



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

SAMUEL DE OLIVEIRA FAJARDO SAVISKI

**UMA ABORDAGEM DIDÁTICA COM ENFOQUE NA
HISTÓRIA DA FÍSICA DO PLASMA POR MEIO DA
APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA**

Londrina
2014

SAMUEL DE OLIVEIRA FAJARDO SAVISKI

**UMA ABORDAGEM DIDÁTICA COM ENFOQUE NA
HISTÓRIA DA FÍSICA DO PLASMA POR MEIO DA
APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado e Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dra. Irinéa De Lourdes Batista.

Londrina
2014

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

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

S267a Saviski, Samuel de Oliveira Fajardo.

Uma abordagem didática com enfoque na história da física do plasma por meio da aprendizagem significativa / Samuel de Oliveira Fajardo Saviski. – Londrina, 2014.

135 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, 2014.

Inclui bibliografia.

1. Ciência – Estudo e ensino – Teses. 2. Ciência – História – Teses. 3. Plasma (Gases ionizados) – Teses. 4. Abordagem interdisciplinar do conhecimento na educação – Teses. 5. Física – Estudo e ensino – Teses. 6. Mapa conceitual – 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 50:37.02

SAMUEL DE OLIVEIRA FAJARDO SAVISKI

**UMA ABORDAGEM DIDÁTICA COM ENFOQUE NA HISTÓRIA DA
FÍSICA DO PLASMA POR MEIO DA APRENDIZAGEM
SIGNIFICATIVA**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado e Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dra. Irinéa De Lourdes Batista
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dra. Eliane Maria de Oliveira Araman.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná-
UTFPR

Prof. Dra. Rosana Figueiredo Salvi
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 30 de junho de 2014.

Dedico este trabalho a Deus e aos meus pais, minhas filhas e esposa, pois se não fosse por eles não conseguiria realizá-lo, e a todos que me ajudaram direta ou indiretamente.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que nos guia e nos dá força em todos os momentos.

À Prof. Dra. Irinéa de Lourdes Batista, pela orientação, incentivo e ajuda para o caminhar deste trabalho não deixando eu desistir e acreditando em mim.

A todos os pesquisadores do grupo Ifhiecem (Investigações em Filosofia e História da Ciência, e Educação em Ciências e Matemática), em especial a minha “irmã ” de orientação Gabriela Issa Mendes, que contribuíram e me apoiaram durante a pesquisa.

Aos colegas de turma, que proporcionaram vários momentos de descontração e de estudo, cada um terá seu lugar especial.

Aos meus pais Dorival e Milca, à minha esposa Gabrielly Antunes e às filhas Laura e Helena, que por diversas vezes esteve no carrinho de bebê ao lado de minha mesa ao escrever o trabalho, que me dão forças para seguir em frente e não desistir.

“Penso noventa e nove vezes e nada descobro; deixo de pensar, mergulho em profundo silêncio – e eis que a verdade se me revela”

Albert Einstein

SAVISKI, Samuel de Oliveira Fajardo. **Uma abordagem didática com enfoque na história da física do plasma por meio da Aprendizagem Significativa**. 2014. 135f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Centro de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.

RESUMO

O estudo foi realizado em uma turma do 3º ano do Ensino Médio de uma escola particular de Londrina, com intenção de encontrar possíveis relações de uma síntese histórica da Física do Plasma com a Aprendizagem Significativa Crítica, por meio das Unidades Potencialmente Significativas e dos Mapas Conceituais. Foi elaborado uma sequência didática, com pressupostos nas Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS), para a ser implementada em horário extra curricular e sem atribuição de notas. Foram feitas duas implementações, na primeira implementação compareceram seis alunos que construíram um mapa durante a implementação da sequência e outro seis meses depois. Na segunda implementação foram convidados alunos de dois colégios e compareceram 14 alunos, que construíram somente mapas durante a implementação. Após a elaboração dos mapas foi utilizado a análise de conteúdo de Bardin para analisar os mapas, depois do estudo de cada implementação foram feitas comparações por meio das unidades mais frequentes para estabelecer as relações. A partir dessas relações, busca-se entender se uma síntese histórica aliada a conteúdos de física moderna poderia ser utilizada como facilitadora da Aprendizagem Significativa Crítica.

Palavras-chave: Aprendizagem significativa crítica. Didática da ciência. Física do plasma. História da ciência. Física moderna. Mapas conceituais.

SAVISKI, Samuel de Oliveira Fajardo. **A teaching approach focusing on the history of plasma physics by means of Meaningful Learning**. 2014. 135 pages. Dissertation (Master's in Teaching Science and Mathematics Education) - Centre for Mathematical Sciences, State University of Londrina, Londrina, 2014.

ABSTRACT

The study was conducted in a class of 3rd year high school students in a private school in Londrina, intending to find possible relations in a historical synthesis of Physics Plasma with Meaningful Learning Critical, through potentially Units Significant and Concept Maps . A didactic sequence was prepared with the assumptions Teaching Units Potentially Significant (LIFO), to be implemented in extra curricular time and without assigning grades. Two implementations were made in the first implementation attended six students who built a map for the implementation of the sequence and another six months later. In the second implementation students from two schools were invited and attended by 14 students who constructed maps only during implementation. After drafting the maps content analysis of Bardin was used to analyze the maps, after the study of each implementation comparisons were made by means of the most common units for estabeler relations. From these relationships, we seek to understand a historical synthesis combined with contents of modern physics could be used as a facilitator of Meaningful Learning Critical.

Keywords: Meaningful learning critical. Teaching of science. Plasma physics. History of science. Modern physics and concept maps.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1:	Esquema de uma relação didática.	21
Figura 2:	Modelo de Mapeamento conceitual segundo a teoria de Ausubel.	26
Figura 3:	Thales, Anaximandro e Anaximenes.	33
Figura 4:	Empédocles.	34
Figura 5:	Capa do Resumo de William Crookes sobre o quarto estado da material.	35
Figura 6:	Representação do experimento para a visualização do livre caminho médio.	36
Figura 7:	Representação do experimento para a visualização da propriedade de fosforescência.	37
Figura 8:	Representação do experimento para a visualização da propriedade de fosforescência em um cristal.	38
Figura 9:	Hand mit Ringen: a primeira imagem de Wilhelm Röntgen referente à mão de sua esposa, tirada em 22 de dezembro de 1895 e apresentada ao Professor Ludwig Zehnder, do Instituto de Física da Universidade de Freiburg. em 1 de janeiro de 1896.	38
Figura 10:	Representação do experimento para a visualização da propriedade de fosforescência em um cristal.	39
Figura 11:	Representação do experimento da propriedade retilínea da matéria radiante.	39
Figura 12:	Representação do experimento da propriedade de independência do polo positivo.	40
Figura 13:	Focalização da matéria radiante.	41
Figura 14:	Sombra projetada pela matéria radiante.	41
Figura 15:	Representação do experimento da propriedade de independência do polo positivo.	42
Figura 16:	Propriedade de reflexão sobre objetos.	42
Figura 17:	Propriedade magnética sobre a matéria radiante.	43
Figura 18:	Matéria radiante comportando-se como fios condutores.	44
Figura 19:	Representação da ação da força magnética agindo sobre fios percorridos por corrente elétrica e paralelos.	45
Figura 20:	Matéria radiante sendo focalizada em um ponto.	46

Figura 21: Matéria radiante sendo focalizada em um ponto.....	47
Figura 22: Parte do comunicado de Inving Langmuir sobre os seus estudos de Gases Ionizados.....	49
Figura 23: Trecho no qual Langmuir sugere o nome plasma.....	49
Figura 24: Representação dos três estados da matéria.....	51
Figura 25: Representação de um gás sendo aquecido até se transformar em plasma e depois sendo aplicado um campo eletromagnético sobre esse plasma.....	52
Figura 26: Representação esquemática do átomo de Bohr.....	54
Figura 27: Representação da secção de choque.....	55
Figura 28: Esquema de um experimento para obtenção da ruptura eletrônica.....	57
Figura 29: Esquema do uso de plasma como propulsor.....	59
Figura 30: Propulsores em funcionamento com plasma e com líquido.....	60
Figura 31: Representação da fusão entre Deutério e Trítio.....	60
Figura 32: Confinamento de plasma.....	61
Figura 33: Sistema RGB, como cores de luz primárias.....	62
Figura 34: Representação de um olho humano.....	63
Figura 35: Representação da tela de uma TV de plasma.....	64
Figura 36: Representação da emissão estimulada.....	64
Figura 37: Representação de um pixel de uma TV de plasma.....	65
Figura 38: Representação dos ventos solares e das auroras.....	66
Figura 39: Relação entre a temperatura e as densidades.....	66
Figura 40: Mapa do aluno A2.....	89
Figura 41: Mapa do aluno A4.....	91
Figura 42: Mapa do aluno A3.....	92
Figura 43: Mapa do aluno A6.....	98
Figura 44: Mapa do aluno A6.2.....	99
Figura 45: Mapa do aluno A13.....	102
Figura 46: Mapa do aluno A17.....	105
Figura 47: Mapa do aluno A7.....	107
Figura 48: Mapa do aluno A20.....	109
Figura 49: Mapa do aluno A13.....	110
Figura 50: Mapa conceitual do pesquisador.....	117

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Relação entre a secção de choque e a energia incidente dos elétrons incidentes.	54
Gráfico 2: Relação entre a secção de choque do argônio e a energia incidente dos fótons.	55
Gráfico 3: Relação entre a tensão e a pressão em um tubo.....	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Resumo do desenvolvimento histórico da Didática das Ciências.....	20
Quadro 2: Relação entre revistas e temas de FMC e Física do Plasma.....	31
Quadro 3: Tempo proposto para implementação das atividades.	76
Quadro 4: Unitarização para a primeira implementação.	84
Quadro 5: Categorização das respostas obtidas no trabalho de Martins (2007).....	96
Quadro 6: Unitarização para a segunda implementação.	100
Quadro 7: Comparação entre as implementações e frequência relativa.....	112
Quadro 8: Relação entre URs e mapas sem características conceituais.....	115
Quadro 9: Levantamento sobre artigos relacionando ao plasma.	121

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRAPEC	Associação Brasileira de Pesquisa em Ensino de Ciências
APS	Aprendizagem Significativa
APSC	Aprendizagem Significativa Crítica
CNTP	Condições Normais de Temperatura e Pressão
ENPEC	Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências
FMC	Física Moderna e Contemporânea
HFC	História e Filosofia da Ciência
ITER	<i>International Thermonuclear Experimental Reactor</i>
JET	<i>Joint European Torus</i>
OCEM	Orientações Curriculares para o Ensino Médio
RGB	<i>Red, Green e Blue</i>
UC	Unidade de Contexto
UEPS	Unidade(s) de Ensino Potencialmente Significativa(s)
UR	Unidade de Registro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1	HISTÓRIA DA CIÊNCIA E SUAS RELAÇÕES COM A DIDÁTICA DAS CIÊNCIAS EM SALA DE AULA	17
2.2	APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA CRÍTICA E SUA AVALIAÇÃO POR MEIO DE MAPAS CONCEITUAIS	22
2.3	INTERDISCIPLINARIDADE E CONTEXTUALIZAÇÃO NO ENSINO DE CIÊNCIAS	27
2.4	A FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO	29
3	SÍNTESE HISTÓRICA DA FÍSICA DO PLASMA	32
3.1	PLASMA: “DE ONDE VIM? QUEM SOU? PARA ONDE VOU?”	32
3.2	DE ONDE SURTIU E QUEM DESCOBRIU O PLASMA, CONHECIDO COMO O QUARTO ESTADO DA MATÉRIA?	32
4	PLASMA E ATUALIDADE	51
4.1	COMO DIFERENCIAR O PLASMA DOS OUTROS TRÊS ESTADOS DA MATÉRIA?	51
4.2	O QUE O PLASMA TEM DE ESPECIAL? COMO PRODUZIR PLASMA?.....	53
4.3	QUAIS AS APLICAÇÕES DA FÍSICA DO PLASMA?	59
4.3.1	Plasma em Propulsores.....	59
4.3.2	Fusão Termonuclear Controlada	60
4.3.3	Plasma Solar e Auroras.....	62
5	APORTES TEÓRICO-METODOLÓGICOS PARA A CONSTRUÇÃO DE UMA ABORDAGEM	68
5.1	A SEQUÊNCIA DIDÁTICA E AS UEPS	73
5.2	ANÁLISE DOS DADOS.....	76
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	81
6.1	OS DADOS, E AGORA?	81
6.2	A ANÁLISE	84

6.2.1	A Análise da Primeira Implementação.....	84
6.2.2	Análise da Segunda Implementação.....	99
6.2.3	A Comparação e a Negociação de Significados.....	112
6.3.4	Pena que Toda Rosa Tem Espinhos.....	121
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	123
	REFERÊNCIAS	126
	ANEXOS	130
	ANEXO A - Modelo de autorização para a instituição.....	131
	ANEXO B - Termo de consentimento livre e esclarecido.....	132
	ANEXO C - OS DADOS DA PESQUISA SÃO RESTRITOS, PARA CONSULTAR ENTRAR EM CONTATO COM O PESQUISADOR	135

1 INTRODUÇÃO

É comum, em sua prática docente, professores serem questionados pelos seus alunos, como: “Para que servem essas contas que estou fazendo? Onde vou usar isso em minha vida? Quem foi o ‘louco’ que descobriu isso?”. E até mesmo afirmações do tipo: “Isso não serve para nada”. Esses questionamentos e afirmações feitos pelos alunos vêm demonstrando que o ensino de Física deve ser repensado em termos de metodologias na prática docente.

Durante o tempo que leciono, escutei muitas vezes essas frases e sei que diversos amigos do magistério também escutaram; por esse e outros motivos, resolvi refletir sobre a minha prática docente, pensando em que estava errando, acertando e o que os pesquisadores da área dizem. Depois de ingressar no Mestrado, em um grupo de Investigações em História e Filosofia de Ciência e Educação Matemática (Ifhiecem), que me acolheu da melhor forma possível, tive acesso a autores da área de Ensino e de História e Filosofia da Ciência (HFC).

A sala de aula é um sistema dinâmico e o professor deve dispor de muitas metodologias e recursos, assim como um domínio do conteúdo a ser ensinado. Vários autores defendem a introdução de História e Filosofia da Ciência no ensino como um recurso didático. Alguns defendem até uma mudança no currículo do Ensino Médio e Superior para a inserção de disciplinas específicas de HFC (BATISTA, 2004; LAVAQUI; BATISTA, 2007; 2013; ROBILOTTA, 1988; SALVI; BATISTA, 2008).

A utilização de HFC no Ensino Médio pode tornar o ensino e o conteúdo a ser ensinado mais lógico e não linear, uma Ciência feita por humanos confrontando, assim, a fragmentação e o tecnicismo muito utilizados no ensino atual e em materiais didáticos. Quando o ensino é fragmentado, o que se tem é a aprendizagem mecânica, na qual o professor é o foco principal e os alunos apenas receptores de capítulos isolados da Ciência sem contextualização e generalização. Dessa forma, o aprendiz fica decorando fórmulas e modelos de problemas, e quando há uma situação-problema que exige que ele generalize suas ideias, ele não consegue resolver.

Para a Aprendizagem Significativa Crítica (APSC), o ponto mais importante durante o processo de ensino e de aprendizagem é o aluno e os seus conceitos subsunçores em relação ao assunto a ser ensinado. Como se pode

observar, o ensino não tem mais o professor como centro e sim o aluno, fazendo dele o participante ativo durante esse processo, e o professor apenas como mediador de ações a serem tomadas (MOREIRA, 2010).

Mas, além de ter o aluno como foco e a utilização de HFC, o professor deve promover situações, com materiais, e aulas diversificadas para que nesse aluno ocorra uma aprendizagem que seja crítica, ou seja, fazendo com que o aprendiz tenha condições de contextualizar os conteúdos aprendidos, filtrar informações obtidas a partir do tema e ter condições de “caminhar sozinho”, tendo autonomia para continuar seus estudos fora do contexto sala de aula. Para que a APSC ocorra, o tema a ser trabalhado também deve fazer parte da vida do aprendiz, ou seja, a era de celulares touchscreens, tv de plasma e led dentre outras. Dessa forma, alguns autores defendem a ideia de utilização de Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio, e com esses conteúdos os alunos podem ter explicações físicas corretas a respeito de temas que fazem parte do seu dia a dia, como, por exemplo, celulares, telas *touch screen*, TVs de plasma etc. (MONTEIRO; NARDI, 2007; OSTERMANN; MOREIRA, 2000; OSTERMANN; CAVALCANTI, 1999; TERRAZAN, 1992).

A teoria da Aprendizagem Significativa Crítica (APS), de Moreira (2010), em conjunto com a HFC e conteúdos de FMC levando em consideração a interdisciplinaridade entre essas áreas podem potencializar de forma substantiva o ensino de Física no Ensino Médio. Para a realização do trabalho, foi escolhido um tema de FMC, Física de Plasma, e realizada uma síntese histórica que será utilizada para uma abordagem seguindo os passos de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), sugerida por Moreira para a promoção de uma APSC. Após a construção da sequência didática, buscamos, então, encontrar possíveis relações entre APSC, FMC e HFC, analisando por meio da análise de conteúdo de Bardin (2002) mapas elaborados por alunos do terceiro ano do Ensino Médio, já que diversos autores afirmam que tanto a teoria de aprendizagem como o uso de HFC e FMC contribuem para o ensino de Ciências. Assim o trabalho foi estruturado em fundamentação teórica, síntese histórica da física do plasma, construção da sequência didática, análise e discussão dos dados e considerações finais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 HISTÓRIA DA CIÊNCIA E SUAS RELAÇÕES COM A DIDÁTICA DAS CIÊNCIAS EM SALA DE AULA

Ao citarmos a História da Ciência serão elencados elementos da Filosofia da Ciência. Embora seja possível separar aspectos entre essas áreas do conhecimento, entendemos a relevância das duas. Por isso, a importância de citar Imre Lakatos (1979), que nos diz que a Filosofia da Ciência está vazia sem História da Ciência; a História da Ciência está cega sem Filosofia da Ciência.

Alguns autores (BATISTA, 2004; 2013; LAVAQUI; BATISTA, 2007; SALVI; BATISTA, 2008), em seus trabalhos, apontam a História e a Filosofia da Ciência como facilitadoras para uma aprendizagem potencialmente significativa e crítica. Ao ser retradada uma sala de aula, tem-se os alunos decorando fórmulas, sem ao menos questionarem seus professores de onde e como aquelas “fórmulas mágicas” surgiram e para que realmente servem em seu cotidiano. O presente trabalho defende a ideia de que a História e a Filosofia da Ciência contribuem de diversas formas para o ensino e o aprendizado significativo de Física no Ensino Médio.

A Ciência é dinâmica e não linear, ou seja, a Física não é um amontoado de conhecimentos aleatórios que foram desenvolvidos de forma independente, o contexto histórico e as relações entre as ideias em diferente épocas são muito relevante e podem contribuir no ensino de Física (BATISTA, 2004; 2013; LAVAQUI; BATISTA, 2007; MATTHEWS, 1995; MOREIRA, 2000; 2010; ROBILOTTA, 1988; SALVI; BATISTA, 2008).

Enfatizamos o papel que a História e a Filosofia da Física podem desempenhar, como subsídio para a melhoria do ensino de Física, pela relação que esses domínios de conhecimento possuem e demonstram com as estruturas cognitivas de conhecimento e com as concepções prévias, como fonte de exemplares históricos analiticamente estudados que mostram a estrutura e a dinâmica da construção de uma teoria, como também fonte de concepções alternativas (que podem ser competidoras ou não) de explicações e conceitos (BATISTA, 2004, p. 461).

Matthews (1995) defende a integração de História e Filosofia da Ciência no currículo de formação de professores; Martins (2007) defende a ideia de

sua utilização no Ensino Médio. A implementação da História e Filosofia da Ciência no Ensino Médio fornece várias implicações na Didática da Ciência. Quando se fala em Didática da Ciência e HFC,¹ podemos encontrar algumas relações com modelos de ensino e de aprendizagem e algumas críticas a eles. A HFC ainda pode ser interpretada como disciplina em si ou, ainda, como estratégia facilitadora no entendimento de conceitos, modelos e teorias. Martins (2007) defende a ideia de implementação de HFC na formação de professores para uma prática mais apurada em sala de aula.

Assim, a HFC surge como uma necessidade formativa do professor, na medida em que pode contribuir para: evitar visões distorcidas sobre o fazer científico; permitir uma compreensão mais refinada dos diversos aspectos envolvendo o processo de ensino-aprendizagem da ciência; proporcionar uma intervenção mais qualificada em sala de aula (MARTINS, 2007, p. 115).

De acordo com as OCEM (Orientações Curriculares para o Ensino Médio) (2006, p. 64),

O uso da *história da ciência* para enriquecer o ensino de Física e tornar mais interessante seu aprendizado, aproximando os aspectos científicos dos acontecimentos históricos, possibilita a visão da ciência como uma construção humana. Esse enfoque está em consonância com o desenvolvimento da competência geral de contextualização sociocultural, pois permite, por exemplo, compreender a construção do conhecimento físico como um processo histórico, em estreita relação com as condições sociais, políticas e econômicas de uma determinada época.

A relação entre HFC e Didática das Ciências é relevante, pois se acredita na possibilidade de sua utilização como facilitadora na aprendizagem significativa, podendo ser um recurso didático. Para entendermos a Didática da Ciência atual, recorreremos a Adúriz-Bravo,² que relata um histórico sobre o desenvolvimento desse campo de pesquisa ou aplicação, separada em cinco partes:

1) Etapa de ausência de disciplina: produção fragmentada de trabalhos e a inexistência de uma disciplina. Trabalhos com base na Pedagogia, Psicologia, Ciências naturais, Epistemologia e História da Ciência sem conexões na década de 1950.

¹ HFC: abreviação de História e Filosofia da Ciência.

² As etapas citadas referem-se ao artigo "La didáctica de las ciencias como disciplina", de Agustín Adúriz-Bravo, publicado em *Enseñanza*, n. 17 e 18, 1999 e 2000, p. 61-74. Essas etapas são importantes para um melhor entendimento de como a Didática das Ciências é tratada atualmente.

