fazer e refazer os mapas conceituais pode ajudar o aluno a desenvolver o pensamento reflexivo, que prepara o mesmo para pensar e aprofundar suas

ideias, permitindo, ao mesmo tempo, que ele corrija algumas noções que por ventura estejam inadequadas.

Outra possibilidade do uso dos mapas conceituais é em relação à negociação de significados. Negociar, nesse caso, significa chegar a um consenso a respeito de algum assunto. Ao contrário da aprendizagem, os significados podem ser compartilhados, discutidos e negociados. O Mapa Conceitual pode, dessa forma, conduzir discussões em sala de aula e desempenhar uma função social útil quando construído de forma coletiva por um grupo de alunos.

Como apresentar esse novo instrumento de estudo e avaliação na prática docente? De acordo com Novak e Gowin (1996), não existe uma maneira correta de introduzi-los em sala de aula. Essa é uma tarefa que vai exigir diferentes estratégias, dependendo da maturidade intelectual do público alvo. Novak e Gowin (1996) apresentam algumas abordagens para apresentar os Mapas Conceituais em diversos níveis de ensino, desde Educação Básica até o Ensino Superior.

Mesmo com a apresentação prévia dos Mapas Conceituais, não pode-se esperar que o aluno reproduza um Mapa Conceitual “perfeito” com todos os conceitos envolvidos nas atividades. Isso remete a máxima capacidade de memorização, que não é o objetivo da Aprendizagem Significativa. Os erros são parte do aprendizado e é na sequência das construções dos mapas que se percebe o quanto o aluno progrediu.

Dessa forma, os Mapas Conceituais são ótimos instrumentos para observar as alterações de significado que os alunos dão aos conceitos presentes em seus mapas, que, quando conscientemente elaborados, revelam a organização cognitiva dos alunos.

O processo de refazer os mapas é uma tarefa relevante, pois o primeiro Mapa Conceitual que uma pessoa elabora geralmente apresenta falhas. Pode ocorrer uma dificuldade de mostrar relações hierárquicas, ou uma disposição de conceitos em partes opostas do mapa, mas que se relacionam entre si, etc. Assim, ao refazer o mapa o aluno dispõe melhor os conceitos, reduz a confusão visual, corrige erros ortográficos, enfim, deixam os mapas bem elaborados.

Uma ideia é permitir que os alunos consultem o mapa anterior para refazerem seus mapas, assim, eles mesmos terão a sensação de construção dos novos significados ao passo que podem acompanhar e comparar seus resultados. Segundo Novak e Gowin (1996), “não há nada que tenha um impacto afetivo maior para estimular a Aprendizagem Significativa de um aluno do que o êxito demonstrado ao obter conquistas substanciais na própria Aprendizagem Significativa” (NOVAK; GOWIN 1996, p. 58).

Novak e Gowin (1996) também sugerem alguns critérios para a avaliação dos mapas conceituais:

a) Proposições: A relação de significado entre dois conceitos é indicada pela linha que os une e pelas frases de ligação correspondentes? A relação é válida? (1 ponto para cada relação válida).

b) Hierarquia: O mapa revela uma hierarquia? Os conceitos subordinados são mais específicos e menos gerais que o conceito acima dele? (5 pontos para cada relação válida).

c) Ligações cruzadas: O mapa apresenta ligações significativas entre diferentes segmentos da hierarquia conceitual? A relação é válida? (10 pontos para cada relação válida).

d) Exemplos: Existem exemplos relacionados aos conceitos? (1 ponto para cada exemplo).

Outra sugestão é construir e pontuar um mapa para tê-lo como referência no momento de pontuação dos demais. Porém, não há a necessidade de tornar o processo de avaliação quantitativo.

Ainda tratando de avaliação, como isso pode ser feito em relação à Aprendizagem Significativa por meio de mapas conceituais?

A base para avaliação deve seguir os pressupostos da Aprendizagem Significativa, a organização hierárquica, diferenciação progressiva e reconciliação integradora.

Organização hierárquica: os conceitos e proposições menos inclusivos e mais específicos estão subordinados aos conceitos e proposições mais gerais e inclusivos? Essa ideia incorpora o conceito de subsunção de Ausubel, na qual as novas informações são integradas a conceitos mais abrangentes. Uma estrutura hierárquica adequada inicia-se com conceitos mais amplos, conduzindo posteriormente a conceitos mais específicos, o que também sugere a diferenciação de conceitos, pois mostra um conjunto de relações entre os conceitos e seus subordinados.

Para a construção de um Mapa Conceitual hierárquico há a necessidade de reflexão, o que retira o aluno da posição passiva e exige uma posição ativa frente ao processo de elaboração do mapa, uma vez que ele precisa fazer a distinção e a relação entre os conceitos mais gerais e os mais específicos.

Diferenciação progressiva: os conceitos estão sujeitos a uma diferenciação progressiva? Esse princípio estabelece que a Aprendizagem Significativa é um processo

contínuo, no qual os conceitos adquirem maior significado e ficam fortemente ancorados na estrutura cognitiva ao passo que são alcançadas novas relações. A diferenciação progressiva por meio dos mapas conceituais pode proporcionar ao aluno recompensas emocionais e cognitivas.

Reconciliação integradora: ocorre relação entre dois ou mais conceitos em termos de novos significados? Esse princípio determina que a Aprendizagem Significativa é eficiente ao passo que o aluno reconhece novas relações conceituais entre os conjuntos de conceitos e proposições existentes e os novos. A reconciliação integradora resulta em uma diferenciação mais profunda dos conceitos. Os mapas conceituais que apresentam interligações válidas entre conjuntos de conceitos, que antes eram encarados independentes, são sinais de uma mente criativa e podem sugerir uma reconciliação integradora de conceito por parte do aluno.

Assim, um bom Mapa Conceitual deve apresentar, nem que de forma sucinta, todas essas características. De acordo com Tavares (2007), as habilidades de construção de mapas conceituais podem ser aprimoradas em algumas atividades. Uma delas consiste em fornecer um número de conceitos a respeito do tema estudado e pedir para que os alunos relacionem esses conceitos, acrescentem alguns, se necessário, e os liguem de modo a formarem proposições válidas.

Vale ressaltar que existe uma variedade de tipos de mapas, alguns são mais utilizados devido à facilidade na elaboração, outros por serem mais claros na explicação ou pela hierarquização conceitual, etc. Como exemplos podem ser citados os mapas conceituais do tipo: teia de aranha; fluxograma; entrada saída; hierárquico. Cada um apresenta suas especificidades, vantagens e desvantagens (TAVARES, 2007). Neste estudo foi adotado o tipo de Mapa Conceitual hierárquico, pois expõe a estrutura cognitiva dos autores e permite explicar de forma clara o entendimento do autor a respeito do tema.

Assim como os Mapas Conceituais são encarados como instrumentos capazes de detectar, bem como facilitar a Aprendizagem Significativa, existem outros facilitadores, como por exemplo, a diversificação dos recursos didáticos. Moreira (2000) expõe alguns princípios facilitadores da Aprendizagem Significativa, entre eles aprender a partir de distintas estratégias de ensino e de distintos materiais educativos. Com base nesses argumentos a Unidade Didática elaborada foi estruturada de forma a atender esses princípios, abandonando o ensino centrado em atividades de quadro e giz e buscando uma diversidade de materiais educativos, entre eles vídeos, simulações, leituras, animações e Mapas Conceituais.

Destaca-se agora a relevância da utilização dos materiais multimídias no decorrer dos processos de ensino que visam uma Aprendizagem Significativa, uma vez que há a necessidade de revisões e repetições dos conteúdos estudados, em quantidade e espaçamentos suficientes, por meio de práticas de ensino diferenciadas. Na próxima seção é feita uma breve revisão de estudos a respeito da utilização de multimídias no ensino de ciências, que podem ser muito úteis como instrumentos para introdução e revisão de conteúdos.

3.8 MULTIMÍDIAS NO ENSINO DE CIÊNCIAS

A sociedade vive um período em que a tecnologia tornou-se parte da vida da maioria das pessoas, seja em casa, no trabalho, nas relações sociais, enfim, no seu dia a dia. Pode-se dizer que as pessoas estão a maioria do tempo conectadas e recebendo informações, vinculadas pelas mídias, que circulam com uma rapidez inestimável e se apresentam de formas atrativas e interativas. Será que as escolas como um todo acompanharam esse processo? As aulas conseguem atrair a atenção dos alunos?

De acordo com estudos da área de ensino, uma das razões apontadas para o insucesso na aprendizagem dos alunos são os métodos de ensino incoerentes com as teorias de aprendizagem, bem como a falta de recursos didáticos modernos que venham para tirar a hegemonia do quadro, giz e livro didático (FIOLHAIS; TRINDADE, 2003).

Em se tratando do ensino de Física, é evidente a dificuldade que a maioria dos alunos apresenta na compreensão e retenção de conceitos, isso devido ao fato da disciplina exigir níveis de abstração, interpretação e reflexão que nem todos os adolescentes apresentam, e que pode ser uma tarefa mais árdua quando não conta com os recursos didáticos adequados (FIOLHAIS; TRINDADE, 2003).

As causas do insucesso escolar, observado principalmente nas disciplinas das áreas de exatas, não tem um único responsável, elas são dirigidas aos professores e alunos. Aos professores quando não ajustam os métodos de ensino às teorias de aprendizagem, não utilizam, ou utilizam de maneira inadequada, os diversificados recursos didáticos modernos. Aos alunos quando apresentam: desenvolvimento cognitivo insuficiente, falta de conhecimentos básicos de Matemática, noções relacionadas com o senso comum e não com a lógica científica, a resistência que os alunos têm em relação a essas disciplinas, entre outros (FIOLHAIS; TRINDADE, 2003).

Na sala de aula o professor tem a chance de sanar algumas dessas causas.

Para isso, ele deve proporcionar um ambiente propício à aprendizagem, procurando diversificar os recursos didáticos para que consiga atrair a atenção dos alunos para os fenômenos estudados. Em Física, os métodos tradicionais de ensino, pautados na apresentação de conteúdo de forma verbal ou textual, vêm se mostrando insuficientes na aprendizagem dos conceitos.

A necessidade de diversificar a maneira de expor os conteúdos com a intenção de obter resultados satisfatórios levou ao uso crescente e diversificado do computador no ensino. O computador é um instrumento capaz de oferecer inúmeras possibilidades para ajudar a resolver as dificuldades na aprendizagem das ciências em geral e da Física em particular.

O uso do computador no ensino de Física, bem como no ensino das demais ciências, não pode ser inspirado por modismos. Deve ser feito de maneira que possibilite o desenvolvimento cognitivo do aluno, leve em conta as diferenças nos ritmos de aprendizagem individuais, a adequação dos conteúdos, etc. Pois, do contrário será apenas mais uma forma de mascarar o ensino tradicional. A simples implementação das tecnologias em sala de aula não garante que a aula deixe de ser tradicional.

De acordo com Fiolhais e Trindade (2003, p. 271) as novas tecnologias trouxeram novas perspectivas para o ensino e aprendizagem das ciências, “pois o professor dispõe de novas possibilidades para transmitir conteúdos e os alunos dispõem de uma variedade de meios para aprender”. São diversos os modos de utilização do computador, desde a aquisição de dados, modelagem, simulação, realidade virtual, internet e multimídia. Compete ao professor escolher qual dos usos é adequado para cada conteúdo. Pois, “é preciso respeitar as especificidades do ensino e da própria tecnologia para poder garantir que o seu uso, realmente, faça diferença. Não basta usar [...], é preciso saber usar de forma pedagogicamente correta a tecnologia escolhida” (KENSKI, 2007, p. 27).

Nesse contexto, reflete-se também a questão de como os professores utilizarão as Tecnologias de Informação e Comunicação nas salas de aula, como os computadores, vídeos, a internet, os softwares, hipermídias, etc., uma vez que as aulas com recursos audiovisuais podem possibilitar a aprendizagem instigando os alunos por meio da integração da imagem e do som que permite a visualização de formas, que nem sempre são possíveis sem esse auxílio (VASCONCELOS; LEO, 2012).

3.8.1 Vídeos

Um dos recursos bastante utilizado é o vídeo, que atrai o espectador pelo sensorial, emocional, intuitivo e por fim o racional. Ele é associado à televisão, ao contexto de lazer e entretenimento, isso faz com que o aluno assuma uma atitude positiva perante o recurso, que deve ser aproveitada para atrair a atenção dos mesmos para os conteúdos que se deseja ensinar. Esse recurso chama a atenção por partir do concreto, do visível, explorar o fato de ter diante de si situações, cenários, cores, relações espaciais, etc., que toca os sentidos permitindo experiências sensoriais (MORAN, 1995).

O vídeo é sensorial, visual, linguagem falada, linguagem musical e escrita. Linguagens que interagem superpostas, interligadas, somadas, não separadas. Daí a sua força. Nos atingem por todos os sentidos e de todas as maneiras. O vídeo nos seduz, informa, entretém, projeta em outras realidades (no imaginário) em outros tempos e espaços. O vídeo combina a comunicação sensorial-cinestésica, com a audiovisual, a intuição com a lógica, a emoção com a razão. Combina, mas começa pelo sensorial, pelo emocional e pelo intuitivo, para atingir posteriormente o racional (MORAN, 1995, p. 28).

Como já citado anteriormente, o professor deve fazer bom uso dos recursos didáticos, e com os vídeos não é diferente. Há casos em que são usados de maneira inadequada, sem nenhum planejamento o que acaba desperdiçando o potencial do instrumento.

Moran (1995) propõe algumas sugestões para utilização de vídeos como aliados no processo de ensino e aprendizagem. São elas:

Vídeo como sensibilização: pode ser utilizado para introduzir um novo conteúdo, com finalidade de despertar a curiosidade e a motivação para o estudo de novos temas;

Vídeo como ilustração: pode ser utilizado para mostrar o que é falado em sala de aula, compor cenários e formas desconhecidas pelos alunos, possibilitando a visualização de realidades distantes do cotidiano;

Vídeo como simulação: perante situações em que não é possível realizar uma experiência ou observação, devido ao risco ou ao tempo, o vídeo pode ilustrar o que se deseja em alguns minutos ou até segundos;

Vídeo como conteúdo de ensino: pode ilustrar um determinado conteúdo de forma direta ou indireta;

Vídeo como produção: pode ser útil na documentação com o registro de eventos, de aulas, etc.

3.8.2 Simulação Computacional

Outro recurso que tem ganhado espaço nas aulas de ciências é a simulação computacional. Desde o surgimento dos primeiros computadores comerciais, já haviam pesquisadores preocupados em como utilizá-lo para fins educativos. No entanto, as primeiras experiências foram feitas no sentido de armazenar informações que seriam transmitidas para os alunos, era uma tentativa de implementar a máquina de ensinar de Skinner. Atualmente, a utilização do computador é feita de forma diversificada, interessante e desafiadora, que vai muito além do que simplesmente transmitir informações (VALENTE, 1999).

Isso exige do professor além de uma formação que propicie conhecimentos básicos a respeito de informática, um preparo que deve ir além de repassar informações, deve criar condições para que ele construa conhecimento a respeito das técnicas educacionais, entenda o porquê e como integrar o computador na sua prática docente.

Os computadores vêm sendo usados como instrumentos pedagógicos há um bom tempo. E permitem dentre outras possibilidades o uso de simulações. As simulações, por sua vez, possibilitam o estudo de fenômenos que na prática seriam difíceis ou em alguns casos inviáveis, por serem de alto custo financeiro, perigosos, muito rápidos ou muito lentos, etc. (MEDEIROS; MEDEIROS, 2002). Além, de proporcionar um ambiente interativo, onde o aluno pode interagir com o programa de simulação controlando alguns parâmetros que acabam promovendo uma compreensão satisfatória do fenômeno estudado. A simulação dos movimentos e a representação gráfica das grandezas físicas oferecidas pelos softwares possibilitam melhor entendimento dos aspectos físicos e matemáticos envolvidos no processo (RIBEIRO JR; CUNHA; LARANJEIRAS, 2012).

É bem difundido o uso de simulações e modelagens computacionais de sistemas físicos, essa expansão se deve, de acordo com Figueira (2005), às inúmeras vantagens do uso destes instrumentos, especialmente no ensino de ciências, com a utilização dos laboratórios virtuais, ambientes eletrônicos com simulações que rodam em pequenos programas, executados dentro de uma página HTML.

Nogueira *et al.* (2000) discutem a possibilidade do uso de computadores dentro de uma perspectiva da Aprendizagem Significativa. Uma característica comum entre os simuladores é permitirem seu uso por alunos com diferentes graus de desenvolvimento cognitivo, pois são criados para reproduzir variadas situações, desde situações-problema até verificações de acerto ou erro diante de questões objetivas.

Segundo a abordagem Ausubeliana, uma das condições para que ocorra aprendizagem, é que as novas informações devem se relacionar com algum elemento da estrutura cognitiva do aluno. Como em uma sala haverá alunos com diferentes subsunçores, para que um simulador proporcione aprendizagem deve oferecer informações diferentes a cada um, além de trazer uma linguagem que faça sentido para o aluno. Portanto, o uso de simuladores se tornará mais eficaz se a interface gráfica entre o aluno e o computador for apropriada, assim, as chances de que haja o aprimoramento na estrutura cognitiva, a partir de seus subsunçores, aumenta (NOGUEIRA *et al.*, 2000).

Por meio do uso do computador o aluno pode realizar tarefas e obter informações em um curto intervalo de tempo, otimizando o tempo das aulas. Entretanto, a falta de informação ou de motivação dos professores, faz com que esse instrumento seja deixado de lado (VIANA; ALVARENGA, 2009). Essa falta de motivação ou informação impede, muitas vezes, que o professor faça uso de uma metodologia diferenciada para tratar dos conteúdos a serem ministrados. E infelizmente, é notável a necessidade de se apresentar novos instrumentos e metodologias para o ensino de Física bem como para todas as disciplinas da área de exatas, devido ao grande insucesso das práticas tradicionais de ensino.

A Física trata de conceitos abstratos, e a pouca experiência e familiaridade dos adolescentes com a abstração dificulta a aprendizagem. O que justifica o crescente uso das tecnologias de informação e comunicação no ensino, que vem ajudando os alunos a suprir a abstração dos conceitos com simulações demonstrativas e interativas.

Além da vantagem citada anteriormente, o uso de softwares no ensino de Física pode ajudar tanto na motivação do aprendiz como na ampliação da carga horária das aulas de Física (PIRES; VEIT, 2006). Devido ao número reduzido de aulas, muitas vezes, o professor se sente obrigado a selecionar os conteúdos, que a seu critério são mais relevantes para a formação dos alunos, pois no tempo disponibilizado não conseguiria abordar todos, ou se o fizesse faria de maneira rápida e superficial, não tendo tempo para discussões ou contextualização dos mesmos. Isso pode contribuir ainda mais para o não entendimento dos conceitos e uma falsa ideia de que Física é um prolongamento da matemática (PIRES; VEIT,

2006). A utilização de simuladores, por exemplo, pode auxiliar o professor quanto à explanação de conteúdos, bem como o aluno com relação à descoberta da veracidade de seus conhecimentos prévios e noções intuitivas.

Quando dizemos simuladores, nos referimos a programas que reproduzem na tela de um computador fenômenos e leis naturais, oferecendo a seus usuários um ambiente exploratório, que lhes permite controlar algumas condições iniciais e comprovar as consequências de suas escolhas (CANO; SANCHO 1998). Em geral são divertidos e interativos permitindo ao aluno a manipulação inclusive de situações as quais seriam impossíveis na prática. Por exemplo, ao estudar o movimento de projéteis, o estudo do movimento em tempo real não permite que se observem todos os detalhes possíveis. Porém, no computador esse movimento pode ser estudado passo a passo com toda a riqueza dos detalhes.

Assim, o uso de programas computacionais permite que o aluno gere conhecimento, proporcionando reflexões que garantem uma aprendizagem solidificada do fenômeno estudado (GOMES, 2009). Pois, por meio das interações o aluno além de visualizar os fenômenos, também poderá alterar parâmetros o que permite mais clareza ao estudo.

A utilização de softwares, no ensino de Física, vem sendo feito tanto em nível de Ensino Médio quanto em nível de Ensino Superior, bem como em instituições públicas e privadas. Como mostram os trabalhos de Yamamoto e Barbeto (2001) e Pires e Veit (2006). Porém, o simples uso de simulações nas aulas de Física não irá garantir o sucesso do processo de ensino. De acordo com Tajra (2008), uma aula usando computadores pode ser tão tradicional quanto uma aula de quadro e giz. É necessário que o professor repense sua prática docente, planeje as atividades, e faça a implementação da abordagem em momento oportuno.

Em sua tese de doutorado, Gaddis (2000) lista uma série de benefícios do uso das simulações computacionais no ensino das ciências, como:

redução do ruído cognitivo de modo que os estudantes possam se concentrar nos conceitos envolvidos nos experimentos; fornecer um *feedback* para aperfeiçoar a compreensão dos conceitos; permitir aos estudantes gerarem e testarem hipóteses; engajar os estudantes em tarefas de alto nível de interatividade; envolver estudantes em atividades que explicitem a natureza da pesquisa científica; apresentar versões simplificadas da realidade pela destilação de conceitos abstratos em seus mais importantes elementos; tornar conceitos abstratos mais concretos; reduzir a ambiguidade e ajudar a identificar relacionamentos de causas e efeitos em sistemas complexos; servir como uma preparação inicial para a compreensão do papel de um laboratório; desenvolver habilidades de resolução de problemas; promover habilidades do raciocínio crítico; fomentar uma compreensão mais profunda dos fenômenos físicos; auxiliar os estudantes a aprenderem a respeito do mundo natural,

vendo e interagindo com os modelos científicos subjacentes que não poderiam ser inferidos por meio da observação direta (GADDIS, 2000, Apud MEDEIROS; MEDEIROS, 2002, p. 80).

No entanto, devem-se tomar alguns cuidados com as simulações que serão apresentadas aos alunos, pois alguns podem conter alguns equívocos, que podem conduzir os alunos a interpretarem o fenômeno de forma incorreta. Há um risco quando se adota as simulações sem um olhar crítico, pois as mesmas podem apresentar algumas desvantagens que são negligenciadas. Vale ressaltar que as simulações por mais próximas que sejam do fenômeno que procuram representar, elas sempre serão modelos simplificados. Existe diferença entre experienciar um fenômeno por meio de um experimento real e por meio de simulações computacionais, essas diferenças devem ficar claras a fim de que as simulações não comuniquem uma visão distorcida do fenômeno (MEDEIROS; MEDEIROS, 2002).

Ainda de acordo com Medeiros e Medeiros (2002) é necessário tomar cuidado para que o excesso de entusiasmo perante as novas tecnologias pode obscurecer o fato de que, com sua utilização, alguns conhecimentos e habilidades estejam sendo perdidos e há sempre um risco quando se adota acriticamente as simulações no ensino de Física.

O uso do computador, bem como de qualquer recurso tecnológico encontra-se amparado em documentos oficiais como no PCN, que estimula o aprendizado por meio da tecnologia, visando motivar os alunos a se envolverem com a informática e fazerem uso dos recursos da mesma para seu desenvolvimento cognitivo, e não apenas como entretenimento (BRASIL, 2000).

A promoção de um ensino por meio de multimídias é uma maneira de proporcionar múltiplas representações de um determinado fenômeno, e é consistente com o ambiente escolar, tendo em vista a pluralidade dos sujeitos existentes em uma sala de aula e com uma Aprendizagem Significativa.

No próximo capítulo será descrito os procedimentos metodológicos adotados com a finalidade de alcançar os objetivos propostos nesta investigação.

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esse capítulo tem a finalidade de elucidar os procedimentos metodológicos utilizados para responder nossas questões de pesquisa.

Esta investigação trata-se de uma pesquisa qualitativa, 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. Em se tratando de uma investigação qualitativa, podemos caracterizá-la com cinco características: 1) a fonte direta dos dados é o ambiente natural, constituindo o investigador o instrumento principal, os locais de estudo são frequentados para se levar em conta o contexto, sendo as ações melhor compreendidas se observadas em seu ambiente natural; 2) descritiva, os dados recolhidos não são trabalhados de forma analítica; 3) os investigadores qualitativos interessam-se mais pelo processo do que simplesmente pelos resultados ou produtos, assim, não interessa saber se a pessoa gosta ou não de algo, mas sim o que levou ela a tomar tal posição; 4) os investigadores tendem a analisar seus dados de forma indutiva, não se colhe dados tentando comprovar uma hipótese, são os dados que levarão a hipótese; 5) o significado é de importância vital, interessa saber como diferentes pessoas dão sentido às suas vidas. Embora não seja uma regra que toda investigação qualitativa obedeça todas essas características (BOGDAN; BIKLEN, 1994).

Durante todo o processo de investigação, buscou-se atender, na medida do possível, essas particularidades. Esta pesquisa foi desenvolvida no ambiente escolar dos alunos, no qual a pesquisadora já atuava como professora há alguns meses antes da realização da investigação. Durante todo o processo de coleta de dados foi esclarecido que não se buscava respostas certas ou erradas, mas o entendimento, de acordo com os referenciais teóricos, dos significados obtidos dos dados.

Como o objetivo dessa pesquisa era investigar as potencialidades de uma Unidade Didática, construída para um tema específico da Física, que utilizasse uma abordagem histórico-didática com auxílio de multimídias, procurou-se desde o início uma fundamentação teórica que fornecesse os subsídios para a elaboração da Unidade Didática, bem como indicasse caminhos para responder as questões propostas no início da investigação.

Uma das questões era: Uma abordagem histórico-didática de um tema da Física Moderna pode levar a um entendimento adequado da Natureza da Ciência? A fim de respondê-la foi construído um texto teórico conceitual do tema *Partículas Elementares*, tomando como referencial teórico Martins (2005), que orienta o trabalho de pesquisadores iniciantes em História da Ciência. Nesta investigação o texto produzido foi utilizado como um

recurso didático na Unidade Didática. A fim de perceber as mudanças nas noções dos alunos foram utilizados questionários prévio e posterior.

Lederman *et al.* (2002) propõem alguns instrumentos de investigação para identificar as visões de NdC, na tentativa de fugir dos testes padronizados que levam a uma escolha forçada, do tipo “concordo” ou “discordo”. Assim, foi elaborado um questionário aberto para evitar os problemas inerentes ao uso de instrumentos que poderiam revelar posições tendenciosas. Ao contrário da escolha forçada em questionários de múltipla escolha, as questões abertas permitem aos entrevistados esclarecer seus próprios pontos de vista em relação à Natureza da Ciência.

Utilizou-se um tema de Física Moderna, apoiado na ideia de que esses temas também podem contribuir para uma noção mais apropriada do conhecimento científico.

Acreditamos que o ensino de Física Moderna e Contemporânea a alunos secundaristas se reveste de grande importância, uma vez que a introdução de conceitos atuais de Física pode contribuir para dar uma imagem mais correta desta ciência e da própria natureza do trabalho científico (PEREZ *et al.*, 1987, p. 209).

Como um dos objetivos era analisar se a Unidade Didática proposta resultaria em indícios de Aprendizagem Significativa, a primeira preocupação foi sondar os conhecimentos prévios dos alunos em relação ao tema proposto, Física de Partículas, pois de acordo com Ausubel (2003) é relevante que se leve em consideração o que o aluno sabe a respeito do assunto.

Essa primeira sondagem foi realizada antes mesmo da montagem da Unidade Didática. Para isso, foi elaborado um questionário com questões abertas relacionadas ao tema Física de Partículas e a respeito de noções de Natureza da Ciência, para que os alunos pudessem responder de acordo com o que conheciam a respeito dos temas.

O questionário, que se encontra no “Apêndice A”, foi adaptado de Lederman *et al.* (2002) e decodificado intersubjetivamente pelos integrantes do grupo de pesquisa IFHIECEM. Quando da aplicação do questionário, os alunos foram devidamente informados da pesquisa e assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido, assegurados da preservação de identidade, autorizando sua publicação. Antes que comessem a responder procurou-se deixar claro que não se esperava por respostas “certas” ou “erradas”, que o objetivo era fazer o levantamento dos conhecimentos prévios a respeito dos temas.

Com essas informações foi dado início a construção da Unidade Didática, que nesta investigação assumiu um papel de instrumento de coleta de dados.

A Unidade Didática foi aplicada no contraturno em dois encontros semanais, com duas aulas cada um, no período de três semanas, contabilizando seis encontros e 12 aulas ao todo.

4.1 ATIVIDADES NO CONTRATURNO

Como a ideia, desde o princípio, era trabalhar com uma atividade que fizesse uma síntese das Partículas Elementares, logo de início percebeu-se que seriam necessárias aproximadamente 10 aulas ou mais. O que tornaria inviável para aplicação dentro do planejamento anual da disciplina, haja vista o número de aulas disponíveis e a quantidade de conteúdo a ser ministrada. O que não inviabilizou a proposta, pois na escola está em andamento o Programa de Atividades Complementares Curriculares em Contraturno. Essas Atividades Complementares Curriculares em Contraturno (ACCC), de acordo com a INSTRUÇÃO N. 007/2012 – SEED/SUED,

são atividades integradas ao currículo escolar e contempladas no Projeto Político-Pedagógico/Proposta Pedagógica Curricular da escola, por meio da ampliação de tempos, espaços e oportunidades de aprendizagem que visam ampliar a formação de aluno, com registro de frequência diária dos mesmos no Livro de Classe, inseridas no Sistema de Administração Escolar (SAE) e no Sistema Estadual de Registro Escolar (SERE) (PARANÁ, 2012, p. 1).

Essas atividades podem ser permanentes, com no mínimo 16 horas/aula semanais, ou periódicas, com no mínimo quatro horas/aula semanais. E são organizadas a partir dos seguintes Macrocampos: Aprofundamento da Aprendizagem, Experimentação e Iniciação Científica, Cultura e Arte, Esporte e Lazer, Tecnologias da Informação, da Comunicação e uso de Mídias, Meio Ambiente, Direitos Humanos, Promoção da Saúde, Mundo do Trabalho e Geração de Rendas.

Na escola havia um Programa ACCC para a disciplina de Física, as atividades eram periódicas, com quatro horas/aula semanais, atendendo os alunos de todas as séries do Ensino Médio.

Assim, a proposta contida nesta pesquisa pode, futuramente, servir de material para atividades no Programa ACCC.

Vale ressaltar que nada impede que essa proposta seja implementada durante o planejamento anual da disciplina, o que se sugere é que o professor selecione algumas partes da Unidade Didática de acordo com o que for apropriado, uma vez que o conteúdo nela contemplado se relaciona com as expectativas de aprendizagem dos alunos ao final do Ensino Médio.

4.2 CONSTRUÇÃO DA UNIDADE DIDÁTICA

Para a construção da Unidade Didática, tomou-se por base os referenciais teóricos de Zabala (1998) e Ostermann e Cavalcanti (2010). De acordo com Zabala (1988), Unidades Didáticas são

sequências de atividades estruturadas para a realização de certos objetivos educacionais determinados. Essas unidades tem a virtude de manter o caráter unitário e reunir toda a complexidade da prática, ao mesmo tempo que são instrumentos que permitem incluir as três fases de toda intervenção reflexiva: planejamento, aplicação e avaliação (ZABALA, 1988, p. 18).

As sequências de atividades foram elaboradas de acordo com o referencial teórico da Aprendizagem Significativa. De maneira que as estratégias, metodologias e os recursos didáticos são sugeridos pelo referencial teórico adotado.

4.2.1 Estrutura da Unidade Didática

Foi preparada uma sequência de atividades para abordar o tema Partículas Elementares, no Ensino Médio, com uma duração aproximada de 12 aulas. A seguir é feita a descrição das atividades.

Aulas 01 e 02: Este foi o primeiro encontro da turma, consistindo nas boas-vindas ao curso, atividades com Mapas Conceituais, coleta de dados e introdução ao tema.

As boas-vindas consistiram em recepcionar os alunos e explicar que o curso ministrado fazia parte de uma pesquisa de mestrado, dentro do Programa de Pós-Graduação de Ensino de Ciências e Educação Matemática.

Em seguida os alunos foram apresentados aos mapas conceituais, pois um dos instrumentos de coleta de dados seriam os mapas, e se fazia necessário que os mesmos soubessem trabalhar com eles. Para isso, foram mostrados exemplos de diversos assuntos e construído mapas individuais a respeito de algum assunto do interesse dos alunos.

A coleta de dados foi feita com a intenção de investigar os conhecimentos prévios dos alunos do curso a respeito dos temas: Física de Partículas e Natureza da Ciência. Foi solicitado que os mesmos elaborassem um Mapa Conceitual que respondesse a questão: De que é feita a matéria que compõe os objetos naturais e artificiais do Universo? Os alunos também responderam ao mesmo questionário proposto para o levantamento dos conhecimentos prévios anteriores a construção da Unidade Didática.

Finalizando o primeiro encontro foram trabalhadas duas atividades que serviram de organizadores prévios. Uma delas consistia na análise do vídeo: *Partículas Elementares*²⁷ e outra na exploração da animação *A escala do Universo*²⁸.

Durante a análise do vídeo foram propostos os seguintes questionamentos: *Vocês sabem o que é uma escala macroscópica, ou uma escala microscópica? Qual a relevância de estudar a constituição da matéria?* Esses questionamentos foram feitos para instigar a curiosidade, a fim de que buscassem respostas, discutissem o conteúdo do vídeo e se sentissem motivados para explorar a animação proposta acima. A atividade de exploração da animação teve o objetivo de permiti-los compreender a diferença entre as escalas e a ordem de grandeza dos objetos que seriam estudados.

Para estimular a curiosidade dos alunos informou-se que no próximo encontro eles iriam “adotar” uma partícula.

Aulas 03 e 04: No segundo encontro a primeira aula começou com uma discussão a respeito da questão: De que é feita a matéria que compõe o Universo? Foram exploradas as primeiras explicações dadas para a questão, partindo desde explicações mitológicas até o pensamento filosófico, a fim de chegar ao conceito de átomo. Nesse momento foi apresentado um vídeo que representava o modelo atômico de Dalton²⁹, os alunos tinham como tarefa perceber as características desse modelo.

Em seguida foi dado início a uma rápida explanação a respeito do Modelo Padrão, em linhas gerais e inclusivas para que posteriormente, no decorrer dos encontros, fosse especificado.

À medida que foram sendo aprofundados os conceitos, foi dado início ao estudo dos léptons. Optou-se por começar pelo elétron devido ao fato dele ter sido a primeira partícula elementar detectada. Para trabalhar esse tópico foram utilizados recortes do texto teórico conceitual e o vídeo *A descoberta do elétron*³⁰.

As atividades de leitura, todas foram guiadas por questionamentos norteadores que possibilitassem a reflexão a respeito de elementos da Natureza da Ciência. Por exemplo: *A observação do elétron foi resultado das investigações de um único cientista, ou de vários? Você acha que os cientistas trocam informações entre si e se informam das publicações de outros grupos de pesquisa?*

²⁷ Disponível em: <http://univesptv.cmais.com.br/licenciatura-em-ciencias-particulas-elementares>.

²⁸ Disponível em: <http://htwins.net/scale2/lang.html>.

²⁹ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=58xkET9F7MY>. Foi realizada edição do vídeo utilizando o editor Movie Maker.

³⁰ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=4g0tX6WcUvo>.

Por fim, foi exibido o primeiro capítulo de uma série que seria apresentada em cinco capítulos, que consistia no vídeo *Discreto Charme das Partículas Elementares*³¹, dividido em cinco partes. O objetivo era trazer uma forma de representação diferente das que habitualmente são encontradas em vídeos e livros didáticos e retomar ao final das aulas alguns dos temas trabalhados ou dar início a um tema ainda a ser trabalhado, instigando a curiosidade dos alunos.

Como prometido no encontro anterior, cada aluno “recebeu” uma partícula. A tarefa deles era descobrir qual partícula haviam recebido, pois ela não vinha com nome, somente com algumas características, por exemplo: *Oi, que bom ser adotado por você! Prometo me comportar muito bem, você nem irá notar minha presença! Deixe-me falar um pouco a meu respeito: Tenho uma massa de $0,511\text{MeV}/c^2$, apresento carga elétrica negativa (-1), não tenho carga cor, tenho spin semi-inteiro ($1/2$), fui observado pela primeira vez em 1987. Será que você pode me ajudar a descobrir meu nome e a qual família eu pertença?*

Essa atividade teve o objetivo de fazer com que os alunos se familiarizassem com as características das Partículas Elementares e ao mesmo tempo entendessem a questão da representação das partículas, que não são objetos concretos, que não possuem forma física definida, que não podem ser visualizadas. Essa necessidade existe, ao ponto que o próprio nome “partícula” já remete a algo que possui massa e que de certa maneira deveria assumir uma forma física. Assim, faz-se necessária essa discussão da representação de partículas.

Aula 05 e 06: Foi dada sequência à exploração pela família dos léptons, abordando o neutrino do elétron, o pósitron, o múon, o neutrino do múon, o tau e o neutrino do tau. Foram desenvolvidas atividades de leitura de textos e apresentação de vídeos, ambas guiadas por questionamentos e discussões. Por exemplo, ao falar da família dos léptons, foram levantados os seguintes questionamentos: *Por que o neutrino do elétron foi proposto? Vocês conseguem perceber a presença de criatividade e imaginação na proposta de Pauli? A proposta de Pauli foi bem aceita pela comunidade científica da época? As evidências experimentais da existência no neutrino do elétron somente se deram 20 anos após ter sido proposto. O que manteve essa hipótese em vigor? Qual motivo Pauli apresentou a seus colegas para não se fazer presente no evento em que sua proposta foi discutida? A pesquisa em Física de Partículas sofreu alguma influência devido à Segunda Guerra Mundial? Surgiu um novo problema ou uma nova questão depois que os cientistas perceberam que o múon não era a partícula prevista por Yukawa. Qual era o novo problema a ser resolvido? Como se*

³¹Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=FAISMNkR_WM&list=PL106774692E8F6682.

chegou à proposta do neutrino do tau? Que tipos de aprimoramento foram necessários realizar nos laboratórios de pesquisa para a detecção dos neutrinos?

Para falar um pouco mais a respeito dos neutrinos e da pesquisa em torno deles, foi apresentado um vídeo, editado no Movie Maker, da série *Mundos Invisíveis*³². O objetivo era exemplificar alguns tipos de pesquisas feitas nesse tema e aproveitar para explicar os temas fissão e fusão nuclear.

Quando se iniciou os estudos a respeito do pósitron foi assistido um vídeo abordando a antimatéria e os possíveis questionamentos em relação ao assunto. O vídeo foi editado de um episódio do *Globo Ciência*³³. O objetivo era deixar no ar o questionamento a respeito da assimetria de matéria e antimatéria, bem como apresentar a ciência inacabada, em construção. Quanto aos recortes do texto, foi discutido o fato de Joliot e Curie terem encontrado evidências da existência do pósitron em alguns de seus experimentos e interpretarem de forma equivocada, não se dando conta que se tratava da detecção da antipartícula do elétron. O objetivo dessa discussão era mostrar que mesmo de posse de um mesmo conjunto de dados, os cientistas podem chegar a conclusões diferentes.

Na discussão a respeito dos experimentos em Física de Partículas, foi apresentado um vídeo que tratou de trazer mais informações referentes aos aceleradores de partículas. O vídeo exibido foi de um documentário da BBC Brasil³⁴.

Ao final do terceiro encontro foi assistido o segundo episódio da série *O Discreto Charme das Partículas Elementares*.

Aula 07 e 08: No início do quarto encontro foram retomadas algumas discussões, lembrando o que havia sido estudado até o presente momento. E em seguida deu-se continuidade ao estudo das Partículas Elementares, agora partindo para a família dos quarks.

Novamente, assim como nos demais tópicos estudados, foram utilizados os recortes do texto e alguns vídeos, seguidos de questionamentos como: *Gell-Mann, no início, acreditava que os quarks eram partículas reais? Que problema levou os cientistas a proporem um novo número quântico? A proposta de Gell-Mann foi bem aceita pela comunidade científica da época? O que levou à proposta de um quarto, quinto e sexto quark? As evidências do quark top tiveram a contribuição de vários países, como eles contribuíram? Por que houve tanta demora na detecção do quark top?*

³²Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=SOYml0I8mVM>.

³³Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=W53L2Hr17F0>.

³⁴Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Nx7sU9rA-Ww>.

Na discussão dos quarks, foram inseridos os estudos a respeito dos prótons, nêutrons e píons. Ao estudar com mais detalhes as evidências do próton, foi retomada a discussão dos modelos atômicos e exibido o vídeo *Tudo se Transforma, História da Química, História dos Modelos Atômicos*³⁵, editado, que tratava da evolução dos mesmos com o desenvolvimento da Ciência. O objetivo de abordar os prótons, nêutrons e píons, na Unidade Didática, era de apresentá-los como partículas que apresentam estrutura interna e que, em consequência disso, não são partículas elementares. Isso gera uma discussão semelhante à da evolução dos modelos atômicos, que apresenta o conhecimento como provisório, sujeito a mudanças com o passar do tempo.

Ao tratar da partícula pión e do quark top enfatizamos a participação de cientistas brasileiros na construção desses conhecimentos, bem como a participação feminina na Ciência. Foi utilizado um vídeo do episódio do Globo Ciência³⁶ que retratava Cesar Lattes como um dos homenageados físicos brasileiros. Ainda a respeito do pión, foram exibidos dois vídeos para representar as emulsões fotográficas e a partícula de Yukawa³⁷.

Com relação à participação da mulher na Ciência, procurou-se desnaturalizar o papel essencialmente masculino na construção do conhecimento científico. Durante as aulas foram evidenciadas as contribuições femininas para Física de Partículas, com o objetivo de colocar em discussão a invisibilidade da mulher nos trabalhos científicos.

Ao fim desse encontro foi exibido o terceiro episódio da série *O Discreto Charme das Partículas Elementares*. E em seguida foi feito um Mapa Conceitual coletivo a respeito da questão: De que é feita a matéria que compõe os objetos naturais e artificiais do Universo? Logo em seguida eles elaboraram cada um a segunda versão dos seus mapas, com a oportunidade de corrigir eventuais noções imprecisas na resposta da questão e acrescentar os novos conhecimentos adquiridos até então.

Aula 09 e 10: Foi realizada uma retomada dos tópicos vistos até o momento e dado início na sequência de atividades, que agora tratavam da família dos bósons. Nessa etapa das atividades foi proposta aos alunos uma atividade com uso de simuladores, escolheu-se um simulador do Efeito Fotoelétrico³⁸ para que eles visualizassem o efeito e manipulassem as variáveis envolvidas no processo. Não foi dado nenhum roteiro para exploração do recurso, foram apenas colocadas algumas questões a serem respondidas, como por exemplo: *O que acontece com o número de elétrons emitidos do metal quando diminuimos o comprimento de*

³⁵Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=58xkET9F7MY>.

³⁶Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=i6nqu-UEaIU>.

³⁷Disponíveis em: <https://www.youtube.com/watch?v=CyWqBjZePGE>.

³⁸Disponível em: http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/photoelectric.

onda da radiação? Se aumentarmos a intensidade da radiação, o número de elétrons emitidos do metal aumenta ou diminui? A velocidade dos elétrons ejetados depende da frequência ou da intensidade da radiação? Isso foi sugerido com a intenção de promover a percepção investigativa dos alunos e envolvê-los ativamente no processo de estudo.

Assim como nos demais tópicos, foram utilizados recortes do texto e alguns vídeos, um a respeito do Bóson de Higgs³⁹ e o outro era o quarto episódio da série *O Discreto Charme das Partículas Elementares*. Para finalizar as atividades do encontro os alunos construíram outro Mapa Conceitual coletivo a respeito da estrutura da matéria.

Aula 11 e 12: No último encontro do curso foi explicado com mais detalhes o Modelo Padrão, exibido o último episódio da série *O Discreto Charme das Partículas Elementares*, finalizada a atividade de “adoção” das partículas, construído um Mapa Conceitual coletivo e por fim a coleta de dados.

A última tomada de dados consistiu na elaboração da terceira versão do Mapa Conceitual individual, aplicação do questionário posterior que consistia nas mesmas questões do questionário prévio e a aplicação de um questionário de avaliação da Unidade Didática.

4.2.2 Descrição das Atividades

a) Recortes do texto teórico conceitual: Durante o curso foram utilizados recortes do texto teórico conceitual para provocar discussões a respeito de elementos da NdC, para isso os alunos eram instigados com questões problematizadoras ao iniciar as leituras. Para cada tópico estudado era tomada alguma dinâmica de leitura. Em algumas partes foram subtraídas palavras do texto e sugerido que eles colocassem as palavras em seus devidos lugares e em outros momentos foi feita uma leitura orientada por questões. Durante todo o processo os alunos eram instigados a pensar, refletir e discutir a respeito das questões propostas.

b) Vídeos: os recursos audiovisuais utilizados tiveram a intenção de trazer uma nova forma de representação dos fenômenos, oferecendo aos alunos a visualização de situações que não seriam alcançadas somente por leituras ou discursos orais. Após cada vídeo eram feitas discussões por meio de questões problematizadoras e salientados os pontos relevantes do recurso.

³⁹Disponível em: <http://tvcultura.cmais.com.br/reportereco/videos/boson-de-higgs>.

c) Animações e simulações: durante essas atividades o interesse era que o aluno interagisse de forma mais ativa no processo de ensino, manipulando algumas variáveis e procurando responder às questões propostas, bem como seus próprios questionamentos.

d) “Adoção” de partículas: essa atividade foi proposta com a finalidade de trabalhar a ideia de representação das partículas, ou melhor, da desconstrução das representações. Ao serem comunicados que adotariam uma partícula, todos ficaram muito entusiasmados. Quando “receberam” suas partículas eles não entenderam, pois esperavam algo concreto, tocável. Neste momento, aproveitou-se a oportunidade para explicar a questão das representações pictóricas feitas das partículas elementares, que na realidade não existe uma representação fiel, que sequer podemos vê-las.

e) Mapas Conceituais: Esses momentos foram explorados tanto em grupos como individualmente. Quando a proposta era voltada para o trabalho coletivo o interesse estava na negociação de significados entre alunos e na aprimoração da construção dos mapas. Nos momentos de construção coletiva, os alunos se reuniam, a professora entregava os conceitos que deveriam ser estruturados e deixava que eles fossem discutindo e construindo o mapa em uma cartolina. Ao final da atividade eram discutidos os eventuais erros e possíveis formas diferentes de estruturar o mapa. Nos momentos da elaboração dos mapas individuais o objetivo era mapear a organização cognitiva dos conceitos estudados pelos alunos.

A seguir é apresentada a Análise de Conteúdo utilizada, nesta investigação, como instrumento para análise dos dados e as Unidades de Contexto e Registro elaboradas para organização dos mesmos.

4.3 ANÁLISE DE CONTEÚDO

Para análise dos dados foi utilizado a análise de conteúdo, que, segundo Bardin (1977), é:

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).

Em resumo, uma análise de conteúdo procura explicar, sistematizar e expressar o conteúdo de mensagens, proporcionando uma compreensão rica do material, com a finalidade de revelar o que não está explícito na mensagem. Esse processo de análise se dá

em três etapas, 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, sistematizar as ideias, escolha dos documentos a serem submetidos à análise, formulação de hipóteses e objetivos. A pré-análise é composta de várias atividades que visam a organização do material, como: leitura flutuante, recortes do texto, categorização e codificação. Tendo uma pré-análise bem feita o processo de exploração do material vai consistir na administração sistemática das decisões tomadas anteriormente. Os dados devem ser tratados para que sejam significativos e válidos, tarefa que pode ser realizada com uma operação simples de percentagem, que permite estabelecer quadros de resultados ou diagramas, colocando em relevo algumas informações da análise. Por fim, dispondo de resultados significativos o pesquisador poderá propor inferências e interpretações a respeito do assunto tratado (BARDIN, 1977).

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.” Com base nos aportes teóricos foram elaboradas as Unidades de Análise constituídas pelas Unidades de Contexto (UC) e as Unidades de Registro (UR).

As Unidades de Contexto servem de unidade de compreensão para codificar as Unidades de Registros e corresponde 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 a contagem frequencial” (BARDIN, 1977, p. 104).

A seguir são descritas as questões e as Unidades de Contexto e de Registro a elas associadas. As UR prévias foram elaboradas com base no referencial teórico e as URE foram elaboradas para contemplar os dados não unitarizados nas unidades prévias.

4.3.1 Unidades de Análise das Noções da Natureza da Ciência

1. Em sua opinião, o que é um experimento?

Essa questão foi proposta com o objetivo de identificar as noções que os alunos têm a respeito do termo “experimento”.

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 de um fenômeno em laboratório”** reúne os fragmentos que identificam o experimento como atividade de reprodução de fenômenos em laboratórios.

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.

URE 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.

URE 1.5 **“Atividade de misturar elementos químicos”** reúne os fragmentos em que os alunos identificam o experimento como uma atividade de misturar elementos químicos.

UR 1.6 **“Resposta não contempla a pergunta”** agrupam as respostas que não apresentam ligação alguma com a questão.

2. Em sua opinião, o desenvolvimento do conhecimento científico requer experimentos?

Essa questão foi proposta com o objetivo de identificar a relevância dada pelos alunos em relação ao papel desempenhado pelos experimentos na construção do conhecimento científico.

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 a compreensão do conhecimento científico”** agrupam respostas que identifiquem os experimentos como relevantes para a compreensão do conhecimento científico.

URE 2.5 **“Relevantes como meio de procurar respostas ou descobrir novos eventos”** agrupam as respostas que identificam os experimentos como uma maneira de descobrir novos eventos ou procurar respostas.

UR 2.6 **“Resposta não contempla a pergunta”** agrupam as respostas que não apresentam ligação alguma com a questão.

3. Em sua opinião, após os cientistas terem desenvolvido uma teoria científica, a teoria pode mudar ou passar a ser inválida? Explique sua resposta.

Esta questão foi proposta com o objetivo de analisar se os alunos percebem a dinâmica na construção do conhecimento científico.

Unidade de Contexto 3 (UC3) **“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 3.1 **“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 3.2 **“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 3.3 **“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 3.4 **“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.

URE 3.5 **“Uma teoria pode mudar, mas não é invalidada”**, para agrupar as respostas que contenham registros que explicam que as teorias podem mudar, mas não invalidadas.

URE 3.6 **“Assumem que a teoria pode mudar, mas explicam de maneira confusa”** reúne os fragmentos em que os alunos assumem que a teoria pode ser modificada, porém não explicam de maneira clara o que leva à mudança.

UR 3.7 **“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.

4. Em sua opinião, o desenvolvimento do conhecimento científico depende de fatores sociais, políticos e culturais, ou ele se desenvolve independentemente desses fatores? Explique.

Esta questão foi proposta com o objetivo de analisar se os alunos percebem a influência de valores sociais e políticos na Ciência ou se percebem a Ciência como neutra.

Unidade de Contexto 4 (UC4) **“Ciência reflete valores e/ou é neutra”**, reúne fragmentos textuais que identificam se os alunos percebem a Ciência como neutra e/ou se essa é influenciada valores sociais, culturais, políticos.

Unidades de Registro:

UR 4.1 **“Sim, pois é uma construção humana”**, para agrupar as respostas que contenham registros que afirmam que o desenvolvimento da Ciência depende desses fatores, uma vez que é uma construção humana.

UR 4.2 “**Sim, depende e é influenciada por fatores socioculturais**”, para agrupar as respostas que contenham registros que afirmam que a Ciência é direta e indiretamente influenciada por fatores sociais, políticos, econômicos, etc.

UR 4.3 “**A Ciência é neutra pois é empírica, objetiva, verdadeira**”, para agrupar as respostas que contenham registros que afirmam que a Ciência é neutra, uma vez que as observações e experimentos são objetivos e produzem conhecimentos verdadeiros.

UR 4.4 “**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 à pergunta.

5. É possível que dois grupos de cientistas, de mesma área e competentes, que tenham acesso ao mesmo conjunto de dados, obtenham resultados diferentes? Explique.

Esta questão foi proposta com o objetivo de analisar como os alunos explicam o fato de diferentes grupos de pesquisadores, que analisam um mesmo conjunto de dados, chegarem, ou não, a conclusões diferentes.

Unidade de Contexto 5 (UC5) “**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 5.1 “**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 5.2 “**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 5.3 “**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 5.4 “**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 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 à pergunta.

6. 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.

Esta questão foi proposta com o objetivo de analisar se os alunos percebem a participação da imaginação e da criatividade na construção do conhecimento científico.

Unidade de Contexto 6 (UC6) “**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 6.1 “**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 6.2 “**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 6.3 “**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 6.4 “**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 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.

7. Quando você lê ou ouve o termo “cientista”, o que você pensa? Descreva o que você imagina.

Esta questão foi proposta com o objetivo de analisar as noções que os alunos têm a respeito do termo cientista.

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**” reúne os fragmentos textuais que apresentam o cientista como um ser humano comum.

URE 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.

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 à pergunta.

4.3.2 Unidades de Análise das noções de conteúdo

8⁴⁰. De que é feita a matéria que compõe os objetos naturais e artificiais?

⁴⁰ No questionário que foi respondido pelos alunos as questões relacionadas ao conteúdo estão numeradas de 1-4, porém para facilitar a análise foi dada sequência na numeração.

Essa questão foi proposta para analisar as noções que os alunos apresentam em relação à estrutura da matéria.

Unidade de Contexto 8 (UC8) **“Noções a respeito da estrutura da matéria”** tem o objetivo de reunir os fragmentos textuais que apresentam as noções que o aluno tem em relação à composição da matéria.

Unidades de Registro:

UR 8.1 **“Matéria composta por átomos”** reúne os fragmentos textuais que identificam os átomos, moléculas ou algo do gênero como os constituintes da Matéria.

UR 8.2 **“Matéria composta por partículas elementares”** reúne os fragmentos textuais que identificam as partículas elementares como constituintes da matéria.

UR 8.3 **“Noção parcialmente correta a respeito do tema”** reúne fragmentos que apresentam algumas noções corretas e outras confusas em relação à composição da matéria.

UR 8.4 **“Noções equivocadas em relação à composição da Matéria”** reúne fragmentos que apresentam uma noção equivocada em relação à composição da matéria.

UR 8.5 **“Desconhece ou não recorda nada em relação ao tema”** reúne fragmentos nos quais os alunos alegam desconhecer ou não recordam do tema.

UR 8.6 **“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.

9. Como você descreveria o modelo atômico aceito atualmente?

Essa questão foi proposta para analisar as noções que os alunos apresentam em relação ao modelo atômico.

Unidade de Contexto 9 (UC9) **“Noções a respeito do modelo atômico”** tem o objetivo de reunir os fragmentos textuais que apresentam as noções que o aluno tem em relação ao modelo atômico que é aceito atualmente.

Unidades de Registro:

UR 9.1 **“Noções de acordo com o consenso científico atual”** reúne os fragmentos textuais que identificam o modelo atômico aceito de acordo com o consenso científico.

UR 9.2 **“Noção parcialmente correta a respeito do tema”** reúne os fragmentos textuais que identificam o modelo atômico aceito, mas com alguns erros.

UR 9.3 **“Noções equivocadas em relação ao modelo atômico atual”** reúne fragmentos que apresentam uma noção equivocada em relação ao modelo atômico atual.

UR 9.4 **“Desconhece ou não recorda nada em relação ao tema”** reúne fragmentos nos quais os alunos alegam desconhecer ou não recordam do tema.

UR 9.5 **“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.

10. O que você entende por partículas elementares?

Essa questão foi proposta para analisar as noções que os alunos apresentam em relação às partículas elementares.

Unidade de Contexto 10 (UC10) **“Noções a respeito das Partículas Elementares”** tem o objetivo de reunir os fragmentos textuais que apresentam as noções que o aluno tem em relação às partículas elementares.

Unidades de Registro:

UR 10.1 **“Noções de acordo com o consenso científico atual”** reúne os fragmentos textuais que identificam as partículas elementares de acordo com o consenso científico.

UR 10.2 **“Noção parcialmente correta a respeito do tema”** reúne os fragmentos textuais que representam alguma noção do que são as partículas elementares, porém com alguns equívocos.

UR 10.3 **“Noções equivocadas/confusas em relação ao tema”** reúne fragmentos que apresentam uma noção equivocada em relação às partículas elementares.

UR 10.4 **“Desconhece ou não recorda nada em relação ao tema”** reúne fragmentos nos quais os alunos alegam desconhecer ou não recordam do tema.

UR 10.5 **“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.

11. O que você entende pela teoria do Modelo Padrão?

Essa questão foi proposta para analisar as noções que os alunos apresentam em relação ao Modelo Padrão.

Unidade de Contexto 11 (UC11) **“Noções a respeito do Modelo Padrão”** tem o objetivo de reunir os fragmentos textuais que apresentam as noções que o aluno tem em relação à Teoria de Modelo Padrão.

Unidades de Registro:

UR 11.1 **“Noções de acordo com o consenso científico atual”** reúne os fragmentos textuais que identificam o modelo atômico aceito de acordo com o consenso científico.

UR 11.2 **“Noção parcialmente correta a respeito do tema”** reúne os fragmentos textuais que identificam o modelo atômico aceito, mas com alguns erros.

UR 11.3 **“Noções equivocadas/confusas em relação ao tema”** reúne fragmentos que apresentam uma noção equivocada em relação ao modelo atômico atual.

UR 11.4 **“Desconhece ou não recorda nada em relação ao tema”** reúne fragmentos nos quais os alunos alegam desconhecer ou não recordam do tema.

UR 11.5 **“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.

4.3.3 Unidades de Análise dos Mapas Conceituais

As Unidades de Análise a seguir foram elaboradas com a finalidade de investigar indícios de Aprendizagem Significativa nos mapas. Elas contemplam os mapas que apresentam indícios de Aprendizagem Significativa por meio da organização hierárquica, diferenciação progressiva e reconciliação integradora. Para diferenciar das Unidades de Contexto e Registro apresentadas na seção anterior, para a análise dos mapas, será acrescentada a letra M aos códigos UC e UR.

UCM1 **“Organização hierárquica e Diferenciação progressiva”** reúne os mapas que apresentam organização hierárquica e Diferenciação progressiva dos conceitos.

Unidades de Registro:

URM 1.1 **“Do conceito matéria até o conceito átomo”** reúne os mapas que apresentam a organização hierárquica e a diferenciação progressiva desde o conceito matéria até o conceito de átomo.

URM 1.2 **“Do conceito matéria até os conceitos prótons, nêutrons e elétrons”** reúne os mapas que apresentam a organização hierárquica e a diferenciação progressiva desde o conceito matéria até os conceitos de prótons, elétrons e nêutrons.

URM 1.3 **“Do conceito matéria até as Partículas Elementares”** reúne os mapas que apresentam a organização hierárquica e a diferenciação progressiva desde o conceito matéria até as Partículas Elementares.

URM 1.4 **“Não apresenta uma Organização hierárquica e Diferenciação do conceito matéria, pois apresenta ideias muito amplas”** para reunir mapas que apresentam ideias muito amplas em relação ao assunto e acabam não contemplando o tema.

UCM2 **“Reconciliação integradora relacionada ao conteúdo”** reúne os mapas que apresentam reconciliação integradora de conceitos relacionados ao conteúdo.

Unidades de Registro:

URM 2.1 **“Apresentam até uma reconciliação integradora”** reúne os mapas que apresentam no máximo uma reconciliação integradora de conceitos.

URM 2.2 **“Apresentam mais de uma reconciliação integradora”** reúne os mapas que apresentam mais de uma reconciliação integradora de conceitos.

URM 2.3 **“Não apresenta reconciliação integradora”** para reunir mapas que não apresentam reconciliações integradoras relacionadas ao conteúdo.

Com as Unidades de Análise elaboradas deu-se início a exploração dos dados. A primeira tarefa foi a transcrição das respostas. Como o objetivo era identificar as noções dos alunos em relação aos questionamentos, quando se fez necessário foram realizadas correções de Língua Portuguesa, visto que essa atitude não vem a interferir nas futuras inferências e interpretações.

No próximo capítulo é apresentado o tratamento dos dados bem como as inferências e interpretações dos mesmos.

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS

Neste capítulo, é descrito o contexto da aplicação, o perfil dos alunos e em seguida são apresentados os dados coletados, devidamente unitarizados, em suas Unidades Temáticas de Registro. Após cada quadro de unitarização é proporcionada uma discussão entre os resultados obtidos e os referenciais teóricos adotados para esse estudo.

5.1 CONTEXTO DA APLICAÇÃO DA UNIDADE DIDÁTICA

A aplicação da Unidade Didática foi realizada em uma Escola Estadual do Município de Cambé, pertencente ao Núcleo Regional de Educação de Londrina, região Norte do Paraná.

A princípio, o objetivo era propor a Unidade Didática para os alunos do terceiro ano do Ensino Médio, pois o tema escolhido se relaciona com o conteúdo estruturante *Eletromagnetismo*, que é previsto para essa fase da formação básica, de acordo com o Caderno de Expectativas de Aprendizagem. Porém, como a maioria dos alunos estava se preparando para prestar vestibular, houve pouca disponibilidade de horários para a realização das atividades.

Como o propósito da unidade era responder a questão: De que é feita a matéria que compõe os objetos naturais e artificiais? E a Matéria é um conteúdo estruturante de todos os anos do Ensino Fundamental na disciplina de Ciências, bem como no primeiro ano do Ensino Médio da disciplina de Química, optou-se por oferecer a oportunidade de participação aos alunos do segundo ano do Ensino Médio, pois já deveriam possuir os subsunçores básicos para a Aprendizagem Significativa dos novos conceitos.

A proposta foi divulgada nas salas de aula e em seguida os alunos interessados preencheram uma lista com os dias da semana que teriam disponibilidade. De início muitos alunos se mostraram interessados, o que levou a decisão de aplicar a Unidade em duas turmas, pois o espaço físico não seria adequado para turmas numerosas. Contudo, no primeiro encontro combinado com as turmas percebeu-se que a maioria dos alunos havia faltado. Comparecendo na primeira turma, turma A, que tinha os encontros nos dias de Terças e Quintas, apenas seis alunos. E na turma de Segundas e Quartas, turma B, apenas oito. Porém, nem todos esses alunos que compareceram no primeiro dia participaram de todos os

encontros, inclusive alguns deles faltaram nos dias em que ocorreu coleta de dados. Permaneceram assíduos cinco alunos da turma A e três alunos da turma B. São os dados referentes a esses oito alunos que foram analisados na pesquisa.

Para manter preservada a identidade dos alunos, aqui refere-se aos mesmos como A1, A2, A3, A4 e A5 para os integrantes da turma A e B1, B2 e B3 para os integrantes da turma B.

5.2 ANÁLISE DOS DADOS

Aqui, serão apresentados os dados coletados por meio dos questionários prévio e posterior e dos Mapas Conceituais. As respostas das questões e os Mapas Conceituais elaborados pelos alunos foram unitarizados em suas Unidades Temáticas de Registro Prévias, quando se fez necessário foram elaboradas Unidades Temáticas de Registro Emergentes.

A seguir serão dispostos os quadros com as unitarizações para cada Unidade Temática de Contexto (UC) e as análises referentes a cada uma delas. É relevante informar que as unitarizações foram interdecodificadas subjetivamente por integrantes do grupo IFHIECEM.

5.2.1 Análise das noções a respeito da Natureza da Ciência e do conteúdo

Nessa seção serão apresentados os dados referentes aos questionários, prévio e posterior, aplicados durante a Unidade Didática. Quando necessário, foram fragmentadas algumas respostas em mais de uma Unidade de Registro, de maneira que contamos o número de fragmentos e não o número de respostas. Os fragmentos são identificados pelo número da questão (Q1, Q2, ..., QN), código do aluno, e dia da aplicação (D1 = Questionário prévio, D2 = Questionário posterior).

Quadro 01: Registros das UR referentes aos dados da 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
	02 registros	02 registros
UR 1.1 “Visão empirista-indutivista”	“Um teste realizado para comprovar teorias.” (Q1, B2, D1).	“O experimento serve para [...] encontrar respostas de algo.” (Q1, B3, D2).
	“É um teste para descobrir novas coisas.” (Q1, A5, D1).	“Acredito que um experimento seja entendido como uma forma de encontrar

		respostas que respondam a perguntas em relação aos fenômenos. [...]” (Q1, A4, D2).
UR 1.2 “Reprodução de um fenômeno em laboratório”	Nenhum registro	03 registros
		<p>“Atividades que podem ser realizadas em laboratórios, onde investigam experimentos com vários grupos de cientistas, que podem ser resolvidos ou não.” (Q1, A2, D2).</p> <p>“[...] isso porque é uma atividade reproduzida em laboratório.” (Q1, A4, D2).</p> <p>“Um experimento, geralmente, é reproduzido em laboratório [...]” (Q1, A1, D2).</p>
UR 1.3 “Meio de testar hipóteses ou consequências de uma teoria”	01 registro	05 registros
	<p>“O experimento é um conjunto de testes para aprofundar algo.” (Q1, B3, D1).</p>	<p>“[...] É usado para testar uma hipótese.” (Q1, A1, D2).</p> <p>“[...] para testar as consequências das teorias.” (Q1, A3, D2).</p> <p>“É uma forma de testar hipóteses a respeito de uma teoria, como a mesma funciona e se aplica, ou as consequências da mesma.” (Q1, B2, D2).</p> <p>“Os experimentos servem para testar hipóteses.” (Q1, B1, D2)</p> <p>“O experimento serve para os cientistas testarem suas ideias [...]” (Q1, B3, D2).</p>
URE 1.4 “Meio de provar/comprovar hipóteses”.	03 registros	02 registros
	<p>“Um experimento é algo que você realiza para provar que algo é possível ou para testar tal coisa.” (Q1, A3, D1).</p> <p>“É um teste para testar e/ou provar algo.” (Q1, A1, D1).</p> <p>“É quando tentam provar se algo está certo ou errado.” (Q1, B1, D1).</p>	<p>“É um teste para comprovar as hipóteses dos cientistas ou as consequências de uma teoria.” (Q1, A5, D2).</p> <p>“Um experimento serve para provar as hipóteses dos cientistas, suas ideias [...]” (Q1, A3, D2).</p>
URE 1.5 “Atividade de misturar elementos químicos”	02 registros	Nenhum registro
	<p>“Experimento é uma mistura de elementos para formar algo. Uma mistura feita com átomos.” (Q1, A4, D1).</p> <p>“É uma coisa que é feita por meio de elementos químicos, sendo também utilizados em pesquisas.” (Q1, A2, D1).</p>	
UR 1.6 “Não contempla a pergunta”	Nenhum registro	Nenhum registro
Não responderam		
Total de registros	08 registros	12 registros

Fonte: a própria autora.