2) Etapa tecnológica: produção de estudos dirigidos à reforma curricular. Nessa etapa, na década de 1960, há uma série de programas que tomam como orientação teórica diversas investigações em Psicologia de aprendizagem, que não são específicas de conteúdos de Ciências. Essa Didática das Ciências pretende apoiar-se em conhecimentos científicos gerados em áreas disciplinares periféricas, recursos e técnicas metodológicas. Os conhecimentos metodológicos de tecnologias ou técnicos ocupavam um lugar muito amplo, no qual o aluno precisava apenas de um conhecimento básico de Ciências.

3) Etapa protodisciplinar: um campo de investigação básica. Na década de 1970, devido ao fracasso na década de 1960 com a etapa tecnológica, surge uma preocupação com a questão da aprendizagem de conteúdos específicos de Ciências. Criam-se, então, alguns modelos psicológicos e novos modelos didáticos.

4) Disciplina emergente: início de consensos teóricos e metodológicos. Nessa etapa, durante a década de 1980, os investigadores começam a se preocupar com a coerência do corpo de conhecimento acumulado. Ocorre uma tentativa de resolver a problematização de sistematizar a Didática.

5) Disciplina consolidada: formulação de modelos genuinamente didáticos. Em 1990, a Didática das Ciências encontra-se consolidada, pois a comunidade científica tem uma opinião generalizada sobre o tema. Nessa época, surgem alguns manuais de Didática das Ciências, sendo esta tomada como uma disciplina.

O quadro 1 relata resumidamente as cinco etapas:

Quadro 1: Resumo do desenvolvimento histórico da Didática das Ciências.

ETAPA	REFERÊNCIAS EPISTEMOLÓGICAS	REFERÊNCIAS PSICOPEDAGÓGICAS	METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO EMPÍRICA
Fragmentada 1880-1955	Variados (Positivismo Lógico)	Variados (Pedagogia Ativa)	Ausência de investigação empírica
Tecnológica 1960-1970	Positivismo Lógico	Teoria da instrução de Bruner	Quantitativa
Protodisciplinar 1970-1980	Não existe, apenas algumas citações de Thomas Khun	Modelos de Piaget e Ausubel	Qualitativos e focados na aprendizagem
Emergente 1980-1990	Pós-khunianas	Modelos Cognitivos e Construtivistas	Em sua maior parte, qualitativo, e estudos sobre aprendizagem de conteúdos
Consolidada 1990	Epistemologia Escolar	Modelos Construtivistas	Quase exclusivamente qualitativo

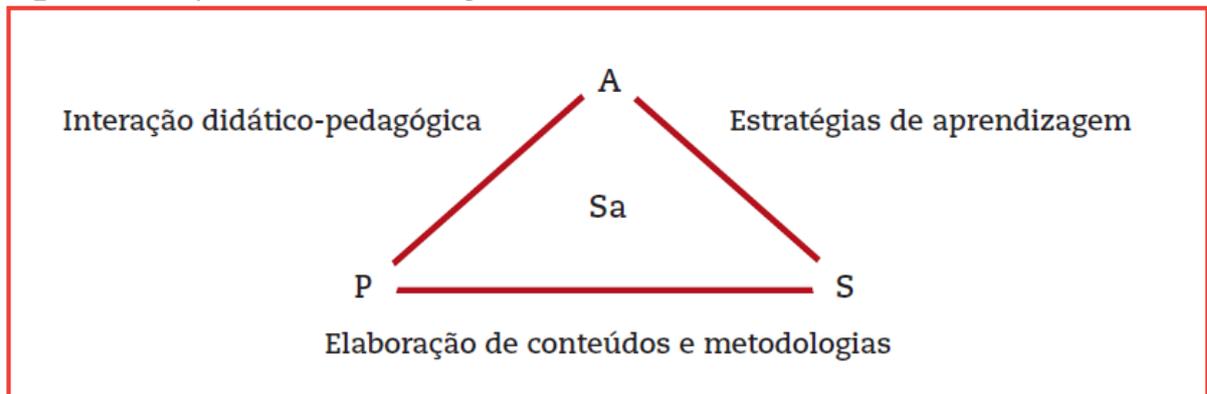
Fonte: ADÚRIZ-BRAVO (1999; 2000, p. 61-74).

Segundo as etapas apresentadas, pode-se observar que, apesar do desenvolvimento da Didática das Ciências, ainda hoje há um ensino em que o aluno não é participante ativo do processo, sendo apenas um receptor de informações que, na maioria dos casos, não são relevantes a ele, o que vai contra os modelos construtivistas propostos a partir da década de 1980.

De acordo com o Quadro 1, tem-se que, atualmente, as pesquisas em Didática das Ciências têm caráter qualitativo e, na área da Psicopedagogia, trabalha-se com modelos construtivistas, o que será o enfoque deste trabalho. A proposta é que a História e Filosofia da Ciência, aliada a um conteúdo de Física Moderna, possa ser utilizada como um facilitador para a Aprendizagem Significativa Crítica de alunos do 3º ano do Ensino Médio.

As Orientações Curriculares para o Ensino Médio (BRASIL, 2006) mostram uma relação didática entre professor (P), aluno (A), o saber a ser ensinado (S), que não necessariamente precisa ser o conteúdo de sala de aula, e as situações de aprendizagem (Sa).

Figura 1: Esquema de uma relação didática.



Fonte: BRASIL - Orientações Curriculares para o Ensino Médio (OCEM) (2006).

Essa relação de interações e mediações ocorre dentro de um sistema didático, o qual está inserido em um sistema de ensino que sofre influências internas e externas. O que se espera é que o aluno utilize e aplique os conhecimentos escolares em diferentes contextos, em tempos distintos, sendo que o professor e a escola já não estão mais em cena. Para isso, o professor precisa identificar meios de fazer emergir os conhecimentos que os alunos mobilizam para responder a determinadas situações, elaborando hipóteses, construindo modelos e fazendo uma análise crítica de suas hipóteses e modelos, relacionando-os com as situações emergentes no processo.

A relação didática apresentada nas OCEM mostra que o professor está no processo apenas como mediador, e que o aluno é o foco de todas as interações e/ou mediações, por isso que ele se encontra no vértice superior do triângulo. Esse é mais um dos princípios das teorias de aprendizagem construtivistas, em que o aluno é o fator mais importante do processo.

A teoria de aprendizagem escolhida como pilar para esta pesquisa será a Aprendizagem Significativa de Ausubel (1978), a qual foi interpretada e apresentada por Moreira (2010) como Aprendizagem Significativa Crítica, que contém vários instrumentos que são utilizados para a sua avaliação sendo os Mapas Conceituais o utilizado na pesquisa.

2.2 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA CRÍTICA E SUA AVALIAÇÃO POR MEIO DE MAPAS CONCEITUAIS

Atualmente, o termo Aprendizagem Significativa tornou-se jargão para muitos, utilizando-o mesmo sem saber o seu significado real e as suas potencialidades. O termo Aprendizagem Significativa de Ausubel tem algumas características primordiais, usadas no construtivismo, em que o aprendiz é a peça fundamental no processo. “Se tivesse que reduzir toda a psicologia educacional a um só princípio, diria o seguinte: o fator isolado mais importante influenciando a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe. Descubra isso e ensine-o de acordo” (AUSUBEL *et al.*, 1978, p. 6).

Como se pode observar, é muito importante levar em consideração o que o aluno tem de conhecimento e, a partir deste, elencarmos “pontes” ou subsunçores, que são também chamados de conceitos subsunçores por Ausubel. O “subsunçor” é um conceito, uma ideia ou uma proposição que o aprendiz tem em sua estrutura cognitiva capaz de levá-lo a uma nova informação. Assim, a aprendizagem pode ser dita como significativa quando um novo conceito se relaciona de maneira substantiva a um aspecto relevante da estrutura cognitiva do indivíduo³.

Quando se fala em Aprendizagem Significativa, é possível que se tenha a seguinte dúvida: como fazer ou proceder quando o aluno não tem conceitos que possam servir de subsunçores? Moreira (2010) responde a essa pergunta dizendo que tal processo se dá por meio da aprendizagem mecânica, a qual Ausubel define como uma aprendizagem sem interação com conceitos da estrutura cognitiva do indivíduo, em que o conceito somente é transmitido e o aprendiz é apenas um receptor.

Esse tipo de aprendizagem pode ocorrer quando o indivíduo não possui conceitos que possam lhe servir como subsunçores, pois, apesar da inexistência de conceitos, alguma interação vai existir. Ausubel, apesar de sua preferência pela Aprendizagem Significativa, defende a ideia de uma não dicotomia

³ Definição de aprendizagem significativa retirada do livro *A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula*, de Marco Antonio Moreira.

entre a Aprendizagem Significativa e a Aprendizagem Mecânica e sim como um contínuo, ou seja, uma complementando a outra.

O autor ainda sugere o uso de organizadores prévios que sirvam de ancoradouro para o novo conhecimento e que levem ao desenvolvimento de conceitos subsunçores que facilitem a aprendizagem subsequente. Assim, para que a aprendizagem seja significativa dois pontos são essenciais: o primeiro é a disposição do aprendiz, e o segundo é que o material seja potencialmente significativo para o aluno aprender. Há ainda diversas discussões acerca de o que realmente são organizadores prévios de Ausubel, no entanto, consideraremos que os organizadores prévios podem ser um texto escrito, uma discussão, uma demonstração, ou até mesmo um filme ou vídeo, dependendo da situação de aprendizagem (MOREIRA, 2006).

Quais as evidências de uma aprendizagem significativa? Já sabemos que para a aprendizagem ser significativa o novo conceito deve interagir de maneira não linear e arbitrária com conceitos existentes; assim, para se ter evidências dessa aprendizagem, deve-se aplicar testes de maneira nova e não familiar, que requeiram máxima transformação do conhecimento adquirido. Um método sugerido por Ausubel é a resolução de problemas contextualizados diferentes do material instrucional. Além disso, pode-se propor uma tarefa ao aprendiz que depende de outra, ou seja, para uma ser executada ele precisa entender e compreender conceitos dados na tarefa anterior.

Dois conceitos – diferenciação progressiva e reconciliação integrativa – extremamente importantes serão utilizados na abordagem metodológica do trabalho. Quando um novo conceito é introduzido ou apresentado de maneira significativa por meio de subsunçores, ele também se modifica. Esse processo, quando ocorrido uma ou mais vezes, é chamado de diferenciação progressiva, pois, à medida que o aprendiz adquire novos conceitos, os conceitos subsunçores ficam mais elaborados, modificados e adquirem novos significados, ou seja, são progressivamente diferenciados.

Pode-se, ainda, pensar que a diferenciação progressiva se dá quando um conceito mais geral e abrangente é fornecido e, progressivamente, os conceitos específicos e mais detalhados que se enquadram nesse conceito mais geral vão sendo progressivamente diferenciados. No entanto, quando há a combinação do conhecimento novo com o já existente, chamamos de reconciliação

integrativa. Assim, toda aprendizagem significativa que resulta em reconciliação integrativa resultará igualmente em diferenciação progressiva adicional de conceitos ou proposições (MOREIRA, 2006).

Em 2010, Moreira, baseando-se em Neil Postman e Charles Weingartner (1969), escreveu a respeito da Aprendizagem Significativa Crítica.⁴ A aprendizagem deve ser tomada como uma atividade crítica, pois, com as mudanças desenfreadas de conceitos e tecnologias, o aluno deve estar preparado para enfrentar essas situações.

[...] aprendizagem significativa crítica: é aquela perspectiva que permite ao sujeito fazer parte de sua cultura e, ao mesmo tempo, estar fora dela. Trata-se de uma perspectiva antropológica em relação às atividades de seu grupo social que permite ao indivíduo participar de tais atividades mas, ao mesmo tempo, reconhecer quando a realidade está se afastando tanto que não está mais sendo captada pelo grupo.[...] É através da aprendizagem significativa crítica que o aluno poderá fazer parte de sua cultura e, ao mesmo tempo, não ser subjugado por ela, por seus ritos, mitos e ideologias (MOREIRA, 2010, p. 7).

É por meio desse tipo de aprendizagem que o indivíduo pode lidar com as mudanças sem se deixar dominar por elas, planejar e manejar suas informações e ações a serem tomadas, desenvolvendo tecnologia sem se tornar tecnófilo. Para que a aprendizagem seja significativa e crítica, além dos princípios ausubelianos citados, são propostos alguns princípios facilitadores, tendo como referência as propostas de Postman e Weingartner.⁵

1. Aprender que aprendemos a partir do que já sabemos (*Princípio do conhecimento prévio*).
2. Aprender/ensinar perguntas ao invés de respostas (*Princípio da interação social e do questionamento*).
3. Aprender a partir de distintos materiais educativos (*Princípio da não centralidade do livro de texto*).
4. Aprender que somos perceptores e representantes do mundo (*Princípio do aprendiz como perceptor/representador*).

⁴ Segundo Moreira (2010), o termo “crítica” surge do subversivo utilizado por Postman e Weingartner, em sua obra *Teaching as a subversive activity*.

⁵ Postman e Weingartner propõem em sua obra alguns conceitos “fora de foco” que a escola ensinava, como, por exemplo, o conceito de verdade absoluta, conceito de estados fixos, conceito de entidades isoladas e vários outros, e que dessa educação resultariam personalidades passivas, aquiescentes, dogmáticas, intolerantes, autoritárias, inflexíveis e conservadoras, que resistiriam à mudança para manter intacta a ilusão da certeza. Para maiores esclarecimentos, que não é o foco de nosso trabalho, o leitor pode buscar em: POSTMAN, Neil; WEINGARTNER, Charles. *Teaching as a subversive activity*. New York: Dell Publishing Co. 1969.

5. Aprender que a linguagem está totalmente implicada em qualquer e em todas as tentativas humanas de perceber a realidade (*Princípio do conhecimento como linguagem*).

6. Aprender que o significado está nas pessoas, não nas palavras (*Princípio da consciência semântica*).

7. Aprender que o ser humano aprende corrigindo seus erros (*Princípio da aprendizagem pelo erro*).

8. Aprender a desaprender, a não usar conceitos e estratégias irrelevantes para a sobrevivência (*Princípio da desaprendizagem*).

9. Aprender que as perguntas são instrumentos de percepção e que definições e metáforas são instrumentos para pensar (*Princípio da incerteza do conhecimento*).

10. Aprender a partir de distintas estratégias de ensino (*Princípio da não utilização do quadro de giz*).

11. Aprender que simplesmente repetir a narrativa de outra pessoa não estimula a compreensão (*Princípio do abandono da narrativa*).⁶

É importante deixar claro que esses princípios são facilitadores para a aprendizagem significativa, mas nada dizem a respeito de sua avaliação. A aprendizagem é progressiva, então não se deve ficar preocupado com o produto final e sim com evidências que ocorreram durante o processo.

Para a avaliação da aprendizagem significativa podemos dispor de algumas ferramentas, tais como: questionários, o V de Gowin ou os Mapas Conceituais. Será apresentado apenas o Mapa Conceitual já utilizado por Moreira (2006) que serão utilizados no trabalho.

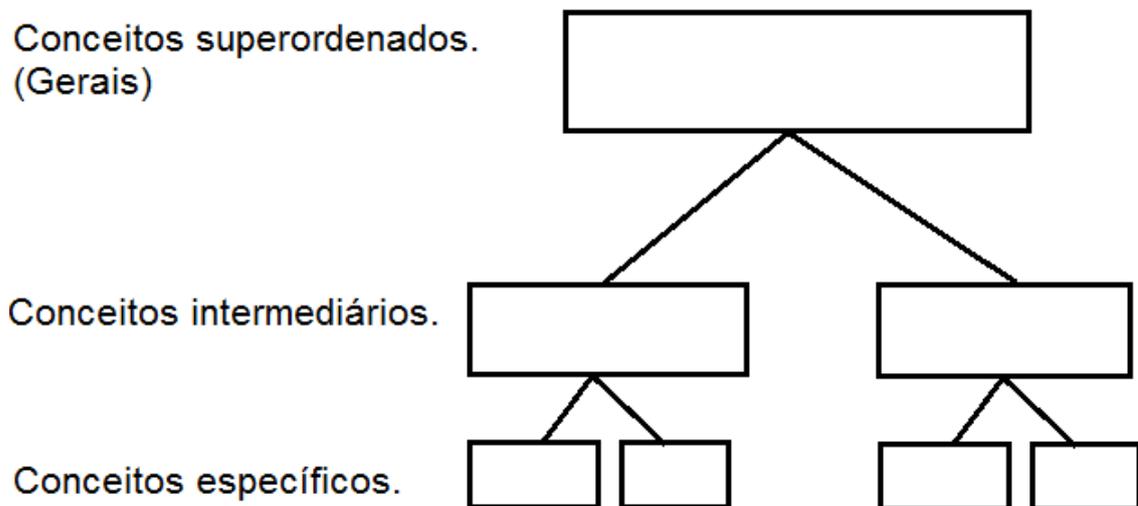
Dentre as diversas aplicações do Mapa Conceitual, uma é a de utilizá-lo como instrumento de avaliação da aprendizagem. Avaliação não com objetivo de dar notas, a fim de classificar o aluno e sim no sentido de obter informações de alguma maneira acerca dos conceitos e suas relações estruturadas pelo aprendiz; além de verificar quais indícios de aprendizagem significativa o aluno construiu após a apresentação/abordagem de determinado assunto.

Mapas Conceituais são diagramas que indicam relações entre conceitos de maneira hierárquica e que refletem a organização conceitual de uma

⁶ Todos os princípios citados acima foram retirado do artigo "Aprendizagem Significativa Crítica" (2010), de Moreira.

disciplina ou parte dela. Os mapas são bidimensionais no sentido de interpretarmos não somente as relações, mas também, como no caso da Aprendizagem Significativa de Ausubel, a diferenciação progressiva. Assim, os conceitos superordenados⁷ (conceitos mais gerais) devem estar na mesma linha horizontal. Um exemplo de Mapa Conceitual com base na teoria de Ausubel e utilizando os conceitos de mapa bidimensional está na Figura 2.

Figura 2: Modelo de Mapeamento conceitual segundo a teoria de Ausubel.



Fonte: MOREIRA (2006).

Como se pode observar na figura 2, o mapa pode ser aplicado para a análise dos conceitos presentes na estrutura cognitiva do aluno sobre determinado assunto, antes deste ser discutido ou apresentado pelo professor. Nesse sentido, o mapa contribui para o professor em conjunto com o aluno, negociando significados, propondo atividades e materiais diversos que possam proporcionar ao aluno a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa desse assunto. Quando o mapa é aplicado antes, durante e/ou depois das abordagens, pode-se observar indícios da Aprendizagem Significativa Crítica, pois os conceitos tornam-se mais elaborados e a estruturação do mapa pode revelar novas interações entre os conceitos prévios e o novo. Nesse sentido, o mapa pode ser utilizado como instrumento de avaliação da aprendizagem.

⁷ Conceitos superordenados são propostos na teoria de Ausubel como conceitos de maior complexidade e generalidade. Normalmente são conceitos que contêm vários outros conceitos relacionados, que servem como subsunçores para o si mesmo.

Uma dispositivo que pode ser útil para a construção de uma mapa conceitual é o software Cmap Tools, que além de ter espaços para se colocarem os conceitos, ainda se pode colocar frases ou termos de ligação entre eles e organizá-los. A vantagem de utilizar esse recurso é que os mapas serão digitalizados e os alunos podem voltar nos mesmos e alterá-los, acrescentando e/ou retirando conceitos, de forma que sua aprendizagem contemple a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa, além de facilitar a construção de uma mapa coletivo, quando projetado, contribuindo para a negociação de significados.

A utilização de mapas como ferramentas para organização e avaliação contribui para uma aprendizagem interdisciplinar e contextualizada, uma vez que o aluno pode utilizar o mapa várias vezes, adicionando ao mesmo outras relações e conceitos assimilados com o passar do tempo.

2.3 INTERDISCIPLINARIDADE E CONTEXTUALIZAÇÃO NO ENSINO DE CIÊNCIAS

Diante de tantas mudanças de mundo, os alunos, com grande acesso a informações, têm se tornado mais críticos e não aceitam mais quaisquer argumentos a respeito de determinada teoria, modelo e/ou lei. No entanto, o ensino tem se tornado cada vez mais fragmentado, deixando de lado a interdisciplinaridade e a contextualização. A proposta é que o ensino de Ciências deva ser repensado em termos de interdisciplinaridade (BATISTA; SALVI, 2011; MOREIRA, 2010).

De acordo com Batista e Salvi (2011, p. 73):

A aceitação de tais argumentos nos remete à interdisciplinaridade no ensino como uma prática possível de ser implementada e um caminho metodológico que dão origem a um diálogo entre saberes, ressaltando o caráter de integrar conhecimentos que se dão em separado. Propomos que tal concepção proporciona um processo de reconciliação integrativa capaz de preparar significativamente o aluno para a interpretação e ação de/em sua realidade.

Pode-se ter um consenso entre as ideias de Moreira, quando este trabalha com a teoria da Aprendizagem Significativa Crítica (2010), e o trabalho de Batista e Salvi sobre a Interdisciplinaridade (2011), pois o primeiro trabalho baseia-se nas ideias de Postman e Weingartner acerca de conceitos fora de foco que são ensinados pela escola, como, por exemplo:

- conceito de “verdade”;

- conceito de certeza;
- conceito de entidade isolada;
- conceito de que o conhecimento é transmitido.

A lista continua, mas para comparação esses conceitos são suficientes, para perceber que em uma era de energia nuclear e estudos probabilísticos, o aluno ainda fica detento de conceitos “fora de foco”, que não possibilitam a contextualização nem a interdisciplinaridade. Dessa maneira, o ensino tem apenas um caminho, ou seja, o de conhecimento transmitido de verdades acerca de entidades isoladas. A sugestão é, então, propor uma aprendizagem crítica, que leve o aluno a entender e discutir a respeito de diversos temas que estão relacionados com o seu cotidiano e que se relacionam de alguma maneira. Pode-se falar, então, em uma aprendizagem que tem como objetivo um ensino contextualizado e interdisciplinar.