As respostas a essa questão foram diversas, entretanto foi visível, no questionário prévio, a noção empirista-indutivista dos alunos, uma vez que cinco registros, UR 1.1 e UR 1.4, se dirigiram ao experimento como um instrumento para “provar” ou “comprovar” teorias e hipóteses, representando mais de metade dos registros. Esta inferência foi feita utilizando Unidades de Registro distintas, 1.1 e 1.4, devido ao fato que se desejava separar os termos teorias e leis de hipóteses, uma vez que as hipóteses são passíveis de teste e leis e teorias não. E como se objetivou fazer essa distinção foi elaborada uma UR somente para agrupar visões empiristas a respeito das hipóteses. No entanto, ambas as unidades, 1.1 e 1.4, remetem a uma ideia empirista-indutivista da Ciência.

As unidades 1.3 e 1.4 foram diferenciadas, justamente pelo fato de que 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).

Dois dos alunos, A4 e A2, relacionaram o experimento como uma atividade de mistura de elementos químicos.

Apenas um deles, B3, relacionou o experimento como uma atividade mais condizente com noções adequadas da construção do conhecimento científico, UR 1.3.

Já no questionário posterior a visão empirista-indutivista aparece com menos expressão, haja vista que eles deixaram de apresentar a ideia de que os experimentos podem “verificar” teorias e hipóteses. Porém, quatro, de 12 registros, ainda indicaram indícios de uma visão imprecisa, pois os termos “provar” e “comprovar” permanecem nas respostas. Todavia, a maioria dos fragmentos apresentou uma noção adequada em relação ao experimento, como instrumento de teste de hipóteses e/ou consequências de teorias.

Os alunos que, no questionário prévio, identificaram o experimento como uma atividade de mistura de elementos químicos, passaram a responder, no questionário posterior, que o experimento é uma reprodução de atividades em laboratório. Pôde-se perceber que os mesmos ampliaram suas noções a respeito do tema, uma vez que não restringiram o experimento a uma mistura de elementos químicos.

Em seguida são apresentados os dados referentes à questão 02, feita uma discussão dos mesmos, bem como um diálogo com o referencial teórico que aborda as duas primeiras questões.

Quadro 02: Registros das UR referentes aos dados da 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”	<p>04 registros</p> <p>“Sim. O desenvolvimento se dá por teorias, eu afirmo algo e devo testar minha afirmação por meio de um experimento.” (Q2, B2, D1).</p> <p>“Sim. Porque experimentos servem como testes e como o conhecimento científico é dado através de fatos comprovados [...]” (Q1, A1, D1).</p> <p>“Sim, pois para poder mostrar e aprovar algo é necessário que haja uma explicação e esses experimentos é que vão dizer.” (Q1, A2, D1).</p> <p>“Sim. Pois muitas vezes precisamos de um experimento para provar a veracidade de certas coisas. O experimento permite dizer se algo é possível ou não.” (Q1, A3, D1).</p>	<p>02 registros</p> <p>“Sim, pois se efetuam experimentos para comprovar hipóteses, e que são vários cientistas testando suas ideias para procurar uma resposta concreta para divulgar a todos.” (Q2, A2, D2).</p> <p>“Sim. As pesquisas são movimentadas por hipóteses e é com os experimentos que as comprovamos.” (Q2, B2, D2).</p>
UR 2.2 “Relevantes, mas não são os únicos responsáveis pelo desenvolvimento científico”	<p>Nenhum registro</p>	<p>05 registros</p> <p>“[...] Mas às vezes, criam-se teorias que são aceitas mesmo sem sua comprovação, sem experimentos.” (Q2, A1, D2).</p> <p>“Sim. É importante comprovar a veracidade de uma teoria, mas uma boa base teórica matemática pode ser suficiente para que uma teoria seja aceita.” (Q2, A5, D2).</p> <p>“Não necessariamente, aprendi que, muitas vezes os cientistas consideram e vivem com hipóteses que não são comprovadas e mesmo assim são aceitas na comunidade científica.” (Q2, A3, D2).</p> <p>“Sim, para aprofundar uma ideia. É importante, mas a ciência consegue se desenvolver mesmo que nem todas as hipóteses de uma teoria estejam comprovadas.” (Q2, B3, D2).</p> <p>“Não necessariamente, já que tem teorias aceitas sem que todas as suas hipóteses tenham sido comprovadas experimentalmente. Os experimentos podem ajudar a testar hipóteses que podem complementar uma teoria.” (Q2, B1, D2).</p>
UR 2.3 “Relevante, como um meio de testar hipóteses ou	<p>01 registro</p> <p>“[...] Sim. O seu desenvolvimento requer que as hipóteses sejam testadas e</p>	<p>02 registros</p> <p>“Sim. Pois os experimentos são importantes porque testam as hipóteses</p>

consequências de uma teoria”.	experimentadas.” (Q1, A1, D1).	dos cientistas. Por isso tem importância para a evolução da ciência.” (Q2, A4, D2). “Sim. Os experimentos testarão as hipóteses que ajudarão nesse desenvolvimento. [...]” (Q2, A1, D2).
UR 2.4 “Relevante como instrumento para compreensão do conhecimento científico”	02 registros	Nenhum registro
	“Sim. Para que possa haver o entendimento em relação ao desenvolvimento de cada um.” (Q2, A4, D1). “Sim, pois com o experimento pode-se ter uma ideia mais aprofundada do conceito.” (Q2, B3, D1).	
URE 2.5 “Relevantes, como meio de procurar respostas ou descobrir novos eventos.”	02 registros	Nenhum registro
	“Sim, pois precisam buscar respostas tanto na teoria quanto na prática.” (Q2, B1, D1). “Sim, pois sem experimentos os cientistas não conseguem descobrir coisas novas.” (Q2, A5, D1).	
UR 2.6 “Não contempla a pergunta”	Nenhum registro	Nenhum registro
Não responderam		
Total de registros	09 registros	09 registros

Fonte: a própria autora.

Com fundamentação nos dados pode-se observar que a metade dos alunos, de início, assume a experimentação como um processo relevante na validação de ideias, hipóteses e teorias. Apenas um aluno, A1, se referiu ao experimento como instrumento de “teste” de hipóteses e dois alunos, A4 e B3, se reportam aos experimentos como úteis na compreensão do conhecimento científico, por meio do qual pode-se entender e aprofundar conhecimentos.

Já no questionário posterior, os alunos deixaram, em partes, de apresentar noções empiristas. Pois, apenas dois deles, se reportaram ao experimento como instrumento útil na validação de teorias. Naquele instante, já tinham uma noção mais adequada em relação ao assunto, possuíam o conhecimento de que não se testam teorias, nem leis, e que apenas as hipóteses estão sujeitas a testes. No entanto, não pode-se afirmar ao certo se eles ainda guardam resquícios da visão empirista-indutivista quando usam os termos “provar” e “comprovar”, ou se simplesmente fazem uma confusão entre os termos testar, comprovar e provar, pois usam os termos “teste” e “comprovação” na mesma resposta (B1, A1), ou se referem ao experimento como teste de hipóteses na questão 01 e usam o termo comprovar na questão 02 (A1, B1, B2, A5, B3).

Porém, mesmo apresentando essa confusão a maioria dos registros se concentrou na UR 2.2, na qual os alunos assumem que o desenvolvimento do conhecimento científico não depende exclusivamente dos experimentos e passam a citar as contribuições de estudos teóricos para a estabilização de teorias.

Apesar do esforço de epistemólogos, historiadores e pesquisadores da área de ensino em argumentar contra a ideia empirista-indutivista, a presença dessas noções estão em livros didáticos e outros meios que perpetuam essa ideia já superada e continuam ensinando uma forma rígida e infalível de produzir Ciência, além de promover uma interpretação de que o objetivo de uma atividade experimental é de “demonstrar”, “comprovar”, “verificar” conhecimentos teóricos ou conceituais, o que leva a uma visão dogmática da Ciência, na qual a experimentação assume um papel de “verificar” se um conhecimento é verdadeiro ou não (SILVEIRA; OSTERMANN, 2002; KÖHNLEIN; PEDUZZI, 2002; GONÇALVES; MARQUES, 2006; DIAS; SILVA, 2009).

De acordo com Silveira e Ostermann (2002), problematizar essa ideia não é uma tarefa trivial, sendo necessário construir estratégias didáticas que promovam o entendimento de que essa ideia é regressiva, que as teorias não são inteiramente determinadas por experimentos, mas que podem se apoiar parcialmente em resultados experimentais (GONÇALVES; MARQUES, 2006).

Lederman *et al.* (2002) relataram casos parecidos em suas pesquisas. Nelas, também aparece a mesma imprecisão conceitual relatada acima. Entretanto, durante entrevistas com os alunos ficava claro que eles não usavam esses termos com a ideia de absolutismo. O que significa que eles podem não ter clareza do significado desses conceitos e não necessariamente que apresentem uma visão absolutista da Ciência.

Um fator relevante dos dados é a noção, adquirida pelos alunos, de que os experimentos não são os únicos responsáveis pelo desenvolvimento do conhecimento científico. Reconheceram que nem todas as hipóteses precisam estar estabelecidas para que o conhecimento científico se desenvolva. Um aluno, A5, chega a comentar a respeito da relevância da formalização matemática nesse processo.

O que pode ter provocado essa mudança foram as discussões a respeito do Neutrino do elétron, que foi aceito mesmo antes de ter sido detectado, pois Fermi havia elaborado um formalismo matemático que explicava satisfatoriamente a variação da energia, e da Teoria Eletrofraca, que também premiou seus proponentes, devido às suas contribuições, mesmo antes da detecção dos bósons de Gauge, que são os mediadores dessas interações previstos pela Teoria Eletrofraca.

A respeito das noções prévias dos alunos em relação ao experimento, bem como sua relevância no desenvolvimento científico, os resultados não surpreendem, pois de acordo com Carey (1989) os alunos costumam apresentar uma noção ingênua em relação à Natureza da Ciência.

Em um estudo feito por Carey (1989), foram constatadas noções como: experimento é o que um cientista faz para testar se algo funciona; testar uma nova ideia, uma invenção, com objetivo de descobrir fatos e respostas a respeito do que está sendo experimentado; inventar coisas, entre outras. Aos poucos eles vão percebendo que os experimentos são testes de ideias e que seus resultados podem levar ao abandono ou revisão dessas ideias.

A presença de uma visão empírico-indutivista, que tem o conhecimento científico como derivado da experiência, também é relatada em Lederman *et al.* (2002), Solomon *et al.* (1992), Cudmani e Sandoval (2000). Os sujeitos geralmente chegam com uma noção inadequada de que os experimentos são utilizados na comprovação de teorias e hipóteses.

Um experimento não pode provar ou comprovar uma teoria, lei ou hipótese. Pois, para isso essas instâncias deveriam responder por todo o fenômeno que se propõem a descrever, o que é impraticável uma vez que, futuramente, esse fenômeno pode vir a se comportar de maneira não correspondente às previsões. Assim, essas instâncias nunca assumirão o status de “comprovadas” (LEDERMAN *et al.*, 2002, CAREY, 1989).

Em seguida é apresentado o quadro referente aos dados da questão 03 e feita uma discussão a respeito dos mesmos.

Quadro 03: Registros das UR referentes aos dados da Questão 03.

UC3 “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 3.1 “Teorias são comprovadas experimentalmente e não mudam”	Nenhum registro	Nenhum registro
UR 3.2 “Teorias mudam com o avanço da tecnologia”	Nenhum registro	02 registros
		<p>“Sim. Pois conforme o tempo passa, a tecnologia muda e mais conhecimentos são adquiridos, é possível que as pessoas enxerguem novas informações e assim cheguem a novas conclusões.” (Q3, A3, D2).</p> <p>“Sim, pode mudar, pois com o passar dos anos e com os avanços tecnológicos podem surgir novas teorias que contrapõem as antigas, ou que são mais completas.” (Q3, A5,</p>

		D2).
UR 3.3 “Teorias mudam por novas evidências e interpretações diferentes”	04 registros	04 registros
	“Sim. Acredito que a possibilidade de ocorrer uma mudança seja pouca, mas ela existe. Pois, vivemos em um mundo inconstante no qual as coisas podem mudar rapidamente, fazendo com que não tenhamos mais base em certos conceitos.” (Q3, A3, D1).	“Ela pode mudar, pois com o passar do tempo, com muitos estudando os casos, se descobrem coisas novas. Com vários tipos de estudos diferentes os cientistas buscam e encontram novas maneiras, surge então uma nova teoria.” (Q3, A2, D2).
	“Sim, porque não sabemos de tudo o que existe ou existiu ao nosso redor, hoje tal teoria pode ser aceita, mas dependendo da descoberta de amanhã ela pode sofrer mudanças ou até mesmo passar a ser inválida.” (Q3, A1, D1).	“Sim, pois depende do que for acontecendo com o tempo, pode acontecer de observarem coisas novas que levam a uma mudança na teoria. Pode acontecer, também, dessa teoria se tornar inválida resultando na tentativa de melhorar a teoria ou criar uma nova.” (Q3, A1, D2).
	“Pode mudar e ser aperfeiçoada com o passar dos anos e do conhecimento adquirido.” (Q3, B1, D1).	“Sim, depende dos resultados que os experimentos vão mostrando, por exemplo: os modelos atômicos foram mudando de acordo com os experimentos que eram feitos.” (Q3, B2, D2).
	“Sim, pode ocorrer as duas coisas, pois haverá novos experimentos e novas teorias que entrarão no lugar das antigas.” (Q3, B3, D1).	“Sim ela pode mudar, pois pode surgir outra teoria mais desenvolvida que explique melhor os fatos.” (Q3, B3, D2).
UR 3.4 “Teorias podem mudar quando apresentam falhas”	01 registro	01 registro
	“Sim. Se o experimento falhar tal teoria será invalidada, se o resultado do experimento for diferente esta teoria pode ser modificada.” (Q3, B2, D1).	“Uma teoria pode sim se tornar inválida, pois havia momentos em que se percebia que uma teoria que antes se acreditava estar certa, começava a mostrar erros. E assim ela pode mudar ou se tornar inválida.” (Q3, A4, D2).
URE 3.5 “Uma teoria pode mudar, mas não é invalidada”	02 registros	Nenhum registro
	“Dependendo da situação acho que pode se tornar uma teoria com mudanças, mas não passar a ser inválida” (Q3, A4, D1).	
	“Não exatamente, uma teoria pode ser complementada.” (Q3, A5, D1).	
URE 3.6 “Assumem que a teoria pode mudar, mas explicam de maneira confusa”	01 registro	01 registro
	“Sim, pode mudar, porque se for comprovado que é real e não prejudicar a ninguém ela poderá mudar.” (Q3, A2, D1).	“Sim. Teorias podem ser aperfeiçoadas com o passar do tempo, ou ainda podem ser melhoradas e passam e ser inválidas.” (Q3, B1, D2).
UR 3.7 “Não contempla a pergunta”	Nenhum registro	Nenhum registro
	Não responderam	
Total de registros	08 registros	08 registros

Fonte: a própria autora.

Com fundamentação nos dados pôde-se inferir que a maioria dos alunos apresentou uma noção adequada em relação à estabilidade das teorias. Eles pareceram cientes de que o conhecimento científico é provisório, que pode ser complementado, que não é definitivo. Assume-se que ele pode ser reformulado e aperfeiçoado com o surgimento de

novas tecnologias e interpretações. Entretanto, há ainda a presença de noções de caráter verificacionista, o aluno B2, no questionário prévio e posterior, assume que os experimentos desempenham um papel essencial para que as mudanças ocorram e não faz menção alguma a relevância de estudos teóricos para a elaboração ou reelaboração de uma teoria.

Alguns alunos afirmaram, no questionário prévio, que uma teoria não pode ser invalidada, porém entendem que ela pode ser complementada, de forma que não defendem a ideia de que uma teoria é absoluta. Já no questionário posterior eles passam a assumir que uma teoria pode sim deixar de ser válida.

Houve ainda alguns fragmentos confusos, como as respostas de A2 e B1, UR 3.6.

Com relação a esses fragmentos, tanto no questionário prévio quanto no posterior, percebeu-se uma notável compreensão em relação ao questionamento. Pode-se notar que os argumentos utilizados nas respostas do questionário posterior são mais elaborados, isso pode ser reflexo das discussões durante a Unidade Didática. Pois, aparece nos fragmentos ideias discutidas durante as aulas, como o desenvolvimento do conceito do modelo atômico, o papel do avanço tecnológico na construção do conhecimento científico e as falhas encontradas em algumas teorias e modelos científicos.

Embora não tenha aparecido em registros, os alunos perceberam que o conhecimento que estão adquirindo no momento pode ser transitório, provisório. Isso foi notado no questionamento de um aluno: *Então quer dizer que o que estamos estudando agora pode mudar daqui um tempo? Que louco!* (B2). Entretanto, essa constatação não provocou neles nenhuma apatia em relação ao que estavam estudando. Pois, como os conteúdos eram novidade eles estavam mais atentos em tomar conhecimento das novas ideias do que se preocupar se aquilo seria provisório ou não.

Por meio desses dados, pode-se inferir que há indícios de uma mudança nas noções em relação à estabilidade das teorias, pois estudos feitos por Lederman (1992), Harres (1999), Teixeira, Freire e El-Hani (2009) indicavam indícios de noções inadequadas a respeito desse assunto, considerando o conhecimento científico como absoluto e definitivo ou limitando a mudança somente a novas observações e ao avanço tecnológico, o que representa, novamente, um caráter verificacionista.

As respostas obtidas nesse questionamento, em sua maioria, são satisfatórias. Pois, por mais evidências que se tenham a favor de uma teoria, não pode-se aceitá-la como verdade absoluta, visto que futuramente ela pode se tornar falha e vir a ser corrigida ou descartada (KÖHNLEIN; PEDUZZI, 2002). E os motivos que levam a uma

mudança ou abandono de uma teoria podem ser variados, desde estudos teóricos a novas evidências experimentais.

Essa noção de que o conhecimento científico é provisório, que com o passar do tempo podem vir a ser modificadas, já apareceu em outros estudos como os de Lederman *et al.* (2002), El-Hani, Tavares e Rocha (2004) e Rocha (2013) nos quais a maioria dos alunos reconhece que as teorias não assumem um caráter absoluto, e que a qualquer momento novos estudos e conceitos podem surgir e complementá-la ou dar início a mais investigações científicas que podem levar a uma nova teoria.

Em seguida é apresentado o quadro 04, referente aos dados da questão 04.

Quadro 04: Registros das UR referentes aos dados da Questão 04.

UC4 “Ciência reflete valores e/ou é neutra”, reúne fragmentos textuais que identificam se os alunos compreendem a Ciência como neutra e/ou se essa é influenciada valores sociais, culturais, políticos.		
UR	PRÉVIO	POSTERIOR
	01 registro	Nenhum registro
UR 4.1 “ Sim, pois é uma construção humana ”	“Eu acho que depende. Se esse desenvolvimento do conhecimento estiver ligado a nós, humanos, fatores sociais, políticos e culturais podem interferir sim.” (Q4, A1, D1).	
	06 registros	08 registros
UR 4.2 “ Sim, depende e é influenciada por fatores socioculturais ”	“Depende sim. Pois os fatores sociais ajudarão a se desenvolver socialmente, tanto quanto os políticos e sociais” (Q4, A4, D1).	“Sim, pois ajuda de várias maneiras, como na economia, o dinheiro que se necessita para a divulgar e efetuar a pesquisa e os experimentos. Pois sem ajuda da população ou de recursos do governo não seria possível efetuar e desenvolver as pesquisas.”(Q4, A2, D2).
	“Sim a ciência e seu desenvolvimento dependem desses fatores, pois a sociedade é que move os novos conhecimentos, a ciência estuda o que são esses novos conhecimentos e como podem ser aproveitados. Necessitam de políticas que banquem o seu desenvolvimento.” (Q4, A3, D1).	“A ciência depende desses fatores, pois necessita de apoio político, financeiro e etc.” (Q4, B3, D2).
	“Sim, ela precisa ter uma base, pois são esses fatores que vão ajudar ao desenvolvimento de qualquer coisa.” (Q4, B3, D1).	“Sim, depende de fatores sociais, políticos e culturais, pois a ciência é influenciada por tudo, e se não contém ambiente que a favoreça ela pode ser atrasada.” (Q4, A4, D2).
	“Desenvolve-se conforme os questionamentos vão se tornando cada vez mais presentes no cotidiano da sociedade.” (Q3, B1, D1).	“Depende. Pois esses fatores afetam as pesquisas de diversas formas. Por exemplo, no caso dos cientistas que defendiam que a Terra girava em torno do Sol, e não o contrário, como resultado sofreram perseguições da igreja da época.” (Q4, A1, D2).
	“O desenvolvimento do	“Sim. Pois um experimento ou estudo consegue ser realizado apenas com apoio político, social e principalmente financeiro. Os cientistas precisam de alguém que banque suas pesquisas e projetos, pois os custos de alguns experimentos/pesquisas são realmente muito altos.” (Q4, A3, D2).
	“Depende. Um fator desses pode atrasar uma pesquisa, por exemplo, durante a Segunda Guerra Mundial várias pesquisas e informações não puderam ser trocadas devido ao que estava acontecendo.” (Q4, B2, D2).	

	conhecimento depende de alguns fatores, como a religião.” (Q4, A5, D1). “Depende, pois para isso que eles efetuam suas pesquisas, querendo usufruir de seus conhecimentos para uma melhor adequação.” (Q4, A2, D1).	“Sim. O desenvolvimento do conhecimento científico depende desses fatores, pois a realização de experimentos necessita de investimentos financeiros.” (Q4, A5, D2). “O desenvolvimento do conhecimento científico depende do mundo a sua volta, precisa de investimentos financeiros e reconhecimento que essa área é muito importante para a sociedade.” (Q4, B1, D2).
UR 4.3 “A Ciência é neutra pois é empírica, objetiva, verdadeira”	01 registro “Ela não depende, mesmo que esses fatores possam interferir numa pesquisa, qualquer um pode vir a pesquisar sobre determinado assunto.” (Q4, B2, D1).	Nenhum registro
UR 4.4 "Não contempla a pergunta"	Nenhum registro	Nenhum registro
Não responderam	Nenhum registro	Nenhum registro
Total de registros	08 registros	08 registros

Fonte: a própria autora.

Assim como os resultados da questão 03, os da questão 04 foram satisfatórios, em sua maioria. Como pode-se observar, mesmo antes da aplicação da Unidade Didática, os alunos já assumiam que a Ciência dependia dos fatores políticos, sociais, econômicos, entre outros. Apenas um deles apresentou uma visão inadequada, B2, defendendo que a Ciência pode se desenvolver sem sofrer influência de fatores externos.

Já no questionário posterior, é perceptível que todos os alunos compartilham da ideia de que os fatores externos são capazes, e em parte responsáveis, pelo desenvolvimento científico. Alguns deles citam a relevância dos financiamentos de pesquisas, haja vista o alto custo de manutenção de laboratórios e equipamentos sofisticados.

Outros lembraram-se de momentos históricos em que o desenvolvimento da Ciência sofreu um atraso devido a fatores externos, como a perseguição da igreja contra quem defendia a teoria heliocêntrica e a impossibilidade de troca de informações e desenvolvimento de experimentos durante a Segunda Guerra Mundial. Esse último exemplo foi discutido durante as aulas no momento em que se abordavam questões relacionadas ao pión. Outro fator refletido foi o gasto necessário para montar os laboratórios de pesquisa, que investigam a Física de Partículas, dada sua grandiosidade e engenharia. Gastos esses que só foram possíveis com financiamento e acordos políticos de vários países.

Esses resultados também corroboram com os trabalhos de Lederman *et al.* (2002) e El-Hani, Tavares e Rocha (2004) de que os fatores sociais e culturais influenciam a maneira com que se faz Ciência, dado o fato de que se trata de uma atividade humana.

Os resultados obtidos nas questões 03 e 04 são motivadores, pois pode-se identificar neles noções mais condizentes com a realidade do trabalho científico. Ainda que algumas das noções apresentadas não sejam as mais apropriadas, elas mostram um possível amadurecimento em torno desses questionamentos, já que os resultados anteriores, (LEDERMAN, 1992; HARRES, 1999), não eram tão satisfatórios.

A seguir é apresentado o quadro 05 com os dados referentes à questão 05.

Quadro 05: Registros das UR referentes aos dados da Questão 05.

UC5 “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 5.1 “ Sim, a base teórica dos pesquisadores pode ser distinta ”	02 registros	02 registros
	<p>“Acredito que sim. Pelo modo de pesquisar as coisas, cada um pesquisa conforme seus conhecimentos.” (Q5, A4, D1).</p> <p>“Sim, pois mesmo sendo da mesma área, eles podem possuir ideia, conceitos diferentes.” (Q5, B3, D1).</p>	<p>“Sim, pois cada cientista tem seu próprio conhecimento e cada um tem um melhor desenvolvimento em certas áreas a mais conhecimentos em assuntos que o outro cientista talvez não tenha, fazendo com que cada cientista chegue a uma conclusão diferente.” (Q5, A3, D2).</p> <p>“Sim. Depende da preparação do cientista e do modo como ele interpreta tal experimento e conjunto de dados.” (Q5, B2, D2).</p>
UR 5.2 “Sim, dados podem passar despercebidos”	02 registros	Nenhum registro
	<p>“Acho que sim. Alguns podem ter errado em alguma parte ou deixado que escape algum detalhe.” (Q5, A3, D1).</p> <p>“Sim, pois pode ser que eles realizem experimentos de maneiras diferentes.” (Q5, A5, D1).</p>	
UR 5.3 “Sim, a atividade pesquisa é subjetiva, depende de cada cientista”	03 registros	06 registros
	<p>“Sim, pois cada um faz suas pesquisas e às põem em prática de maneira diferentes.” (Q5, A2, D1).</p> <p>“Sim, pois eles podem ter olhos diferentes para a situação e perceber acontecimentos em tempos diferentes.” (Q5, A1, D1).</p> <p>“Sim, porque cada um vai tomar um rumo diferente e ressaltar tópicos diferentes.” (Q5, B1, D1).</p>	<p>“Sim, pois cada um efetua suas pesquisas de acordo com suas ideias e como cada um pode pensar de uma forma diferente, os resultados podem ser diferentes, pois podem existir diferentes formas de interpretar os dados.” (Q5, A2, D2).</p> <p>“Sim, eles podem chegar a resultados diferentes, pois eles acreditam no que querem ver.” (Q5, B3, D2).</p> <p>“Cada cientista tem uma maneira de pensar e refletir no que está fazendo, assim eles podem chegar a resultados diferenciados.” (Q5, A4, D2).</p> <p>“Sim, a maneira como os cientistas enxergam seu</p>

		conjunto de dados pode afetar os resultados”. (Q5, A1, D2). “Sim, por meio da comunicação, os cientistas têm acesso aos mesmos fenômenos e pode ser que ao testá-los, interpretem de maneira diferente.” (Q5, A5, D2). “Sim, os resultados dependem do aprofundamento da pesquisa. Além do mais, o cientista, como humano, pode interpretar os fatos de forma diferente podendo se equivocar em suas respostas.” (Q5, B1, D2).
UR 5.4 “Não, se o conjunto de dados é igual, as conclusões devem ser iguais”	Nenhum registro	Nenhum registro
UR 5.5 “Não contempla a pergunta”	01 registro “Isso vai depender da natureza do experimento, uma determinada teoria pode ser invalidada caso outro grupo obtenha um resultado diferente.” (Q5, B2, D1).	Nenhum registro
Não responderam	Nenhum registro	Nenhum registro
Total de registros	08 registros	08 registros

Fonte: a própria autora.

A questão 05 procurava obter as noções dos alunos em relação a seguinte situação: dois grupos de cientistas, da mesma área e igualmente competentes, que tenham acesso ao mesmo conjunto de dados, podem obter resultados diferentes?

Com relação a esse questionamento, as posições foram diversas, porém nenhum deles se posicionou de forma a defender que obrigatoriamente os resultados deveriam ser os mesmos. No questionário prévio, dois deles justificaram que os resultados podem ser diferentes devido à base teórica de cada cientista. Outros dois, devido a algum dado que tenha passado despercebido e três deles apresentaram como justificativa a subjetividade do pesquisador. Já no questionário posterior, a maioria dos alunos, seis, justificou os resultados diferentes devido à subjetividade e os outros dois devido às diferentes bases teóricas.

Também, assim como nas duas questões anteriores, as respostas obtidas foram satisfatórias, tanto no questionário prévio, quanto no posterior. Haja vista que o posicionamento deles frente a essa questão não é incorreto. De uma forma ou de outra eles entendem que: assim como fatores externos influenciam a Ciência, os pesquisadores também influenciam 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.

Essas noções ilustram o conhecimento científico como uma construção que não é feita por meio de observações neutras e sim influenciada pela subjetividade. Pois, mesmo os cientistas olhando para o mesmo conjunto de dados, cada um deles pode estar dirigindo a sua atenção para aspectos diferentes. O que pode ser relevante para um, pode passar despercebido para o outro (KÖHNLEIN; PEDUZZI, 2002).

A formação, o conhecimento prévio, as crenças, experiências e expectativas dos cientistas influenciam o seu trabalho, guiam as formas com as quais conduzem seus estudos (LEDERMAN *et al.* 2002). Não há investigação científica livre de uma orientação teórica, quem observa não separa observação de interpretação e isso faz com que mesmo olhando mesmo o conjunto de dados, alguns cientistas cheguem a resultados diferentes (HANSON, 1975). Isso remete a uma subjetividade na Ciência, principalmente no que se refere à interpretação dos dados (LEDERMAN *et al.* 2002).

Em seguida, é apresentado o quadro 06 com os dados referentes à questão 06.

Quadro 06: Registros das UR referentes aos dados da Questão 06.

UC6 “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
	Nenhum registro	01 registro
UR 6.1 “Imaginação e criatividade em todas as etapas da construção do conhecimento científico”		“Sim e muito. Eles precisam estar a todo tempo pensando em possíveis hipóteses para explicar o que estão observando – como a proposta do neutrino do elétron, onde imaginavam que a partícula existisse, porém precisavam ter pensamentos e ideias mais completas que pudessem dar a certeza disso.” (Q6, A3, D2).
	02 registro	07 registros
UR 6.2 “Imaginação e criatividade em algumas etapas da construção do conhecimento científico”	<p>“Acredito que às vezes possam sim utilizar de sua criatividade e imaginação, pois há em seus pensamentos uma noção do que estão investigando.” (Q6, A4, D1).</p> <p>“Sim, pois isso poderá ajudar e melhorar as suas investigações.” (Q6, A2, D1).</p>	<p>“Sim, pois eles usam da sua criatividade para resolver os problemas e tentar manter firmes suas ideias.” (Q6, A2, D2).</p> <p>“Em alguns casos os cientistas necessitam recorrer a sua imaginação. Ex: Quando uma partícula era composta por três quarks idênticos.” (Q6, B3, D2).</p> <p>“Sim, pois a investigação científica não começa do nada, tem que ter criatividade e imaginação para que se possa chegar a resultados positivos.” (Q6, A4, D2).</p> <p>“Sim, muitas vezes eles criam algo pelas evidências que estão obtendo e depois tentam comprovar suas ideias, como o caso da descoberta do neutrino do elétron, que</p>

		<p>foi proposto e somente 20 anos depois foi detectado.” (Q6, A1, D2).</p> <p>“Sim, um insight não passa de um surto de imaginação, várias teorias científicas que hoje são aceitas vêm de ideias criativas dos cientistas, por exemplo, ao observar uma falha na conservação de energia no decaimento beta um cientista teve a ideia de que certa parte seria emitida em uma partícula não detectada facilmente, o neutrino.” (Q6, B2, D2).</p> <p>“É necessário que os cientistas usem a criatividade e estejam preparados para resultados diferentes, pois conclusões equivocadas podem prejudicar a pesquisa.” (Q6, A5, D2).</p> <p>“Sim, os cientistas usam da sua criatividade para resolver um problema que observam, eles tentam defender suas ideias e para isso eles usam sua imaginação.” (Q6, B1, D2).</p>
	02 registros	Nenhum registro
UR 6.3 “Imaginação e criatividade como fonte de inovação”	<p>“Podem usar, aliadas a razão, a imaginação e a criatividade podem levar a novos jeitos de se chegar a certa resposta.” (Q6, B2, D1).</p> <p>“Sim, pois se eles não criassem hipóteses não realizariam experimentos.” (Q6, A5, D1).</p>	
	04 registros	Nenhum registro
UR 6.4 “Imaginação e criatividade são incoerentes com a Ciência”	<p>“Acho que não. Não existe imaginação na ciência, apenas fatos reais e comprovados.” (Q6, A3, D1).</p> <p>“Não. Para se provar algo eles necessitam de fatos concretos e não imaginários.” (Q6, A1, D1).</p> <p>“Não, pois quando se trata de um assunto importante eles não devem levar em conta sua criatividade e imaginação.” (Q6, B3, D1).</p> <p>“Não, eles se baseiam em fatos reais e registrados, usando no máximo suposições.” (Q6, B1, D1).</p>	
UR 6.5 "Não contempla a pergunta"	Nenhum registro	Nenhum registro
Não responderam	Nenhum registro	Nenhum registro
Total de registros	08 registros	08 registros

Fonte: a própria autora.

A questão 06 investiga o posicionamento dos alunos em relação à participação da imaginação e criatividade no processo de construção do conhecimento científico.

Nessa questão, no questionário prévio, percebe-se que alguns deles assumem a posição de que a criatividade e a imaginação fazem parte de alguns processos, mas em algo específico, principalmente quando se trata de inovações. Porém, metade dos alunos se posicionou de forma a não identificar a imaginação e a criatividade como parte do processo de construção do conhecimento científico, como pode-se observar nas respostas unitarizadas na UR 6.4.

Já no questionário posterior pode-se observar indícios de que houve uma mudança dessas visões. Um dos alunos, A3, passou a defender que a criatividade e a imaginação fazem parte de todo processo de se fazer Ciência, e os demais alunos passaram a identificar a criatividade e a imaginação em alguns dos processos da construção do conhecimento científico. Percebe-se que a maioria deles ainda não assume a relevância do papel da criatividade e imaginação em todos os processos da construção do conhecimento científico, isso pode ser justificado pela forte presença de noções verificacionistas que aparecem de forma mais expressiva nas noções prévias e de forma mais discreta nas noções posteriores.

Nas respostas do questionário posterior foram observados exemplos que foram discutidos durante as aulas, como o caso do neutrino do elétron para solucionar o problema do decaimento beta e a solução dada para a partícula que era composta por três quarks idênticos.

Esses resultados corroboram com outros estudos, por exemplo: El-Hani, Tavares e Rocha (2004) e Lederman *et al.* (2002) relatam que alguns dos estudantes reconhecem o papel da criatividade e imaginação em todas as etapas da construção do conhecimento científico, alguns relutam e reconhecem uma participação mais discreta e outros entendem que a imaginação e a criatividade não são condutas tomadas na construção do conhecimento científico.

O trabalho científico, muitas vezes exige dos cientistas uma boa dose de criatividade e imaginação para atividades que envolvem explicações de fenômenos e estudos teóricos, principalmente no ramo de Física de Partículas, na qual não visualizamos diretamente um átomo, elétron, partícula ou corpúsculo elementar.

A seguir é apresentado o quadro 07 com os dados referentes à questão 07.

Quadro 07: Registros das UR referentes aos dados da 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”	05 registros	02 registros
	<p>“Imagino pessoas de jaleco em um laboratório com luvas e mexendo em frascos com líquidos e microscópios, etc.” (Q7. A3, D1).</p> <p>“Um senhor velho de cabelo em pé e barba branca. Que deve ser muito inteligente e respeitado.” (Q7. A1, D1).</p> <p>“Uma pessoa em um laboratório, usando jaleco e realizando experimento.” (Q7, A5, D1)</p> <p>“Penso em pessoas muito inteligentes, que pensam em respostas para explicar as coisas da Ciência.” (Q7, A4, D1).</p> <p>“Em alguém que quer resposta para as coisas que as vezes são desconhecidas por nós, para descobrir algo que pode ser importante, ou não, depende do ponto de vista de cada um” (Q7, A2, D1).</p>	<p>“Uma pessoa normal como qualquer outra, que trabalha em um laboratório ou sala e é muito inteligente.” (Q7, A1, D2).</p> <p>“Agora penso em uma pessoa comum, comum no sentido de como qualquer outra, porém que seja muito inteligente, formada, e que trabalhe em uma pesquisa científica.” (Q7, B2, D2).</p>
UR 7.2 “Cientista como um ser humano comum”	Nenhum registro	06 registros
		<p>“Uma pessoa normal, um homem ou mulher como todos, que erram, tem seus defeitos e qualidades, têm sua vida fora do laboratório e usam roupas comuns e são iguais a nós, só que efetuam pesquisas.” (Q7, A2, D2).</p> <p>“Uma pessoa como outra qualquer, de qualquer sexo ou idade.” (Q7, B3, D2)</p> <p>“Cientistas são como nós, então penso que eles têm seus instrumento de pesquisa, mas também tem uma vida normal.” (Q7, A4, D2).</p> <p>“Após o curso, imagino um cientista como uma pessoa normal, como todas as outras, que também erra, pode ter qualquer idade, ser homem ou mulher, etc. (Q7, A3, D2)”.</p> <p>“Uma pessoa comum, que também comete erros, que vai a festas, que tem uma família e vive uma vida normal.” (Q7, A5, D2).</p> <p>“Os cientistas trabalham e estudam muito, mas não deixam de lado sua vida social.” (Q7, B1, D2).</p>
URE 7.3 Alguém que estuda ou	03 registros	Nenhum registro
	“Em uma pessoa que estudou ciência.” (Q7,	

trabalha com Ciência.	B3, D1). “Alguém que trabalha com ciências, desde um matemático a um geneticista.” (Q7, B2, D1). “Eu imagino que é alguém que trabalha com teorias, experimentos, alguém que esta sempre estudando ou lendo coisas relacionadas à ciência.” (Q7, B1, D1).	
UR 7.4 "Não contempla a pergunta"	Nenhum registro	Nenhum registro
Não responderam	Nenhum registro	Nenhum registro
Total de registros	08 registros	08 registros

Fonte: a própria autora.

O objetivo da questão 07 foi investigar as noções dos alunos em relação aos cientistas.

Como pode-se inferir dos dados, a princípio eles apresentam uma visão estereotipada, aquela apresentada pelas mídias, de uma pessoa mais velha e muito inteligente, geralmente do sexo masculino, com um jaleco branco realizando experimentos. Embora nas respostas do questionário prévio os alunos não deixam transparecer a questão de gênero, nas falas durante as aulas eles deixaram claro que não imaginavam uma mulher cientista, pois nos livros que estudam não há a evidência do papel das mulheres na construção do conhecimento científico. Já nas repostas do questionário posterior, três alunos evidenciam que a ciência pode ser feita por homens e mulheres.

Durante as aulas, houve momentos de discussão a respeito da participação feminina na Ciência, foram mencionadas algumas das mulheres que contribuíram na elucidação de problemas da área de Física de Partículas, por exemplo, Irene Curie e Marietta Kruz.

Pode-se perceber que as ideias, em relação a quem faz Ciência, apresentaram indícios de mudança, pois passaram do papel estereotipado para um papel mais humano, de alguém que estuda, trabalha, erra e tem uma vida pessoal como qualquer outra pessoa.

As ideias apresentadas pelos alunos corroboram com os resultados já obtidos em outras pesquisas (KÖHNLEIN; PEDUZZI, 2002; ZANON; MACHADO, 2013; MENGASCINI *et al.*, 2004; KOSMINSKY; GIORDAN, 2002), na qual os alunos representam o cientista como uma pessoa muito inteligente que trabalha em seu laboratório, envolvida em experimentos e observações, que muitas vezes deixa de cuidar de si mesma,

apresentando aparência desleixada. É priorizada a imagem de um sujeito solitário, que faz “descobertas”⁴¹ úteis para a humanidade, ignorando o trabalho coletivo cooperativo da construção do conhecimento científico e reforçando a ideia de que os resultados são méritos de apenas um cientista. Desconsideram-se as trocas de informações entre os pares, as elaborações teóricas.

Quando, por sua vez, o cientista está sujeito às virtudes e aos defeitos que caracterizam o ser humano. Na prática, os cientistas procedem por tentativas, tentam uma hipótese, fazem uso da intuição, se frustram, se entusiasmam, enfim, são seres humanos. (KÖHNLEIN; PEDUZZI, 2002).

Esses resultados podem ser reflexos da representação do cientista feita pela sociedade em que estão inseridos, na qual os meios de comunicação exercem grande influência e propagam, por mídia analógica ou eletrônica, ideias inadequadas referentes ao processo de fazer Ciência. Que, aliado à falta de reflexão crítica dos professores a respeito da Natureza da Ciência, faz com que essa transmissão de conhecimentos estereotipados se faça presente nas salas de aula (ZANON; MACHADO 2013).

Frente a essa situação, a escola deve preparar os alunos para interpretar e receber criticamente as informações transmitidas pelos meios de informação. Pois, caso não sejam discutidas noções da Natureza da Ciência em sala de aula, as únicas referências que o aluno terá serão advindas dos meios de comunicação.

Ao fazer uma análise geral dos dados obtidos nessas últimas sete questões, percebe-se que as discussões em sala de aula, a respeito de episódios históricos que fazem parte da construção do conhecimento sistematizado de Física de Partículas, promoveram um entendimento satisfatório em relação à natureza do conhecimento científico. Embora algumas noções ainda permaneçam equivocadas, esse número diminuiu. E essa resistência, ainda oferecida por parte dos alunos, pode ser justificada pela forma como a transmissão de conhecimentos ocorre em sala da aula (ZANON; MACHADO, 2013; KÖHNLEIN; PEDUZZI, 2002).

Percebeu-se a forte influência dos meios de comunicação nas representações equivocadas dos alunos a respeito do trabalho científico. Os alunos não citam filmes, desenhos animados e programas de televisão, essa inferência foi feita pelas características que citaram e encaixam no estereótipo vinculado pelas mídias.

⁴¹ Nesta pesquisa assume-se uma postura epistemológica, na qual o termo “descoberta” não é aceito como corente com a NdC, pois os conhecimentos científicos são criações humanas e não “verdades” postas para serem “descobertas” (GATTI; NARDI; SILVA, 2010).

Isso se deve ao fato de que os mais variados programas, desde o entretenimento à divulgação científica, reforçam essas noções inadequadas em relação ao cientista e ao seu trabalho. Como esses programas conquistam a simpatia da maioria dos indivíduos, cabe à escola o papel de desenvolver competências e habilidades para que os alunos adquiram uma postura crítica frente ao que é vinculado pelas mídias (KÖHNLEIN; PEDUZZI, 2002).

Para que haja uma mudança positiva no Ensino de Ciências, antes é necessária uma modificação epistemológica dos professores. Pois, outro possível motivo da transmissão de noções inadequadas é o fato de o livro didático constituir a principal fonte de pesquisa no preparo das aulas, e o mesmo muitas vezes é reprodutor de ideias empiristas, como por exemplo, “O método científico”. É necessário que os professores estejam preparados para filtrar esse tipo de informação e não permitir a perpetuação de noções equivocadas (ZANON; MACHADO, 2013).

Em seguida, passa-se a discutir as noções prévias e posteriores em relação ao conteúdo estudado. Foram propostas 04 questões, respondidas prévia e posteriormente, que possibilitaram levantar as noções em relação ao conteúdo proposto.

A seguir é apresentado o quadro 08 com os dados referentes à questão 08.

Quadro 08: Registros das UR referentes aos dados da Questão 08.

UC8 “Noções a respeito da estrutura da Matéria”, que tem por finalidade reunir os fragmentos textuais nos quais os alunos expressam suas noções a respeito da composição da matéria.		
UR	PRÉVIO	POSTERIOR
UR 8.1 “Matéria composta por átomos”.	05 registros “A matéria é composta por átomos (não tenho certeza).” (Q8, A3, D1). “Átomos.” (Q8, A1, D1). “Bactérias, átomos, células.” (Q8, B3, D1). “Sei que é mais complexo que isso, mas basicamente de átomos. Não entendo nada.” (Q8, B1, D1). “A matéria é feita de átomos.” (Q8, A5, D1).	Nenhum registro
	Nenhum registro	06 registros “É feita de partículas elementares, que contém bósons, que têm spin inteiro. Contém também os férmions, que ao contrário dos bósons, têm spin semi-inteiro. Os férmions são formados por quark e léptons. E os bósons têm em sua família os fótons.” (Q8, A4, D2). “A matéria é formada por férmions e bósons. Vamos

	<p>explicá-los um de cada vez. Férmions: tem spin semi-inteiro e é formado por léptons e quarks. Os léptons são compostos pelo elétron, múon, tau e seus respectivos neutrinos. Os quarks são compostos pelo quark up, quark down, quark strange, quark charm, quark bottom e quark top. Bósons: tem spin inteiro e é formado por 3 mediadores e pelo bóson de Higgs. Os três mediadores são: glúons, que são responsáveis pela interação forte; fóton, que é responsável pela interação eletromagnética, e W^+, W^-, Z^0, que são responsáveis pela interação fraca.</p> <p>Continuando a explicação para chegar aos átomos, os quarks são ligados por glúons que formam os hádrons, que são mésons, como o pión; e bárions, como os prótons e nêutrons, a partir da junção desses prótons e nêutrons mais o elétron (que é um lépton) se forma o átomo que constitui tudo que é matéria.” (Q8, A1, D2).</p> <p>“A matéria pode ser orgânica e inorgânica, formada por férmions, que tem spin semi-inteiro e por bósons que tem spin inteiro. Os férmions são formados por léptons e quarks. Os léptons são: elétron, neutrino do elétron, múon, neutrino do múon, tau, neutrino do tau. E os quarks são: up, down, charm, strange, bottom e top. [...]. Os quarks ligados com glúons formam os bárions que podemos citar como os mais conhecidos os prótons e nêutrons. Os bárions e os mésons (como o pión) ligados formam o núcleo atômico. Os mésons são formados a partir da ligação de quarks e antiquarks.” (Q8, A3, D2).</p> <p>“De partículas elementares. A matéria é composta por férmions e bósons. Os férmions são partículas de spin semi-inteiro, esse grupo compreende os quarks e léptons. Os quarks são seis, o quark up, down, strange, charm, top e bottom; eles formam os hádrons, que podem ser bárions ou mésons. Os bárions são formados por três quarks ligados, já os mésons são formados por um quark e um antiquark. Os léptons também são seis, o elétron, o múon, o tau e seus neutrinos. O grupo dos bósons abriga os mediadores das interações naturais. São eles, o fóton (mediador da força eletromagnética), o glúon (mediador da força nuclear forte) os bósons de gauge W^+, W^-, Z^0 (mediadores da força nuclear fraca) e o bóson de Higgs (responsável pela massa das outras partículas). Há ainda outra partícula prevista para o modelo padrão, o gráviton, que seria o mediador da força gravitacional. Podemos citar como exemplos de bárions os prótons e os nêutrons e de mésons o méson pión.” (Q8, B2, D2).</p> <p>“A matéria é feita de férmions e bósons. Os férmions são compostos por léptons, que são: o elétron, o neutrino do elétron, o múon, o neutrino do múon, o tau e o neutrino do tau, e por quarks, que são: up, down, strange, charm, top e bottom. Os quarks, juntos dos glúons formam o grupo dos hádrons, que é dividido em outros dois grupos: os mésons (compostos por um quark e um antiquark, ex: píons) e os bárions (compostos por três quarks, ex: prótons e nêutrons). Já os bósons são: o fóton (responsável pela interação eletromagnética), os bósons de gauge (responsáveis pela interação fraca) e os glúons (responsáveis pela interação forte), que formam o grupo</p>
--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

		dos bósons mediadores [...]” (Q8, A5, D2). “A matéria é composta por férmions e bósons. Os férmions são compostos por léptons [...] e os quarks (formados por quark up, down, strange, charm, bottom e top). Os férmions são partículas solitárias e de spin semi-inteiro. Já os bósons são partículas de spin inteiro, tem os mediadores (o fóton da interação eletromagnética, os W^+ , W^- , Z^0 da interação fraca, os glúons da interação forte) e o bóson de Higgs. Além do mais, a combinação de quarks ou quarks e antiquarks geram outras partículas, como o próton (dois up e um down), o nêutron (um up e dois down) e os píons que são mésons (um up e um antiquark down).” (Q8, B1, D2).
UR 8.3 “Noção parcialmente correta a respeito do tema”	01 registro “De partículas chamadas átomos, que por sua vez são formados de partículas ainda menores. Há três tipos dessas partículas, quarks, léptons e bósons. Mas no nosso dia a dia podemos ver tudo o que é formado por dois deles” (Q8, B2, D1).	02 registros “A matéria é composta por férmions e também por bósons, que se dividem em léptons e quarks. Os bósons são três: fótons, glúons e W^+ , W^- , Z^0 . Que se dividem em antiquarks que formam os mésons e os bárions, que formam o núcleo atômico da matéria. Os mésons e os bárions formam os hádrons. Os bárions têm como exemplo os prótons e nêutrons, que são constituídos pelos quarks up e down e pelos glúons, que juntos com o elétron formam o átomo que são constituído através da matéria. Os quarks são em seis, tais como: charm, bottom, strange, down, up e top. Já os léptons tem o múon, o neutrino do múon, o tau, o neutrino do tau. Os férmions têm spin semi-inteiro e os bósons têm spin inteiro.” (Q8, A2, D2) “Férmions, bósons, spin semi-inteiro, spin inteiro, quarks, léptons.” (Q8, B3, D2).
	02 registro “Acredito que sejam feitos de materiais magnéticos.” (Q8, A4, D1). “De pequenas partículas de átomos.” (Q8, A2, D1).	03 registro “[...] formados por partículas e antipartículas (elétron, antieletron, neutrino do elétron, antineutrino do elétron, múon, antimúon, antineutrino do múon, tau, antitau, neutrino do tau, antineutrino do tau) [...]” (Q8, B1, D2). “[...] e há também o bóson de Higgs (responsável pela interação gravitacional).” (Q8, A5, D2). “[...] Os bósons são formados por glúons (responsáveis pela energia forte); fótons (pela energia eletromagnética); W^+ , W^- , Z^0 (responsáveis pela energia fraca) e também existe o bóson de Higgs.[...]” (Q8, A3, D2).
UR 8.5 “Desconhece ou não recorda nada em relação ao tema.”	Nenhum registro	Nenhum registro
UR 8.6 “Não contempla a pergunta”	Nenhum registro	Nenhum registro
Não responderam		
Total de registros	08 registros	11 registros

Fonte: a própria autora.

Essa questão tinha como objetivo obter as noções a respeito da estrutura da matéria. Com base nas respostas, do questionário prévio, pode-se inferir que a maioria dos alunos apresentava o átomo como o constituinte fundamental da matéria, embora alguns se sentiam inseguros em fazer essa afirmação (A3, B1). Apenas um deles, B2, apresentou uma visão mais aprofundada em relação ao conteúdo, já apresentando conceitos mais específicos como quarks, léptons e bósons para explicar a constituição da matéria. Dois alunos apresentaram noções inadequadas a respeito do assunto.

Uma preocupação é o fato de que a maioria dos alunos não apresentou noções prévias adequadas quanto à estrutura da matéria, sequer em um nível básico, que seria descrever a matéria como composta por átomos e esses, por sua vez, compostos de elétrons, prótons e nêutrons. Haja vista que esse conteúdo é previsto nos currículos escolares desde o Ensino Fundamental e é revisto com mais aprofundamento na disciplina de Química, geralmente, no primeiro ano do Ensino Médio.

Já no questionário posterior, após as aulas e as construções dos mapas conceituais, perceberam-se indícios de uma compreensão mais aprofundada em relação à estrutura da matéria, alguns alunos demonstram, aparentemente, que se apropriaram de novos conceitos e os estruturaram, hierarquizaram, diferenciaram e relacionaram de forma adequada para responder a questão.

Não foi surpresa, ao analisar os dados dessa questão, notar que os alunos elaboraram respostas mais extensas e sofisticadas no questionário posterior, pois no decorrer das aulas eles foram montando Mapas Conceituais que respondiam essa questão, ao todo eles construíram cada um três Mapas Conceituais individuais e três Mapas Conceituais coletivos, o que possibilitou uma maior familiarização com os temas ao final da Unidade Didática.

Apareceram confusões conceituais nas respostas de alguns alunos, como por exemplo: a consideração de antipartículas na constituição da matéria (B3), a confusão entre força ou interação e energia (A3), o bóson de Higgs como mediador da interação gravitacional.

Duas das respostas foram consideradas parcialmente corretas pelo fato dos alunos apresentarem alguns ideias adequados, porém a forma com que estruturaram as respostas deixou os conceitos soltos e explicações confusas.

Em geral, os resultados obtidos para essa questão foram satisfatórios e corroboram com estudos recentes, de Calheiro, Garcia e Gomes (2014) e Pinheiro (2011), que relatam que a maioria dos alunos, inicialmente, indica os átomos como os constituintes da matéria, alguns não fazem ideia de que existem partículas ainda menores que formam os

prótons e nêutrons, e outros se confundem com a ideia de antimatéria, etc. Porém, depois de estudarem os assuntos em aulas que propiciam uma Aprendizagem Significativa, eles passam a apresentar indícios de que aprenderam significativamente os conteúdos. Pois, assumem que a matéria é composta por partículas elementares, que elas formam grupos, que os prótons e nêutrons são formados por quarks, que o átomo não é uma partícula indivisível, etc. percebe-se também que os alunos apresentam respostas mais elaboradas, incorporando os conceitos novos que foram aprendidos, como léptons, quarks, bósons, entre outros.

Na sequência são apresentados os dados referentes à questão 09.

Quadro 09: Registros das UR referentes aos dados da Questão 09

UC9 “Noções a respeito do modelo atômico atual”, que tem por finalidade reunir os fragmentos textuais nos quais os alunos expressam suas noções a respeito do modelo atômico atual.		
UR	PRÉVIO	POSTERIOR
UR 9.1 “Noções de acordo com o consenso científico atual”	Nenhum registro	04 registros <p>“O átomo que conhecemos hoje é divisível e é formado por elétrons, que são léptons; prótons: que são dois quarks up e um down ligados por glúons; e nêutrons que são dois quarks down e um up ligados por glúons também.” (Q9, A1, D2).</p> <p>“Que o átomo pode ser sim dividido, portanto não é uma partícula elementar e sim constituído por outras partículas, umas elementares e outras não. Como o elétron que tem orbitas definidas e o núcleo que é formado por prótons e nêutrons, que por sua vez são formados por partículas ainda menores.” (Q9, A3, D2).</p> <p>“O núcleo atômico é constituído por prótons, que são constituídos por dois quarks up e um down, e por nêutrons, que são constituídos por um quark up e dois down, e há elétrons se movendo em orbitas ao redor do núcleo.” (Q9, A5, D2).</p> <p>“O modelo aceito hoje é que o átomo possui um núcleo formado por prótons e nêutrons e em volta do núcleo ficam os elétrons. E ainda, os prótons e os nêutrons são formados por partículas ainda menores.” (Q9, B1, D2).</p>
	02 registros <p>“Formado por prótons, nêutrons e elétrons. Possuidor de um número atômico que define sua quantidade de prótons e consequentemente de elétrons, os dois têm a mesma quantidade, e que define seus nêutrons pela subtração de massa – número atômico.” (Q9, A1, D1).</p> <p>“O átomo possui um núcleo constituído por prótons e nêutrons e há elétrons se</p>	03 registros <p>“Ele é formado por prótons e nêutrons e que em volta do núcleo fica os elétrons e que parece um planeta com anel. Os nêutrons e os prótons são formados por partículas ainda menores.” (Q9, A2, D2).</p> <p>“Que um átomo é formado por um núcleo que é formado por prótons e nêutrons e que em volta do núcleo ficam os elétrons.” (Q9, B3, D2).</p> <p>“Descreveria que o átomo é formado por um núcleo, que é formado por prótons e nêutrons, e que em volta do núcleo tem uma eletrosfera onde ficam os elétrons.” (Q9, A4, D2).</p>
UR 9.2 “Noção parcialmente correta a respeito do tema”		

	movendo em órbitas ao redor dele.” (Q9, A5, D1).	
UR 9.3 “Noções equivocadas em relação ao modelo atômico atual.”.	Nenhum registro	Nenhum registro
UR 9.4 “Desconhece ou não recorda nada em relação ao tema”	04 registros “Não sei.” (Q2, A4, A3, A2, D1). “Não me lembro de nada que se refere ao assunto.” (Q9, B1, D1).	Nenhum registro
UR 9.5 “Não contempla pergunta” a	01 registro “Incompleto, mas aceitável. Seria o mínimo que devemos saber sobre os átomos.” (Q9, B2, D1).	01 registro “Completo, exceto a gravidade, todas as interações estão bem explicadas e incluídas. As partículas e suas funções também. Mas o modelo está passando por novas descobertas e mudanças.” (Q9, B2, D2).
Não responderam	B3	
Total de registros	07 registros	08 registros

Fonte: a própria autora.

A questão 09 tinha como objetivo investigar as noções dos alunos em relação ao modelo atômico atual.

Ao analisar o questionário prévio percebe-se que a metade dos alunos não sabe responder ou não lembra-se de nada relacionado ao assunto, dois apresentaram uma noção parcialmente adequada, um do alunos parece ter interpretado a questão de uma maneira diferente da que se esperava e um deles não respondeu a questão.

Haja vista que o conteúdo de modelos atômicos é previsto nas diretrizes curriculares da disciplina de Química, durante o primeiro ano do Ensino Médio, esses resultados foram, no mínimo, frustrantes, uma vez que eles poderiam lembrar pelo menos de alguns dos modelos atômicos vistos na disciplina de Química.

Talvez se fossem ofertadas algumas alternativas contendo os modelos atômicos, como no estudo de Pinheiro (2011), os resultados poderiam ser mais satisfatórios. Porém, nada indicaria que eles não “chutariam” as respostas, dado a evidência de que metade dos alunos sequer sabia alguma informação a respeito do assunto. E mesmo com as alternativas, no estudo de Pinheiro (2011), cinco de 24 alunos afirmaram não saber qual é o modelo atômico aceito atualmente, enquanto os outros se distribuem em alternativas como: modelo de Thomson, modelo de Bohr, modelo quântico e o modelo de Rutherford.

Rocha (2013), em sua pesquisa, que também abordou a temática dos modelos atômicos, percebeu que somente um pequeno grupo de estudantes conseguia

representar alguns dos modelos atômicos existentes. E que nenhum dos estudantes fez menção ao modelo de orbitais atômicos, desenvolvido a partir da Mecânica Quântica.

Calheiro e Garcia (2014), por meio de atividades com Mapas Conceituais, perceberam que a maioria dos alunos não apresenta conhecimentos prévios relevantes a respeito desse conteúdo, o que sugere que os conteúdos estudados em relação à constituição do átomo, foram assimilados de maneira superficial.

No questionário posterior, após algumas aulas que trataram do assunto, percebe-se que houve uma nítida melhora nas respostas, nenhum aluno deixou de responder a questão e a maioria apresentou noções adequadas ou parcialmente adequadas em relação ao assunto. Três registros foram considerados parcialmente corretos, pois os alunos ainda persistem com um modelo ultrapassado a respeito da constituição do átomo. Quatro alunos passaram a apresentar respostas de acordo com o consenso científico atual, recordando que o próton e o nêutron possuem estrutura interna. E um dos alunos fez uma confusão entre modelo atômico e Modelo Padrão.

Esse resultado foi considerado satisfatório, ao passo que o objetivo dessa questão era perceber se os alunos conseguiam, ao final da Unidade Didática, identificar corretamente a estrutura atômica.

Percebe-se que há indícios de estabilidade da aprendizagem de alguns dos alunos, pois dos que explicaram corretamente a questão a respeito da estrutura da matéria, ao responderem a questão relacionada ao modelo atômico a maioria lembrou que os prótons e nêutrons são compostos por partículas ainda menores.

A seguir são apresentados os dados referentes à questão 10.

Quadro 10: Registros das UR referentes aos dados da Questão 10.

UC10 “Noções a respeito das Partículas Elementares”, que tem por finalidade reunir os fragmentos textuais nos quais os alunos expressam suas noções a respeito do que são partículas elementares.		
UR	PRÉVIO	POSTERIOR
UR 10.1 “Noções de acordo com o consenso científico atual”	03 registros	07 registros
	<p>“Partículas elementares poderiam ser o que também compõe a matéria?” (Q10, A3, D1).</p> <p>“Partículas indivisíveis que formam a matéria.” (Q10, B2, D1).</p> <p>“São partículas indivisíveis.” (Q10, A5, D2).</p>	<p>“Partículas indivisíveis.” (Q10, B3, D2).</p> <p>“São partículas constituintes da matéria, sendo assim não podemos dividi-las, é o que chamamos de partículas elementares indivisíveis.” (Q10, A4, D2).</p> <p>“As menores partículas encontradas no universo, sendo indivisíveis e que formam toda a matéria.” (Q10, A1, D2).</p> <p>“Partículas indivisíveis, que não podem ser quebradas.” (Q10, A3, D2).</p>

		<p>“São partículas indivisíveis que constituem todas as outras.” (Q10, B2, D2).</p> <p>“Partículas elementares são aquelas que não possuem estrutura interna.” (Q10, B1, D2).</p> <p>“São partículas indivisíveis.” (Q10, A5, D2).</p>
UR 10.2 “Noção parcialmente correta a respeito do tema”	Nenhum registro	Nenhum registro
UR 10.3 “Noções equivocadas/confusas em relação tema.”	<p>03 registros</p> <p>“São pequenas partes que tem em si o que as compõe, como os elementos.” (Q10, A2, D1).</p> <p>“São partículas de elementos.” (Q10, B3, D1).</p> <p>“Elementos: como átomos, íons, essas coisas.” (Q10, A4, D1).</p>	<p>01 registro</p> <p>“É aquilo que uma matéria que tudo aquilo que tem partícula que não tem uma estrutura interna.” (Q10, A2, D2).</p>
UR 10.4 “Desconhece ou não recorda nada em relação ao tema”	<p>02 registros</p> <p>“Não sei.” (Q10, A1, D1).</p> <p>“Não sei nada.” (Q3, B1, D1).</p>	Nenhum registro
UR 10.5 “Não contempla a pergunta”	Nenhum registro	Nenhum registro
Não responderam		
Total de registros	08 registros	08 registros

Fonte: a própria autora.

Com a questão 09 tinha-se o objetivo de investigar as noções que os alunos tinham a respeito do que são Partículas Elementares.

Pode-se inferir, com base nos dados prévios, que a maioria dos alunos não tem noções prévias adequadas ao consenso científico. Três deles apresentam respostas equivocadas e confusas, dois não sabiam responder a questão e apenas três alunos esboçaram respostas mais condizentes com o consenso científico atual. Vale ressaltar que essas últimas três respostas podem ser colocadas em questão, pois apenas um dos alunos, B2, usou essa noção para responder o questionamento a respeito da constituição da matéria. O que sugere que, caso os alunos possuam essa noção prévia em sua estrutura cognitiva, essa noção não está bem ancorada, uma vez que eles não usaram o termo partículas elementares em suas respostas ao questionamento em relação à estrutura da matéria.

De acordo com Rocha (2013), os estudantes, em sua maioria, não compreendem a ideia de partículas elementares, o que já é esperado, pois a temática não é contemplada de forma explícita nas propostas pedagógicas curriculares de algumas, senão a maioria, das escolas.

No questionário posterior, percebe-se que a maioria dos alunos passou a apresentar noções adequadas em relação ao assunto, uns com mais profundidade outros de forma mais discreta, assumem que partículas elementares não possuem estrutura interna e que são as constituintes da matéria. Um respondeu de forma confusa, A2, porém também assume que partículas elementares não possuem estrutura interna.

Esses resultados também corroboram com os estudos de Pinheiro (2011), nos quais, após a aplicação de uma intervenção didática, os estudantes passam a compreender de forma mais clara o que significa o termo elementar.

Considera-se positiva a perturbação nas noções dos alunos, pois a maioria conseguiu, ao final da aplicação da Unidade Didática, expressar noções adequadas ao consenso científico atual a respeito do que é uma partícula elementar. Credita-se esse resultado ao desenvolvimento da proposta didática que permitiu aos alunos adquirir novos conhecimentos em relação à estrutura da matéria.

Em seguida são apresentados os dados referentes à questão 11.

Quadro 11: Registros das UR referentes aos dados da Questão 11.

UC11 “Noções a respeito do Modelo Padrão” tem o objetivo de reunir os fragmentos textuais que apresentam as noções que o aluno tem em relação à Teoria de Modelo Padrão.		
UR	PRÉVIO	POSTERIOR
UR 11.1 “Noções de acordo com o consenso científico atual”	01 registros “É um modelo utilizado para explicar como as coisas funcionam, ele fala desde as partículas que formam a matéria até as forças que as fazem interagir.” (Q11, B2, D1).	06 registros “É a teoria mais aceita atualmente por todos para descrever a estrutura da matéria e ela também identifica as partículas elementares que são existentes.” (Q11, A2, D2). “É a teoria que explica como a matéria é formada e quais são os constituintes dela.” (Q11, B3, D2). “A teoria que explica como é constituída a matéria.” (Q11, A1, D2). “A teoria do Modelo Padrão descreve a estrutura da matéria, identifica as partículas elementares e como interagem.” (Q11, B1, D2). “É uma teoria que descreve as partículas que constituem a matéria.” (Q11, A5, D2). “Teoria da física que descreve as partículas fundamentais que constituem a matéria e a forma como interagem.” (Q11, A3, D2).
	Nenhum registro	02 registro “É uma teoria que explica como a matéria é constituída. Acredito que seja constituída por átomos, prótons, nêutrons e elétrons.” (Q11, A4, D2). “É um modelo que compreende todas as coisas que fazem nosso universo, explica como nosso universo funciona.”
UR 11.2 “Noção parcialmente correta a respeito do tema”		

		(Q11, B2, D2).
UR 11.3 “Noções equivocadas/confusas em relação tema.”	Nenhum registro	Nenhum registro
UR 11.4 “Desconhece ou não recorda nada em relação ao tema”	06 registros	Nenhum registro
	“Não sei.” (Q11, A4, A3, A2, A5, A1, D1). “Não entendo nada.” (Q11. B1, D1).	
UR 11.5 “Não contempla pergunta”	Nenhum registro	Nenhum registro
Não responderam	B3	Nenhum registro
Total de registros	07 registros	08 registros

Fonte: a própria autora.

A questão 11 foi proposta com o objetivo de investigar as noções a respeito do Modelo Padrão.

Com base no questionário prévio, percebe-se que seis dos oito alunos não faziam ideia do que era o Modelo Padrão. Um aluno não respondeu e apenas um deles soube responder corretamente.

Esses dados não surpreendem, pois de acordo com Pereira (2013), os alunos não apresentam nenhum conhecimento sistematizado a respeito de Física de Partículas, e os que possuem, devido a informações adquiridas por um ensino não formal, apresentam noções equivocadas ou superficiais.