As autoras Batista e Salvi utilizam o termo princípio da fragmentação em oposição ao princípio da complexidade. Para elas, a complexidade leva ao pensamento de interdisciplinaridade e contextualização, pois não se pode separar o sujeito do objeto de conhecimento. E, por fim, uma reconciliação integrativa entre diversas áreas de conhecimento.

Deve-se tomar cuidado com a utilização de interdisciplinaridade em sala de aula, pois não se deve confundi-la com conhecimento superficial de várias áreas. Dessa maneira, pode-se dizer que em um momento da aula é que surge a interdisciplinaridade, não deixando de lado o caráter disciplinar.

De acordo com Salvi e Batista (2011, p.81),

Assim, a interdisciplinaridade no ensino por nós proposta não significa um currículo interdisciplinar, mas sim um momento específico no amplo ato de ensinar e aprender, trata-se de uma interdisciplinaridade educativa, englobando a interdisciplinaridade escolar formal e em ambientes alternativos.

Assim, para o presente trabalho, optou-se em escolher o tema plasma, pois além de ser um tema que pode ser facilmente contextualizado, a história de sua teorização fornece vários elementos que podem ser utilizados para uma interdisciplinaridade. Além de uma interdisciplinaridade da física do plasma com a HFC e ainda FMC.

2.4 A FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO

O que se pode observar ainda hoje é que a Física Moderna e Contemporânea (FMC) não é abordada nem inserida efetivamente no currículo do Ensino Médio e, quando ensinada, é fragmentada e não relacionada com o contexto fora da escola do aluno (MONTEIRO; NARDI, 2007; OSTERMANN; MOREIRA, 2000; OSTERMANN; CAVALCANTI, 1999; TERRAZAN, 1992).

Segundo Terrazan (1992, p. 211):

O que não podemos é esperar a entrada do século XXI para iniciarmos a discussão nas escolas da Física do século XX. Utilizando uma frase de um colega pesquisador em ensino de física, Prof. João Zanetic da USP, é fundamental que “ensinamos a física do século XX antes que ele acabe”.

Infelizmente é exatamente essa a situação pela qual o ensino de Física está passando, o século XX já acabou e a maioria dos alunos ainda nunca ouviu falar de assuntos relacionados à Física deste século.

Um levantamento realizado por Monteiro e Nardi (2007), a respeito dos trabalhos apresentados no ENPEC (Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências), realizado pela ABRAPEC (Associação Brasileira de Pesquisa em Ensino de Ciências), mostra que de 1997 até 2005 ocorreu um aumento de trabalhos apresentados acerca da FMC e sua implementação no Ensino Médio, no entanto ainda aquém da quantidade desejada. O que foi constatado na pesquisa é que as metodologias e propostas didáticas utilizadas ainda são utilizadas em uma extensão temporal muito pequena e em momentos distintos da Física Clássica.

Ostermann e Moreira (2000) fizeram um levantamento bibliográfico sobre a FMC no Ensino Médio e encontraram diferentes abordagens como justificativas para a inserção da FMC no Ensino Médio, concepções alternativas dos estudantes acerca de tópicos da FMC, questões metodológicas, epistemológicas, históricas referentes ao tema, além de livros didáticos que inserem o tema e propostas testadas em sala de aula com apresentação de resultados de aprendizagem.

Dentre as justificativas encontradas para o ensino e inserção da FMC no Ensino Médio, os autores relatam:

- despertar a curiosidade dos estudantes e ajudá-los a reconhecer a Física como um empreendimento humano e, portanto, mais próxima a eles;

- os estudantes não têm contato com o excitante mundo da pesquisa atual em Física, pois não vêem nenhuma Física além de 1900. Essa situação é inaceitável em um século no qual ideias revolucionárias mudaram a ciência totalmente;

- é do maior interesse atrair jovens para a carreira científica. Serão eles os futuros pesquisadores e professores de Física.

De acordo com esses tópicos, Ostermann e Cavalcanti (1999, p. 267) afirmam:

Parece existir consenso hoje, em nível internacional, quanto à necessidade de introduzir conteúdos de Física Contemporânea nos currículos de Física das escolas de nível médio. [...] Tal tendência justifica-se, entre outras razões, pela necessidade de atrair jovens para as carreiras científicas. São eles os futuros pesquisadores e professores de Física. É fundamental também despertar a curiosidade dos estudantes e ajudá-los a reconhecer a Física como um empreendimento humano e, portanto, mais próxima a eles. Além disso, uma boa formação científica faz parte de um pleno exercício da cidadania.

As OCEM relatam que há necessidade de que a escola reveja os conteúdos ensinados e suas respectivas práticas educativas, de forma que os conteúdos sejam organizados em temas, como apresentado a seguir.

- Tema 1: Movimento, variações e conservações.
- Tema 2: Calor, ambiente e usos de energia.
- Tema 3: Som, imagem e informação.
- Tema 4: Equipamentos elétricos e telecomunicações.
- Tema 5: Matéria e radiação.
- Tema 6: Universo, Terra e vida.

Todos os temas apresentados são levantados para que sejam trabalhados de maneira contextualizada. Há, ainda, uma justificativa pelo tema 5, de acordo com as OCEM (BRASIL, 2006, p. 58):

A opção pelo tema justifica-se pelo fato de ele ter grande potencial para a inserção da Física moderna e contemporânea no ensino médio, e por estar fortemente ligado às tecnologias atuais; além disso, porque há pouco material didático que trate dessa temática.

Para o presente trabalho, o tema escolhido foi a Física do Plasma, que contempla muitos conceitos de Física Clássica e FMC, além de fazer parte do cotidiano de todos, pois o conceito está relacionado à matéria que compõe as estrelas, o fogo, as lâmpadas fluorescentes, assim como as telas de monitores de televisão e computadores.

O tema abordado encontra-se na maior parte dos trabalhos de engenharia e pesquisas da área, não sendo trabalhado na área de ensino, como se pode verificar em um pequeno levantamento, em três revistas nacionais da área de Ensino de Ciências entre os anos 2006 e 2011.

Quadro 2: Relação entre revistas e temas de FMC e Física do Plasma.

REVISTA	TEMAS DE FÍSICA MODERNA	FÍSICA DO PLASMA/HISTÓRIA DA FÍSICA DO PLASMA	TOTAL DE ASSUNTOS RELACIONADOS	TOTAL DE ARTIGOS INVESTIGADOS
CADERNO BRASILEIRO DE ENSINO DE FÍSICA	7	0	7	159
REVISTA CIÊNCIA E EDUCAÇÃO	5	0	5	195
INVESTIGAÇÕES EM ENSINO DE CIÊNCIAS	2	0	2	118

Fonte: o próprio autor.

A inserção da FMC no Ensino Médio, em conjunto com a HFC, pode contribuir para um aprendizado contextualizado, pois o aprendiz convive com fenômenos e equipamentos eletrônicos que estão relacionados com conceitos referentes ao tema. Além disso, podem entender a Ciência como empreendimento humano, que se desenvolve de maneira não linear, ou seja, com embates de ideias diferentes relacionadas ao mesmo assunto. Dessa forma, o estudante pode, de maneira crítica, discutir assuntos relacionados ao tema, pois teve em sua formação exemplos de embates históricos e pode observar que ideias são passíveis de serem modificadas, ou até mesmo trocadas, desde que os argumentos sejam convincentes.

3 SÍNTESE HISTÓRICA DA FÍSICA DO PLASMA

3.1 PLASMA: “DE ONDE VIM? QUEM SOU? PARA ONDE VOU?”

O termo **plasma** já não é novidade para as pessoas, pois hoje é comum falarem de suas televisões com telas de plasma. Ao mesmo tempo, não é certeza que entendam, por exemplo, que o plasma de sua televisão é o mesmo estado da matéria da chama do seu fogão e de suas lâmpadas fluorescentes. Além disso, o plasma constitui 99% da matéria visível de nosso universo, já que as estrelas e Sol encontram-se nesse estado. Considerado por muitos o **quarto estado** da matéria, o plasma é um campo da física contemporânea que tem muitas aplicações. No entanto, muitas pessoas ainda têm algumas dúvidas, como: De onde surgiu e quem descobriu o plasma? Como diferenciar o plasma dos outros três estados da matéria? O que ele tem de especial? Como podemos produzir plasma? Quais as suas aplicações? Esse é o objetivo deste texto, responder a essas perguntas, juntamente com uma síntese histórica da evolução dos estudos da Física do Plasma.

Para que as perguntas acima sejam respondidas serão necessárias três áreas da física: o Eletromagnetismo, a Estrutura da Matéria e a Termodinâmica, que serão discutidas ao longo do texto. A intradisciplinaridade dessas áreas nos dá condições de um melhor entendimento da Física do Plasma.

3.2 DE ONDE SURTIU E QUEM DESCOBRIU O PLASMA, CONHECIDO COMO O QUARTO ESTADO DA MATÉRIA?

O surgimento do plasma está intimamente ligado à ideia da evolução dos modelos atômicos, ou da estrutura da matéria, pois, por meio desses estudos, é que foi identificado o que chamamos hoje de plasma. A hipótese da existência de átomos é relevante e, segundo Feynman (2008, p. 2),

Se, em algum cataclisma, todo o conhecimento científico for destruído e só uma frase pudesse ser passada para a próxima geração, qual seria a afirmação que conteria a maior quantidade de informação na menor quantidade de palavras? Eu acredito que seria a hipótese atômica (ou o fato atômico ou como quiser chamá-lo) que todas as coisas são feitas de átomos – pequenas partículas que se movem em constante movimento, atraindo-se uma às outras quando separadas por pequenas distâncias, mas repelindo – se ao serem comprimidas umas sobre as outras. Nessa única frase existe

uma enorme quantidade de informação sobre o mundo, se aplicarmos uma pequena quantidade de imaginação e raciocínio.

A partir do século VI a.C., a história da estrutura da matéria, ou seja, do que tudo é constituído, mostra-nos os gregos Thales, Anaximandro e Anaxímenes, pré-socráticos e todos da cidade de Mileto. Esses pensadores tinham a ideia do *arché*, isto é, uma espécie de argila primordial dos quais são feitos todos os elementos que constituem o Universo.

Figura 3: Thales, Anaximandro e Anaxímenes.



Fonte: <<http://www.brasilecola.com/filosofia/tales-mileto.htm>>. Acesso em: 25 ago. 2013.

Para Thales, o *arché*⁸ era a água, pois ela é um elemento indispensável para a vida dos vegetais e animais. Para Anaxímenes, o *arché* seria o ar, pois, para os gregos, a respiração, ou pneuma, é o princípio fundamental da vida. Assim, o ar rarefeito se converteria em fogo, e o ar denso seria a nuvem que se transformaria em água, e esta, por sua vez, em terra, sendo até mesmo os deuses constituídos por ar e terra. Para Anaximandro, o *arché* seria algo mais abstrato que o ar e a água, chamado de *apeyron* (indefinido, infinito, ilimitado, em grego) e, com essa ideia, criou um modelo cosmológico, que foi de grande avanço em relação aos mitos, em que o universo seria uma praia de *apeyron* e que sua origem deu-se quando o *apeyron* quente se despreendeu do frio (Rocha, 2002) .

Por volta de 400 a.C., Empédocles foi um dos formuladores da doutrina dos quatro elementos, que eram terra, ar, fogo e água. Dessa forma, para ele, tudo o que existia era formado por esse quatro elementos fundamentais.

⁸ A interpretação do termo foi retirada do livro *Origens e evolução das idéias da Física*.

Figura 4: Empédocles.



Fonte: <<http://fahupe.blogspot.com.br/2011/04/empedocles-leucipo-aristoteles-e-o.html>>. Acesso em: 25 ago. 2013.

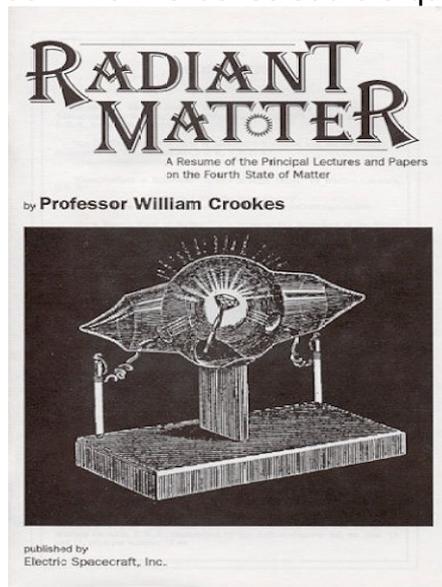
No século V a.C., temos a escola de pensamento chamada de atomismo de Leucipo e Demócrito, que tem como base a ideia de que o átomo é a menor porção existente de matéria e o vácuo. Assim, esses se recombinaem, formando tudo, ou seja, as substâncias diferem entre si porque seus átomos diferem na forma, no número e na maneira que estão arranjados. Logo, os maiores encaixam-se entre si, expulsando os menores, formando-se assim a terra, a água etc.

O conceito de átomo foi aceito durante vários séculos e somente por volta de 1800, John Dalton, quando estudava os gases e a sua absorção por líquidos, publicou em seu trabalho “Absorption of Gases by Water and Other Liquids” (1803) um modelo atômico em que toda matéria era constituída por partículas indivisíveis, os *átomos*. Retomando as definições dos antigos atomistas gregos, considerava os átomos como partículas maciças, indestrutíveis e intransformáveis, ou seja, não seriam alterados pelas reações químicas. Assim, elementos químicos iguais teriam a mesma massa e o mesmo tamanho, pois eram compostos pelos mesmos átomos, e as reações entre esses elementos ocorriam com separação e/ou união de alguns átomos.

No século XIX, havia vários cientistas estudando descargas elétricas em gases, inclusive temos o desenvolvimento dos raios X desde 1845 até a sua descoberta total em 1895, por Wilhelm Conrad Röntgen . Nessa época, já se tinha determinado os três estados da matéria: sólido, líquido e gasoso. Michael Faraday, estudando descarga elétrica em gases, observou algumas características que não

eram comuns aos três estados da matéria existentes até o momento. Ocorreu a partir daí uma ruptura com a ideia de apenas três estados da matéria, o que foi contado por Sir William Crookes, em 1879, em uma palestra na qual o quarto estado da matéria foi chamado de “matéria radiante”, termos que ele próprio diz ter emprestado de Faraday, e virou o título do resumo⁹ de sua palestra, como pode se observar na Figura 5.

Figura 5: Capa do Resumo de William Crookes sobre o quarto estado da material.



Fonte: <<http://www.tfcbooks.com/mall/more/cover/315-rm.htm>>. Acesso em: 25 ago. 2013.

Nesse resumo, Crookes relata algumas propriedades que diferem a matéria radiante dos outros estados da matéria (gases, líquidos e sólidos) aceitos até então. No artigo, tem-se um trecho da obra *Vidas e Cartas de Faraday*, 1870, de Bence Jones, em que Faraday havia dito¹⁰ que, se a matéria for concebida a uma mudança acima da vaporização, levando em conta a mudança de propriedades, há a perda de algumas características.

Nesse trecho, Faraday mostra-se otimista em relação à existência da matéria radiante, com o argumento de que conforme a matéria passa de um estado para o outro, perde propriedades. O sólido, quando passa para líquido, perde algumas propriedades, como dureza, forma cristalina, opacidade e cor. O líquido,

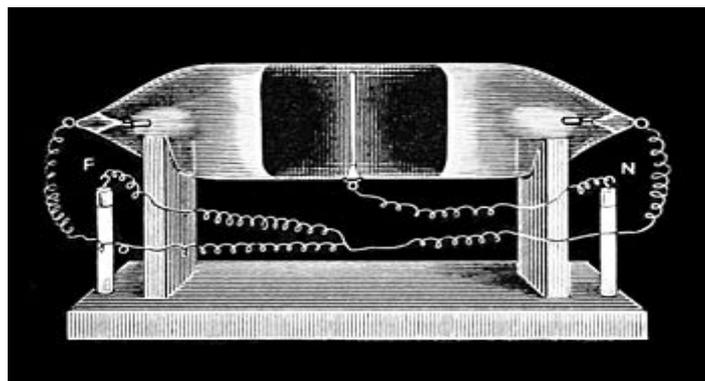
⁹ As figuras relacionadas a Crookes e ao seu trabalho foram retiradas de seu resumo “Radiant Matter - William Crookes F.R.S. A lecture delivered to The British Association of Advancement of Science at Sheffield, Friday August 22nd, 1879”. Foi utilizado o texto original, sendo assim, as citações relacionadas ao autor do texto são de fonte primária.

¹⁰ A interpretação de que a mudança de vaporização altera a mudança de propriedades é uma descrição de Crookes em relação à citação feita por Faraday.

quando passa para o estado gasoso, provoca diferença no peso e o restante das cores é perdido. Assim, se não existisse outro estado, as mudanças na matéria cessariam. No entanto, não é isso que acontece quando trabalhamos com um gás rarefeito. Assim, Crookes descreve algumas das ideias de Faraday, de 1816 até 1821, e amplia os seus resultados, demonstrando que a matéria pode ser classificada em quatro estados. É importante citar que Faraday admitia a existência da matéria radiante, no entanto não havia provas suficientes desta, e sim alguns indícios que o levavam a crer em sua existência. O seguinte trecho é citado por William Crookes: “Ele admite que a existência da Matéria Radiante é ainda não provada, em seguida procede uma série de experimentos para mostrar a possibilidade de sua existência” (CROOKES, 1879, p. 2).

Crookes ainda relata que quanto mais rarefeito for o gás, maior será o livre caminho médio dessas moléculas e afirma que maior será as mudanças das propriedades, ou seja, as mudanças nas propriedades de um gás é proporcional ao livre caminho médio. Há uma desconfiança por parte do Sir William Crookes de que os fenômenos observados em tubos de vácuo até a presente data estavam relacionados com o livre caminho médio e para visualizar o livre caminho médio temos o relato de um experimento em um tubo de vácuo conforme mostra a Figura 6.

Figura 6: Representação do experimento para a visualização do livre caminho médio.

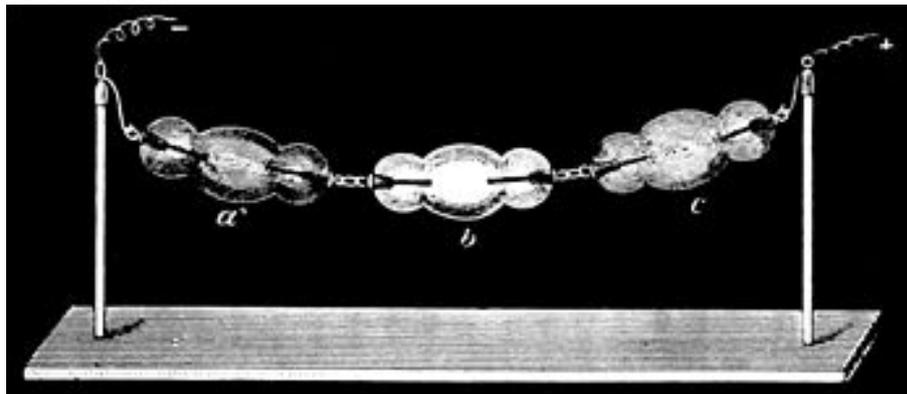


Fonte: Crookes (1879, p. 15).

Como é observado na figura 6, o pólo negativo de onde são emitidos os elétrons fica no centro do tubo, e a parte escura representa o livre caminho médio, que pode ser estendido à medida que o gás fica mais rarefeito.

O gás que recebe a radiação emitida pelo polo negativo, chamado de gás residual e que se encontra na parte escura do tubo, encontra-se em um estado diferente do estado de gás normal. No entanto, deve-se aumentar o grau de exaustão para que esse espaço se torne maior para o estudo desse “gás modificado”. Uma propriedade notável é a de que quando a matéria atravessa o espaço escuro e atinge uma região onde há um resíduo gasoso, esta tem o poder de causar fosforescência, propriedade ainda não observada em gases. Como se pode observar na Figura 7, temos dois polos e alguns tubos (a, b, e c), cada um com suas polaridades, mas no tubo b há resíduo gasoso, assim, nesse tubo, pode-se observar a fosforescência.

Figura 7: Representação do experimento para a visualização da propriedade de fosforescência.

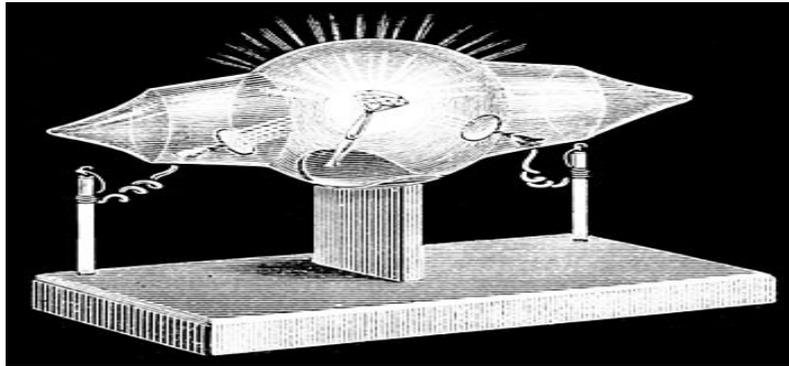


Fonte: Crookes (1879, p. 16).

Após a observação do fenômeno de fosforescência no gás residual, foi observado também que, quando se aumentava o vácuo e, conseqüentemente, o livre caminho médio, a região escura aumentava e a colisão ocorreria somente com a superfície do tubo, fazendo com que esta ficasse fosforescente. Foi testado, então, outros vidros e cristais para a verificação da fosforescência e foi observado que cada matéria produzia uma cor diferente, como se pode observar na Figura 8 ¹¹ a representação do fenômeno, no entanto sem a diferenciação de cores.

¹¹ Todas as figuras relacionadas à matéria radiante foram retiradas do artigo original de William Crookes.

Figura 8: Representação do experimento para a visualização da propriedade de fosforescência em um cristal.



Fonte: Crookes (1879, p. 17).