Já no questionário posterior houve uma nítida mudança nas noções dos alunos, que antes sequer sabiam do que se tratava. A maioria soube responder a questão, mesmo apresentando algumas imprecisões. O aluno A4 fez uma introdução de acordo com o consenso científico atual, porém ao expressar sua opinião a respeito da estrutura da matéria, novamente, apresenta a ideia de que a matéria é constituída de prótons elétrons e nêutrons, esquecendo que os prótons e nêutrons são constituídos por partículas ainda menores. O aluno B2 generalizou demais sua resposta, ignorando que essa teoria ainda não explica alguns fatores reacionados ao nosso Universo. Os demais apresentaram respostas condizentes, porém vale ressaltar que suas respostas ficaram “engessadas” com as explicações contidas nos textos utilizados em sala de aula. Ao passo que não pode-se afirmar que realmente houve uma alteração nas noções desses alunos, ou se esse conceito ficou ancorado em suas estruturas cognitivas.

Ao fazer uma análise geral de todos os dados obtidos nessas últimas quatro questões, tomaram-se como satisfatórios os resultados obtidos, pois os alunos apresentaram

indícios de alterações em suas noções a respeito dos assuntos discutidos. A maioria deles passou a representar a estrutura da matéria e a estrutura atômica em função das partículas elementares e passaram a dar indícios da compreensão dos termos partículas elementares e Modelo Padrão. Além de indicar indícios de Aprendizagem Significativa, ao passo que a maioria dos alunos conseguiu expressar suas respostas hierarquizando, diferenciando e relacionando corretamente os conceitos envolvidos nas explicações. Isso sugere que proposta didática contribuiu para o entendimento dos conteúdos e pode ser uma alternativa a mais para trabalhar com tópicos de Física Moderna em sala de aula.

Em seguida é feita a análise dos Mapas Conceituais, elaborados pelos alunos durante a aplicação da Unidade Didática, que enriqueceram a busca por indícios de Aprendizagem Significativa da temática estrutura da matéria.

5.2.2 Análise dos Mapas Conceituais

Nesta seção é apresentada a unitarização dos mapas conceituais e as discussões a respeito dos indícios de Aprendizagem Significativa. A seguir é disposto o quadro 12 que contempla a unitarização dos mapas conceituais. Os mapas construídos pelos alunos deveriam procurar responder a seguinte questão: De que é feita a matéria que compõe os objetos naturais e artificiais?

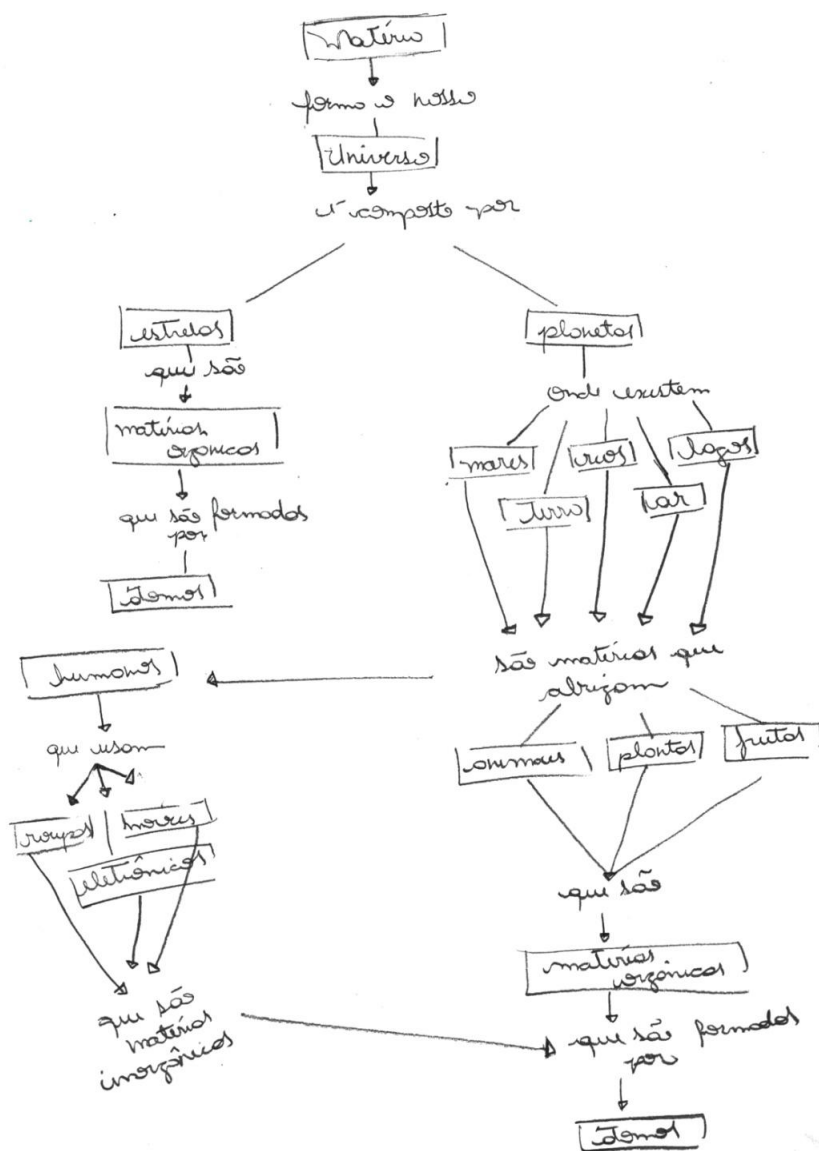
Quadro 12: Unitarização dos mapas nas URM referentes à UCM1.

UCM1 “Organização hierárquica e Diferenciação progressiva” reúne os mapas que apresentam Organização Hierárquica e Diferenciação Progressiva dos conceitos.			
URM	MAPA 1	MAPA 2	MAPA 3
URM 1.1 “Do conceito matéria até o conceito átomo”	04 registros	Nenhum registro	Nenhum registro
	A1, A2, B3, A3		
URM 1.2 “Do conceito matéria até os conceitos prótons, nêutrons e elétrons”.	01 registro	Nenhum registro	Nenhum registro
	A5		
URM 1.3 “Do conceito matéria até as Partículas elementares”.	01 registro	08 registros	08 registros
	B2	A3, B2, B3, B1, A4, A1, A2, A5	A3, B2, B3, B1, A4, A1, A2, A5
URM 1.4 “Não apresenta uma Organização hierárquica e Diferenciação do conceito matéria, pois apresenta ideias muito amplas”	05 registros	Nenhum registro	Nenhum registro
	A4, A2, B1, B3, A3		
Total de registros	11 registros	08 registros	08 registros

Fonte: a própria autora.

Como é visível no quadro acima, a maioria dos alunos ao elaborar o primeiro Mapa Conceitual “fugiu” do tema ou divagou em outros assuntos (URM 1.4), porém, com exceção de dois deles (A4 e B1), todos os demais, mesmo divagando na resposta, identificaram os átomos como constituintes da matéria. No primeiro mapa os alunos apresentaram alguns erros na parte conceitual e na estrutura dos mapas, como pode ser observado na figura 02, que ilustra a situação.

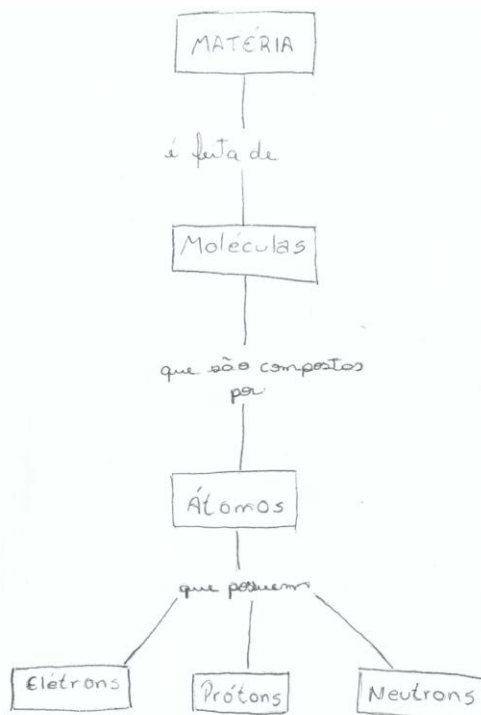
Figura 02: Primeiro Mapa Conceitual elaborado pelo aluno A3. Ilustra a noção inicial a respeito da constituição da matéria



Fonte: A3.

Apenas um aluno, A5, representa uma hierarquização que vai desde o conceito de matéria até os conceitos de próton, nêutron e elétron. Como pode ser observado na figura 03.

Figura 03: Primeiro Mapa Conceitual elaborado pelo aluno A5.



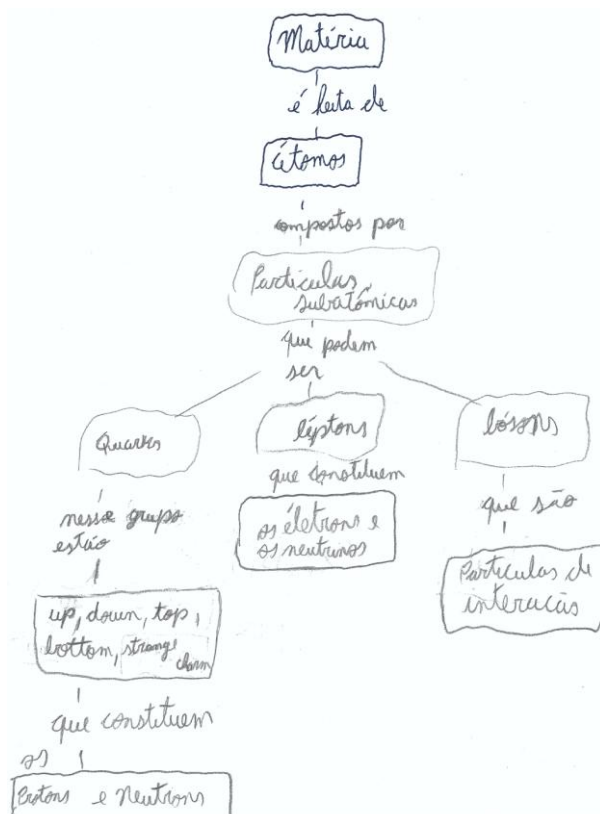
Fonte: A5.

O que chamou atenção foi que um dos alunos, B2, mostrou ter um conhecimento menos superficial que os demais em relação ao assunto, pois apresentou em seu primeiro mapa termos como quarks, léptons, bósons, etc. Ele relatou que gostava de ler artigos e reportagens na internet a respeito de assuntos relacionados à Física, inclusive a respeito de Física de Partículas. Isso justifica o número de subsunçores, relevantes, da estrutura cognitiva relacionados ao tema estudado. O mapa do aluno é reproduzido na figura 04.

Na maioria dos mapas foi possível identificar a organização hierárquica e diferenciação progressiva dos conceitos. Esse processo se dá quando o aluno representa um conjunto de conceitos respeitando uma hierarquia, na qual os conceitos mais abrangentes são representados no topo do mapa e os mais específicos são dispostos logo abaixo. Essa etapa está relacionada ao conceito de subsunção de Ausubel (2003) na qual as novas informações serão ancoradas aos conceitos mais abrangentes da estrutura cognitiva. Pela diferenciação progressiva, pode-se entender o aprendizado como um processo contínuo, no qual cada vez

mais conceitos e relações podem ser ancorados na estrutura cognitiva dos sujeitos. Como pode ser observado nos dois mapas a seguir, que ilustram o segundo e terceiro Mapa Conceitual elaborado pelo aluno A5.

Figura 04: Primeiro Mapa Conceitual elaborado pelo aluno B2.

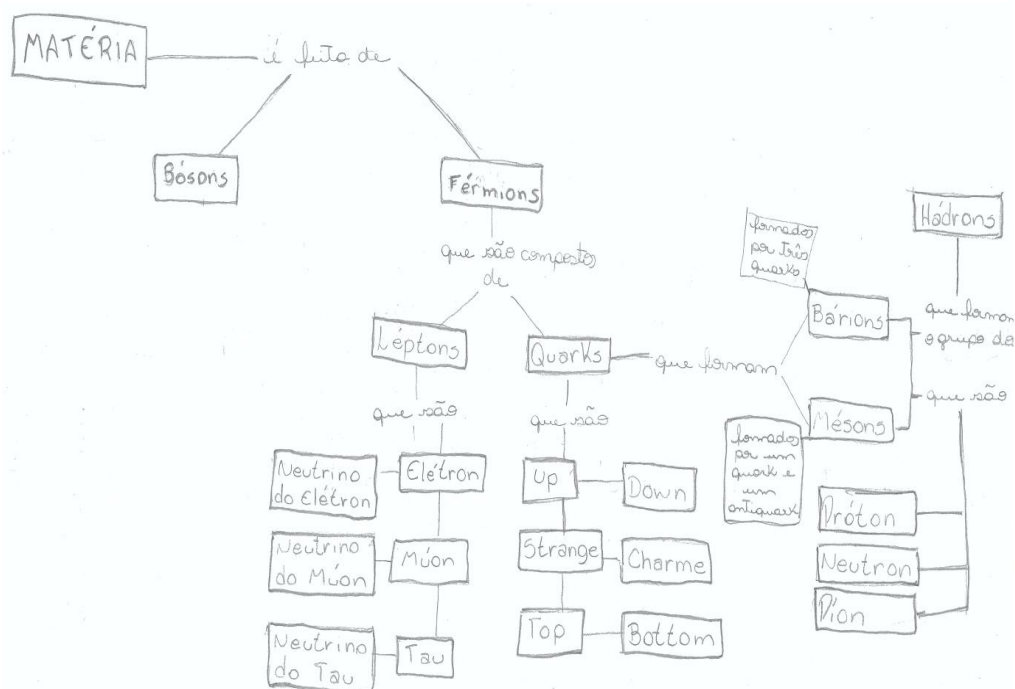


Fonte: B2.

Pôde-se observar uma mudança significativa do primeiro para o segundo e terceiro mapas elaborados pelos alunos. Nenhum deles fugiu do tema ao responder a pergunta e conseguiram estruturar os conceitos de forma hierárquica e com diferenciação progressiva para explicar a constituição da matéria. Uma fala relevante do aluno A5 traduz a estrutura de seus três mapas, bem como de seus colegas. “*Meu mundo era tão pequeno semanas atrás*”. Esse registro pode ser denominado como, o que Novak e Gowin (1996) chamam de, *sentir o significado*, consiste no momento de emoção ao interiorizar novos conhecimentos.

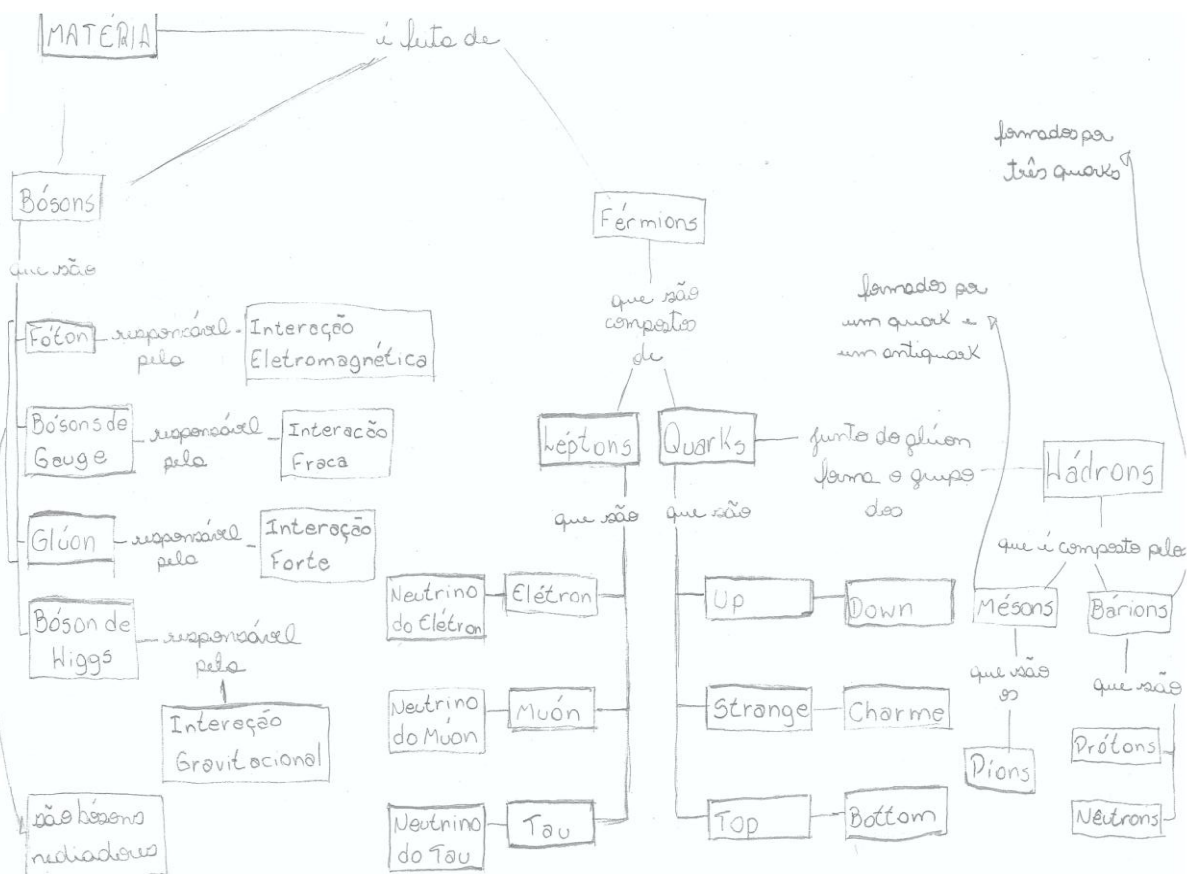
O fato de refazerem seus mapas à medida que iam aprendendo os ajudou a aprofundar suas ideias, acrescentar os novos conceitos adquiridos e corrigir eventuais equívocos cometidos nos Mapas Conceituais anteriores. É na sequência dos mapas que o professor pode observar a progressão alcançada pelos alunos, como pode ser notado nas figuras 03, 05 e 06.

Figura 05: Segundo Mapa Conceitual elaborado pelo aluno A5.



Fonte: A5.

Figura 06: Terceiro Mapa Conceitual elaborado pelo aluno A5.



Fonte: A5.

A seguir são apresentadas as Unidades de Registro relativas aos indícios de reconciliação integradora nas três versões dos mapas elaborados pelos alunos.

Quadro 13: Unitarização dos mapas nas URM referentes à UCM2.

UCM2 “Reconciliação integradora relacionada ao conteúdo” reúne os mapas que apresentam reconciliação integradora de conceitos relacionados ao conteúdo.			
URM	MAPA 1	MAPA 2	MAPA 3
URM 2.1 “Apresentam até uma reconciliação integradora”	Nenhum registro	03 registros	04 registros
		B2, A5, B1	A5, A4, B2, B1
URM 2.2 “Apresentam mais de uma reconciliação integradora”.	Nenhum registro	03 registros	03 registros
		A2, A1, A3	A2, A1, A3
URM 2.3 “Não apresenta reconciliação integradora”.	08 registros	02 registros	01 registro
	A5, B2, A4, A2, A1, B3, B1, A3	A4, B3	B3
Total de registros	08 registros	08 registros	08 registros

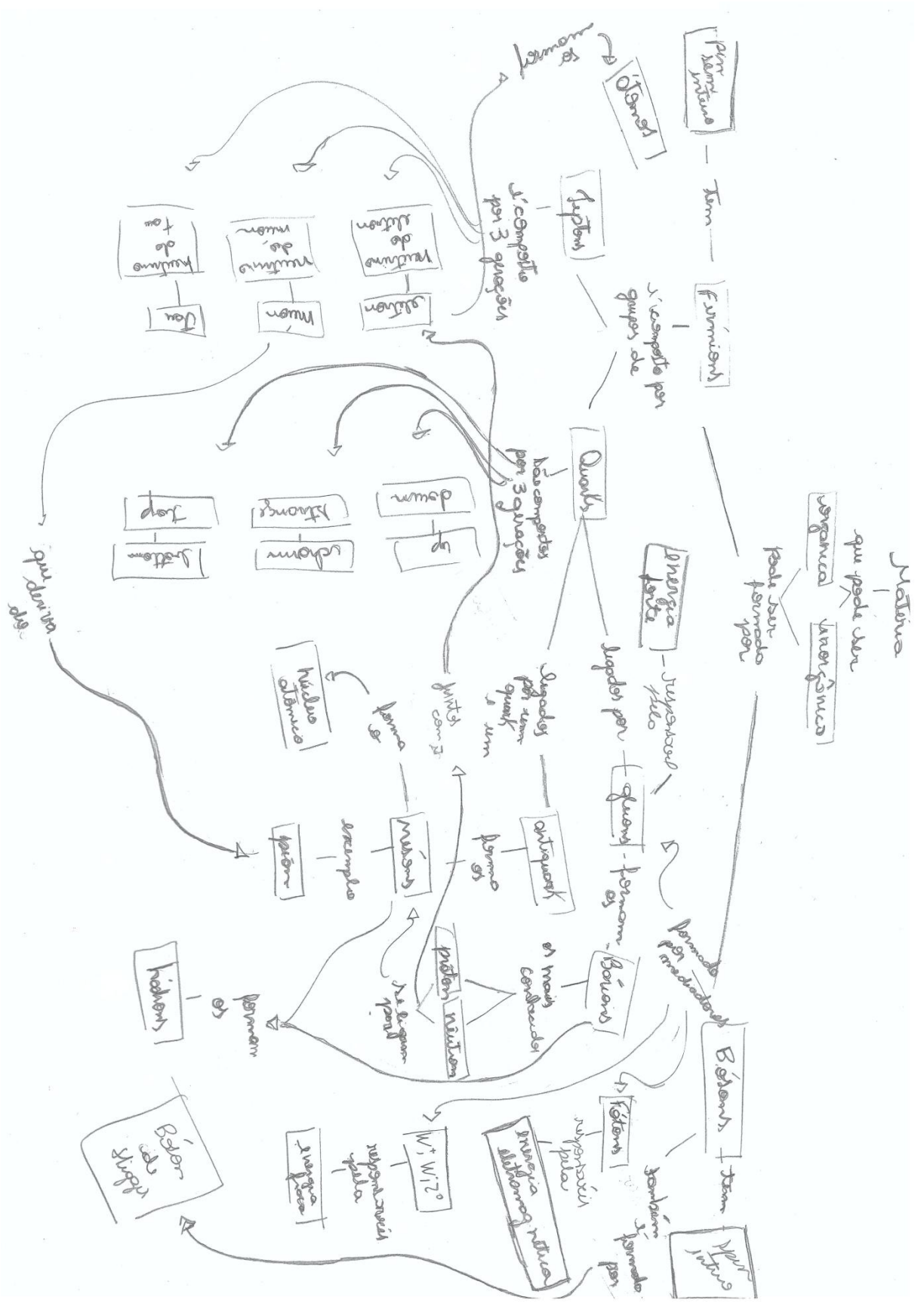
Fonte: a própria autora.

A reconciliação integradora apareceu com menos intensidade, mas se fez presente na maioria dos mapas, mesmo que apenas tenha aparecido uma vez em cada mapa. Apenas um aluno, B3, não apresentou reconciliação integradora em nenhum de seus mapas.

O fato dos alunos terem apresentado indícios de reconciliação integradora é um indicativo de que a Aprendizagem Significativa foi melhorada. Pois eles reconheceram novas relações entre conceitos já existentes e resolveram conflitos com conceitos anteriores (NOVAK; GOWIN, 1996; AUSUBEL, 2003). Isso pode ser percebido, nos mapas, quando os alunos conseguem relacionar de maneira correta os conceitos próton e nêutron, que antes tinham um significado, e depois passaram a ser integrados na nova estrutura organizada dos conhecimentos. Como pode-se perceber, no quadro acima, há um aumento gradativo dos mapas que apresentam reconciliação integradora desde o início da aplicação da unidade até a construção do último mapa. Isso pode ser encarado como sinais de criatividade, que são essenciais para a Aprendizagem Significativa (AUSUBEL, 2003).

Os últimos mapas foram os que mais apresentaram reconciliação integradora, bem como um maior número de relações entre os conceitos. Segundo Tavares (2007), a existência de um grande número de relações entre os conceitos revela a familiaridade do autor com o tema. Mesmo que ele tenha disposto os conceitos em lugares diferentes do mapa ele conseguirá perceber as relações. Isso pode ser observado no mapa dos alunos A1 e A3 que são ilustrados a seguir nas figuras 07 e 08.

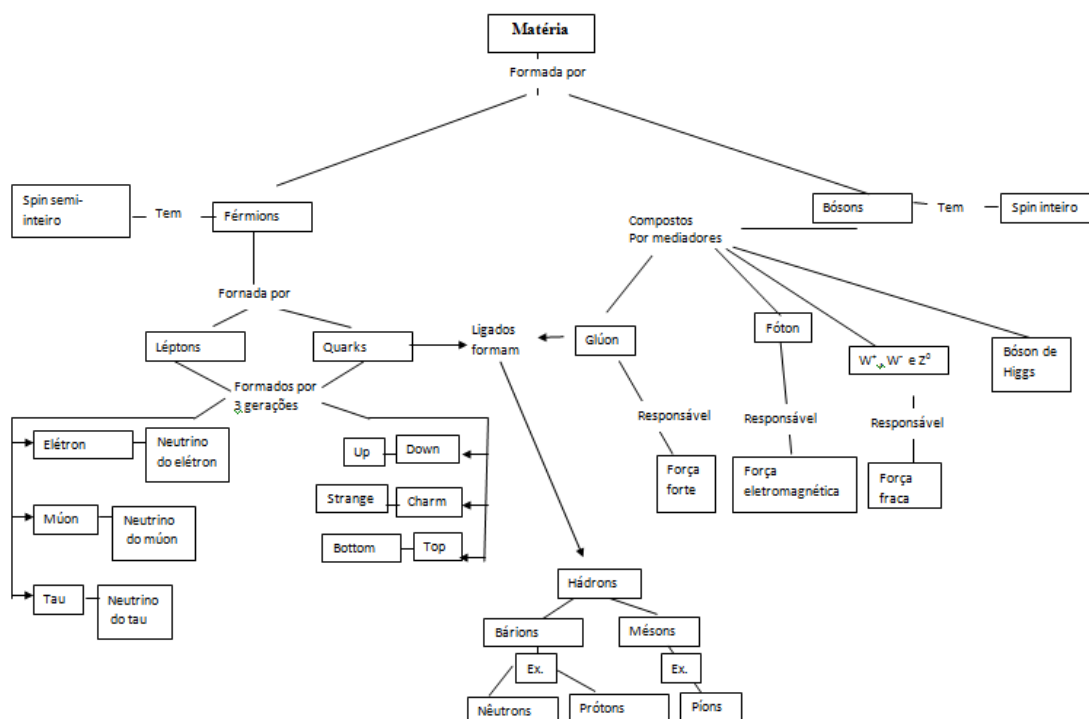
Figura 08: Terceiro Mapa Conceitual elaborado pelo aluno A3.



Fonte: A3.

É relevante ressaltar que a construção dos mapas coletivos pode ter contribuído na elucidação das ideias e relações. Porém, como se pôde perceber, alguns mapas individuais possuíam mais relações e conceitos do que o mapa coletivo, enquanto outros tinham uma estrutura muito parecida. O que pode ser observado em comparação com o mapa coletivo apresentado a seguir, na figura 09, e os últimos três mapas conceituais apresentados anteriormente, dos alunos A5, A3 e A1. O aluno A5 apresenta uma estrutura muito similar com o mapa conceitual coletivo, enquanto os alunos A2 e A3 apresentaram mais conceitos e diferentes relações. Com essas evidências não se pode afirmar a real influência que os mapas coletivos tiveram na elaboração dos mapas conceituais individuais.

Figura 09: Terceira versão do mapa conceitual coletivo.



Fonte: Alunos participantes de uma das turmas da Unidade Didática, A1, A2, A3, A4 e A5.

Ao realizar uma análise geral dos mapas pôde-se perceber que alguns alunos apresentaram equívocos em determinadas relações de conceitos (A2 Mapa 2, A3 Mapa 3, A3 Mapa 1, B1 Mapa 3), e outros acabaram deixando os conceitos misturados nas frases de ligação (A5 Mapa 3, A4 Mapa 3, B2 Mapa 3, B2 Mapa 2, A3 Mapa 2, B1 Mapa 2) ou deixaram dois conceitos utilizando o mesmo espaço (A1 Mapa 2, A5 Mapa 2, A1 Mapa 3). Porém, como pode ser evidenciado pelos mapas, foram casos específicos e pouco incidentes em comparação com o número de conceitos e relações adequados.

Além disso, erros são comuns no processo de aprendizagem, e a elaboração dos mapas revela isso. Não se esperava que os alunos construíssem um Mapa Conceitual “perfeito”, pois isso implicaria num processo de memorização, que não era objetivo da abordagem.

Foi tomado como satisfatórios os mapas construídos pelos alunos, tendo em vista que foi o primeiro contato deles com esse instrumento de avaliação e devido ao fato de ser um desafio externar e construir um mapa conceitual, uma vez que expõe a estrutura cognitiva do indivíduo e explica a profundidade do conhecimento do autor do mapa a respeito do tema (TAVARES, 2007).

Utilizar os Mapas Conceituais como uma das formas de avaliação da Unidade Didática foi muito relevante, dada sua potencialidade em expor conceitos e suas relações de forma clara e proporcionar ao professor a oportunidade de acompanhar o desenvolvimento de uma matéria de ensino na estrutura cognitiva do aluno durante os processos de elaboração, apresentação e reelaboração dos mapas (PINHEIRO, 2011).

Os alunos assumiram que na construção do primeiro mapa ainda se sentiam inseguros e não sabiam estruturá-lo corretamente. Mas no decorrer das atividades, com a construção dos mapas coletivos, eles foram se sentindo mais a vontade e reconheceram a potencialidade do instrumento para estudar variados conceitos. De maneira que a aceitação da atividade foi positiva.

Em seguida é apresentada uma avaliação feita pelos alunos a respeito da Unidade Didática. Isso permitiu que fosse feita uma leitura dos pontos positivos e negativos da Unidade, que é relevante para que futuras aplicações sejam aprimoradas e mais eficientes, visando a Aprendizagem Significativa dos alunos.

5.2.3 Avaliação da Unidade Didática

Ao final da aplicação da Unidade Didática os alunos responderam um questionário, reproduzido no Apêndice B, que avaliava as atividades e os recursos utilizados durante as aulas.

A maioria deles expressou que as aulas trouxeram informações novas, interessantes e que os assuntos estudados chamaram atenção. Pode-se perceber isso nos seguintes comentários⁴²:

“Mostrou um universo novo e uma diversidade de conhecimentos interessantes”

“Eu mal sabia que o átomo era divisível”

“Esclareceu várias coisas para mim, além de trazer informações novas”

“Aprendemos do que é verdadeiramente composta a matéria”

“Nos aprofundamos e interagimos mais com as aulas e os conteúdos”

Ao responderem se tiveram alguma dificuldade com a construção dos mapas conceituais a maioria assumiu que teve um pouco de dificuldade no início, mas que depois ficou mais fácil de elaborar.

“Me compliquei um pouco”

“No começo sim, mas agora é moleza”

“Tudo ficou bem claro”

“Após aprender tudo ficou mais fácil”

“Muitas palavras ainda ficam confusas na cabeça”

“É complicado pelo tanto de informações, mas considerei um ótimo meio de estudar”

Quando questionados a respeito da utilização de uma abordagem que leve em consideração a parte histórica e filosófica, todos afirmaram que as aulas ficam mais interessantes, porém não comentaram muito a respeito.

“Quanto mais informação melhor”

“Acho as duas importantes”

“Depende do conteúdo”

“Abordar as outras áreas faz com que gravemos com mais facilidade o conteúdo”

A respeito da utilização de multimídias todos afirmaram gostar, como pode ser notado nos comentários abaixo.

“Pois os alunos se interessam mais pelos conteúdos”

“Fica mais interessante”

“As mídias, como o vídeo, ajudam a compreender melhor”

⁴² Os comentários não estão identificados porque esse questionário não tinha identificação, assim os alunos poderiam ficar a vontade para fazer eventuais críticas.

“Não deixa que o tédio e a falta de atenção tomem conta”

“Explica muito mais”

“Me chama mais atenção”

Com relação à quantidade de tempo gasto durante a Unidade Didática a maioria afirmou ser o suficiente para a discussão dos conteúdos, dois alunos afirmam que o tempo deveria ser maior para se aprofundar mais.

A respeito das discussões em relação aos vídeos e textos os alunos confirmaram que foi interessante e que serviram para ajudar na compreensão e interação por meio das observações realizadas.

Quando questionados a respeito dos recursos didáticos (vídeos, simuladores, textos, imagens, animações) eles reponderam que esses meios os ajudaram a entender melhor os conteúdos e prenderam a sua atenção.

“Ajudam muito”

“Ajudaram bastante, além de deixar as aulas mais interessantes”

“Muito interessantes e prenderam a atenção”

“Assim conseguimos ter mais noção do que estamos estudando”

“Uma forma diferente de estudar é sempre bem-vinda”

“Um complemento audiovisual após um texto sempre é bom para explicação”

“Simular um experimento leva a um maior entendimento do assunto”

“Com eles ficou mais fácil”

“Deixa a aula mais descontraída”

“Nunca imaginei que iria usar um simulador”

Por fim, foi solicitado que eles indicassem pontos positivos e negativos da Unidade Didática.

“Não houve ponto negativo, tudo foi para ajudar, ou seja, todas as coisas foram para explicar cada vez mais”

“Achei o curso muito interessante e se pudesse queria mais! Os métodos diferentes prenderam minha atenção e acho que só tenho pontos positivos”

“Tudo foi bom, o único ponto negativo foi o fato de poucos alunos aderirem ao curso, se mais alunos estivessem participando as discussões seriam mais abrangentes devido aos diferentes conhecimentos”

“O único ponto negativo é que não vai mais ter aula, o curso só teve pontos positivos, amei o curso, tem que continuar”

“Com isso aprendemos mais, melhoramos nossos conhecimentos e para ser melhor faltou o uso de mais atividades e mais tempo”

“Pontos positivos: é um conhecimento a mais dentre tantos outros que não estudamos na escola”

“Um ponto positivo foi a construção do mapa conceitual coletivo em conjunto, pois ajudou a fixar o conteúdo”

“Para mim não teve pontos negativos, o curso foi bom, por mim deveria continuar”

Ao final da Unidade Didática foi nítido interesse dos alunos em dar continuidade aos estudos, muitos deles pediram para que fosse proposto outro tema, ou que os temas já estudados fossem aprofundados. Esse foi um dos indicativos claros de que a Unidade Didática cumpriu seu papel, proporcionando a construção de novos conhecimentos e gerando nos alunos a vontade de aprender.

Como pode-se perceber pelos comentários dos alunos a respeito dos itens avaliados, o Mapa Conceitual foi bem aceito embora no início eles apresentassem uma leve dificuldade, que a construção coletiva ajudou na compreensão dos assuntos ao passo que ocorria a troca de significados, que uma abordagem histórico-didática é vista como interessante e que os recursos didáticos utilizados contribuíram para que houvesse uma maior compreensão dos conteúdos e para que as aulas se tornassem mais atrativas.

Por fim, após as análises dos dados, credita-se nesta Unidade Didática uma alternativa para que os professores de Ensino Médio possam inserir tópicos de Física de Partículas em suas aulas. Haja vista o grande interesse dos alunos perante as aulas devido à maneira como as mesmas foram planejadas e estruturadas, bem como os resultados positivos obtidos em relação às noções da Natureza da Ciência e ao conteúdo estudado. O que reforça a ideia de que o problema dos alunos não é a Física em si, mas a maneira com a qual ela é ensinada em sala de aula.

Esta pesquisa contribui para as investigações que buscam meios de trabalhar a História e a Filosofia da Ciência em sala de aula com uma perspectiva que anseia a Aprendizagem Significativa.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após o desenvolvimento desta pesquisa que tinha por objetivo investigar as potencialidades de uma Unidade Didática, construída para o tema de Partículas Elementares que utilizasse uma abordagem histórico-didática com auxílio de multimídias e fosse pautada em princípios da Aprendizagem Significativa, pôde-se perceber as dificuldades, alegrias e expectativas durante as etapas de estudos e elaboração das atividades desenvolvidas em sala de aula, bem como em todo o processo de aplicação e análise dos dados, ocorridas durante a investigação.

Cabe aqui lembrar dos questionamentos que nortearam essa investigação. *Uma abordagem histórico-didática de um tema da Física Moderna pode levar a um entendimento adequado da Natureza da Ciência? A Unidade Didática elaborada e aplicada proporcionou indícios de Aprendizagem Significativa?* E também que os procedimentos de investigação e análise de dados levaram em consideração os pressupostos da Pesquisa Qualitativa e da Análise de Conteúdo.

Para alcançar o objetivo e responder 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 no Ensino Médio, Aprendizagem Significativa e multimídias no Ensino de Ciências. Esses estudos forneceram os aportes teóricos e metodológicos que nortearam a construção e aplicação da Unidade Didática, bem como a estruturação dessa dissertação.

Esses estudos também deram subsídios para a construção de um texto teórico conceitual a respeito do tema Partículas Elementares, que foi elaborado levando em consideração os princípios da Aprendizagem Significativa, com alguns episódios históricos que serviram de base para as discussões, em sala de aula, a respeito da Natureza da Ciência e do conteúdo estudado.

A aplicação da Unidade Didática rendeu 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. 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.

A análise dos dados obtidos sugere que a proposta pedagógica implementada contribuiu na fragilização das noções equivocadas em relação aos conteúdos discutidos e à natureza do conhecimento científico. Essa afirmação é possível,

uma vez que a maioria dos alunos passou a representar a estrutura da matéria e a estrutura atômica em função das partículas elementares, conseguiu definir com mais precisão os termos Partículas Elementares e Modelo Padrão, além de expressar uma compreensão mais realista e abrangente a respeito da Natureza da Ciência.

Diante dos resultados obtidos e do aporte teórico dessa investigação, foi possível a estruturação de algumas considerações a respeito dos registros dos alunos, dentre elas a falta de subsunções relevantes e a carência de ideias claras, hierarquizadas e organizadas dos conceitos estudados antes da aplicação da Unidade Didática; a influência dos meios de comunicação e livros didáticos nas noções equivocadas a respeito do trabalho científico e nas representações dos conteúdos; a relevância de uma formação de professores que os capacite epistemologicamente para uma interpretação crítica dos livros e demais materiais didáticos, a fim de não perpetuarem noções equivocadas a respeito de NdC; o bom aproveitamento e aceitação dos Mapas Conceituais como instrumento de avaliação e estudo; a relevância da construção dos mapas coletivos como uma das oportunidades para a troca de significados entre os alunos e os resultados promissores de abordagens histórico-filosóficas com auxílio de multimídias e enfoque construtivista na construção de noções a respeito da NdC e de conhecimentos científicos específicos.

O desenvolvimento desta pesquisa corroborou com resultados já existentes a respeito de investigações empíricas de abordagens histórico-filosóficas em sala de aula, além de se configurar como uma alternativa para abordar Física Moderna no Ensino Médio.

A Unidade Didática demonstrou ser uma boa proposta para trabalhar o conteúdo de Partículas Elementares por meio de questionamentos em relação à estrutura da matéria. Questionamentos esses, que provocam a curiosidade e o interesse por parte dos alunos, além de contribuírem para a construção de um conhecimento científico que é resultado de muitos anos de estudos, contribuições de vários cientistas e seus grupos de pesquisa, evidenciando uma Ciência, humana, construída pelo trabalho coletivo e cooperativo.

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, destaca-se ainda o desejo de aprofundar os estudos unindo esses três eixos, HFC, multimídias e Física Moderna para a investigação de abordagens didáticas que utilizem a simulação computacional de experimentos históricos da Física de Partículas no Ensino Superior. Desejo esse que se realizará em investigações futuras.

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.; LEDERMAN, N. G. Improving Science Teachers' Conceptions of Nature of Science: a Critical Review of the Literature. **International Journal of Science Education**, v. 22, n. 7, p. 665-701, 2000b.

ABD-EL-KHALICK, F.; LEDERMAN, N. G. The Influence of History of Science Courses on Students' Views of Nature of Science. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 37, n. 10, p. 1057-1095, 2000a.

ADÚRIZ-BRAVO, A. ¿Qué naturaleza de la ciencia hemos de saber los profesores de ciencias? Una cuestión actual de la investigación didáctica. Disponível em: <<http://www.educared.edu.pe/modulo/upload/130077622.pdf>>, 2006. Acesso em: out. 2014.

ADÚRIZ-BRAVO, A.; IZQUIERDO, M.; ESTANY, A. Uma proposta para estruturar La enseñanza de La filosofía de La ciência para El profesorado de ciências em formación. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 20, n. 3, p. 465-476, 2002.

ALLCHIN, D.; ANTHONY, E.; BRISTOL, J.; DEAN, A.; HALL, D.; LIEB, C. History of Science – With Labs. **Science and Education**. v. 8, p. 619-632, 1999.

ANDERSON, C. D. Early Work on the Positron Muon. *American Journal of Physics*, v. 29, p. 825-830, 1961.

APS NEWS. Fermilab announces first direct evidence for tau neutrino. Vol. 20, n. 7, July, 2011.

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e Retenção de Conhecimentos: uma Perspectiva Cognitiva**. Paralelo Editora, LTDA, Lisboa. Traduzido por Lígia Teopisto, 2003.

ATLAS Collaboration. Observation of a new particle in the search Fo Stnadar Model Higgs bóson with the ATLAS detector at the LHC. **Physics Letters B**, v.716, p. 1-29, 2012.

ATLAS. Últimos resultados da experiência ATLAS na procura pelo Higgs. Junho, 2012. Disponível em: <http://www.atlas.ch/news/2012/HiggsStatementATLAS-PortugueseBrazil.pdf>. Acesso em 14 de março de 2014.

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

BARRETO, J. L. A descoberta do nêutron: uma saga científica. In: CARUSO, F.; OGURI, V.; SANTORO, A, Ed(s). **Partículas elementares 100 anos de descobertas**. Editora Livraria da Física, São Paulo, p. 125-132, 2012.

BARROS, M. A.; CARVALHO, A. M. P. A história da ciência iluminando o ensino de visão. **Ciência & Educação**. v. 5, n.1, p. 83-94, 1998.

BATISTA, I. A teoria de Fermi para o decaimento beta: da sua formulação inicial à sua universalização. In. PESSOA JR. O (Org.). **Fundamentos da Física 2: Simpósio David Bohm**. Editora Livraria da Física, São Paulo – SP, p. 107-118, 2001.

BATISTA, I. **A teoria universal de Fermi: da sua formulação inicial até a reformulação** V.A. 1999. 122f. Tese (Doutorado em Filosofia – Filosofia da Ciência) - Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

BATISTA, I. L. **A Concepção Física de Espaço e o Ensino de Mecânica**. 1993. 198f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências – Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

BATISTA, I. L.; ARAMAN, E. M. O. Uma abordagem histórico-pedagógica para o ensino de Ciências nas séries iniciais do Ensino Fundamental. **Revista Electrónica de Ensnanza de lãs Ciencias**. v. 8, n. 2, p. 446 – 489, 2009.

BATISTA, I. O ensino de teorias físicas mediante uma estrutura histórico-filosófica. **Ciência & Educação**, v. 10, n. 3, p. 461-476, 2004.

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.

BEGALLI, M. A descoberta do J/ψ e do charm. In: CARUSO, F.; OGURI, V.; SANTORO, A, Ed(s). **Partículas elementares 100 anos de descobertas**. Editora Livraria da Física, São Paulo, p. 187-202, 2012.

BOGDAN, R. C.; BIKLEN, S. K. **Investigações qualitativas em educação**. Portugal: Porto Editora, 1994.

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. **Orientações curriculares para o ensino médio: ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2006.

BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCN+)**. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2002.

BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio**. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2000.

CALHEIRO, L. B.; GARCIA, I. K. Proposta de inserção de tópicos de física de partículas integradas ao conceito de carga elétrica por meio de unidade de ensino potencialmente significativa. **Investigações em Ensino de Ciências – V19**, n. 1, p. 177-192, 2014.

CALHEIRO, L. B.; GARCIA, I. K.; GOMES, A. T. Inserção de Tópicos de Física de Partículas Integradas aos Conteúdos de Eletricidade Através de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa – UEPS. **Anais do IV Simpósio Nacional de Ensino de Ciências e Tecnologia – SINECT**, Ponta Grossa, 2014.

CANO, C. A, SANCHO, M. J (Org). **Para uma Tecnologia Educacional - Os Recursos da Informática e os Contextos de Ensino Aprendizagem**. Porto Alegre. Editora Artmed, 1998.

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.

CARVALHO, A. M. P.; VANNUCCHI, A. I. O Currículo de Física: inovações e tendências nos anos noventa. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v.1, n.1, p. 3-19, 1996.

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. **Anais do IV Simpósio Nacional de Ensino de Ciências e Tecnologia – SINECT**, Ponta Grossa, 2014.

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, Março, 2000.

DIAS, A.; SILVA, A. P, O Indutivismo no ensino de Ciências e a Inconsistência do argumento indutivista. **VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. 2009.

DUARTE, M. C. A História da Ciência na prática de professores portugueses: implicações para a formação de professores de Ciências. **Ciência & Educação**, v.10, n. 3, p. 317-331, 2004.

DUARTE, R. C. B. **Módulo de ensino de mecânica newtoniana com uso de abordagem CTS-Histórica**. 2006, 231f. Dissertação - Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

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

EL-HANI, C. N.; TAVARES, E. J. M.; ROCHA, P. L. B. Concepções epistemológicas de estudantes de Biologia e sua transformação por uma proposta explícita de ensino sobre a História e a Filosofia das Ciências. *Investigações em Ensino de Ciências*, v.9, n. 3, p. 265-313, 2004.

FELDMAN, G. J. *et al.* Inclusive Anomalous muon production in $e^+ -e^-$ annihilation. **Physical Review Letters**, v. 38, n. 3, p. 117 – 120, Califórnia, 1977.

FISCHLER, H.; LICHTFELDT, M. Modern physics and students’ conceptions. *International Journal of Science Education*, London, v. 14, n. 2, p. 181-190, 1993.

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, São Paulo, agosto, 2005.

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, setembro, 2003.

FLEGEL, I.; SÖDING, P. Twenty-five years of gluons. **Cern Courier**. Nov, 2004.

FRISON, M. D.; VIANNA, J.; CHAVES, J. M.; BERNARDI, F. N. Livro Didático como instrumento de apoio para construção de propostas de ensino de Ciências Naturais. **Anais do VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, Florianópolis, 2009.

FUNCHAL, R. Z. Neutrino do tau é observado pela primeira vez. **Ciência Hoje**, vol. 28, n. 164, São Paulo, Setembro, 2000.

GADDIS, B. **Learning in a Virtual Lab: Distance Education and Computer Simulations**. Doctoral Dissertation. University of Colorado, 2000.

GATTI, S. R. T.; NARDI, R.; SILVA, D. História da Ciência no Ensino de Física: um estudo sobre o ensino de atração gravitacional desenvolvido com futuros professores. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 15, n. 1, p. 7-59, 2010.

GATTI, S. T., NARDI, R.; SILVA, D. Evolução das concepções de futuros docentes de Física em um curso de formação inicial. (Comunicação). **Atas... XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física**. Sociedade Brasileira de Física, UFMA, São Luís, Maranhão, 2007.

GOMES, M. A. **O Uso de Software no Ensino de Física e Matemática**. 2009, 41f. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul, Dourados, 2009.

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.

GRANGIER, P.; ROGER, G.; ASPECT, A. Experimental evidence for a photon anticorrelation effect on a beam splitter: a new light on single-photon interferences. **Europhysics Letters**, v. 1, n. 4, p. 173-179, 1986.

GREEN, D. A descoberta do quark b. In: CARUSO, F.; OGURI, V.; SANTORO, A, Ed(s). **Partículas elementares 100 anos de descobertas**. Editora Livraria da Física, São Paulo, p. 187-202, 2012.

GURIDI, V. ARRIASSECQ, I. Historia Y Filosofía de las Ciencias en La Educación Polimodal: Propuesta para su Incorporación al Aula. **Ciência e Educação**. v 10, n. 3, p. 317-331, 2004.

GUZZO, M. M.; NATA LE, A. A. Introduzindo os neutrinos. In: CARUSO, F.; OGURI, V.; SANTORO, A, Ed(s). **Partículas elementares 100 anos de descobertas**. Editora Livraria da Física, São Paulo, p. 157- 168, 2012.

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.

HOLTON, G. **Projecto Física, Unidade suplementar A: Partículas Elementares**. Trad. RAMOS, M. T. Lisboa, editora Fundação Calouste Gulbenkian, 116p, 1987.

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.; SILVA, C. C. Why Implementing History and Philosophy in School Science Education is a Challenge: Na Analyses of Obstacles. **Science & Education**. Vol 20, p. 293-316, 2011.

JOHANSSON, E. K. Exploring quarks, gluons and the Higgs bóson. **Physics Education**. Vol. 48, n. 1, 2013.

KALMUS, P. I. Particle physics at A-level-the universities viewpoint. *Physics Education*, Bristol, v. 27, n. 2, p. 62-64, 1992.

KENSKI, V. M. **Educação e Tecnologias: O novo ritmo da informação**. Campinas, SP: Papirus, 2007.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. Trad. Beatriz Viana e Nelson Boeira. 8a Edição, São Paulo, Ed. Perspectiva, 2006.

KLEIN, M. J. **Use and Abuse of Historical Teaching in Physics**, in S. G. Brush & A. L. King (eds.) *History in the Teaching of Physcs*, University Press of New England, Hanover, 1972.

KOMINSKY, L.; GIORDAN, M. Visões de ciências e sobre cientistas entre estudantes de Ensino Médio. **Química Nova na Escola**, v. 15, p. 11-18, 2002.

KÖHNLEIN, J. F. K.; PEDUZZI, L. O. Q. Sobre a concepção empirista-indutivista no Ensino de Ciências. **VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física**, Águas de Lindóia, São Paulo, 2002.

LATTES, C. M. G. *et al.* Processes involving charged mesons. **Nature**, 159, p. 694-697, May, 1947.

LATTES, C. M. G. **My work in meson physics with nuclear emulsions**. In BELLANDI FILHO, J.; PEMMARAJU, A. (eds.). *Topics in cosmic rays*. Trad. MARTINS. R. A. 2 vols. Campinas: Editora da UNICAMP, v. 1, pp. 1-5, 1984.

LBNL (Lawrence Berkeley National Laboratory). **The particle adventure: the Fundamentals of matter and force**. 1995.

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.; 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.

MACHADO, D. I.; NARDI, R. Avaliação do ensino da física moderna e contemporânea no Ensino Médio. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISADORES EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 4., 2003, Bauru. Anais... Bauru: ABRAPEC, 2003.

MARQUES, A. O Píon. In: CARUSO, F.; OGURI, V.; SANTORO, A, Ed(s). **Partículas elementares 100 anos de descobertas**. Editora Livraria da Física, São Paulo, p. 139-156, 2012.

MARTIN, V. A Layperson's Guide to the Higgs Boson. **Edinburgh Evening News**, december, 2011. Disponível em: <http://www.ph.ed.ac.uk/higgs/laypersons-guide>. Acesso em 15 de março de 2014.

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 – Unicamp**, n.5, p. 18-21 Dezembro, 1998.

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

MARTINS, Roberto de Andrade. **O universo: teorias sobre sua origem e evolução**. São Paulo: Editora Moderna, 1994.

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

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

MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. Possibilidades e Limitações das Simulações Computacionais no Ensino de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 24, n. 2, junho, 2002.

MENGASCINI, A.; MENEGAS, A.; MURRIELO, S.; PETRUCCI, D. Yo asi, locos como lós vi a ustedes, no me ló imaginaba: las imagenes de ciência e de científico de estudantes de Carreras científicas. **Enseñanza de las Ciencias**. v. 22, n.1, p. 65-78, 2004.

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. A sistemática incompreensão da teoria quântica e as dificuldades dos professores na introdução da física moderna e contemporânea no ensino médio. **Ciência & Educação**. v. 15, n.3, p. 557-580, 2009.

MORAN, J. M. O Vídeo em sala de aula. **Comunicação & Educação**. São Paulo, ECA-Ed. Moderna, vol 2, p. 27,35, jan/abr. 1995.

MOREIRA, M. A. Teorias de Aprendizagem. Editora EPU, São Paulo, 1999.

MOREIRA, M. A.; ROSA, P. Mapas conceituais. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. v. 3, n. 1, p. 17-25, 1986.

MOREIRA, M. A.; VALADARES, E. C. Ensinando física moderna no segundo grau: efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. Florianópolis, v. 15, n. 2, p. 121-135, 1998.

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. **Atas do III Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa**, Lisboa (Peniche), 2000.

MOTTA, H. O Próton. In: CARUSO, F.; OGURI, V.; SANTORO, A, Ed(s). **Partículas elementares 100 anos de descobertas**. Editora Livraria da Física, São Paulo, p. 103- 110, 2012.

NEWTON, I. Óptica. 1704. Reimpressão — trad. A. K. T. Assis. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002 .

NOGUEIRA, J. S; RINALDI, C.; FERREIRA, J. M.; PAULO, S.R. Utilização do Computador como Instrumento de Ensino: Uma Perspectiva de Aprendizagem Significativa. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 22, n. 4, São Paulo, Dezembro, 2000.

NOVAK, J. D.; MUSONDA, D. A twelve-year longitudinal study of science concept learning. **American Educational Research Journal**, v. 28, n. 1, p. 117-153, 1991.

NOVAK, J. D.; CAÑAS, A. J. The Theory Underlying Concept Maps and How to Construct and Use Them. **Technical Report IHMC CmapTools**, 2006-01 Rev 01-2008, Florida Institute for Human and Machine Cognition, 2008.

NOVAK, J. D.; GOWIN, B. **Aprender a aprender**. Plátano Edições Técnicas, Lisboa, 1ª Ed. Traduzido por Carla Valadares, 1996.

OGURI, V. Os bósons intermediários W e Z. In: CARUSO, F.; OGURI, V.; SANTORO, A, Ed(s). **Partículas elementares 100 anos de descobertas**. Editora Livraria da Física, São Paulo, p. 203- 220, 2012.

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. 19, n. 3, p. 447-454, 2007.

OLIVEIRA, R. A.; SILVA, A. P. B. Entre o discurso e a prática sobre História, Filosofia e Natureza da Ciência e a sala de aula de Física: um panorama a partir dos eventos de Ensino de Física. IN: SILVA, C.C.; PRESTES, M.E.B. Aprendendo ciência e sobre sua natureza: abordagens históricas e filosóficas. Tipographia Editora Expressa, São Carlos, 2013.

OSTERMANN, F. Um texto para professores do Ensino Médio sobre Partículas Elementares. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 21, n. 3, p. 415- 436, 1999.

OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. H. Roteiro para a construção de um planejamento de uma Unidade Didática. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Instituto de Física, 2010.

OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. H. Um pôster para ensinar Física de Partículas na escola. **Física na Escola**, v. 2, n. 1, 2001.

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**, Florianópolis, v. 16, n. 3, p. 267-286, dez. 1999.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A.; Uma Revisão Bibliográfica Sobre a Área de Pesquisa "Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio". **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 23-48, 2000.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. **A Física na Formação de Professores do Ensino Fundamental**. Coleção Educação Continuada. 151p. Porto Alegre: Editora UFRGS, 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.; CAVALCANTI, C. J. H.; PRADO, S. D.; RICCI, T. S. F. Fundamentos da física quântica à luz de um interferômetro virtual de Mach-Zehnder. *Revista Electrônica de Enseñanza de las ciencias*, vol. 8, n.3, p. 1094 – 1115, 2009.

PAIS, A. A. **Sutil é o Senhor. A Ciência e a Vida de Albert Einstein**. Nova Fronteira, Rio de Janeiro, 1995.

PARANÁ. Secretaria de Estado da Educação. Caderno de Expectativas de Aprendizagem. 2012.

PARANÁ. Secretaria de Estado da Educação. Superintendência da Educação. INSTRUÇÃO N. 007/2012 – SEED/SUED. Dispõe sobre o Programa de Atividades Complementares Curriculares em Contraturno, nas instituições de ensino da Rede Estadual. 2012.

PATAZAK, T. First direct observation of the tau neutrino. **Europhysics News**, vol. 32, Issue 2, March/April, p. 56-57, 2001.

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.** 140 f. 2006. Dissertação - Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

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

PEDUZZI, L. O. Q. Evolução dos Conceitos da Física. Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC/EAD/CED/CFM, Florianópolis, 2011.

PEREIRA, J. M. **Física de Partículas Elementares: A Produção de Sentidos por Alunos e Alunas do Ensino Médio Mediante a Leitura de Textos.** Trabalho de conclusão de Curso, Curso de Física Licenciatura, Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, MG, 2013.

PÉREZ, D. G.; SENENT, F.; SOLBES, J. Análisis crítico de la introducción a la Física Moderna em la enseñanza media . **Enseñanza de las Ciencias**, Rosario, p. 16-21, v. 2, n.1, set. 1988.

PÉREZ, D. G.; SENENT, F.; SOLBES, J. La introducción a la Física Moderna: um ejemplo paradigmático de cambio conceptual. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, p. 209-210, n.extra, set. 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, D.G.; MONTORO I. F.; ALÍS J. C.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Para uma visão não deformada do pensamento científico. **Ciência & Educação**, v.7, n.2, p.125-153, 2001.

PERL, M. L. Essay: The Tau Lepton and Thirty Years of Changes in Elementary Particle Physics Research. **Physical Review Letters**, v.100, Issue.7, disponível em: <http://journals.aps.org/prl/edannounce/PhysRevLett.100.070001>, 2008. Acesso em 14 de março de 2014.

PERL, M.L. *et al.* Evidence for anomalous lepton production in e^+e^- annihilation. **Physical Review Letters**, vol, 35, n. 22, p. 1489 – 1492, Califórnia, 1975.

PERL, M.L. The Discovery of the tau lepton. Califórnia: **SLAC-PUB** – 5937, September, 1992.

PIMENTA, J. J. M.; BELUSSI, L. F. B.; NATTI, E. R. T.; NATTI, P. L. O bóson de Higgs. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. São Paulo, vol. 35, n. 2, p. 2306, 2013.

PINHEIRO, L. A. Partículas Elementares e interações Fundamentais no Ensino Médio. 313f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

PINTO, A. C.; ZANETIC, J. É possível levar a física quântica para o ensino médio? *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 16, n. 1, p. 7-34, 1999.

PIRES, M. A.; VEIT, E. A. Tecnologias de Informação e Comunicação para ampliar e motivar o aprendizado de Física no Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n.2, p. 241-248, 2006.

PORTO, C. M. O atomismo grego e a formação do pensamento físico moderno. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.35, n.4, p. 4601, 2013.

REIS, P.; GALVÃO, C. O diagnóstico de concepções sobre os cientistas através de uma análise e discussão de histórias de ficção científica redigidas pelos alunos. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 5, p. 213-234, 2006.

REIS, P.; RODRIGUES, S.; SANTOS, F. Concepções sobre os cientistas em alunos do primeiro ciclo do Ensino Básico. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 5, p. 57-74, 2006.

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, São Paulo, 2012.

RINALDI, E.; GUERRA, A. História da Ciência e o uso da experimentação: 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, T. U. **As Contribuições da História e Filosofia da Ciência para o Ensino de Física Quântica na Educação Básica**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Educação em Ciências e em Matemática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2013.

RODRIGUES, E. V.; ZIMMERMANN, E.; HARTMANN, A. M. Lei da Gravitação Universal e os satélites: uma abordagem histórico-temática usando multimídia. **Ciência & Educação**. V. 18, n.3, p. 503-525, 2012

SALMERON, R.. Quarks como chegamos a eles? In: CARUSO, F.; OGURI, V.; SANTORO, A, Ed(s). **Partículas elementares 100 anos de descobertas**. Editora Livraria da Física, São Paulo, p. 241-252, 2012.

SANTORO, A. O quark top. In: CARUSO, F.; OGURI, V.; SANTORO, A, Ed(s). **Partículas elementares 100 anos de descobertas**. Editora Livraria da Física, São Paulo, p. 241-252, 2012.

SCHEID, N. M. J.; BOER, N.; OLIVEIRA, V. L. B. Percepções sobre ciências, cientistas e formação inicial de professores de ciências. Em: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências ABRAPEC (Org.), **Anais, IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, Bauru, SP, 2003.

SCHIRMER, S. B. **Textos originais de cientistas e textos sobre história das ideias da Ciência em uma proposta didática sobre ótica na formação inicial de professores de Física**. 2012. 155f. Dissertação – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2012.

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.

SILVA, L. P.; ARAUJO, F. R.; SILVA, F. R. B.; DAMASCENO, A. O.; AGUIAR, V. L. G. S.; LOPES, Z. S. A influência do conhecimento sistematizado no livro didático nas representações sociais de ciências. Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências ABRAPEC (Org.), **Anais, V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, Bauru, SP, 2005.

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.

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.

STANNARD, R. Modern physics for the Young. *Physics Education*, Bristol, v. 25, n. 3, p. 133, 1990.

SWINBANK, E. Particle physics: a new course for schools and colleges. *Physics Education*, Bristol, v. 27, n. 2, p. 87-91, 1992.

TAJRA, S. F. **Informática na Educação**. 8ª edição, Editora Erica. São Paulo, 2008.

TAVARES, R. Construindo mapas conceituais. **Ciência e Cognição**, v. 12, p. 72-85, dez, 2007.

TEIXEIRA, E. S.; GRECA, I. M.; FREIRE, O. The History and Philosophy of Science in Physics Teaching: A research Synthesis of Didactic Interventions. **Science & Education**. v.21, p. 771-796, 2009.

TEIXEIRA, E. S.; GRECA, I. M.; FREIRE, 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**. EDUFRN, 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.

TERRAZZAN, E. A inserção de Física Moderna e Contemporânea no Ensino de Física na escola de 2 grau. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 9, n. 3, p. 209-214, 1992.

TERRAZZAN, E. Perspectivas para a inserção de física moderna na escola média. Tese (Doutorado). São Paulo, Curso de Pós-Graduação em Educação – USP, 1994.

TIAGO, M. F. S. **Aspectos de “Natureza da Ciência” num curso de Física do Ensino Médio: uma abordagem histórica.** 2011. 152f. Dissertação – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2011

TOMAZI, A. L.; PEREIRA, A. J.; SCHULER, C. M.; PISKE, K.; TOMIO, D. O que é e quem faz Ciência? Imagens sobre a atividade científica divulgadas em filmes de animação infantil. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 11, n. 2, p. 292-306, 2009.

VALENTE, J. A. (org.). **O computador na sociedade do conhecimento.** In: Valente, J. A.(org.). O computador na sociedade do conhecimento. Campinas, SP: UNICAMP/NIED,1999.

VASCONCELOS, F.C.G.C.; LEÃO, M.B. Utilização de recursos audiovisuais em uma estratégia Flexquest sobre radioatividade. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.17, n. 1, p. 37-58, 2012.

VIANA, H. E. B.; PORTO, P. A. O processo de elaboração da teoria atômica de John Dalton. **Cadernos Temáticos de Química na Escola**, n.7, dez, 2007.

VIANNA, C J. **A construção da teoria atômica de Dalton como estudo de caso – e algumas reflexões para o ensino de Química.** 2007. 98f. Dissertação – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

VIANNA, C J.; ALVARENGA, K. B. **O Uso Das Mídias No Ensino De Física Sob A Perspectiva De Artigos Em Revistas Especializadas.** Anais Do II Seminário Educação, Comunicação, Inclusão e Interculturalidade. Sergipe, 12 a 14 de agosto de 2009.

WEINBERG, S. A model of leptons. **Physical Review Letters**, v.19, n. 21, p. 1264-1266, 1967.

YAMAMOTO, I.; BARBETA, V. B. Simulações de experiências como ferramenta de demonstração virtual em aulas de teoria de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 23, n. 2, junho, 2001.

ZABALA, A. A Prática educativa: como ensinar. Trad. Ernani F. da F. Rosa, Porto Alegre, Artmed, 1998.

ZAMUNARO, A. N. B. R. **Representações de ciência e cientista dos alunos do Ensino Fundamental.** 2002. 130f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência), Universidade Estadual Paulista, 2002.

ZANON, D. A. V.; MACHADO, A. T. A visão do cotidiano de um cientista retratada por estudantes iniciantes de licenciatura em química. **Ciência & Cognição**, v. 18, n. 1, p. 46-56, 2013.

ZOMPERO, A. F.; GARCIA, M. F. L.; ARRUDA, S. M. Concepções de Ciências e cientista em alunos do ensino fundamental. Em: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências ABRAPEC (Org.), **Anais, V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, Bauru, SP, 2005.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Questionário Prévio e Posterior

IDENTIFICAÇÃO DA (O) ALUNO

Nome:

Endereço:

Telefone:

Diante do compromisso ético de mantermos preservada sua identidade, você concorda em participar desta pesquisa, considerando que os dados coletados serão objeto de estudo e poderão ser divulgados em futuras publicações científicas?

() Sim () Não **Assinatura:** _____

PARA USO DA PESQUISADORA

Código:

Data:

O questionário tem como objetivo investigar as noções prévias a respeito da Natureza da Ciência e do conteúdo de Física de Partículas.

Noções da Natureza da Ciência

- 1) Em sua opinião, o que é um experimento?
- 2) Em sua opinião, o desenvolvimento do conhecimento científico requer experimentos? Explique.
- 3) Em sua opinião, após os cientistas terem desenvolvido uma teoria científica, a teoria pode mudar ou passar a ser inválida? Explique sua resposta.
- 4) Em sua opinião, o desenvolvimento do conhecimento científico depende de fatores sociais, políticos e culturais, ou ele se desenvolve independentemente desses fatores? Explique.
- 5) É possível que dois grupos de cientistas, de mesma área e competentes, que tenham acesso ao mesmo conjunto de dados, obtenham resultados diferentes? Explique.
- 6) 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.

- 7) Quando você lê ou ouve o termo “cientista”, o que você pensa? Descreva o que você imagina.

Noções do conteúdo

Responda as questões abaixo com base em tudo o que você já estudou, leu em revistas, livros, jornais ou internet, assistiu na televisão ou ouviu falar.

- 1) De que é feita a matéria que compõe os objetos naturais e artificiais?
- 2) Como você descreveria o modelo atômico aceito atualmente?
- 3) O que você entende por partículas elementares?
- 4) O que você entende pela Teoria do Modelo Padrão na Física?