É importante dizer que, paralelamente a esses estudos e usando o mesmo aparato experimental, foi possível a descrição dos Raios X, por Röntgen, em 1895. Na ilustração abaixo podemos observar como ocorre o Raio X. No entanto, ao invés de se utilizar um cristal, foi utilizado um metal para desacelerar a radiação emitida do polo negativo.

Figura 9: Hand mit Ringen: a primeira imagem de Wilhelm Röntgen referente à mão de sua esposa, tirada em 22 de dezembro de 1895 e apresentada ao Professor Ludwig Zehnder, do Instituto de Física da Universidade de Freiburg, em 1 de janeiro de 1896.



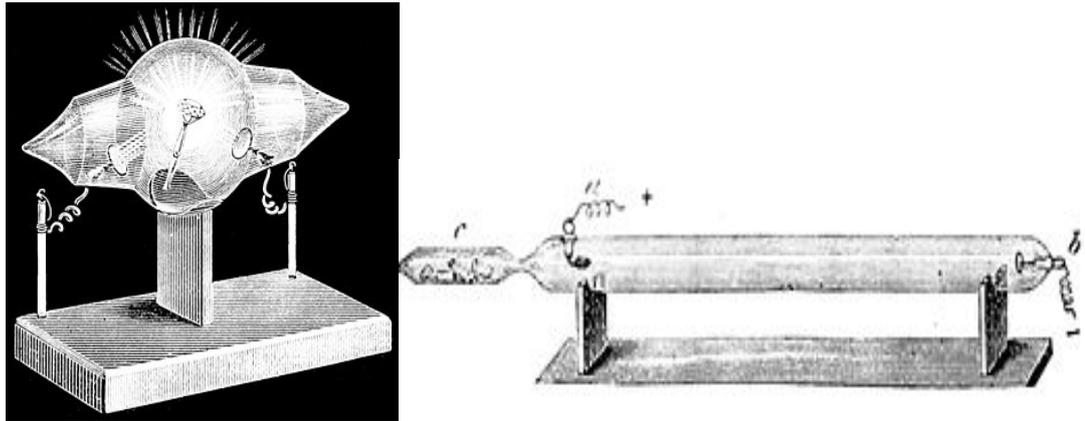
Fonte:

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e3/First_medical_Xray_by_Wilhelm_R%C3%B6ntgen_of_his_wife_Anna_Bertha_Ludwig%27s_hand_-_18951222.gif>. Acesso em: 25 ago. 2013.

No próximo experimento, a esquerda, são colocados alguns rubis e, conforme se aumenta o grau de exaustão, aumenta-se o grau de fosforescência dele, na cor avermelhada. Na figura do lado direito, temos um aparato que consiste em um tubo a vácuo de **a** até **b** e, na parte **c**, tem-se cloreto de potássio. Assim, quando o tubo está bem rarefeito, o cloreto é aquecido, liquefazendo-se e sendo

vaporizado na região onde se tem uma parte escura, região rarefeita. Dessa forma, conforme o cloreto fosse vaporizado, a fosforescência ia aumentando, chegaria a um pico e começaria a diminuir. A luminosidade diminuiria, pois, conforme ia sendo liberado mais cloreto, o grau de exaustão também diminuiria, conseqüentemente, o livre caminho e as propriedades de matéria radiante.

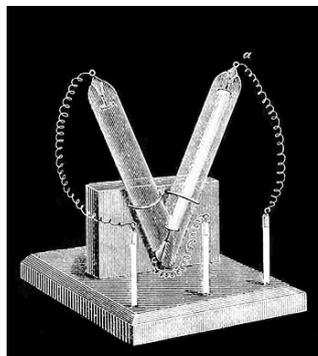
Figura 10: Representação do experimento para a visualização da propriedade de fosforescência em um cristal.



Fonte: Crookes (1879, p. 17; 20).

Além das características já citadas, há, ainda, o fato de que a luminosidade causada pela fosforescência em um grau de exaustão alto se propaga em linha reta, ou seja, não faz uma curva. Isso é observado na próxima figura, pois, apesar de haver um polo positivo na parte esquerda do tubo em formato de “V”, só temos luminosidade do lado direito.

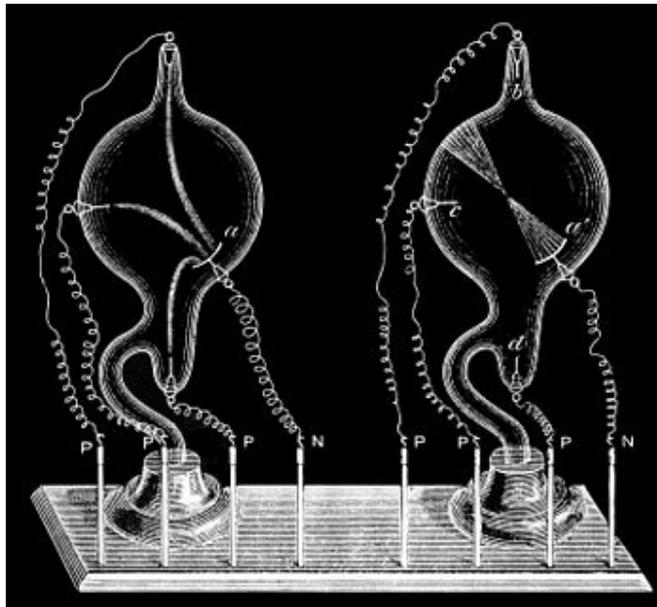
Figura 11: Representação do experimento da propriedade retilínea da matéria radiante.



Fonte: Crookes (1879, p. 21).

Temos ainda que, em um grau de exaustão pequeno, a luminosidade parece depender do pólo positivo; mas, para um grau de exaustão maior, não. Esse fenômeno é observado quando se tem duas lâmpadas: a da esquerda com um grau não tão alto de exaustão e a da direita com um grau maior de exaustão, da ordem de 1 milionésimo de Hg, figura 12. Na lâmpada da direita, a radiação não vai em direção a pólo algum; já no caso da esquerda, a radiação inclina-se e vai em direção aos pólos positivos. Essa é mais uma das características da matéria radiante, que a diferem de um gás, pois a matéria radiante deve ter sido emitida do pólo negativo e apresenta carga elétrica.

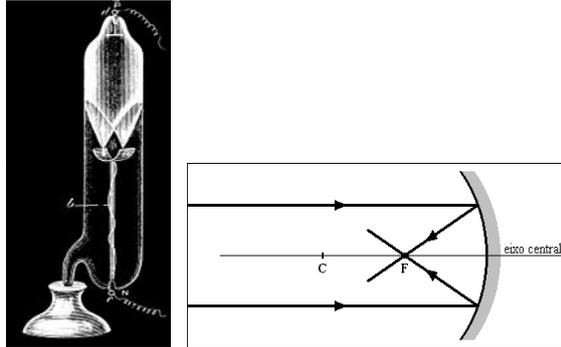
Figura 12: Representação do experimento da propriedade de independência do polo positivo.



Fonte: Crookes (1879, p. 22).

Além da matéria radiante não depender do polo positivo, ela também pode ser convergida, pois quando temos a sua produção a partir de um polo negativo, que tem seus raios emergindo de uma superfície côncava, esta é focalizada e, depois disso, diverge atingindo o vidro.

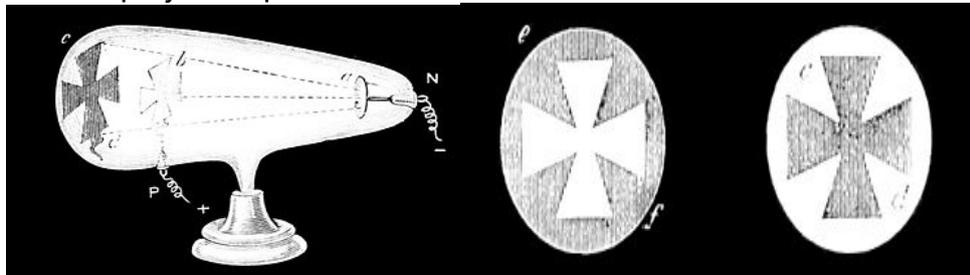
Figura 13: Focalização da matéria radiante.



Fonte: Crookes (1879, p. 23).

Outras propriedades são levantadas, pois a intenção de Crookes era realmente demonstrar várias dessas propriedades. Uma delas é a matéria radiante ter sombra. Além disso, o brilho de um vidro, depois de atingido e iluminado por ela, não será sempre o mesmo, pois, quando comparado com uma região que não havia sido atingida, essa região brilha mais fracamente. Essa última propriedade é mostrada na próxima figura, quando, após ter colocado um objeto em formato de cruz na ampola, temos sua sombra, e, após o objeto ser retirado, o brilho na região que não estava sendo atingida passa a ser maior.

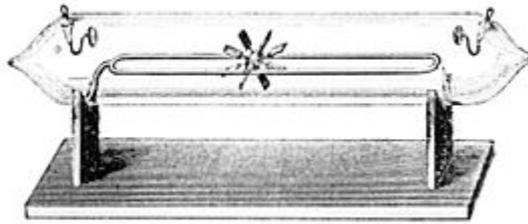
Figura 14: Sombra projetada pela matéria radiante.



Fonte: Crookes (1879, p. 23-24).

A matéria radiante deve exercer ação mecânica nos corpos, já que ela não os atravessa. Segundo esse argumento, temos mais um experimento mostrando a matéria radiante diferindo da luz comum, pois esta não exerce ação mecânica sobre corpos. Como é observado na figura 15, ao atingir um obstáculo, ela pode se mover por meio de um trilho.

Figura 15: Representação do experimento da propriedade de independência do polo positivo.

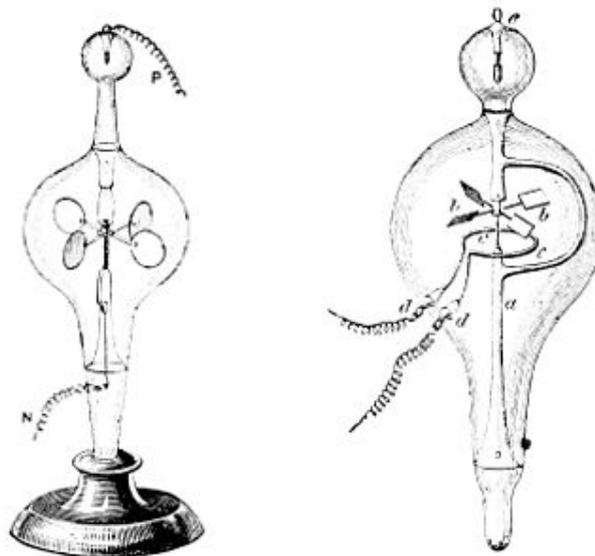


Fonte: Crookes (1879, p. 157).

Como consequência do fenômeno relatado acima, a matéria radiante, ao incidir sobre objetos, deve ter um recuo que pode ser detectado com um aparato. Para isso, temos algumas haletas que giram e, à medida que o vácuo é feito, o poder de fosforescência é observado sobre elas. Inicialmente, somente um lado das haletas é fosforescente, mas conforme se aumenta o grau de exaustão a outra parte começa a fosforescer, indicando que houve um recuo da matéria radiante e que esta atingiu a haleta anterior, causando a fosforescência. É importante dizer que as pás, ou haletas, são induzidas e, por isso, tornam-se polos negativos, assim cada pá é um polo negativo.

Além de se produzir matéria radiante por meio de polos negativos, podemos fazer isso com um fio aquecido, como é mostrado na figura 16 à direita, em que se tem um fio de platina que é aquecido, na parte inferior das haletas faz com que as pás girem, como era feito pelo polo negativo.

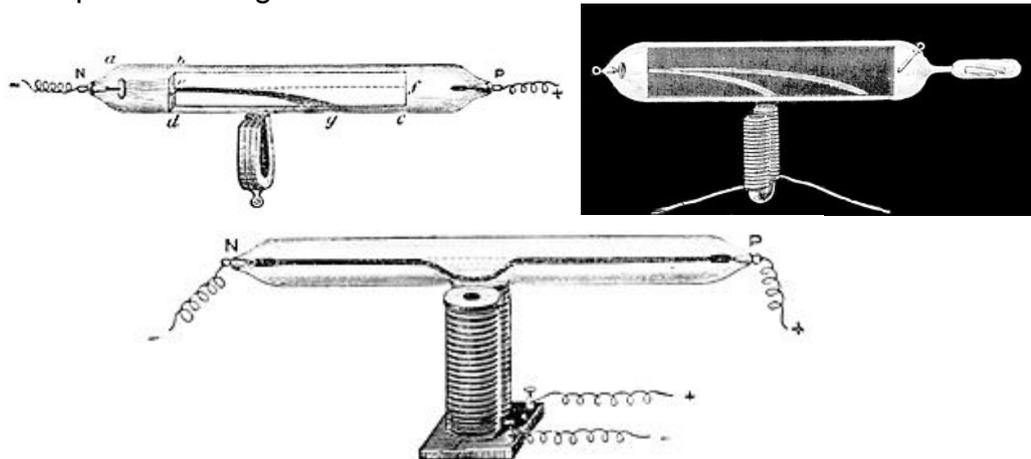
Figura 16: Propriedade de reflexão sobre objetos.



Fonte: Crookes (1879, p. 158).

Outra propriedade demonstrada é a ação de um campo magnético sobre a matéria radiante. Quando um campo magnético externo age sobre ela, tem-se um desvio. Segundo Crookes, a matéria radiante comporta-se como se fosse uma varinha flexível. Na figura 17, a da direita e a debaixo, Crookes ainda observa mais dois fenômenos importantes, na figura da direita ele observa que, à medida que libera cloreto de potássio no interior do tubo, diminui a exaustão e a curvatura aumenta e, à medida que retira, a curvatura diminui. A figura debaixo nos mostra que, quando a matéria radiante em baixa exaustão passa pela ação do campo magnético, sofre um desvio e volta ao caminho original, mas, à medida que a exaustão é feita, a curvatura é mantida, ou seja, a matéria radiante não volta ao seu caminho original.

Figura 17: Propriedade magnética sobre a matéria radiante.



Fonte: Crookes (1879, p. 160-161).

Uma relação entre eletricidade e magnetismo já era esperada, sendo observação antiga, por exemplo, o efeito de descargas elétricas nas bússolas dos navios. Logo, o efeito observado por Orsted era inesperado não porque se considerasse absurdo encontrar uma relação entre eletricidade e magnetismo, mas porque o fio não atraía nem repelia os polos do imã, tendo, portanto, propriedades de simetria inesperadas (MARTINS, 1986 *apud* DIAS, 2004, p. 18).

O relato acima de Dias¹² nos fornece a informação de que Crookes, quando fez suas anotações, já conhecia os efeitos magnéticos sobre fios e também

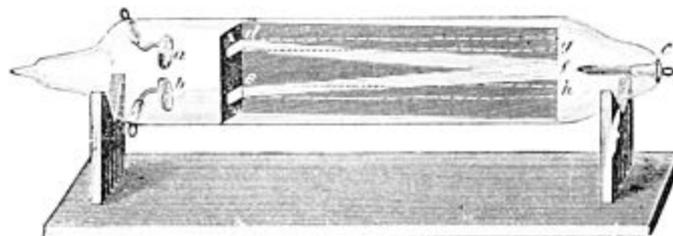
¹² Sabendo da importância histórica e a interpretação de informações, temos consciência do cuidado com citações indiretas, mas, nesse caso, Dias defende sua dissertação orientada justamente por Martins. Assim, quando necessário, usaremos o *apud*, pois a relação entre os autores, orientador e orientanda, é próxima e não teremos problemas de interpretações errôneas.

os efeitos magnéticos produzidos por fios, já que esses estudos datam aproximadamente de 1820, alguns relatados pelo próprio Faraday, que fez uma revisão de trabalhos sobre o tema em sua época, e Crookes escreveu esse artigo em 1879. Mesmo em 1820, quando Orsted estudava o assunto e existia a polêmica do verdadeiro autor das observações, muitos cientistas já conheciam alguma coisa sobre o assunto. As observações de Orsted, publicada em artigo datado de 21 de junho de 1820, desencadeou grande interesse na comunidade científica da época, e também Davy começou a investigar o assunto. Em 1821, Davy publicou um artigo citado por Dias.

[...] O pólo sul de uma agulha magnética comum (suspensa do modo usual), colocado sob o fio comunicador de platina, (a extremidade positiva do aparelho estando para o lado direito) foi fortemente atraído pelo fio, e permaneceu em contato com ele, de modo a alterar completamente a direção da agulha, e superar o magnetismo terrestre. Eu só consegui explicar isso supondo que o próprio fio se tornou magnético durante a passagem da eletricidade através dele, e experimentos diretos, que realizei imediatamente, provaram que assim era (DAVY, 1821a, p. 8 *apud* DIAS, 2004, p. 18).¹³

Usando as informações acima podemos entender que Crookes tinha conhecimento de efeitos magnéticos na época em que escreveu seu resumo sobre a matéria radiante, pois ele estudou os artigos publicados por Faraday, que era orientado e assistente de Davy por longa data. Outro fenômeno relatado no artigo nos revela que a matéria radiante se comporta como fios condutores, pois, quando produzida em dois feixes paralelos, estes se repelem, mostrando o fenômeno já conhecido de atração e repulsão de fios paralelos percorridos por correntes.

Figura 18: Matéria radiante comportando-se como fios condutores.



Fonte: Crookes (1879, p. 162).

¹³ Quando usamos Dias nessas citações indiretas se referindo a Davy ou a Faraday, é importante dizer que a autora teve acesso às obras originais dos autores.

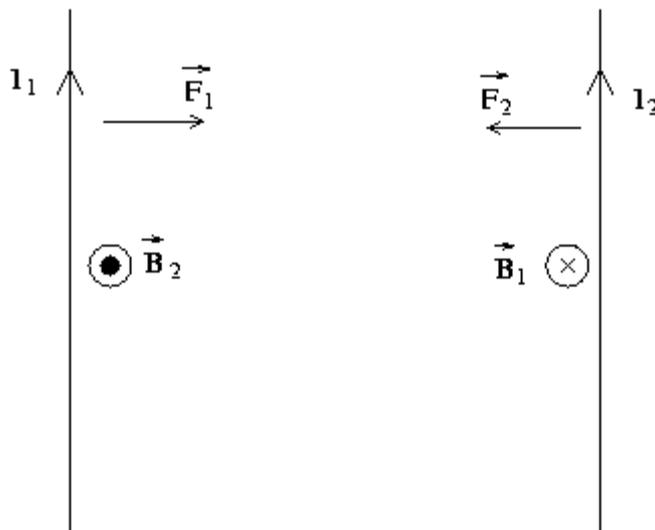
Ampère estudou o caso e já havia percebido o fenômeno magnético, então, nesse experimento, Crookes tirou suas próprias conclusões, já que Ampère identificou isso depois do estudo de Faraday a respeito da matéria radiante, em 1819, e o fenômeno de repulsão entre correntes só ocorreu em 1821.

Na segunda parte de um artigo que Faraday publicou, no volume 18 dos *Annals of Philosophy*, ele descreve a contribuição dos pesquisadores posteriores a Orsted. Assim, em 1820, Ampère apresenta à Academia de Ciências de Paris um trabalho sobre a interação entre duas correntes elétricas. Esse trabalho de Ampère é relatado por Faraday:

Duas correntes elétricas quando se movem paralelas entre si e na mesma direção, e se repelem quando elas se movem paralelas entre si em direções contrárias. Quando fios metálicos, atravessados por correntes podem girar somente em planos paralelos, cada uma destas correntes tende a direcionar a outra dentro de uma situação na qual esta seria paralela e na mesma direção. Aquelas atrações e repulsões são inteiramente diferentes das atrações e repulsões elétricas ordinárias (FARADAY, 1821a, p. 276 *apud* DIAS, 2004, p. 20).

Relembrando que as forças trocadas por dois fios percorridos por corrente pode ser calculada por: $F_m = \frac{\mu_0 \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot L}{2 \cdot \pi \cdot r}$, em que i representa as correntes elétricas, L o comprimento e r a distância do fio.

Figura 19: Representação da ação da força magnética agindo sobre fios percorridos por corrente elétrica e paralelos.

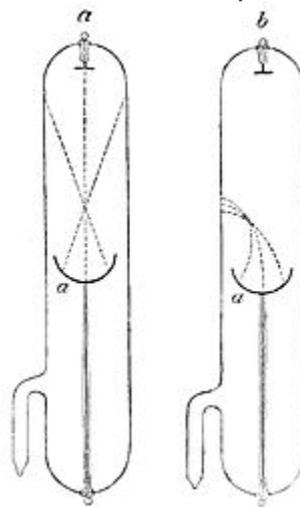


Fonte: o próprio autor.

A última propriedade citada no artigo da matéria radiante e que a difere dos gases é a de produzir energia térmica ou calor quando incide sobre materiais. Usando uma superfície metálica côncava como pólo negativo, pode se obter a focalização da matéria radiante sobre um anteparo. Com auxílio de um campo magnético externo o desvio pode-se desviar o foco para algum ponto desejado. Na figura 20 a parte da direita, temos o foco sendo deslocado por um campo magnético.

Após a incidência da matéria radiante, nesse ponto, tem-se um aquecimento e uma coloração verde bem forte. É importante citar que, nessa parte, foi colocada uma cera que, após algum tempo, derreteu-se; o aquecimento é tão intenso que fura o vidro, entrando ar no tubo.

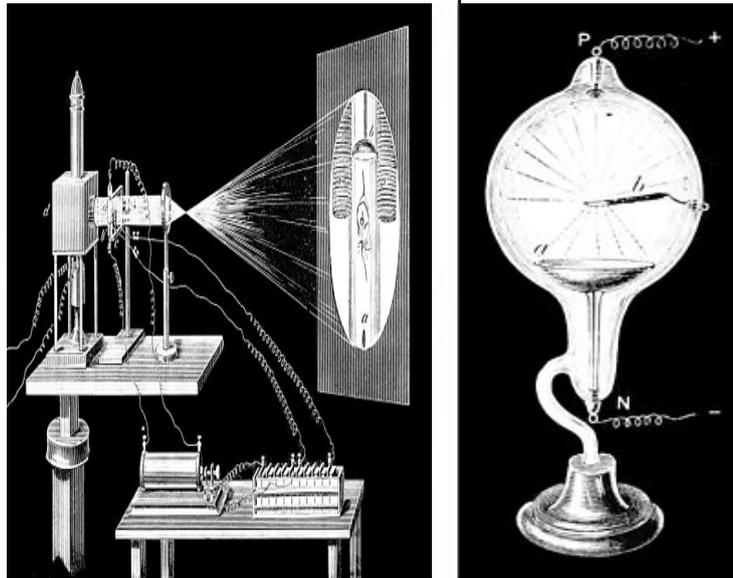
Figura 20: Matéria radiante sendo focalizada em um ponto.



Fonte: Crookes (1879, p. 163).

O mesmo experimento é feito com uma lente convergente em frente ao ponto de focalização para que a imagem desse ponto fosse projetada sobre uma tela, figura 21 a esquerda, e seja feita a verificação do furo e do derretimento da cera. Além desse fenômeno, também foi focalizada a matéria radiante sobre a platina, e esse metal, após certo tempo, passou a se fundir, figura 21 a direita.

Figura 21: Matéria radiante sendo focalizada em um ponto.



Fonte: Crookes (1879, p. 164-165).

Após todos esses experimentos, Crookes conclui que:

- a matéria radiante é algo material e algumas de suas características são de energia radiante;
- as propriedades da matéria, quando em alto grau de exaustão, mudam, indicando que podemos estar próximos de um novo estado da matéria, o qual, de acordo com Faraday, é chamada matéria radiante;
- controlamos partículas indivisíveis que supostamente constituem a base física do universo;

Crookes está trabalhando o que hoje conhecemos como raios catódicos. É importante dizer que poucos anos mais tarde ocorre a descrição do elétron e a medida da razão entre a sua carga e a sua massa. No livro *O Discreto Charme das Partículas Elementares*, a professora Abdalla¹⁴ descreve essa observação em uma linguagem bem simples:

Em 1891, o físico irlandês George Johnstone Stoney publicou um trabalho em que usou pela primeira vez o termo elétron para nomear a menor quantidade de carga elétrica. Na época, obteve um valor cerca de 20 vezes menor do que o aceito hoje em dia. Stoney sabia que deveria haver uma carga fundamental positiva com o mesmo valor da carga negativa. Mas errou ao supor que tanto a menor quantidade de carga positiva (que virá a ser o próton) como a de carga negativa (o elétron) tinham o mesmo tamanho. Seis anos mais tarde, o físico inglês Joseph John Thomson, em uma experiência com raios catódicos, flagrou a divisibilidade do átomo! Descobriu o elétron - a primeira partícula elementar a ter suas

¹⁴ Maria Cristina Batoni Abdalla.

características identificadas. Thomson utilizou uma ampola de Crookes para estudar os raios catódicos que já tinham sido observados em 1865 pelo físico e matemático alemão Eugen Goldstein. Os raios catódicos surgem quando se aplica uma diferença de potencial entre duas placas de metal colocadas num tubo de vidro sob alto vácuo. Os raios emitidos do cátodo, ou seja, do eletrodo negativo - daí vem o nome raios catódicos (ABDALLA, 2004, p. 35).

Thomson ainda descreve a força que atua sobre os raios catódicos e encontra uma relação entre a carga e a massa do elétron. Em abril de 1881, Thomson publica um artigo baseando-se nas ideias de Maxwell, que descreve a força que atua sobre os raios $\vec{F} = \frac{q}{2} \vec{v} \times \vec{B}$, onde \mathbf{F} é a força, q é a carga, \mathbf{v} é a velocidade das cargas e \mathbf{B} é o vetor indução magnética. É importante ressaltar que esse valor é metade do valor aceito hoje, quando consideramos apenas a parcela da força magnética, encontrado por Hendrik Antoon Lorentz em 1891 $\vec{F} = q[\vec{E} + (\vec{v} \times \vec{B})]$. Nessa relação, temos que \mathbf{F} é a força, q é a carga, \mathbf{E} é o vetor campo elétrico, \mathbf{v} é a velocidade das cargas e \mathbf{B} é o vetor indução magnética.

Só em 1909 o físico norte-americano Robert Andrews Milikan mediu com precisão a carga do elétron, obtendo $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Coulombs}$. Na verdade a nuvem de elétrons que circunda o núcleo atômico é responsável pela maioria dos comportamentos da matéria, como emissão de luz, os fenômenos elétricos, as propriedades químicas, e até mesmo pelas propriedades mecânicas da matéria. Todas as medidas de cargas elétricas são múltiplos inteiros da carga do elétron. Nesse sentido, a carga do elétron é uma unidade fundamental (ABDALLA, 2006, p. 38).

O termo **plasma** vem do grego **πλάσμα** e designa algo moldável. Esse termo foi utilizado pela primeira vez em 1926, por Irving Langmuir e por Harold Mott-Smith, em seus estudos de gases ionizados. Uma comunicação de Irving Langmuir sobre os seus estudos em Oscilações em Gases Ionizados sugere o nome de plasma para um região onde se tem gases ionizados e elétrons coexistindo.

Figura 22: Parte do comunicado de Irving Langmuir sobre os seus estudos de Gases Ionizados.

OSCILLATIONS IN IONIZED GASES
 BY IRVING LANGMUIR
 RESEARCH LABORATORY, GENERAL ELECTRIC CO., SCHENECTADY, N. Y.
 Communicated June 21, 1928

In strongly ionized gases at low pressures, for example in the mercury arc, the free electrons have a Maxwellian velocity distribution corresponding to temperatures that may range from 5000° to 60,000°, although the mean free path of the electrons may be so great that ordinary collisions cannot bring about such a velocity distribution. Electrons accelerated from a hot cathode (primary electrons), which originally form a beam of cathode rays with uniform translational motion, rapidly acquire a random or temperature motion which must result from impulses delivered to the electrons in random directions.

Fonte: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1085653/?page=1>>. Acesso em: 25 ago. 2013¹⁵.

Mais a frente nesse mesmo texto, Langmuir cita uma região onde se tem gases ionizados e elétrons coexistindo e, ainda que os gases estejam ionizados em sua totalidade, a região tem carga neutra. A essa região ele sugere que seja chamada de plasma, como podemos ver no seu artigo.

Figura 23: Trecho no qual Langmuir sugere o nome plasma.

It seemed that these oscillations must be regarded as compressional electric waves somewhat analogous to sound waves. Except near the electrodes, where there are *sheaths* containing very few electrons, the ionized gas contains ions and electrons in about equal numbers so that the resultant space charge is very small. We shall use the name *plasma* to describe this region containing balanced charges of ions and electrons.

For purposes of calculation we may consider the plasma to consist of a continuum of positive electricity having a charge density ρ with free electrons distributed within it, the average electron space charge being $-\rho$. If the electron temperature is zero, the electrons will probably arrange themselves in a face-centered cubic space lattice (close packed arrangement).

Fonte: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1085653/?page=1>>. Acesso em: 25 ago. 2013¹⁶.

¹⁵ Uma tradução livre que poderia ser dada para a figura 22: Em gases fortemente ionizados a baixas pressões, por exemplo, em arco de mercúrio, os elétrons livres têm uma distribuição de velocidade Maxwelliana correspondendo a temperaturas que podem variar 5000-60000 graus, o livre caminho médio dos elétrons são tão grandes que as colisões comuns não podem trazer tal distribuição de velocidade. Os elétrons acelerados a partir de um cátodo quente (elétrons primários), que originalmente formam um feixe de raios catódicos com movimento de translação uniforme, adquirirão rapidamente um movimento aleatório ou de temperatura, que deve resultar de impulsos entregues aos elétrons em direções aleatórias.

¹⁶ Uma tradução livre que poderia ser dada para a figura 23: Parecia que essas oscilações devem ser consideradas como ondas elétricas de compressão um pouco análogas às ondas sonoras. Exceto perto dos eletrodos, onde há bainhas contendo muito poucos elétrons, o gás ionizado contém íons e elétrons em

Assim, para Langmuir, plasma é uma região onde temos gases ionizados e elétrons coexistindo, diferenciando esse estado do estado gasoso. Agora que já sabemos de onde surgiu o termo plasma, podemos compará-lo com os outros estados da matéria.

números aproximadamente iguais, de modo que a carga espacial resultante é muito pequena. Vamos usar o nome de plasma para descrever esta região contendo cargas equilibradas de íons e elétrons.

Para fins de cálculo que considere o caminho plasma consistir em um contínuo de eletricidade positiva tendo uma densidade de carga p com elétrons livres distribuídos dentro dela, a carga média do elétron no espaço deve ser p . Se a temperatura do elétron é zero, os elétrons provavelmente irão organizar-se em uma face centrada em um espaço cúbico (Cubo pequeno e isolado).

4 PLASMA E ATUALIDADE

4.1 COMO DIFERENCIAR O PLASMA DOS OUTROS TRÊS ESTADOS DA MATÉRIA?

O plasma difere do estado sólido, que contém as moléculas formando uma estrutura a qual podemos chamar de cristalina, em que os átomos têm um menor grau de liberdade; dos líquidos, os quais não têm forma definida e que, por sua vez, têm grau de liberdade menor que nos gases, nos quais suas moléculas praticamente não interagem entre si por interação coulombiana, e sim por meio de colisões.

Figura 24: Representação dos três estados da matéria.

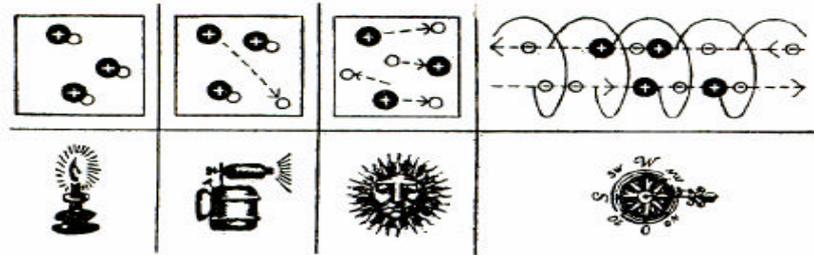


Fonte: <<http://www.brasilecola.com/quimica/estados-fisicos-materia.htm>>. Acesso em: 25 ago. 2013.

Assim, em nenhum desses três estados físicos temos íons, que são moléculas com falta de elétrons. Se um corpo no estado sólido for continuamente aquecido, a primeira coisa a acontecer é o rompimento da estrutura cristalina, fazendo com que este perca a sua forma, fundindo-se em líquido. Quando o líquido é aquecido, o que se tem é o rompimento das ligações entre as moléculas, formando, então, o estado gasoso. Porém, se um gás for aquecido continuamente até altas temperaturas da ordem de 5000 graus Celsius, as colisões entre as moléculas são extremamente fortes, fazendo com que os elétrons da camada de valência sejam retirados, formando, então, o que podemos chamar, segundo Langmuir, de plasma.

Além das propriedades citadas acima, o plasma pode conduzir eletricidade e, em alguns casos, ter poder de fluorescência.

Figura 25: Representação de um gás sendo aquecido até se transformar em plasma e depois sendo aplicado um campo eletromagnético sobre esse plasma.



Fonte: <http://www.fisica.net/nuclear/plasma_o_quatro_estado_da_materia.pdf>. Acesso em 25 ago. 2013.

4.2 O QUE O PLASMA TEM DE ESPECIAL? COMO PRODUIR PLASMA?

Como já vimos, o plasma é especial pelo fato de ter duas principais características muito utilizadas: o poder de luminescência, usado em lâmpadas fluorescentes e em telas de plasma, e a condutibilidade elétrica. Assim, essas propriedades o diferenciam de um gás normal e serão retomadas quando as perguntas sobre suas aplicações forem respondidas.

Para a produção de plasma, tem-se que pensar em ionização de elementos, uma vez que, segundo Langmuir, um plasma consiste de elétrons, íons e gases neutros ocupando a mesma região. Utilizando conceitos da Física Estatística, pois quando se trabalha com gases a quantidade de partículas é altíssima, temos a **equação de Saha**, que relaciona as densidades de átomos ionizados e átomos neutros com a energia de ionização. A partir dessa equação podemos entender que é necessária baixa densidade de gás ou baixa pressão para a produção de plasma.

$$\frac{N_i}{N_n} = 2,11 \cdot 10^{15} \cdot \frac{T^{3/2}}{N_i} \cdot e^{-\left(\frac{U_i}{K.T}\right)}$$

Onde:

- N_i e N_n representam as densidades de íons e átomos neutros (part/cm³).
- T representa a temperatura (Kelvin).
- U representa a energia de ionização (eV).
- K representa a constante de Boltzman.

A energia necessária para ionizar um gás foi denominada na equação como U , sendo assim, cada átomo tem um valor: o nitrogênio, 14,5eV e o hélio tem 24,59eV. Essa energia é a energia necessária para retirar um elétron da camada de valência de um átomo inicialmente neutro. Podemos estudar uma nova variável, chamada de grau de ionização, que é a razão entre a densidade de íons

pela densidade total: $\alpha = \frac{N_i}{N_n + N_i} \cong \frac{N_i}{N_n}$,¹⁷ pode-se fazer a aproximação, pois a

densidade de elementos neutros é muito maior que a densidade de elementos ionizados. Como exemplo vamos usar o nitrogênio, que é o gás mais abundante na atmosfera, sabendo que $U=14,5\text{eV}$, e considerando como $T=300\text{K}$, praticamente a temperatura ambiente, temos que $N_n \cong 3.10^{19} \text{ part/cm}^3$ e $K= 8,617.10^{-5} \text{ eV/K}$, podemos determinar o valor de N_i e, então, encontramos o grau de ionização do nitrogênio nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP) $\alpha = 10^{-122}$.

Pode-se concluir do exemplo acima que a densidade atmosférica é muito alta, além de a temperatura ambiente ser pequena, sendo assim, o grau de ionização é baixíssimo, o que justifica o fato da exaustão em um tubo de Crookes. Além disso, temos que, se a densidade for menor, podemos ter um livre caminho médio maior, favorecendo, assim, a ionização por colisões e, mesmo a temperaturas baixas, podemos obter plasma, como é o caso da TV de plasma e lâmpadas fluorescentes.

Outro fator importante na equação de Saha é que, mesmo com uma densidade relativamente alta, podemos aumentar a temperatura para obter um grau de ionização maior. É por isso que se pode obter plasma em altas temperaturas, como é o caso do Sol e das demais estrelas, fusões nucleares, e o próprio fogo.

A produção de plasma se dá por meio de processos de ionização, em sua maioria, colisional. Dessa forma, temos dois tipos de colisões que podem ocorrer: a colisão elástica e a colisão inelástica. Em colisões elásticas, temos a conservação do momento linear e da energia cinética; dessa forma, não há ionização, pois parte da energia cinética não foi utilizada para isso. No caso das colisões inelásticas, temos a conservação do momento linear, porém parte da

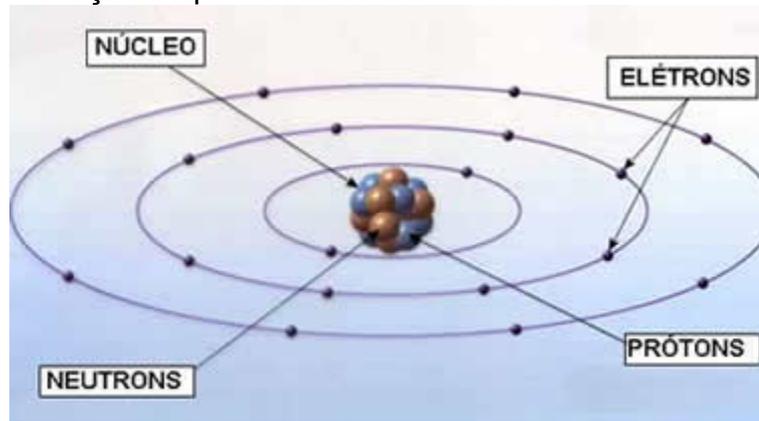
¹⁷ As equações da Física Estatística e suas notações foram adotadas de acordo com o livro texto *Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion*, de Francis F. Chen. Foram utilizadas também as notas de aula do curso de Introdução à Física do Plasma, do professor José Leonardo Ferreira, do Laboratório de Plasmas da UNB, onde seu livro texto é o *Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion*, de Francis F. Chen.

energia cinética é utilizada para a ionização do gás ou apenas para a excitação dos átomos ou moléculas.

Quando a energia é utilizada para a excitação, pode-se ter excitação por níveis eletrônicos, e a excitação $B+A \rightarrow A+B^*$, onde * indica a excitação. Pode-se ter também a excitação por níveis vibracionais $A+BC(f) \rightarrow A+BC(f')$, onde f e f' representam a frequência de vibração.

Pode-se fazer uma analogia de excitação por meio do modelo atômico de Bohr. Onde um elétron pode “saltar” para níveis mais energéticos quando recebe uma quantidade determinada de energia.

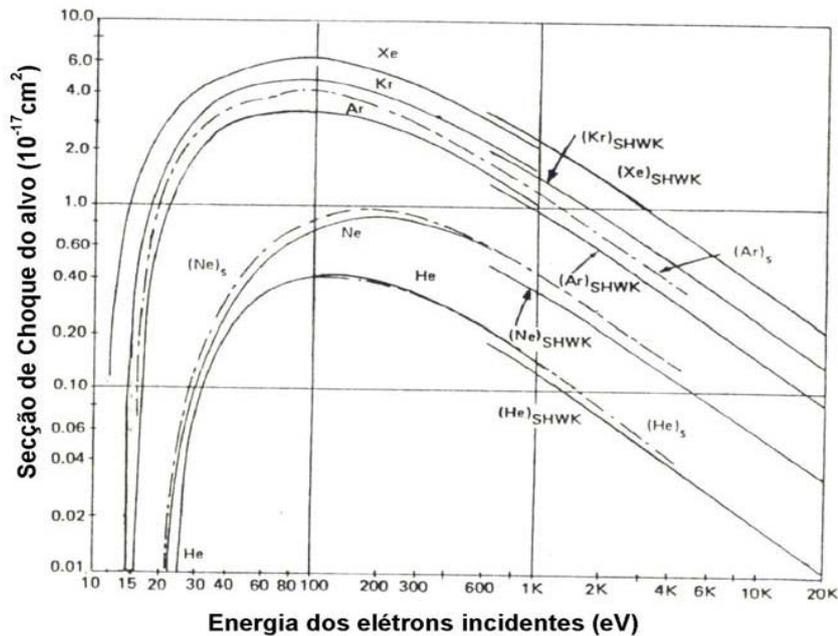
Figura 26: Representação esquemática do átomo de Bohr.



Fonte: <<http://n.i.uol.com.br/licaodecasa/ensmedio/fisica/numquan1.jpg>>. Acesso em: 25 ago. 2013.

Ao absorver a energia da colisão, esta pode ser utilizada para a ionização da molécula, que pode ser causada por ionização por impacto eletrônico, por meio de colisões com elétrons, $e + A \rightarrow A^+ + 2e$, onde e representa um elétron, A um elemento neutro e A^+ um íon.

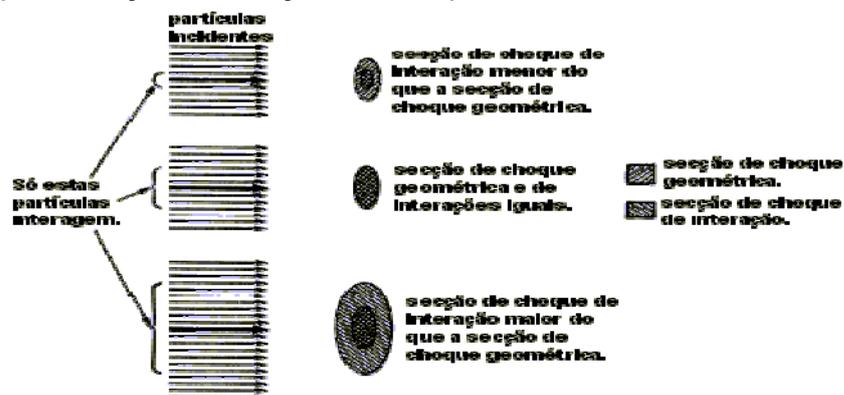
Gráfico 1: Relação entre a secção de choque e a energia incidente dos elétrons incidentes.



Fonte: <<http://trad.fis.unb.br/plasmas/Aulas%20IFP.htm>>. Acesso em: 25 ago. 2013.

É importante notar que para cada elemento temos um pico de secção de choque, que é a área assumida pelos elétrons que podem ionizar ou excitar um átomo. Sendo assim, se os elétrons tiverem uma energia muito pequena, ou seja, colidirem antes de atingir uma energia cinética suficiente para a excitação e/ou ionização, a secção de choque será pequena, para uma energia muito alta, teremos colisões no final de um tubo e, ao serem acelerados novamente, não podem excitar/ionizar o alvo. Dessa forma, os processos de ionização/excitação estão intimamente relacionados à secção de choque.

Figura 27: Representação da secção de choque.



Fonte: <http://www.feiradeciencias.com.br/sala23/23_MA06.asp>. Acesso em: 25 ago. 2013.

A ionização colisional também pode ser chamada de ionização por impacto iônico, quando um íon colide com os átomos. Dessa forma, temos possibilidades: a formação de dois íons e um elétron ou a ionização de um átomo e a neutralização de outro $A^+ + A \rightarrow \begin{cases} 2A^+ + e \\ A + A^+ \end{cases}$.

Seguem alguns processos relacionados com a ionização e excitação.

a) Relaxação: quando um átomo excitado volta ao seu estado fundamental, emitindo fótons.

b) Dissociação molecular: quando, por colisão, ocorre a ionização molecular.