APÊNDICE B

QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DA UNIDADE DIDÁTICA

1) Com relação à Unidade Didática.

- a) As aulas trouxeram informações novas? sim mais ou menos não
Comente o que achar necessário:
- b) Você considera interessantes os assuntos estudados? sim mais ou menos não
Comente o que achar necessário:
- c) Você teve alguma dificuldade para elaborar o Mapa Conceitual? sim mais ou menos
 não
Comente o que achar necessário:
- d) Você considera que uma aula que aborde os conteúdos levando em consideração a parte histórica e filosófica é mais interessante que uma aula tradicional? sim mais ou menos
 não
Comente o que achar necessário:
- e) Você considera que o uso de multimídias torna as aulas mais interessantes?
 sim mais ou menos não
Comente o que achar necessário:
- f) O tempo gasto para as discussões dos conteúdos foi suficiente?
 precisava de mais tempo para o conteúdo:
 o tempo foi suficiente para todos os conteúdos.
- g) As discussões realizadas a respeito dos textos e vídeos foram interessantes?
 sim mais ou menos não
Comente o que achar necessário:

2) Com relação aos recursos didáticos utilizados (lousa digital, vídeos, simuladores, textos, imagens, jogos, etc):

- a) Você gostou do uso dos vídeos nas aulas? sim mais ou menos não
Comente o que achar necessário:
- b) Você gostou do uso das imagens nas aulas? sim mais ou menos não
Comente o que achar necessário:
- c) Você gostou do uso de simuladores nas aulas? sim mais ou menos não
Comente o que achar necessário:
- d) Você gostou dos textos estudados durante o curso? sim mais ou menos não
Comente o que achar necessário:

3) Pontos positivos, negativos, sugestões. Comente o que você considerou como pontos positivos, como pontos negativos e sugestões para melhorar o curso.

APÊNDICE C

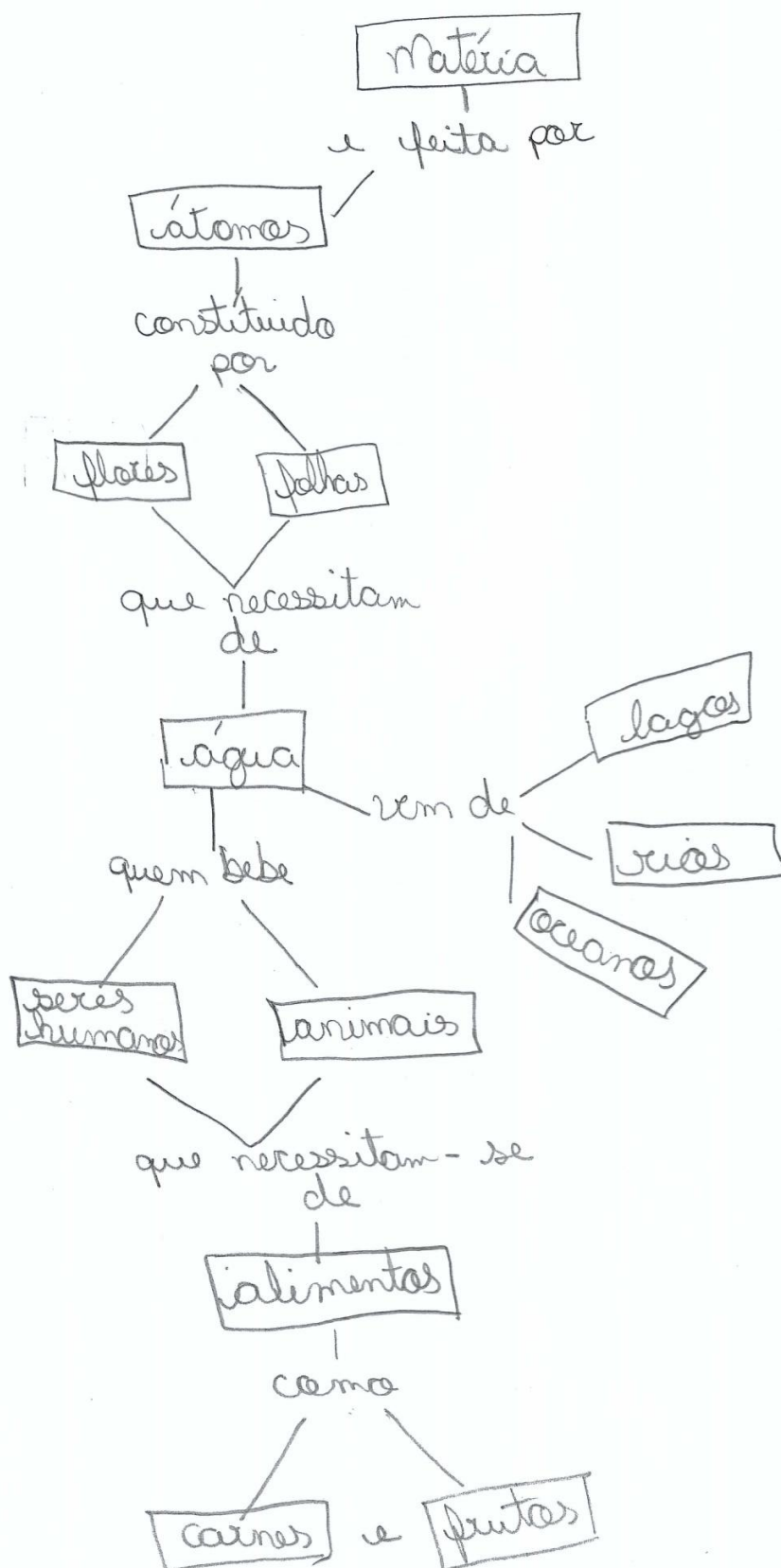
Relação dos artigos unitarizados na Unidade Temática 04.

Artigo	Revista	Ano	Autores	Título
A	CBEF	2011	Enoque Rinaldi Andreia Guerra.	História da ciência e o uso da instrumentação: Construção de um transmissor de voz como estratégia de ensino.
B	CBEF	2012	Antônio José de Jesus Santos Marcos Rincon Voelzke Mauro Sérgio Teixeira de Araújo	O projeto Eratóstenes: a reprodução de um experimento histórico como recurso para a inserção de conceitos da astronomia no ensino médio.
C	C&E	2012	Elvis Vilela Rodrigues Erika Zimmermann Ângela Maria Hartmann	Lei da gravitação universal e os satélites: Uma abordagem histórico-temática usando multimídia
D	C&E	2011	Marcelo Zanotello	Leitura de textos originais de cientistas por estudantes do ensino superior
E	EBEF	2013	Angelita Morais, Andreia Guerra	História e a filosofia da ciência: caminhos para a inserção de temas Física Moderna no estudo de energia na primeira série do Ensino Médio.

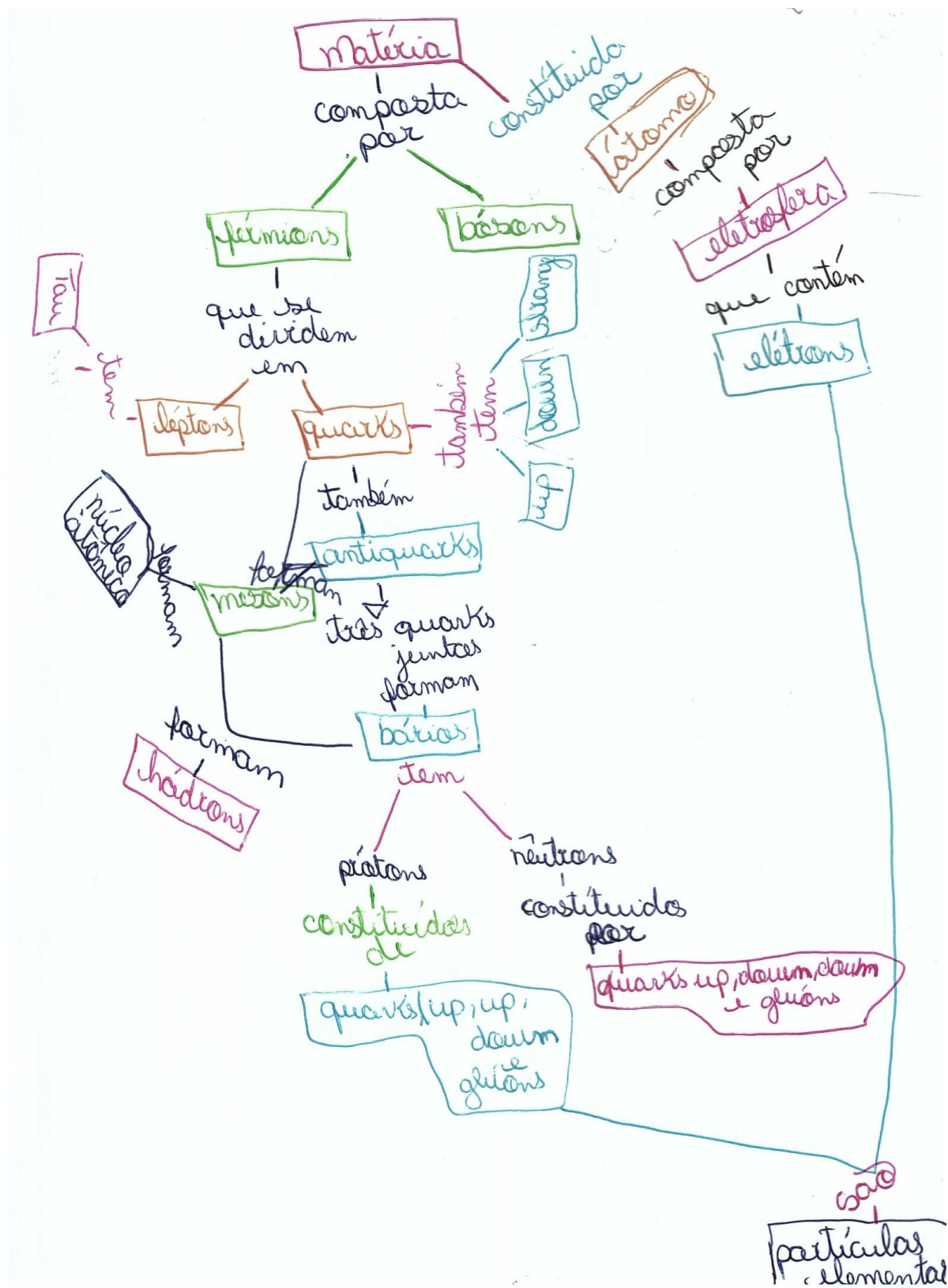
Fonte: a própria autora

ANEXOS

Mapa Conceitual 01 do aluno A2.

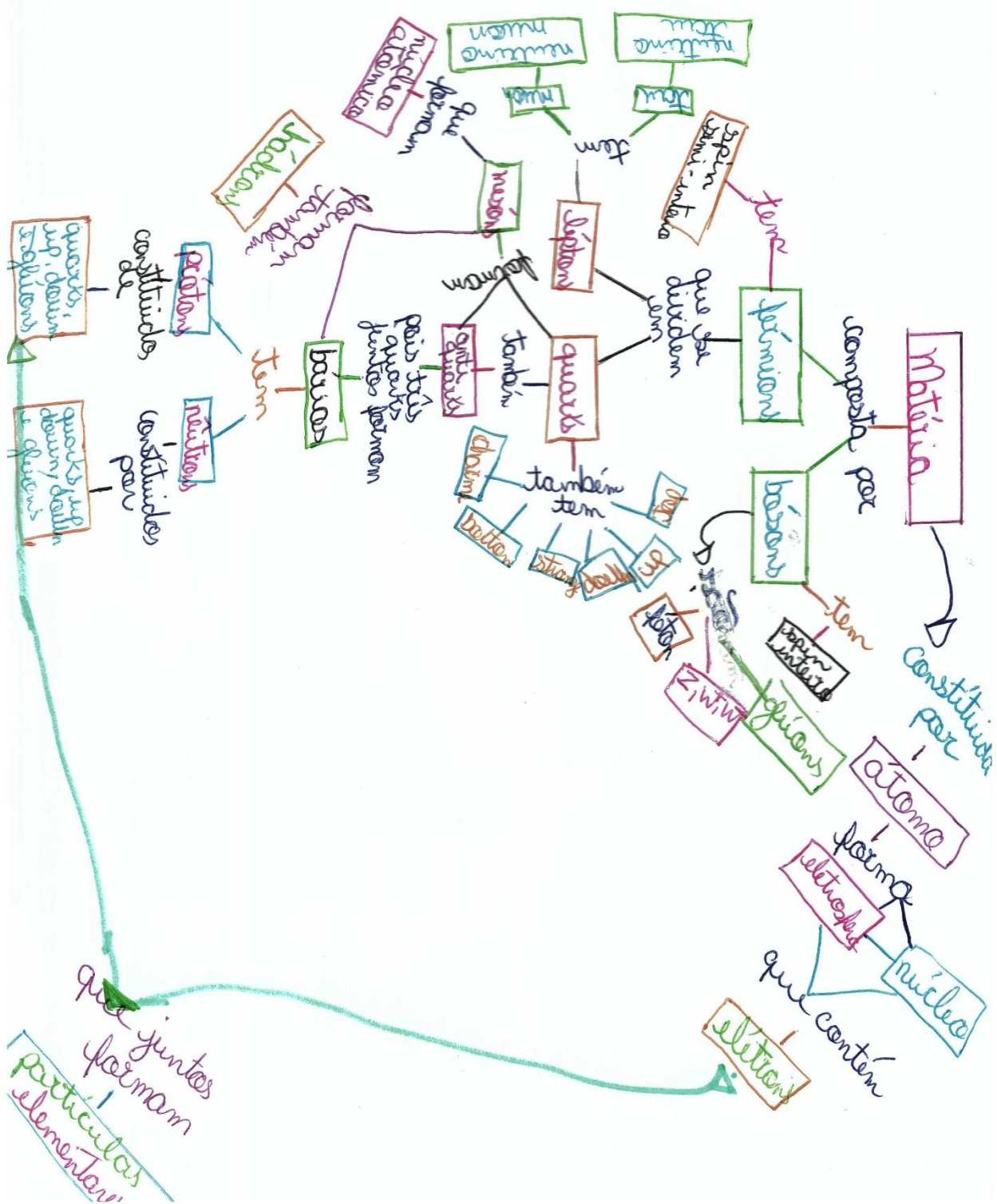


Mapa Conceitual 02 do aluno A2.



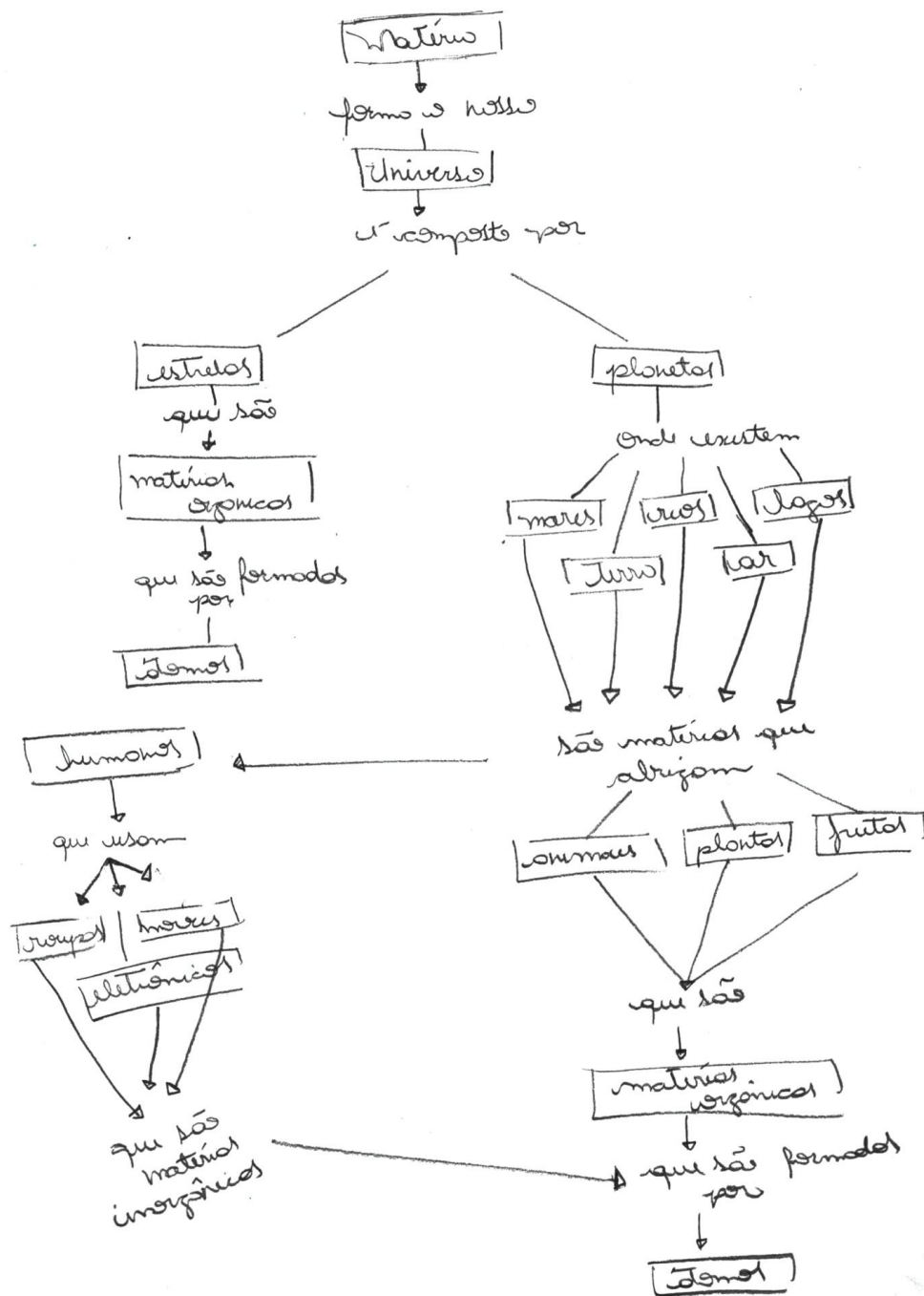
Fonte: A2

Mapa Conceitual 03 do aluno A2.



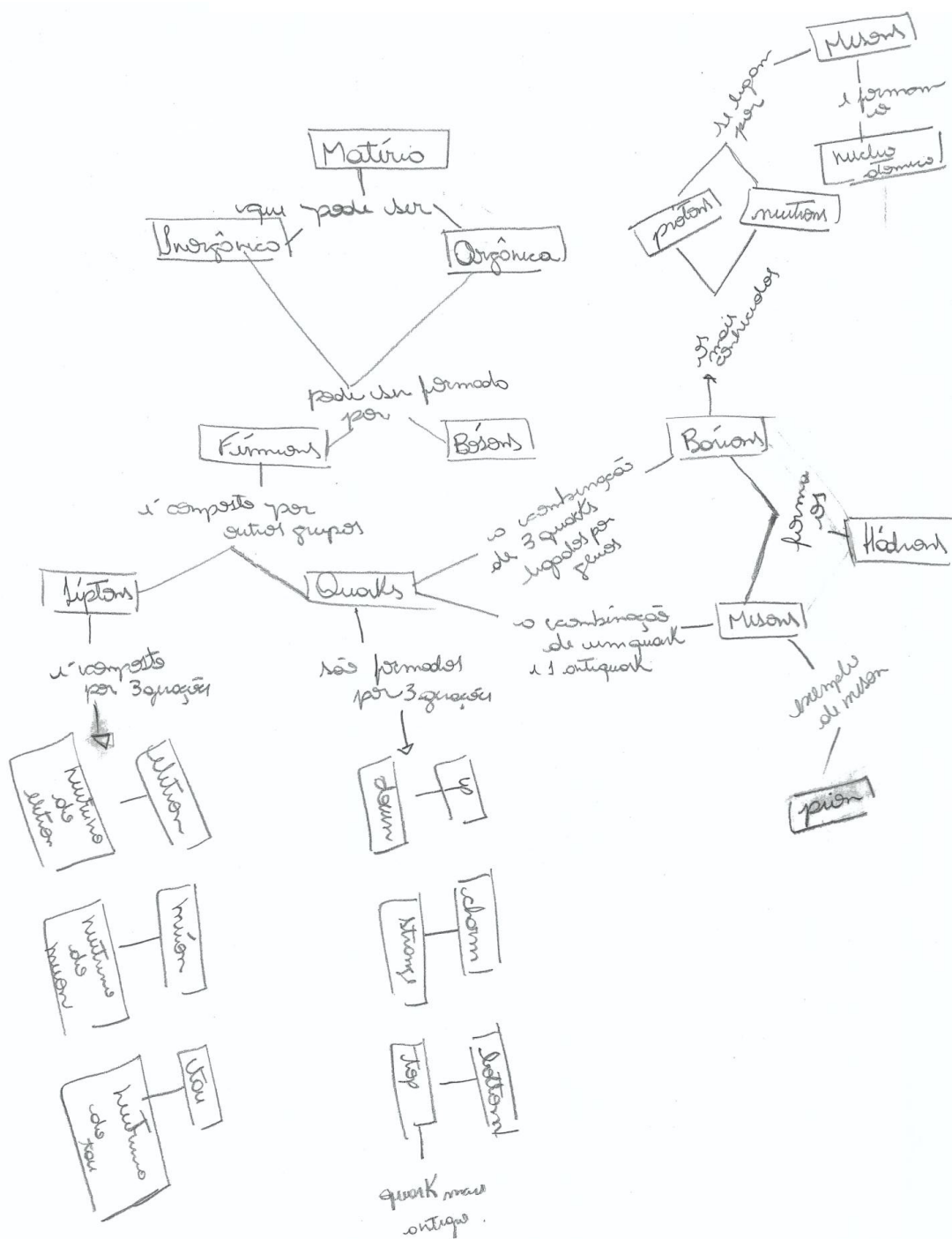
Fonte: A2.

Mapa Conceitual 01 do aluno A3.



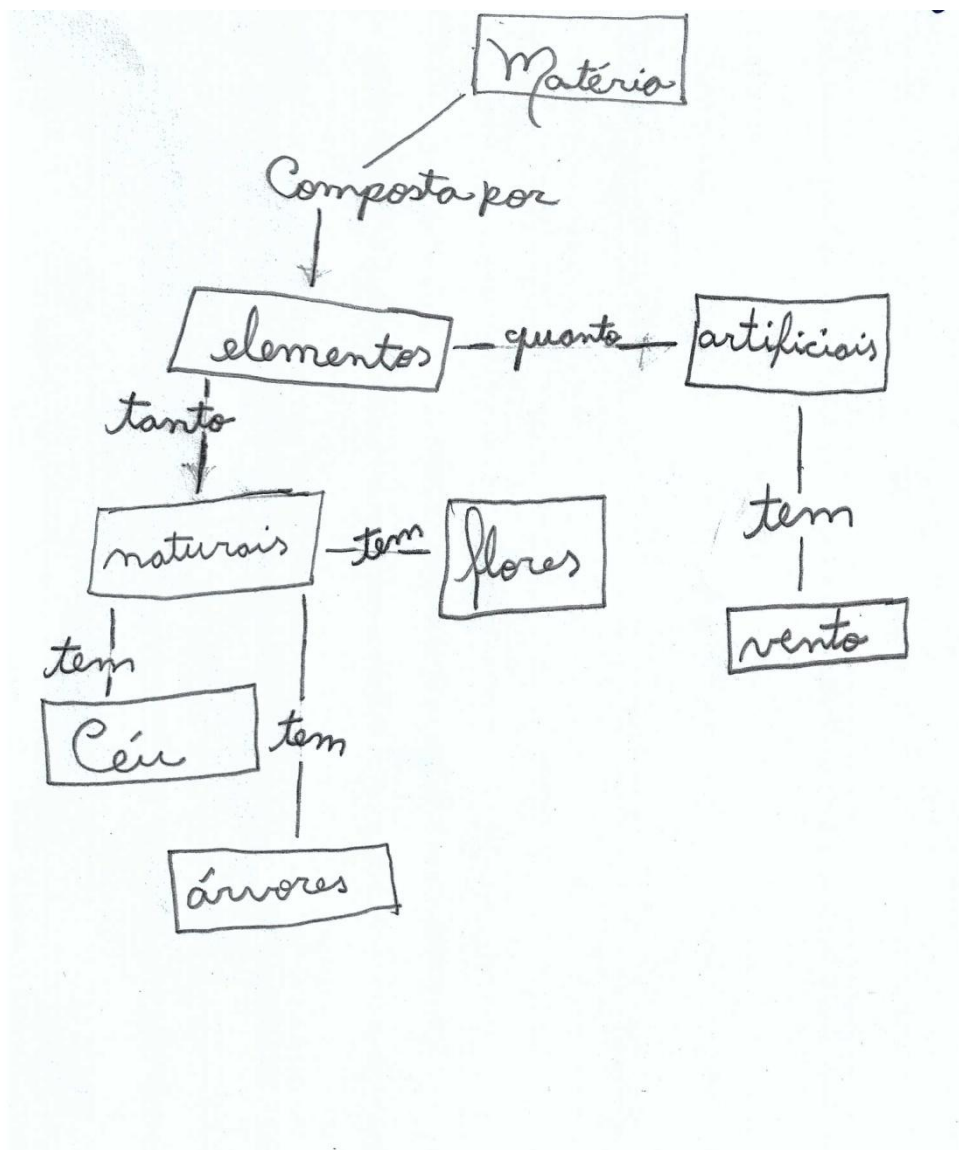
Fonte: A3.

Mapa Conceitual 02 do aluno A3



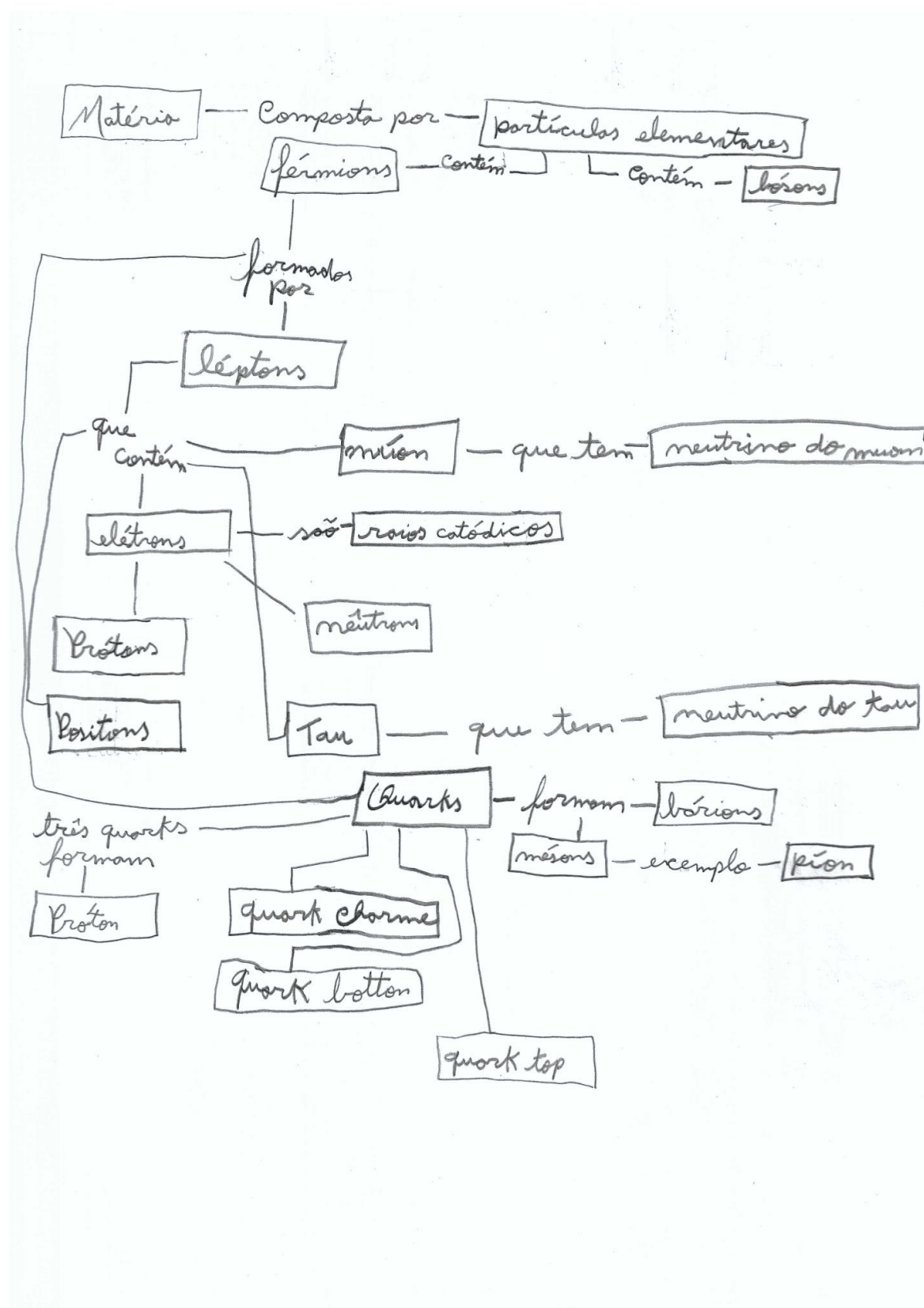
Fonte: A3.

Mapa Conceitual 01 do aluno A4.

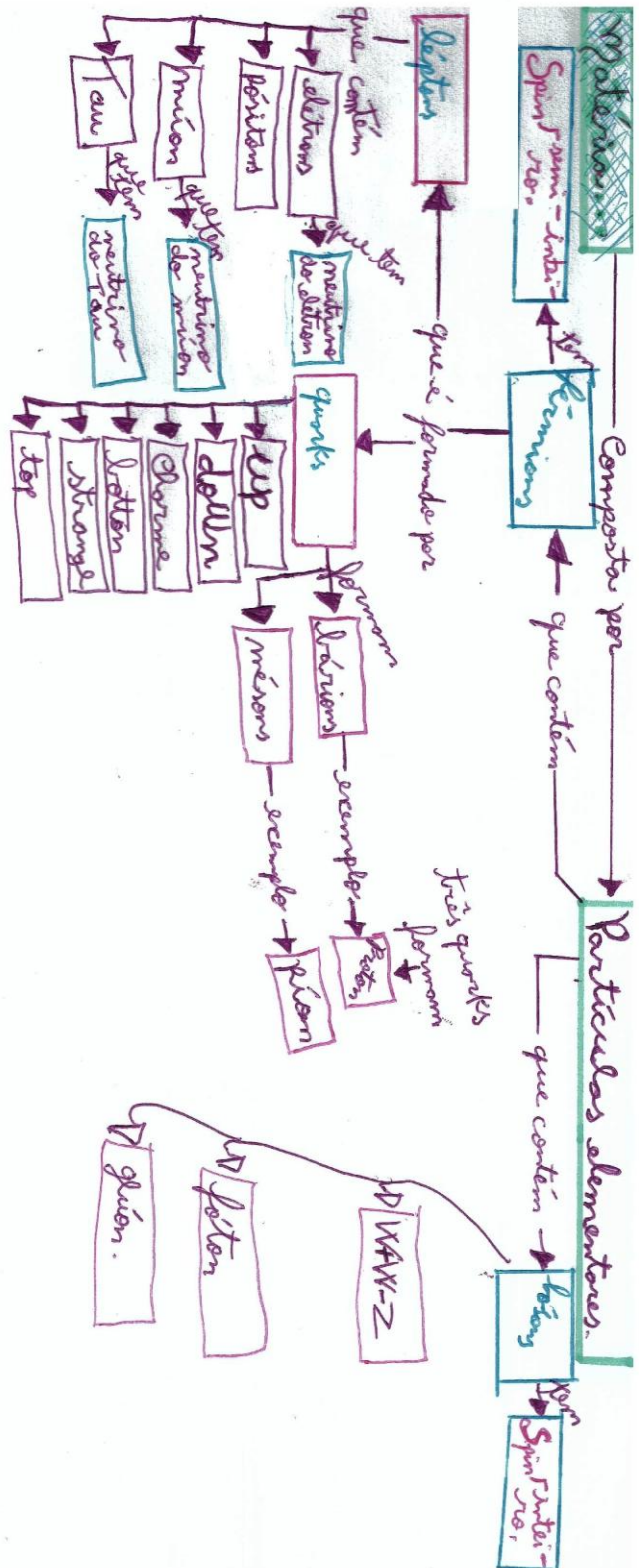


Fonte: A4.

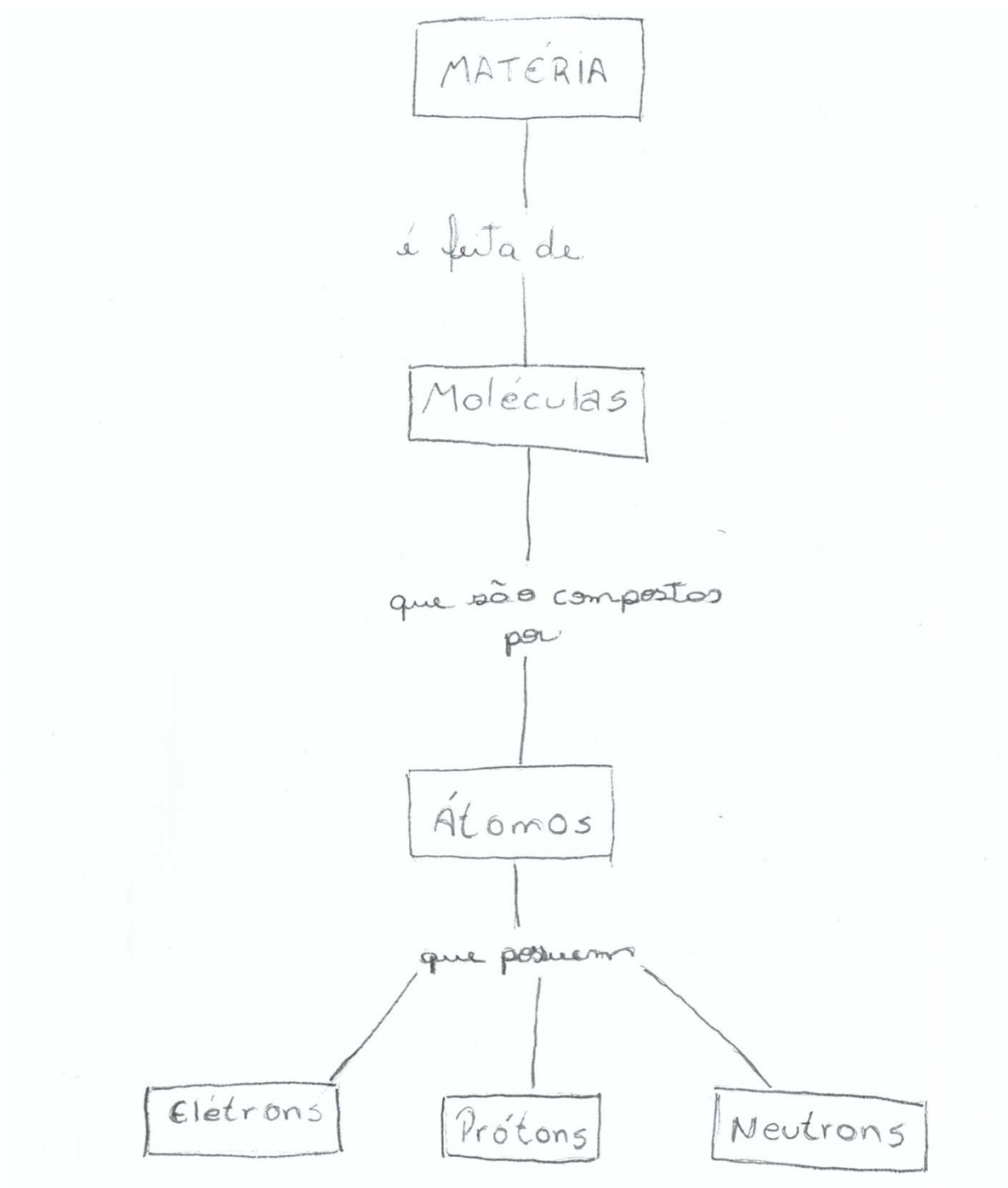
Mapa Conceitual 02 do aluno A4



Mapa Conceitual 03 do aluno A2.

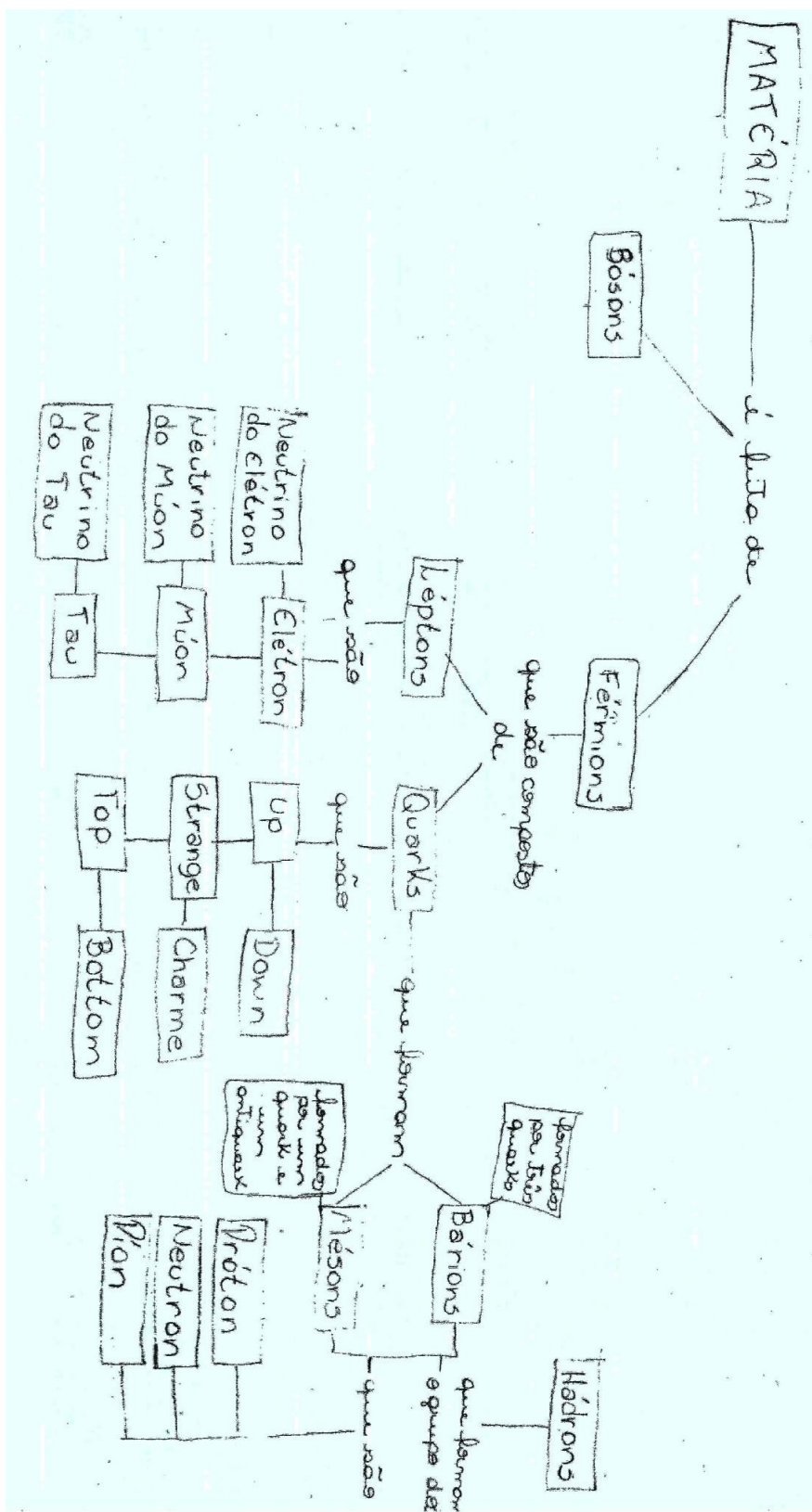


Mapa Conceitual 01 do aluno A5.



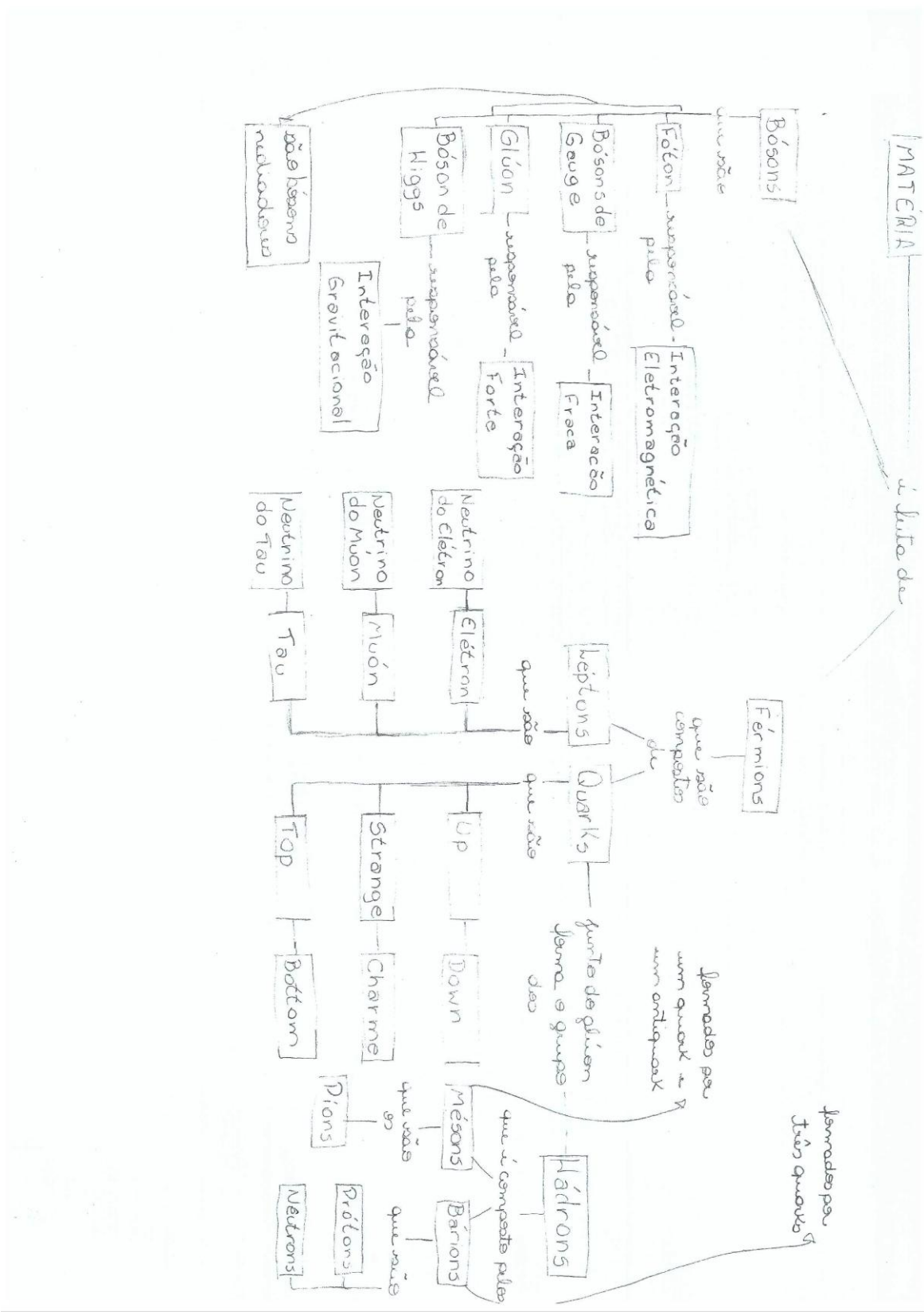
Fonte: A5.

Mapa Conceitual 02 do aluno A5.



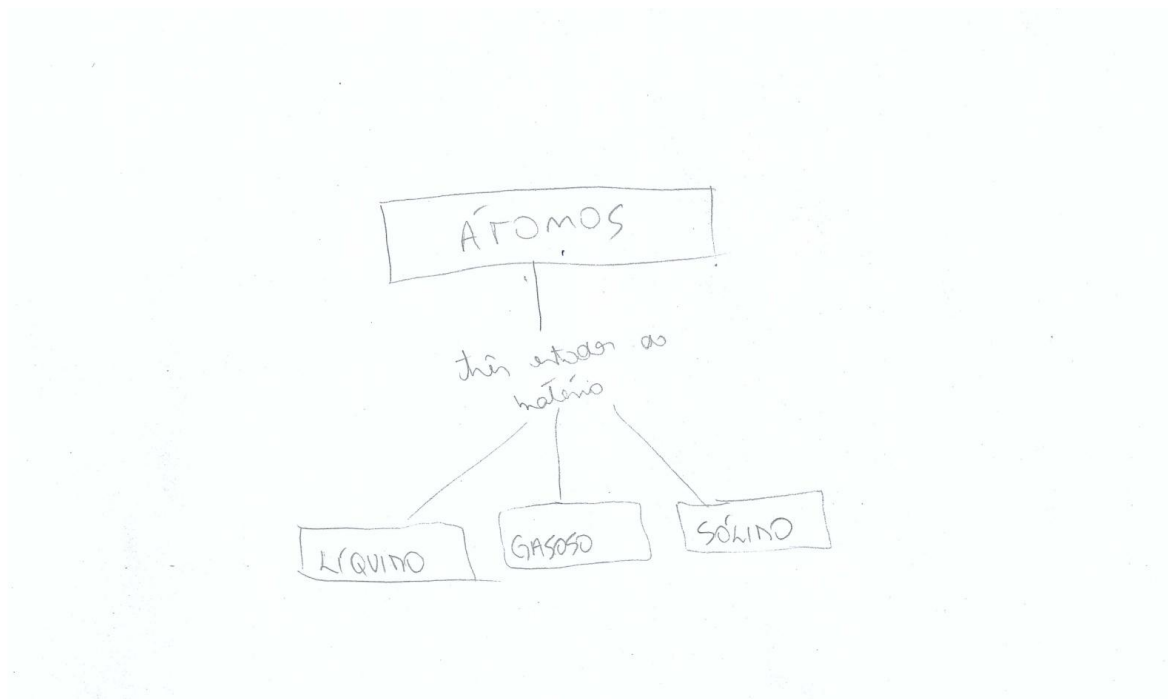
Fonte: A5.

Mapa Conceitual 03 do aluno A5.



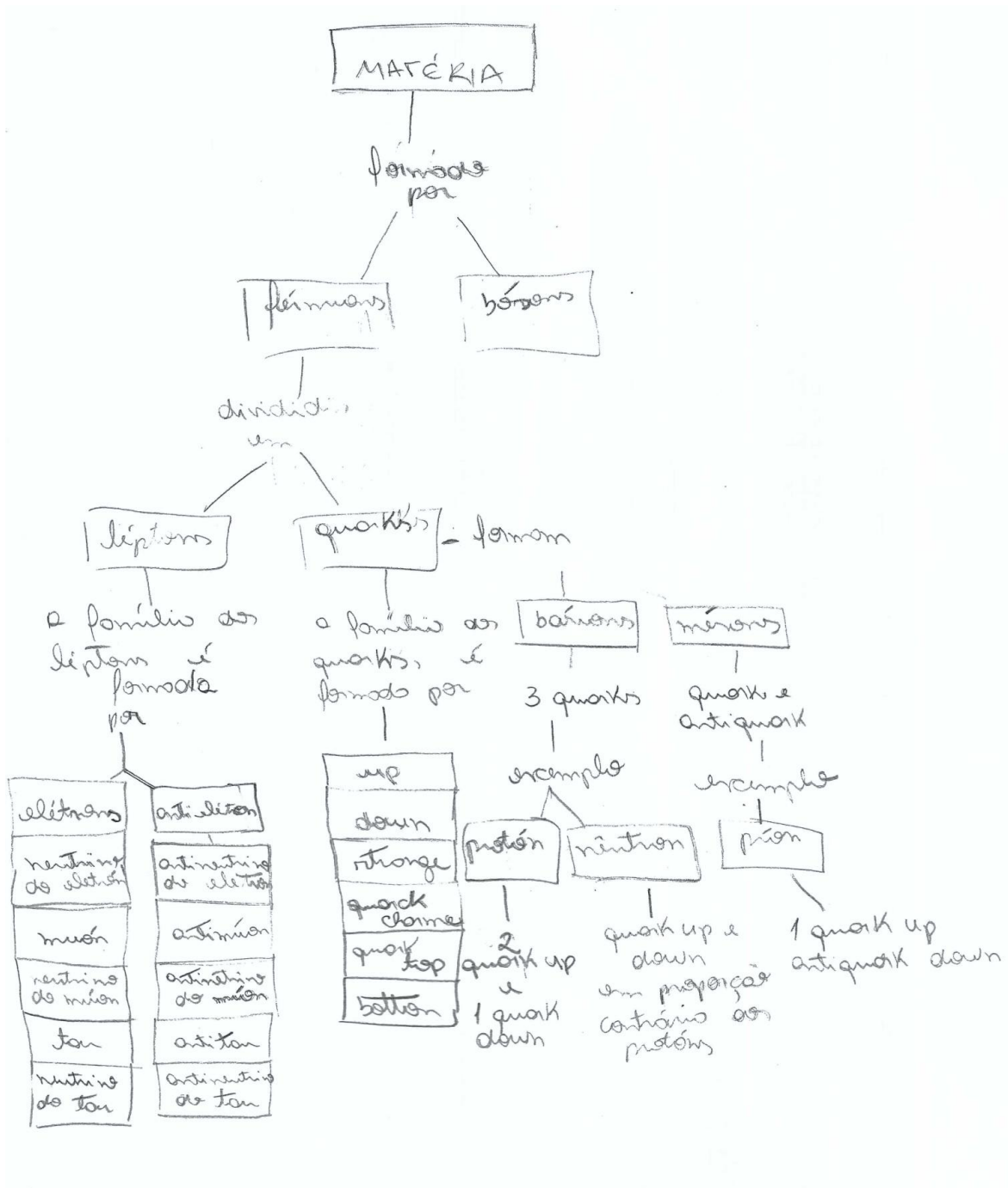
Fonte: A5.

Mapa Conceitual 01 do aluno B1.



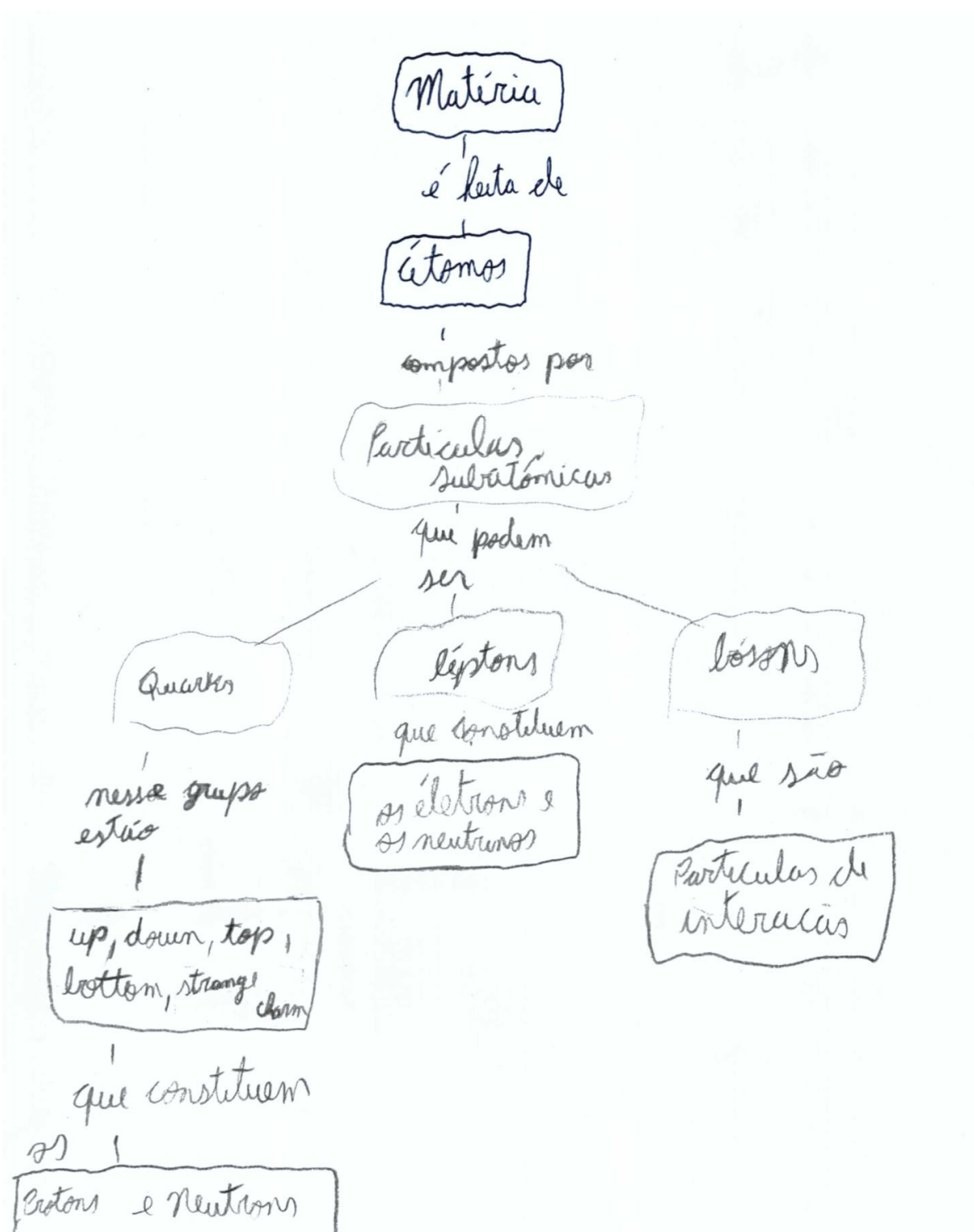
Fonte: B1.

Mapa Conceitual 02 do aluno B1.



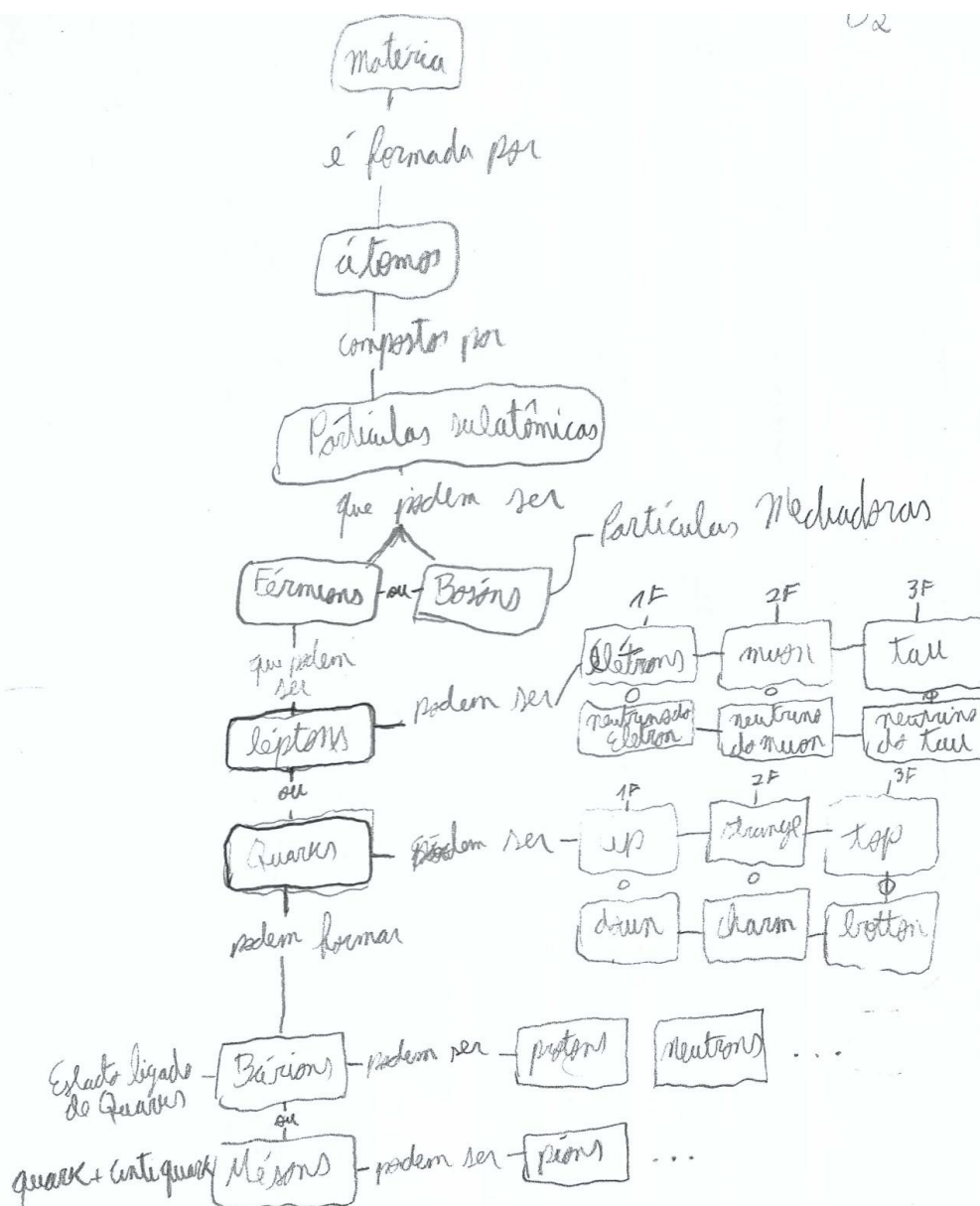
Fonte: B1.

Mapa Conceitual 01 do aluno B2.



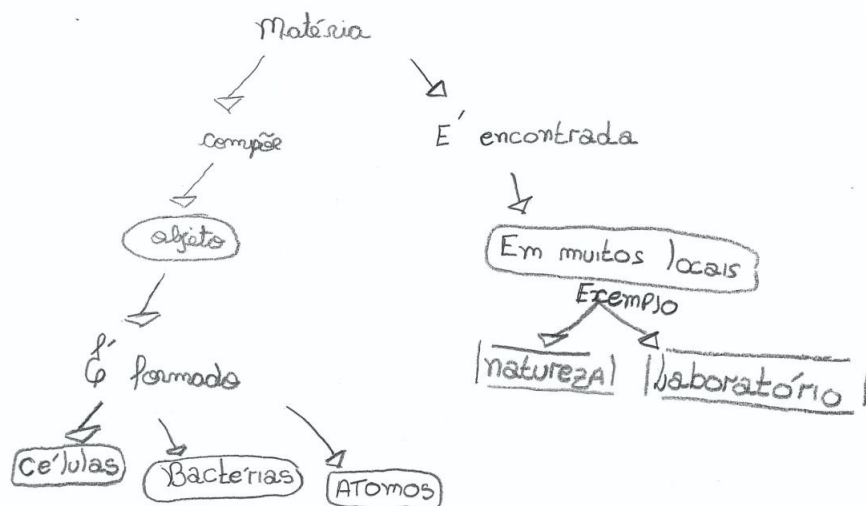
Fonte: B2.

Mapa Conceitual 02 do aluno B2.

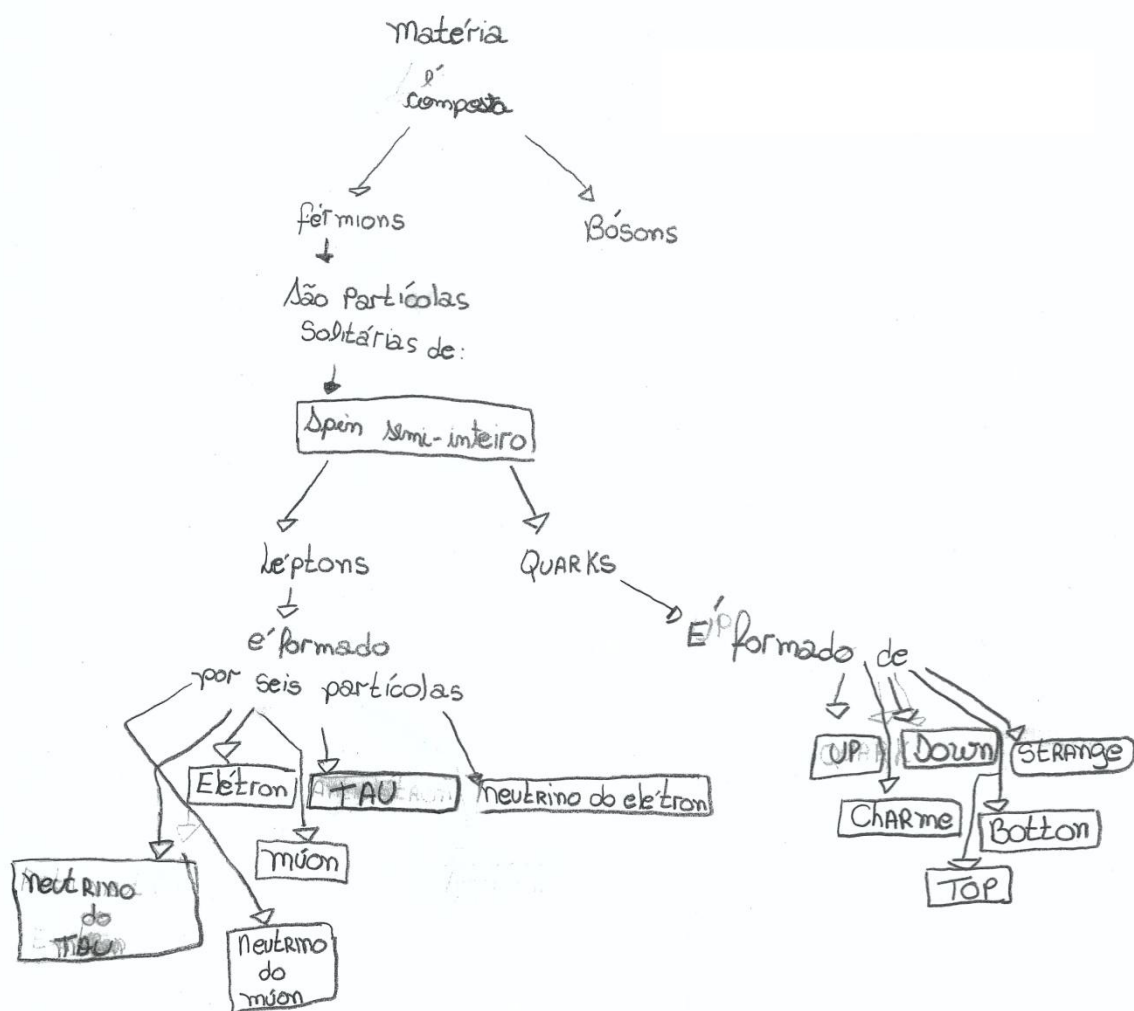


Fonte: B2.

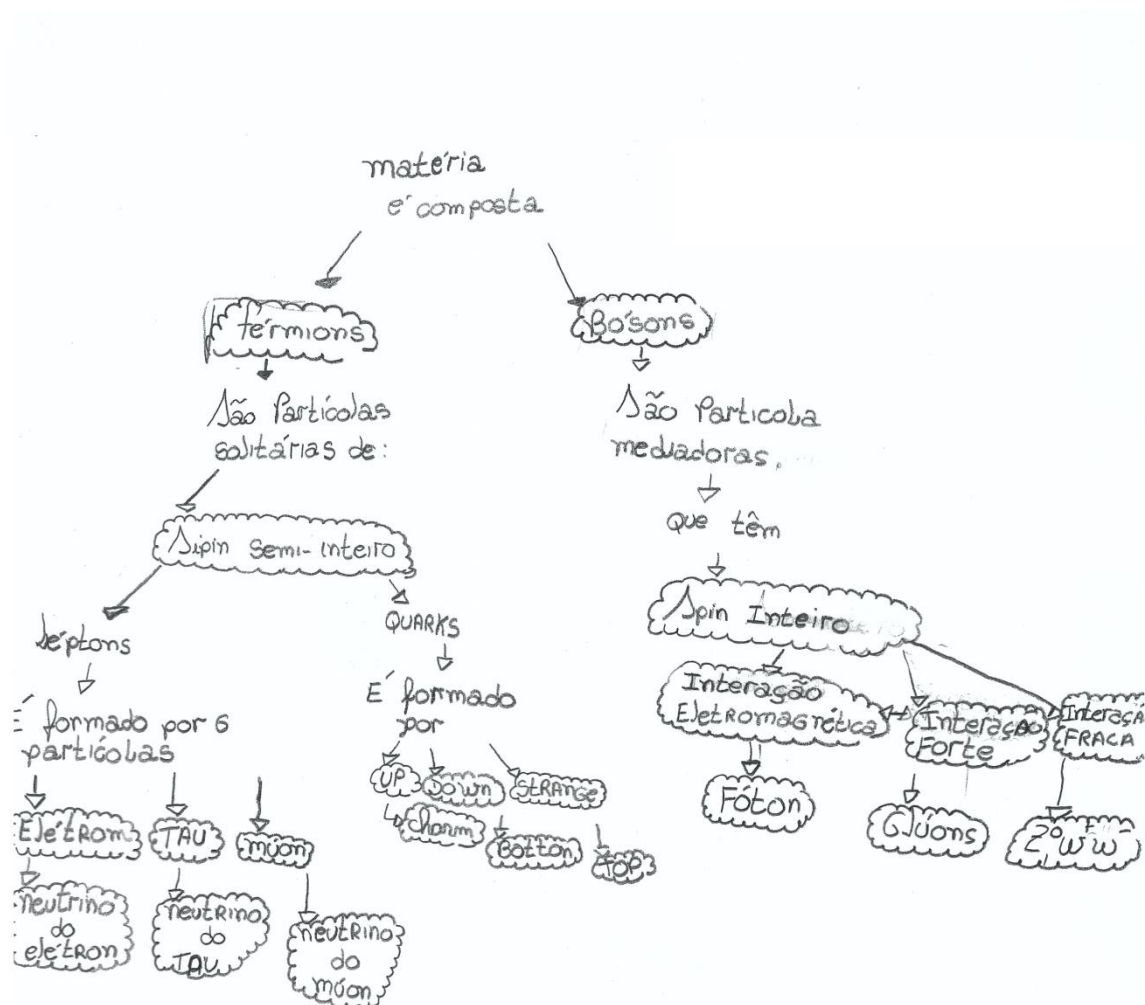
Mapa Conceitual 01 do aluno B3.



Mapa Conceitual 02 do aluno B3.



Mapa Conceitual 03 do aluno B3.



Fonte: B3.