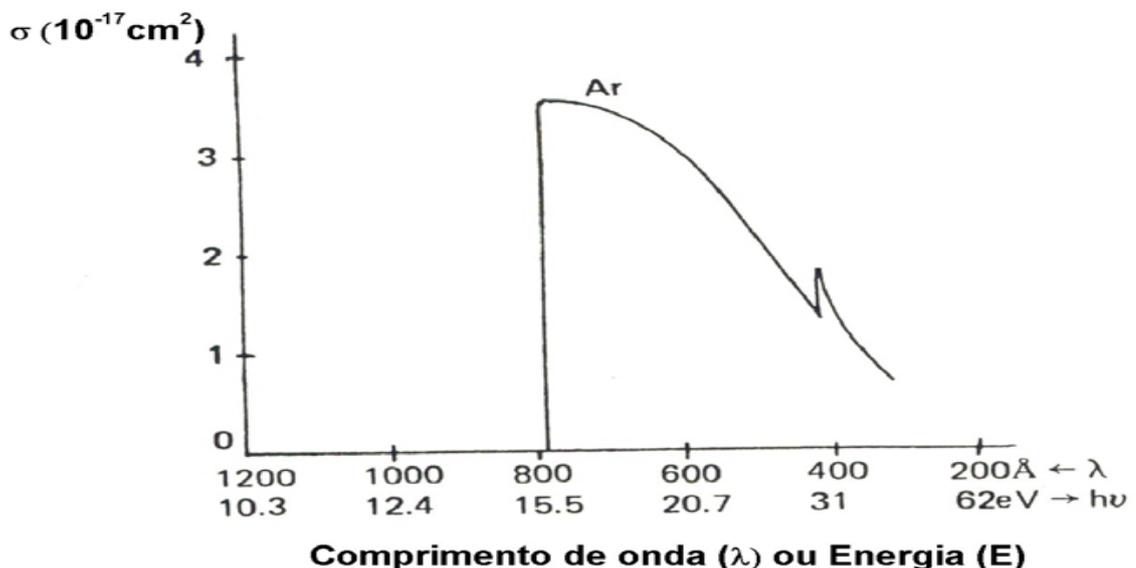
$AB + e \rightarrow A^* + B^+ + 2e$, quando temos a reação inversa, pode-se chamá-la de ionização associativa.

c) Recombinação eletrônica: $A^+ + e \rightarrow A$, em alguns casos, tem-se a liberação de energia $A^+ + e \rightarrow A + hf$.

Nesse caso é importante lembrar a hipótese de Planck, pacotes de energia, que é energia dos fótons depende somente de sua frequência. Onde h é constante de Planck e f a frequência do fóton emitido. Além da ionização por colisões, pode-se obter ionização por fotoionização: $A + hf \rightarrow A^+ + e$.

Nesse caso é importante lembrar a hipótese de Planck, pacotes de energia, que é energia dos fótons depende somente de sua frequência. Onde h é constante de Planck e f a frequência do fóton emitido. Além da ionização por colisões, pode-se obter ionização por fotoionização: $A + hf \rightarrow A^+ + e$.

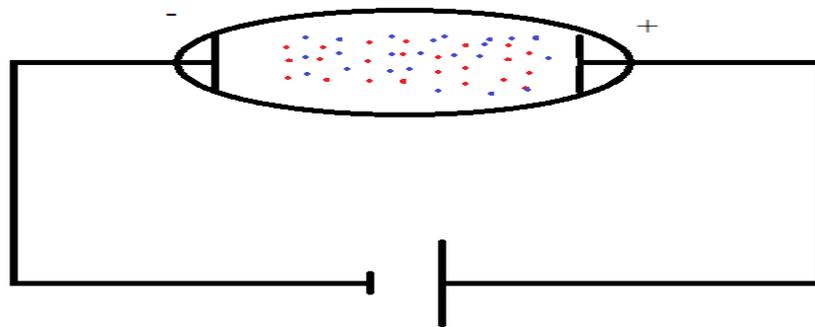
Gráfico 2: Relação entre a seção de choque do argônio e a energia incidente dos fótons.



Nesse gráfico, podemos observar que a secção de choque é nula e tem-se um pico para uma frequência determinada, o que nos mostra que a radiação só interage com o argônio a partir de uma energia mínima para a excitação. A partir daí, além da excitação, temos ionização.

A ionização também pode ser feita por ruptura eletrônica, onde as moléculas se polarizam ao serem submetidas a um campo elétrico e, dependendo da sua intensidade, pode ocorrer a ruptura eletrônica e a ionização.

Figura 28: Esquema de um experimento para obtenção da ruptura eletrônica.



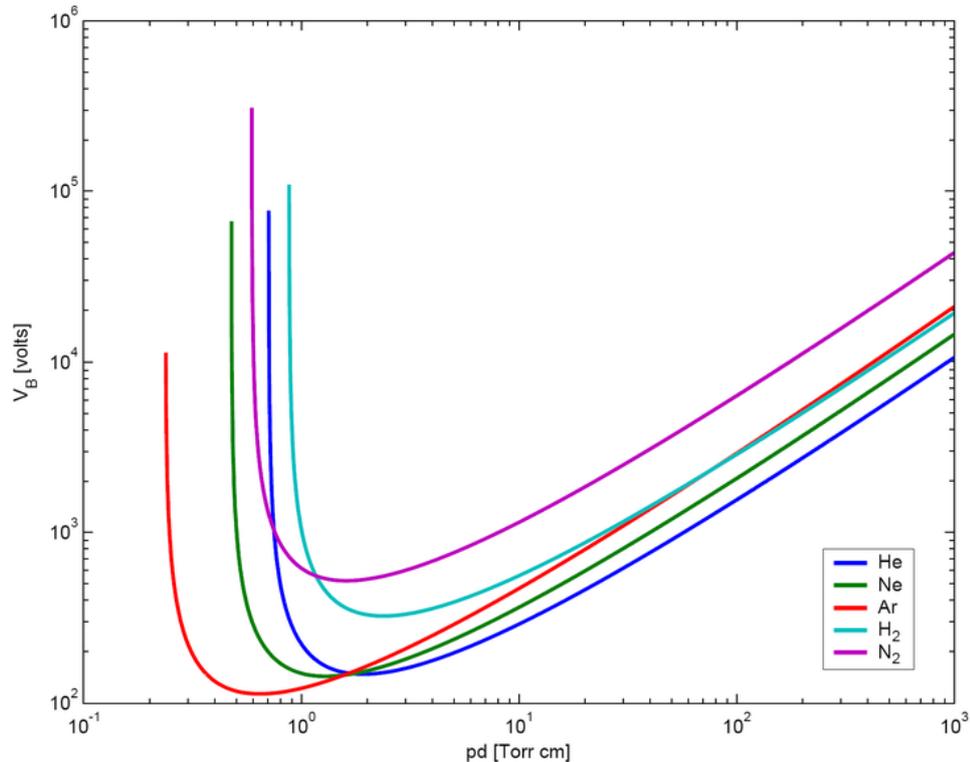
Fonte: <<http://trad.fis.unb.br/plasmas/Aulas%20IFP.htm>>. Acesso em: 25 ago. 2013.

Pode-se relacionar o fenômeno com a segunda Lei de Newton e a força elétrica exercida sobre uma carga. Sendo assim, os elétrons retirados e os íons serão acelerados ao ocorrer a ruptura, podendo colidir com outros átomos e ocasionando ionização e excitação de outros átomos, onde teríamos: $F=q.E$
 $m.a=q.E$ $a=q.E/m$, onde:

- F: força.
- q: carga de prova.
- m: massa do elétron.
- E: campo elétrico.

Para a obtenção da ruptura eletrônica dois fatores são determinantes: a tensão e a pressão no interior do tubo. Isso pode ser observado em uma curva de Paschen para a produção de um arco em um tubo.

Gráfico 3: Relação entre a tensão e a pressão em um tubo.



Fonte: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/82/Paschen_Curves.PNG>. Acesso em: 25 ago. 2013.

De acordo com a curva acima, pode-se observar que para cada valor de pressão tem-se uma tensão associada para que ocorra a ruptura eletrônica e a formação de um arco em um tubo.

Hoje o plasma pode ser classificado basicamente em plasma de altas temperaturas (que tem a sua temperatura acima de 70000K) e plasma de baixas temperaturas (que tem sua temperatura entre 3000K e 70000K).¹⁸ O plasma de baixas temperaturas pode ainda ser dividido em dois grupos: o plasma frio (fora do equilíbrio termodinâmico) e o plasma térmico (em equilíbrio termodinâmico).

De acordo OHRING (1992, p. 12),

No plasma frio (ou fora do equilíbrio), apenas uma pequena porcentagem das moléculas do gás está ionizada, os elétrons estão muito rápidos (quentes) e as demais espécies (moléculas e radicais livres) estão próximas da temperatura ambiente.

No plasma frio, os elétrons chegam a ter temperaturas de 50000K, e os íons, que são mais pesados, têm temperaturas próximas de 600K. Esse tipo de

¹⁸ Informações obtidas no site do grupo de pesquisas em plasmas da Unicamp. <http://www.ifi.unicamp.br/gftp/tochas%20teoria/class.htm>

plasma pode ser encontrado em lâmpadas fluorescentes e em telas de televisores de plasma. Já, no plasma térmico, têm-se elétrons e íons com a mesma temperatura, sendo encontrados em arcos de solda e em raios de uma tempestade.

4.3 QUAIS AS APLICAÇÕES DA FÍSICA DO PLASMA?

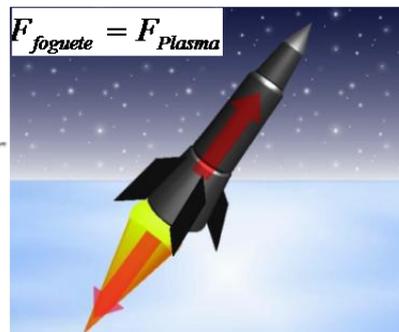
Atualmente a Física do Plasma tem se tornado um campo muito atraente de pesquisa. Nesse texto serão discutidas apenas algumas de muitas aplicações: a utilização de plasma em propulsores, em fusões termonucleares controladas, em televisores com tela de plasma, auroras e o mais abundante que é o plasma do Sol.

4.3.1 Plasma em Propulsores

Como já foi discutido acima, o plasma é constituído por partículas carregadas, que podem ser aceleradas por campo elétrico e desviadas por campo magnético. Sendo assim, podem-se ejetar plasmas das turbinas de um foguete e, por conservação de momento, o foguete adquire uma aceleração em sentido contrário. A situação pode ser descrita também pela 3ª Lei de Newton, “ação e reação”, em que a força de ação que o foguete exerce sobre o plasma é, em módulo, igual à força que o plasma exerce sobre o foguete. Isso pode ser comparado a um nadador que deve empurrar a água para um lado para se movimentar no sentido oposto.

Figura 29: Esquema do uso de plasma como propulsor.

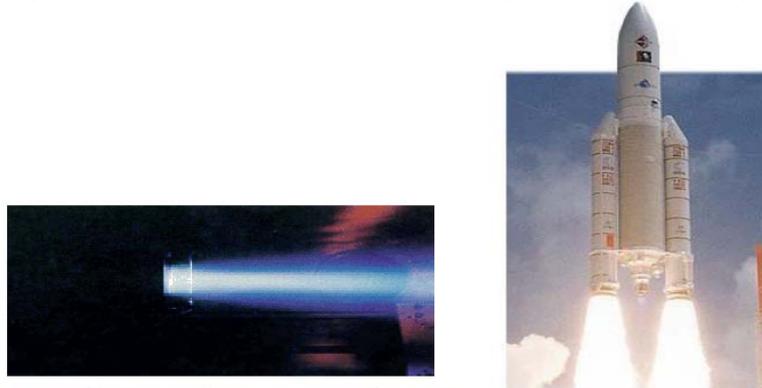
$$F_{\text{nadador}} = F_{\text{água}}$$



Fonte: <<http://trad.fis.unb.br/plasmas/Aulas%20IFP.htm>>. Acesso em: 25 ago. 2013.

A pergunta que vem à mente é: por que usamos o plasma e não um líquido? A resposta é bastante objetiva, já que o plasma atinge velocidades cerca de 100 vezes maiores que a de um líquido. A Figura 30¹⁹ mostra-nos dois propulsores, um a plasma e outro a líquido.

Figura 30: Propulsores em funcionamento com plasma e com líquido.



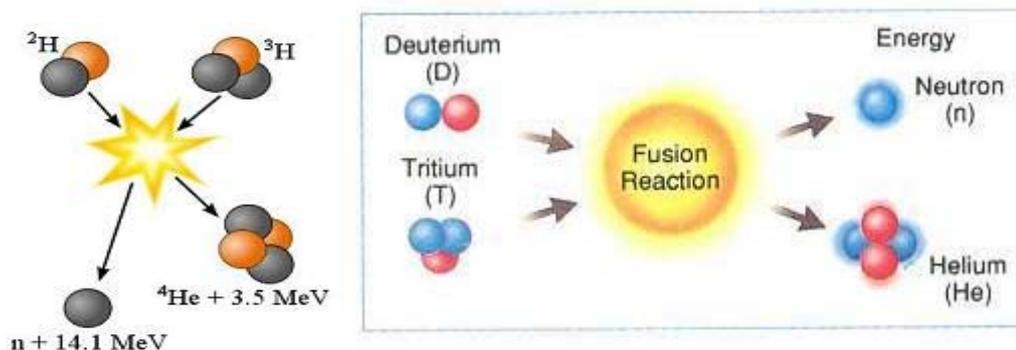
Feixe do Propulsor Iônico do INPE. Propulsor Líquido do Ariane 5.

Fonte: <<http://trad.fis.unb.br/plasmas/Aulas%20IFP.htm>>. Acesso em: 25 ago. 2013.

4.3.2 Fusão Termonuclear Controlada

O processo de fusão nuclear se dá pela fusão de dois núcleos leves com liberação de energia. Esse processo é muito comum e é a fonte de energia solar. Chama-se de fusão termonuclear controlada em contraposição à energia gerada nas explosões de bombas de hidrogênio (bombas H).

Figura 31: Representação da fusão entre Deutério e Trítio.



Fonte: <<http://trad.fis.unb.br/plasmas/Aulas%20IFP.htm>>. Acesso em: 25 ago. 2013.

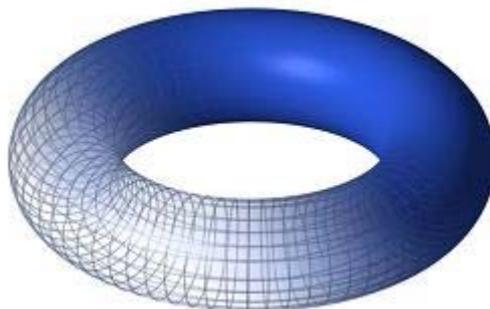
¹⁹ Figura retirada das notas de aula do professor Leonardo Ferreira, do Laboratório de Plasmas da UNB. E que pode ser encontrada nos sites: www.inpe.com.br e www.arianespace.com/site.

Nesse tipo de fusão, temos o Deutério fundindo-se com o Trítio, resultando em um núcleo de Hélio um nêutron e 17,6MeV, podendo ser representado por: $D + T \rightarrow {}^4\text{H} + n + 17,6\text{MeV}$.

Lembrando que no núcleo atômico temos prótons e nêutrons, assim para que dois núcleos consigam vencer a força eletrostática, devem ter uma velocidade alta, ou seja, uma energia muito alta. É por esse motivo que um colisor de partículas tem grandes dimensões, para que as cargas possam ter uma velocidade suficiente para vencer a força de repulsão eletrostática.

A fusão controlada dá-se por confinamento de plasma quente, por meio de um campo magnético. O plasma deve estar a uma temperatura muito alta para a fusão, porém, em muitos casos, ele escapa pela tangente de sua trajetória, colidindo com a parede do recipiente é resfriado e, dessa forma, o sistema não efetua a fusão. O plasma é aprisionado em um campo e mantido em órbita como se pode observar na Figura 32. Assim, o processo consome energia, que, em sua maioria, é maior do que a energia produzida por ele. Mas se o plasma for mantido a uma determinada temperatura e densidade por, pelo menos, 10 segundos, o saldo energético é positivo, ou seja, a energia liberada pela fusão é maior do que a energia gasta. Esse critério é chamado de critério de Lawson.²⁰

Figura 32: Confinamento de plasma.



Fonte: <<http://trad.fis.unb.br/plasmas/Aulas%20IFP.htm>>. Acesso em: 25 ago. 2013.

Assim, pelo problema apresentado acima, muitos núcleos de pesquisa foram desativados, pois, até agora, só o Tokamak JET (Joint European Torus), no Reino Unido, conseguiu manter o plasma confinado durante alguns segundos, mas a uma temperatura abaixo da necessária, de algumas dezenas de

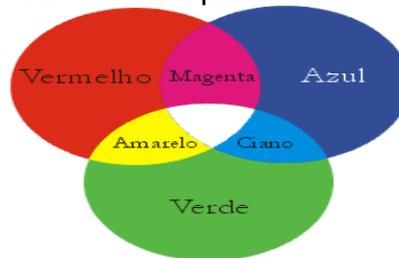
²⁰ Essas informações a respeito do saldo energético foram retiradas do portal do grupo de pesquisa em plasma da Unicamp. <http://portal.ifi.unicamp.br/deq/grupo-de-fisica-de-plasmas-e-fusao-termonuclear-controlada-gfpftc>

milhões de graus. Espera-se que o ITER consiga tais marcas e se torne o primeiro reator a produzir mais energia que gasta. Prevê-se a formação do primeiro plasma (a 150 milhões de graus) no ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) em 2018 e o início do funcionamento de uma usina de energia com base no aparelho na década de 2030.

4.3.3 Televisores de Plasma

Todo projetor de imagem tem como objetivo excitar as células fotossensíveis dos olhos humanos. Dessa forma, antes de se falar em televisores de plasma, deve-se entender o funcionamento básico da óptica da visão. Nossos olhos têm dois tipos de células fotossensíveis: os cones, responsáveis pela visão em cores, sensíveis às cores vermelha, verde e azul (RGB), e os bastonetes, responsáveis pela visão em preto e branco (tons de cinza). Assim, os televisores, em sua maioria, trabalham com o sistema de cores que chamamos de RGB (*Red*, *Green* e *Blue*), que são as cores de luz que enxergamos e, quando misturadas, vemos todas as outras.

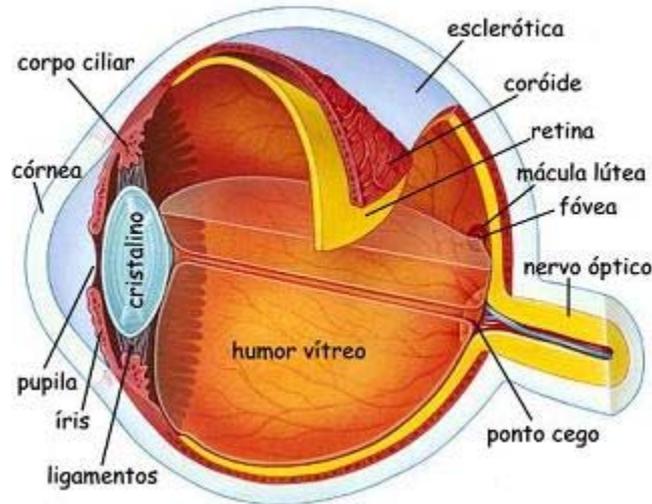
Figura 33: Sistema RGB, como cores de luz primárias.



Fonte: <<http://www.iped.com.br/sie/uploads/20739.jpg>>. Acesso em: 25 ago. 2013.

A Figura 34 nos mostra um esquema de um olho humano, na qual podemos comparar o olho a uma câmera fotográfica, onde há um sistema de controle da quantidade de luz formado pela íris e pupila; um sistema de focalização, lentes objetivas, as quais, no olho, são formadas pela córnea e cristalino; um sistema de projeção e impressão da imagem formado pela retina, que contém os cones e bastonetes, além da câmera escura, que é o globo ocular.

Figura 34: Representação de um olho humano.

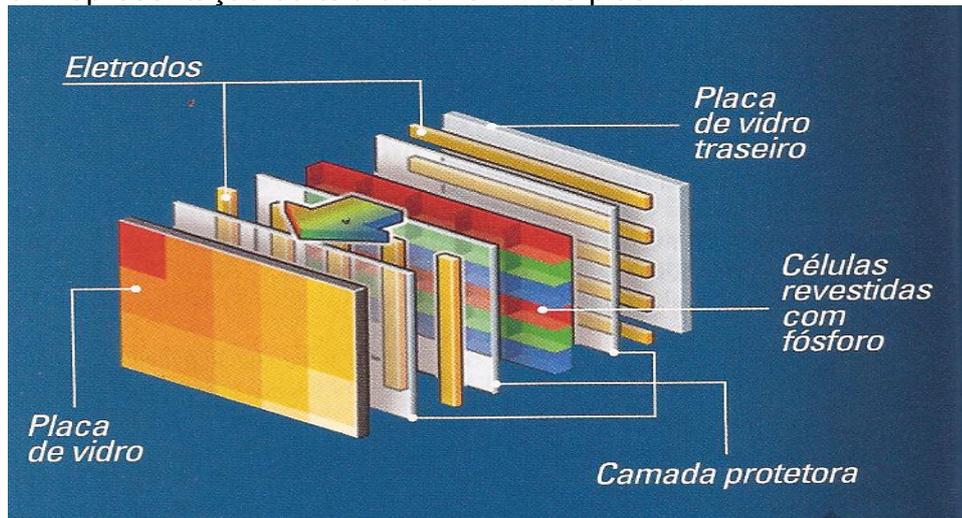


Fonte: <<http://www.iped.com.br/sie/uploads/20739.jpg>>. Acesso em: 25 ago. 2013.

A partir do entendimento do funcionamento básico da visão humana, pode-se entender o princípio de funcionamento de um televisor de plasma. Como já foi discutido ao longo do texto, o plasma é constituído por íons, gases neutros e elétrons, no qual podemos ter a emissão de luz por excitação desses gases, assim como a desaceleração dos íons e por recombinação eletrônica. Assim, pode-se produzir uma cor específica dependendo do grau de exatidão e do gás que se encontra dentro de um tubo de Crookes. Como já foi mostrado, para a visão humana, deve-se concentrar nas cores vermelho, verde e azul (RGB). Uma TV de plasma é constituída por minúsculos tubos de Crookes, a qual cada pixel contém três tubos: células revestidas com fósforo, podendo emitir em diferentes intensidades as três cores.

Os eletrodos, figura 35, aplicam uma diferença de potencial nas células de modo que aceleram os elétrons e ocorrem as colisões para a formação de plasma, as quais passam a emitir luz no ultravioleta e, ao interagir com o fósforo, tem-se a emissão das cores primárias.

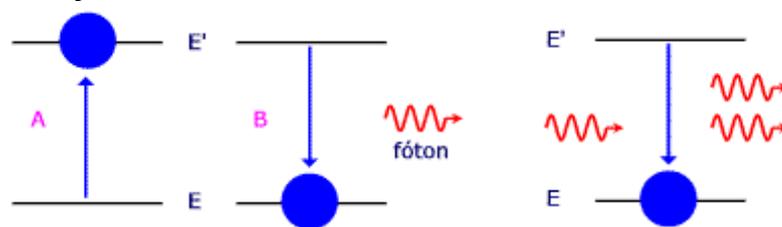
Figura 35: Representação da tela de uma TV de plasma.



Fonte: <http://www.gamelib.com.br/static/_versions/uploads/assets/junho-2012/plasma_content.jpg>. Acesso em: 25 ago. 2013.

Ao ser excitado, o plasma emite luz na faixa do ultravioleta, a qual interage com o fósforo, que, ao ser excitado, passa por um metaestado, estado intermediário de energia, e emite no visível em duas parcelas. Ao ser excitado, um átomo pode emitir dois fótons com energia menor do que a energia de excitação. Na figura à esquerda, temos um átomo emitindo um fóton com a mesma energia de excitação, porém, na figura da direita, tem-se emissão em níveis de energia intermediários, figura 36. Dessa forma, podemos dizer que, apesar da emissão do ultravioleta, quando a luz interage com o fósforo, essa radiação é dividida em dois fótons de energias menores e na faixa do espectro visível.

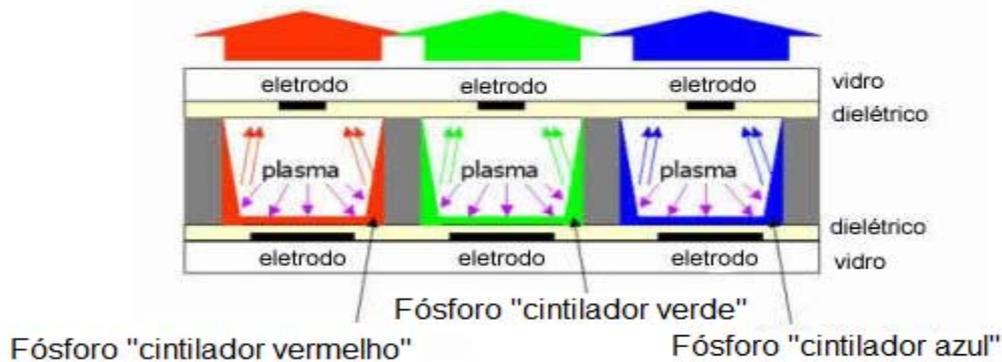
Figura 36: Representação da emissão estimulada.



Fonte: <<http://www.mspc.eng.br/elettrn/im01/laser102.gif>>. Acesso em: 25 ago. 2013.

Assim, o fósforo pode ser chamado de material cintilador, como pode ser observado na Figura 37.

Figura 37: Representação de um pixel de uma TV de plasma.



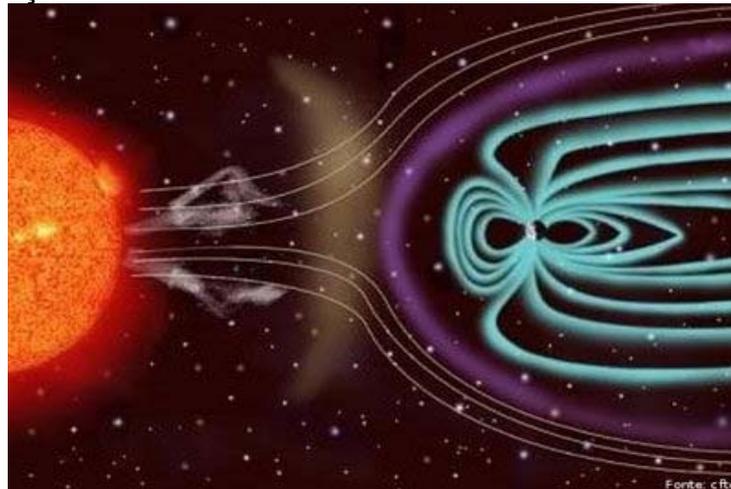
Fonte: <http://img.tomshardware.com/us/2005/03/09/lcd_or_plasma_/plasma_pixel.jpg>. Acesso em: 25 ago. 2013.

4.3.4 Plasma Solar e Auroras

Como já foi discutido, o plasma é utilizado para as fusões em altas temperaturas. A temperatura do Sol é extremamente alta, proporcionando densidades de agitação térmica suficientes para a ocorrência da ionização e a existência desse "mar" de elétrons e íons coexistindo, formando o que conhecemos como plasma. Esse plasma fornece os isótopos de hidrogênio, que são os combustíveis para a fusão, fornecendo a energia solar, a qual proporciona condições de vida na Terra, além de ser um campo muito atrativo, pois é uma forma de exploração energética pouco explorada e classificada como energia limpa e inesgotável.

Já foi discutido acima que o campo magnético pode interagir com o plasma, interação que foi descrita por Lorentz. O Sol está, a todo o momento, emitindo partículas ionizadas com velocidades altíssimas, chamadas de ventos solares. Esses íons atingem o campo magnético terrestre, onde parte dessas partículas é desviada da Terra e grande parte delas fica aprisionada no campo magnético terrestre. Essas partículas aprisionadas se aproximam da Terra nos polos geográficos, figura 38, que coincidem aproximadamente com os polos magnéticos do planeta. Ao interagir com os gases da atmosfera, podem excitá-los e, como já foi discutido, ao voltar ao estado fundamental, estes podem emitir luz. A interação ocorre, em sua maioria, com o hidrogênio e o oxigênio, fornecendo a coloração (frequência) que depende da energia de excitação.

Figura 38: Representação dos ventos solares e das auroras.

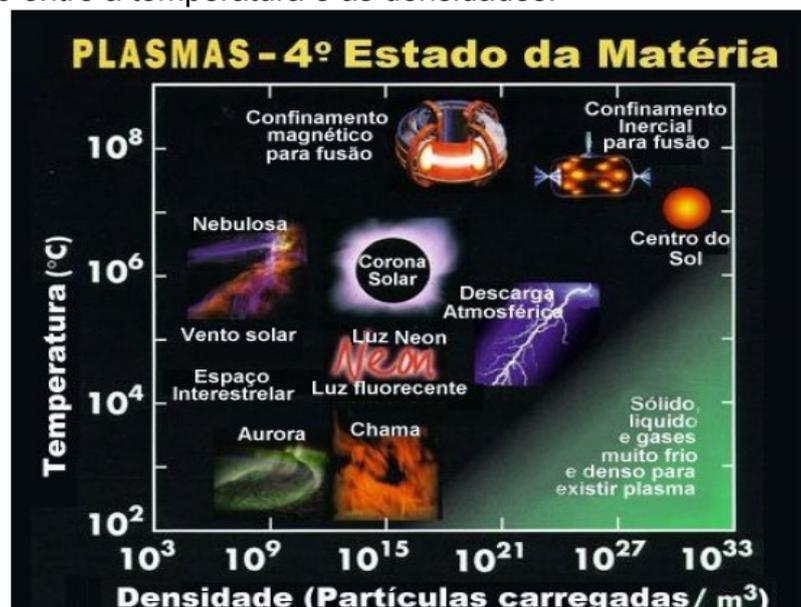


Fonte:

<http://www.ciencias.seed.pr.gov.br/modules/galeria/uploads/4/normal_228campo_magnetico_vento_solar.jpg>. Acesso em: 25 ago. 2013.

Após essas aplicações, ainda, pode-se notar que o plasma é muito comum em nosso dia a dia como as lâmpadas fluorescentes, o fogo em nossos fogões, as estrelas, os relâmpagos, faíscas em um curto-circuito ou quando se amola uma faca. Para finalizar as aplicações do plasma, tem-se a Figura 39, que relaciona a temperatura com a densidade das partículas em algumas das aplicações.

Figura 39: Relação entre a temperatura e as densidades.



Fonte: <<http://trad.fis.unb.br/plasmas/Aulas%20IFP.htm>>. Acesso em: 25 ago. 2013.

A figura 39 mostra a relação entre a densidade de partículas carregadas e a temperatura. Como se pode observar, quanto maior o número de partículas carregadas maior será a temperatura do plasma nessa região.

5 APORTES TEÓRICO-METODOLÓGICOS PARA A CONSTRUÇÃO DE UMA ABORDAGEM

Para a construção da abordagem, tem-se como pressupostos a pesquisa qualitativa de Bogdan e Biklen (1994) e para análise e decodificação dos dados Bardin (2002). Para a construção da Sequência Didática, utilizaremos as UEPS (Unidades de Ensino Potencialmente Significativas), que são sequências de ensino fundamentadas teoricamente, voltadas para a aprendizagem significativa não mecânica, que podem estimular a pesquisa aplicada em ensino, aquela voltada diretamente à sala de aula.

Para Bogdan e Biklen (1994), a pesquisa qualitativa pode ser identificada por 5 características:

- A valorização da necessidade do pesquisador manter o contato direto e prolongado com o mundo empírico em seu ambiente natural, uma vez que o fenômeno pode ser compreendido no contexto em que o ocorre e do qual é parte.
- As pesquisas qualitativas são descritivas. Nesse aspecto, o ambiente e as pessoas não são reduzidos a variáveis estatísticas / numéricas; busca-se o entendimento do todo, em toda a sua complexidade e dinâmica. Os dados coletados aparecem sob a forma de transcrições de entrevistas, anotações de campo, fotografias, desenhos e vários tipos de documentos. Não é possível compreender o comportamento humano sem levar em conta o quadro referencial e contextual em que os indivíduos se utilizam para interpretar o mundo em volta.
- As pesquisas qualitativas procuram compreender o fenômeno estudado a partir da perspectiva dos participantes considerando todos os pontos de vista importantes para esclarecer, sob diversos aspectos interpretativos, a situação em estudo.
- Os pesquisadores qualitativos usam do enfoque indutivo na análise dos dados. Não há preocupação em procurar dados ou evidências que corroborem com suposições ou hipóteses estabelecidas, a priori. O

pesquisador de orientação qualitativa, ao planejar desenvolver alguma teoria sobre o que está estudando, vai, pouco a pouco, construindo o quadro teórico à medida que coleta os dados e os examina.

- O Significado é de importância vital na pesquisa. Nessa etapa o pesquisado deve levar em contato fatores sociais do grupo ou do participante a ser investigado. Os autores afirmam que essas características não devem ser utilizadas no sentido de dizer se uma pesquisa é ou não qualitativa e sim para analisar o grau da pesquisa qualitativa.

Ainda no que se refere a pesquisa qualitativa, é relevante definir o estudo de caso segundo Bogdan e Biklen (1994), em que pode ser comparada a um funil, sendo o início das pesquisa a parte de cima com muitos dados e no final a parte mais fina onde os dados são refinados podendo convergir para uma análise mais precisa. Segundo os autores em um estudo desse cunho a sugestão é que as perguntas ou documentos a serem analisados não sejam muito específicos. Nesse sentido quando se pensa em uma análise de mapas de vários indivíduos a especificidade inicial é muito pequena, já que segundo MOREIRA (2010) não existe o mapa e sim mapas conceituais diferentes para cada indivíduo.

No que se refere ao estudo qualitativo e de caso, é importante levar em consideração o ambiente a ser pesquisado e as variáveis durante o processo tais como as relações entre os participantes e o local de aplicação, assim como a relação entre ele e o pesquisador. Bogdan e Biklen ainda afirmam que numa pesquisa de caso quanto menor o número de participantes maior é o risco de uma intervenção nos dados do participante. Por esse motivo é que se optou, nessa pesquisa, por duas implementações já que, durante a primeira, o público foi de apenas seis pessoas.

De acordo com Bogdan e Biklen (1994, p. 85)

O estudo de caso consiste na observação detalhada de um contexto, ou indivíduo, de uma única fonte de documentos ou de um acontecimento específico. Os estudos de caso podem ter graus de dificuldades variáveis; tanto participantes como investigadores experientes os efetuam, apresentando como características serem mais fáceis de realizar do que os estudos realizados em múltiplos locais simultaneamente ou com múltiplos sujeitos.

Os planos gerais de um estudo de caso podem ser representados como um funil. Num estudo qualitativo, o tipo adequado de perguntas nunca é muito específico.

Em um estudo de caso, o processo e as relações encontradas durante a pesquisa é mais importante do que o resultado final, já que a pesquisa é modificada no processo sofrendo adaptações para o público e/ou situações escolhidas para serem analisadas.

Uma das formas de organizar o material produzido pelos participantes é utilizando a análise de conteúdo de Bardin (2002), que tem como objetivo estudar textos, imagens e mapas em fragmentos de maneira sistematizada. A análise começa com pressupostos em Unidades, a priori, mas sabendo que essa pesquisa é qualitativa, como Bogdan mesmo nos diz, os dados surgem de maneira dinâmica e a pesquisa não deve ser focada apenas em pressupostos elaborados, a priori. É por isso que podem surgir unidades de análise que são chamadas de emergentes. Para Bardin (2002, p. 25)

De uma maneira geral, pode-se dizer que a subtileza dos métodos de análise de conteúdo corresponde aos objetivos seguintes:

- a superação da incerteza: o que julgo ver na mensagem estará lá efetivamente, podendo esta visão ser pessoal ou compartilhada por outros? Em outras palavras, será a minha leitura válida e generalizável?
- e o enriquecimento da leitura; se um olhar imediato, espontâneo já é fecundo, não aumenta a produtividade e a pertinência? Pela descoberta de conteúdos e de estruturas que confirmam (ou infirmam) o que se procura demonstrar o propósito das mensagens, ou pelo esclarecimento de elementos de significações susceptíveis de conduzir uma descrição de mecanismos de que a priori não detinhamos a compreensão.

Ainda em Bardin (2002, p. 27)

Um conjunto de técnicas de análise das comunicações visando obter, por procedimentos, sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens, indicadores (quantitativos ou não) que permitam a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção/recepção (variáveis inferidas) destas mensagens.

De acordo com Moreira (2010), só há ensino quando há aprendizagem e esta deve ser significativa; ensino é o meio, aprendizagem significativa é o fim, e materiais de ensino que busquem essa aprendizagem devem ser potencialmente significativos.

É relevante levar em consideração que, em um episódio de ensino, temos uma relação triádica²¹ entre professor, aluno e material didático (NOVAK; GOWIN, 1996), tendo como objetivo fazer com que o aluno possa captar e compartilhar significados aceitos no contexto da matéria de ensino. As UEPS sugerem uma sequência de passos a serem tomados durante a abordagem em sala de aula, em que todos os passos devem privilegiar materiais e estratégias de ensino diversificados de forma que os alunos não recebam respostas prontas, mas participem de um diálogo crítico, que deve ser estimulado.

Não existe receita pronta para se construir uma abordagem, pois a sala de aula é um sistema dinâmico; assim, o que foi planejado para uma turma pode não ser o ideal para outra. Dessa forma, a intenção é utilizar as UEPS como ferramentas e direcionamento para a aplicação, como é sugerido por Moreira (2010). Logo, o tempo de cada atividade proposta pode variar em relação ao que foi planejado. Isso pode ocorrer sem problemas desde que o aluno seja participante ativo desse processo.

Seguem os passos sugeridos em uma UEPS:

1) Definir o tópico específico a ser abordado, identificando seus aspectos declarativos e procedimentais, tais como aceitos no contexto da matéria de ensino na qual se insere esse tópico, respeitando-se as diferenças entre os conhecimentos declarativos e procedimentais, como apresentado por Sternberg (2000, p. 151):

Entretanto, a distinção entre estes conhecimentos declarativos e procedimentais está respectivamente entre “saber o quê” e “saber como” os indivíduos representam o conhecimento na mente. Assim, os psicólogos cognitivos, além de buscarem entender o “quê” (a forma ou a estrutura) do conhecimento, buscam entender o “como” ocorrem os processos da representação, bem como da manipulação do conhecimento na mente humana.

Pode-se, segundo Sternberg, entender essa ideia com um exemplo, em que o aluno pode saber, ter o conceito de bola, que pode ser tomado como conhecimento declarativo; no entanto, não sabe como pode utilizá-la ou para que utilizá-la, o que seria o conhecimento procedimental.

Outra definição pode ser dada por Zabala (1999): um conteúdo procedimental inclui as regras, as técnicas, os métodos, as habilidades, as

²¹ O conceito de relação triádica é citado por NOVAK, J. D.; GOWIN, D.B. (1996).

estratégias, os procedimentos, entre outras coisas. “É um conjunto de ações ordenadas e com finalidade, quer dizer, dirigidas à realização de um objetivo” (ZABALA, 1999, p. 10).

2) Criar ou propor situações para que o aluno externalize seu conhecimento prévio.

3) Propor situações-problema, em nível introdutório, levando em conta o conhecimento prévio do aluno, que preparem o ambiente para a introdução do conhecimento (declarativo ou procedimental).

4) Apresentar o conhecimento a ser ensinado/aprendido, levando em conta a diferenciação progressiva. Nesse ponto, pode-se utilizar o diálogo ou algumas discussões de um texto que contenham o tema geral e, depois, conteúdos específicos do assunto a serem abordados.

5) Após a discussão e negociação de significados, no item 4, pode-se promover a reconciliação integrativa, apresentando novamente os conceitos por meio de discussões em grupo ou por meio de experimentos e suas explicações.

6) Promover uma terceira apresentação dos conteúdos por meio de novas situações-problema que favoreçam a reconciliação integrativa em níveis mais altos de complexidade.

7) Respeitar a avaliação da aprendizagem, que deve ser feita ao longo de sua aplicação, registrando tudo que possa ser considerado indício de Aprendizagem Significativa Crítica.

8) Avaliar a aplicação da UEPS. A unidade de ensino só é positiva se o desempenho dos alunos fornecer indícios de Aprendizagem Significativa Crítica. É importante levar em consideração que a aprendizagem significativa é progressiva. Dessa forma, não se deve ficar preso a um produto final e sim a indícios de aprendizagem ao longo do processo.

Como se pode observar na sequência sugerida pela a Unidade, os conteúdos declarativos devem ser apresentados 3 vezes ao aluno em graus de generalidades diferentes. Inicialmente, com uma situação problemas de maneira mais geral possível; depois esses conceitos vão se tornando mais específicos, para que, no final, o aluno consiga resolver a situação problema.

5.1 A SEQUÊNCIA DIDÁTICA E AS UEPS

Os sujeitos escolhidos para a aplicação da UEPS, utilizando a história da Física do Plasma, foram alunos do 3º ano do Ensino Médio de duas escolas da rede particular de Londrina, Paraná. A escolha dos colégios e dos alunos do 3º ano do Ensino Médio se deve à facilidade de aplicação, pois o pesquisador leciona nesses colégios e também porque o tema foi trabalhado historicamente em um nível de abstração que necessita de que os alunos tenham conceitos ou subsunçores mais elaborados de eletromagnetismo, termodinâmica, estrutura da matéria, física estatística para que possam construir um Mapa Conceitual a respeito do tema.

Inicialmente foram convidados somente alunos de um colégio, primeira aplicação, no entanto compareceram apenas 6 alunos. Foi realizada então, no ano seguinte, já que a primeira aplicação ocorreu em novembro, uma nova implementação da sequência didática com alunos de dois colégios e, nessa situação, compareceram 14 alunos.

Os alunos foram convidados para participar das discussões divididas em duas etapas ou aulas, cada um com 70 minutos que, juntamente com intervalos, totalizou quase 3 horas. O tempo escolhido é justificado pelo tempo de aula em um desses colégios, onde a aulas tem duração de 70 minutos cada. O motivo de serem utilizadas duas aulas para a realização da aplicação se deve a grande quantidade de conteúdos que o professor juntamente com os alunos tem que dar conta durante o ano letivo. Os encontros foram realizados em um mesmo dia e fora do horário de aula. O convite foi feito, pois estamos interessados em um dos princípios ausubelianos, no qual o aprendiz só aprende se estiver disposto a isso.

Levando em consideração as UEPS, o primeiro item foi a escolha do tema, que foi a Física do Plasma. A partir do tema, deve-se definir os conteúdos declarativos e procedimentais, os quais esperamos que os alunos adquiram/utilizem durante o processo.

Conteúdos declarativos segundo Sternberg(2000) :

- Conceitos relativos ao Eletromagnetismo: conceito de Energia Potencial Elétrica, Campo Elétrico, Campo Magnético, Força de Lorentz e Força Magnética que age sobre e entre fios.

- Conteúdos relativos à Termodinâmica: conceitos de Energia Interna de um sistema e suas relações com a temperatura, calor, estados da matéria, variáveis de estado (pressão, volume e temperatura).
- Conteúdos relativos à estrutura da matéria: conceito de átomo, modelos atômicos, estados da matéria e seus graus de liberdade, densidade, processos de ionização e suas relações com o modelo atômico de Bohr.
- Conteúdos relativos à Física Estatística: conceitos de energia interna e suas relações com energia cinética das moléculas de um sistema; energia de ionização e a sua relação com a densidade de partículas neutras e ionizadas (equação de Saha). Construção de um Mapa Conceitual.

a) Conteúdos procedimentais segundo Zabala (1999): relacionar e reconhecer os conteúdos declarativos em resolução de situações-problema que busquem a explicação de fenômenos relacionados à Física do Plasma. Entender a importância dos conceitos físicos relacionados à tecnologia de forma crítica, e como esses podem ser utilizados em seu dia a dia para situações de seu próprio interesse ou de interesse coletivo.

Após as discussões acerca do tema, o aluno deve ter condições para, de maneira crítica, discutir a respeito da Física do Plasma e filtrar informações relativas ao tema, que existem em grandes quantidades, porém nem sempre com a devida qualidade, além de entender a tecnologia da Física do Plasma e o seu desenvolvimento em cada contexto histórico.

Antes de qualquer abordagem em sala, deve-se mostrar para os alunos o conceito de Mapa Conceitual e como construí-lo, já que eles foram avaliados por meio desse instrumento. Os sujeitos da pesquisa estudam em colégio onde se tem a utilização de mapas conceituais no material didático.

Após a definição dos conteúdos declarativos e procedimentais, lembrando que estes servem como planejamento para as ações durante a aplicação do tema, tem-se os próximos dois passos: o levantamento de conhecimentos prévios e a preparação para a introdução dos conteúdos. Para esses dois passos, Moreira (2010) sugere que sejam utilizadas situações-problema. Dessa forma, os alunos vão tentar explicar o funcionamento de um globo de plasma que será apresentado a eles. Para a explicação, eles deverão manuseá-lo e discutir entre eles o que estaria acontecendo em tal situação, além de tentarem estabelecer algumas possíveis

relações tecnológicas nas quais o plasma é utilizado. É importante o levantamento que essa ação constitui a primeira apresentação do assunto, e a UEPS sugere 3.

Ao final dessa apresentação, o(a) professor(a) apresenta alguns episódios históricos relevantes, utilizando-se de um arquivo em *Power Point*. Nessa etapa serão apresentados os conteúdos declarativos, levando em consideração a diferenciação progressiva, ou seja, os conteúdos são apresentados de forma mais geral e, após essa apresentação, os alunos podem negociar significados com o(a) professor(a) e seguir para conteúdos mais específicos. Para essa etapa, os alunos utilizaram como instrumento um resumo histórico, os mesmos apresentados na dissertação acerca do desenvolvimento da Física do Plasma.

A partir dessa leitura, deve-se considerar as discussões entre os alunos, priorizando o processo de reconciliação integrativa. Nessa etapa, o(a) professor(a) pode elencar pontos e, utilizando a História da Ciência, fazer a reconciliação integrativa e a diferenciação progressiva dos conteúdos com os alunos. Essa discussão será mediada por um arquivo em *Power Point* projetado na sala com os episódios históricos mais relevantes, confronto de ideias que levaram ao novo estado da matéria que foram estudados no texto.

De acordo com as UEPS, deve haver mais uma discussão dos conteúdos, ou seja, uma terceira apresentação, o que ocorrerá com as aplicações tecnológicas que serão questionadas e apresentadas no texto e pelo(a) professor(a).

Esse momento é importante, pois o aluno pode apresentar indícios da Aprendizagem Significativa Crítica, demonstrando os conteúdos procedimentais aprendidos no processo. Assim que ocorreu essa discussão, foi solicitado que os alunos construíssem Mapas Conceituais para que a UEPS pudesse ser avaliada e, conseqüentemente, a aprendizagem, pois, para Moreira (2010), a UEPS só é válida se o aluno apresentar indícios de Aprendizagem Significativa Crítica.

O tempo estimado para cada situação é apresentado no quadro 3, lembrando que o encontro deve ser de 2 horas e 30 minutos, dividido em duas etapas, correspondentes a duas aulas, cada uma com 70 minutos de duração. O tempo foi pensado em uma situação real de sala de aula, pois as aulas do colégio onde foi realizada a aplicação tem duração de 70min. Em um colégio onde as aulas tem duração de 45min, poderiam ser utilizadas três aulas.

Quadro 3: Tempo proposto para implementação das atividades.

Primeira Etapa (Aula)	Segunda Etapa (Aula)
Apresentação do tema e da situação problema. Tempo Estimado : 10 min.	Leitura de texto e discussão acerca das tecnologias. Tempo Estimado: 10 min.
Apresentação de episódios históricos acerca da evolução da Física do Plasma, e um pequeno vídeo sobre o tubo de Crookes. Tempo Estimado: 10 min.	Intervenção do professor e apresentação/negociação de significados para as tecnologias relacionadas à Física do Plasma. Tempo Estimado: 10 min.
Leitura do texto histórico (da dissertação). Tempo Estimado: 30 min.	Construção de um Mapa conceitual individual. Tempo Estimado: 20 min.
Discussão e manuseio do <i>software Cmap Tolls</i> . Tempo Estimado: 20 min.	Construção de um Mapa conceitual feito pelo grupo e fechamento. Tempo Estimado: 30 min

Fonte: O próprio autor.

5.2 ANÁLISE DOS DADOS

Como já foi dito, para a análise e interdecodificação dos dados, iremos nos basear em Bardin (2002) e seu estudo acerca da Análise de Conteúdo. O referencial utilizado na análise sugere três momentos importantes: a escolha dos documentos a serem analisados, a formulação das hipóteses e dos objetivos e a elaboração de indicadores que fundamentem a interpretação final. Esses fatores não necessitam de uma ordem cronológica, mas estão intimamente relacionados entre si, pois a escolha de documentos depende dos objetivos e vice-versa. Sendo assim, os documentos a serem analisados serão os Mapas Conceituais construídos pelos alunos.

Serão analisados Mapas de dois grupos de alunos, divididos em duas implementações da unidade didática. Na primeira implementação, mapas de 1

ao 6 que foram construídos em dois momentos. O primeiro durante a aplicação em novembro de 2013 e, 6 meses após a aplicação, em maio, esses alunos foram contatados pelo pesquisador para uma nova construção de mapas, no entanto apenas 4 deles realizaram um novo mapa. O Segundo grupo de alunos a serem analisados constitui um grupo de 14 alunos de dois colégios, que construíram somente um mapa e não realizam o posterior de 6 meses.

Os mapas foram construídos por meio do *software Cmap Tolls*²² gratuito para download e utilização. Durante a implementação da UEPS, os alunos construíram mapas individuais e, ao final da implementação, um mapa em grupo, levando em consideração a negociação de significados, que é um fator importante para a Aprendizagem Significativa Crítica.

A hipótese é a de nossos referenciais (BATISTA, 2004; 2013; LAVAQUI; BATISTA, 2007; MATTHEWS, 1995; MOREIRA, 2000; 2010; ROBILOTTA, 1988; SALVI; BATISTA, 2008), os quais nos apresentam que o contexto histórico e as relações entre as ideias em diferentes épocas são relevantes e podem contribuir ao ensino de Física.

Pode-se ainda dizer que aspectos da História da Ciência são importantes para uma Aprendizagem Significativa Crítica de conteúdos escolares no nível médio (BATISTA, 2004; 2013; LAVAQUI; BATISTA, 2007; MOREIRA, 2000; 2010). Espera-se que nesses Mapas Conceituais sejam encontrados indícios da Aprendizagem Significativa Crítica e suas relações com a História da Ciência e FMC juntamente com suas aplicações. Como indicadores da Aprendizagem Significativa Crítica, o interesse é encontrar nos mapas a diferenciação progressiva, a reconciliação integrativa, a História da Ciência e a aplicação de conceitos com as tecnologias utilizadas pelos alunos.

Segundo Bardin (2002), para a codificação ou agregação dos dados brutos, deve-se fazer recortes completos do conteúdo, que são divididos em Unidades de Contexto (UC) e Unidades de Registro (UR).

A respeito das Unidades, Bardin (2002, p. 100) afirma:

A Unidade de Contexto serve de unidade de compreensão para codificar a unidade de registro e corresponde ao segmento da mensagem cujas dimensões (superiores às da unidade de registro) são ótimas para que se possa compreender a significação exata da unidade de registro. Isto pode, por exemplo, ser a frase para a palavra e o parágrafo para o tema.

²² Software pode ser encontrado para Download em: <http://cmap.ihmc.us/download/>

Ainda, “Unidade de Registro é a unidade de significação a codificar e corresponde ao segmento de conteúdo a considerar como unidade de base, visando a categorização e a contagem frequencial” (BARDIN, 2002, p. 99).

É importante dizer que a partir desse momento será utilizado somente o termo mapa para os mapas dos alunos, pois alguns alunos não construíram mapas conceituais, ou seja, mapas contendo apenas conceitos nas caixa principais. Esse grupo constitui principalmente os alunos da primeira implementação.

Dessa forma, para a análise dos dados, foram elaboradas inicialmente três Unidades Temáticas de Contexto (UC), em que a **UC1** contempla Mapas que apresentam a Diferenciação Progressiva e/ou Reconciliação Integrativa por meio da História e Filosofia da Ciência; a **UC2** contempla relações de conceitos envolvendo as aplicações tecnológicas e a História e Filosofia da Ciência; e a **UC3** não demonstra relações entre conceitos envolvendo as aplicações tecnológicas citadas no texto e outras utilizadas pelos alunos.

Assim, para cada Unidade Temática de Contexto foram elaboradas algumas Unidades de Registro.

Para a **UC1**, foram elaboradas cinco Unidades de Registro Prévias (UR).

UR1.1: “Diferenciação Progressiva dos conceitos da Física do Plasma” para agrupar mapas que contemplam somente a Diferenciação Progressiva;

UR1.2: “Reconciliação Integrativa da Física do Plasma”, para agrupar mapas que contemplam somente a Reconciliação Integrativa;

UR1.3: “Diferenciação Progressiva e Reconciliação Integrativa da Física do Plasma somente por meio da História da Ciência”, para agrupar mapas que contemplam a Diferenciação Progressiva e a Reconciliação Integrativa somente por meio da História da Ciência, usando episódios ou ideias apresentadas na síntese histórica;

UR1.4: “Diferenciação Progressiva e Reconciliação Integrativa da Física do Plasma”, para agrupar mapas que contemplam a Diferenciação Progressiva e a Reconciliação Integrativa por meio da História da Ciência e por outros exemplos;

UR1.5: “Diferenciação Progressiva e Reconciliação Integrativa da Física do Plasma sem utilização da HFC”, para agrupar mapas que contemplam

somente a Diferenciação Progressiva e a Reconciliação Integrativa sem relações com a História da Ciência, mas por outros exemplos;

A **UC2** tem como objetivo demonstrar as possíveis relações que o aluno faz entre conceitos estudados com aplicações tecnológicas e a História da Ciência. A partir dessa UC, pode-se elaborar as Unidades de Registro Prévias.

UR2.1: “Relações entre conceitos estudados e tecnologias apresentando relações e conceitos pertinentes aos utilizados cientificamente”. Contempla mapas que apresentam aplicações aceitas no meio científico, mas não apresentam fragmentos da História da Ciência.

UR2.2: “Relações entre conceitos estudados e tecnologias apresentando aplicações e conceitos pertinentes aos utilizados cientificamente utilizando a História da Ciência”. Contempla mapas que apresentam relações aceitas no meio científico utilizando fragmentos da História da Ciência.

UR2.3: “Relações entre conceitos estudados e tecnologias apresentando aplicações e conceitos não pertinentes aos utilizados cientificamente”. Contempla mapas que apresentam relações, mas que não são aceitas no meio científico e ainda não apresentam fragmentos da História da Ciência.

UR2.4: “Relações entre conceitos estudados e tecnologias apresentando aplicações e conceitos não pertinentes aos utilizados cientificamente utilizando a História e Filosofia da Ciência”. Contempla mapas que apresentam relações, mas que não são aceitas no meio científico e apresentam fragmentos da História da Ciência.

UR2.5: “Inexistência de aplicações tecnológicas apresentadas no texto ou elaboradas pelo aluno a partir de seus subsunçores”. Contempla mapas que não apresentam aplicações tecnológicas.

Para a **UC3**, que apresenta mapas que podem ou não contemplar relações entre conceitos estudados com aplicações tecnológicas apresentadas no texto ou que apresentam novos exemplos, foram elaboradas:

UR3.1: “Ausência de relações entre conceitos estudados com aplicações tecnológicas, mas contém fragmentos da História e Filosofia da Ciência”. Contempla mapas que não apresentam relações com as tecnologias, porém contém fragmentos da História da Ciência.

UR3.2: “Ausência de relações entre conceitos estudados com aplicações tecnológicas por meio de novos exemplos”. Contempla mapas que não

apresentam relações com as tecnologias com exemplos diferentes aos apresentados no texto.

UR3.3: “Ausência de relações entre as tecnologias e aplicações com a História e Filosofia da Ciência”, no entanto contempla novos exemplos. “Contempla mapas sem fragmentos de aplicações tecnológicas apresentadas no texto por meio da História e Filosofia da Ciência, mas contém novos exemplos de aplicações da física do Plasma”

UR3.4: “Ausência de relações entre a tecnologias e aplicações com a História da Ciência.” “Contempla mapas sem fragmentos de aplicações tecnológicas sem novos exemplos e sem episódios históricos apresentados no texto.”

UR3.5: “Contempla relações entre a tecnologias e aplicações com a História da Ciência”. “Contempla mapas com fragmentos de aplicações tecnológicas apresentadas no texto e com novos exemplos, além de apresentar História da Ciência no mapa.”

A partir dessas Unitarizações, o próximo passo, segundo Bardin, é a análise que será feita por meio de um quadro que contém as UCs e URs juntamente com a contagem frequencial. Após a análise do quadro, pode-se utilizar alguns mapas para exemplificar algumas unidades, e, no final da análise, fazer uma comparação com o mapa feito pelos alunos com os mapas elaborados pelo grupo e com outro feito pelo pesquisador.

A comparação será feita por meio das unidades com maiores frequências usando o referencial teórico já citado e o mapa esperado pelo pesquisador. Em seguida, serão levantados pontos positivos e as dificuldades de implementação.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 OS DADOS, E AGORA?

Participaram da pesquisa um total de vinte alunos em duas implementações. Na primeira implementação, compareceram 6 alunos convidados de uma turma de 30, e, na segunda, participaram 14 alunos de dois colégios diferentes que foram identificados por números, ou seja, cada aluno tem um número de 1 a 20, escolhido aleatoriamente.

É importante dizer que a primeira implementação foi dividida em duas etapas, as quais os alunos construíram dois mapas: um na aplicação e outro seis meses depois. Os mapas que foram elaborados seis meses após foram identificados com o número 2 após a identificação. Dessa forma, será usada a abreviação A1, para o aluno 1, e A1.2, para o aluno 1 na segunda parte da implementação, e assim por diante. Para o mapa coletivo, usaremos C. Os alunos levaram para os responsáveis Termos de Consentimento Livre Esclarecido, que estão em anexo, para serem assinados.

A análise foi dividida em duas etapas: na primeira implementação, que caracteriza um grupo de alunos e um caso e, a segunda, que é formada por outro grupo de alunos. A divisão foi feita dessa forma, pois, como o grupo é formado por pessoas diferentes, com relações sociais diferentes e em momentos distintos, caracterizam casos diferentes (BOGDAN E BIKLEN, 1994). Assim, pode-se dizer que, para a análise, tem-se dois casos os quais podem ter características comuns demonstrando assim a validade das unidades que foram elaboradas para o estudo.

Unidades de Contexto e Registro podem emergir em análises, o que, de fato, aconteceu na análise dos mapas da primeira implementação, pois alguns contemplam exemplos de tecnologias associadas ao estudo do plasma, no entanto não há caracterização de diferenciação progressiva e/ou reconciliação integrativa, mas em outros há. Sendo assim, foi necessária a elaboração de uma Unidade de Contexto Emergente (**UCE**), que reúne mapas os quais contêm fragmentos de aplicações tecnológicas, podendo ou não contemplar a diferenciação progressiva e reconciliação integrativa desses conceitos. Nessa UCE, foi relatada a reconciliação integrativa e a diferenciação progressiva, pois, após a análise, foi constatado que sempre que houve a reconciliação integrativa ocorreu também a diferenciação

progressiva. Para essa UCE foram elaboradas as Unidades de Registro Emergentes:

URE 4.1: “Mapas com fragmentos que tenham exemplos de aplicações tecnológicas da física do plasma, no entanto sem Diferenciação Progressiva e/ou Reconciliação Integrativa desses exemplos”. Serão classificados nessa UR mapas que apresentam esses exemplos, sem maiores relações e especificidades, não caracterizando dentro desse quesito a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa, ou ainda que não apresentam relações de aplicações tecnológicas qualquer.

URE 4.2: “Mapas com fragmentos que tenham exemplos de aplicações tecnológicas da física do plasma por meio de Diferenciação Progressiva e Reconciliação Integrativa”. Serão classificados nessa UR mapas que apresentam esses exemplos com relações e especificidades caracterizando a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa.

Após a elaboração dos mapas, foi pedido para os alunos responderem uma pergunta que surgiu no momento da aplicação por meio de um comentário de um aluno. O aluno perguntou isto: “por que professores não utilizam esse tipo de abordagem histórica, pois eu acho muito importante”. Desse modo, eles foram questionados como que uma abordagem histórica pode contribuir para o entendimento e aprendizado de algum conceito, surgindo, então, mais uma Unidade de Contexto Emergente, que será chamada de **UCE 5**, a qual contempla respostas a respeito da importância de uma abordagem histórica de alguns assuntos de Física no Ensino Médio. Para essa **UCE** foi possível elaborar URE, Unidades de Registros Emergentes.

URE 5.1: “Alunos que entendem a utilização de abordagem que contempla HFC para processos de memorização do conteúdo”. Contempla respostas de alunos que entendem que a HFC facilita no processo de memorização de alguns conceitos físicos.

URE 5.2: “Alunos que entendem a utilização de abordagem que contempla HFC para uma melhor compreensão dos conceitos atuais”. Contempla respostas de alunos que entendem que a abordagem histórica facilita na compreensão de conceitos físicos atuais.

URE 5.3: “Alunos que entendem a utilização de abordagem que contempla HFC contribuem para uma humanização da Ciência, respeitando as

ideias e sua evolução até os dias atuais”. Contempla respostas de alunos que entendem que a abordagem utilizando a HFC contribui para o aprendizado sobre como a Ciência é desenvolvida por seres humanos de forma dinâmica, e que ideias são discutidas e testadas para se ter os resultados utilizados atualmente.

URE 5.4: “Alunos que entendem que uma abordagem histórica favorece no processo de interdisciplinaridade.” Contempla respostas de alunos que relatam que uma abordagem de um determinado assunto por meio da HFC contribuem para uma interdisciplinaridade.

URE 5.5: “Alunos que não responderam a pergunta.” Contempla mapas com ausência de resposta sobre o tema HFC.”

Durante a análise, foi constatado que alguns mapas não caracterizam de fato um mapa conceitual. Optou-se então para riqueza de detalhes e análise da unidade de ensino e sua implementação ao elaborar uma nova unidade de contexto emergente **UCE 6**, que tem por finalidade analisar mapas conceituais e mapas não conceituais. Para essa Unidade, foram elaboradas duas unidades de registro:

URE 6.1: “Mapas elaborados pelos alunos que podem ser considerados como mapa conceitual.” Contempla mapas que apresentam em destaque conceitos e não ações e textos explicativos.

URE 6.2: “Mapas elaborados pelos alunos que não podem ser considerados como mapa conceitual.” Contempla mapas que não apresentam em destaque conceitos e sim ações, nomes e textos explicativos.

As unidades emergiram durante a análise da primeira implementação, ou seja, para o primeiro caso. Na segunda implementação, as unidades foram tomadas como prévias já que as mesmas constituíam o quadro de análise antes dessa implementação. Dessa forma, na análise do segundo caso, as unidades de contexto de 4 a 6 não são apresentadas como emergentes.

6.2 A ANÁLISE

6.2.1 A análise da primeira implementação

Primeiramente, os dados foram classificados em um quadro geral, Quadro 4, e após essa unitarização foram discutidos os resultados de cada Unidade

de Contexto e suas respectivas Unidades de Registros separadamente. Após a análise do primeiro caso, as unidades de registros que tiveram maior frequência para uma comparação com o mapa do grupo e do pesquisador levando em consideração o referencial teórico.

Quadro 4: Unitarização para a primeira implementação.

UNIDADES DE REGISTRO	MAPAS DA PRIMEIRA IMPLEMENTAÇÃO.
UR1.1	-
UR1.2	-
UR1.3	A2;
UR1.4	A1; A3; A4; A5; A6; A2.2 ; A1.2;
UR1.5	A5.2; A6.2
UR2.1	A1;A2;A3;A4;A5;A6; A1.2; A2.2; A5.2; A6.2;C
UR2.2	-
UR2.3	-
UR2.4	-
UR2.5	-
UR3.1	-
UR3.2	A1;A2;A3;A4;A5; A1.2; A2.2; A5.2; A6.2;C
UR3.3	-
UR3.4	-
UR3.5	A6;
URE4.1	A1;A2;A4;A5; A1.2; A2.2; A5.2; A6.2;
URE4.2	A3; A6
URE5.1	A1;
URE5.2	A6;
URE5.3	A2; A3; A4;
URE5.4	-
URE5.5	A1.1; A2.2; A5; A5.2; A6.2
URE6.1	A1.1; A2.2; A6.2; C
URE6.2	A1; A2; A3; A4; A5; A5.5 A6;

Fonte: O próprio autor.

Análise da UC1: como se pode observar no Quadro 4, a maior incidência de dados encontra-se na UR1.4, que contempla mapas com diferenciação progressiva e reconciliação integrativa por meio da História da Física e de outros exemplos. Esses mapas foram agrupados nessa UR, pois os alunos

praticamente dividiram esses mapas em dois: uma parte com episódios históricos contemplados no texto base, e outra com outros exemplos e relações. Como essa categoria é mais abrangente, foram considerados mapas que contemplavam nomes de pesquisadores e/ou episódios como experimentos históricos que desencadearam a idéia atual sobre a física do plasma.

De acordo com Moreira (2006), a diferenciação progressiva é observada em mapas conceituais quando conceitos mais gerais, que estão no topo, englobam conceitos mais específicos que se encontram na base do mapa, e conceitos de mesmo grau de generalidade aparecem aproximadamente na mesma posição vertical, demonstrando, assim, o caráter bidimensional de um mapa.

Conceitos idênticos podem aparecer em diferentes posições verticais, desde que estes tenham relações diferentes. Dessa forma, alguns mapas, apesar de não serem conceituais elaborados pelos alunos, contemplam os mesmos conceitos, no entanto, com relações diferentes. Por esses motivos, mapas poderiam ser divididos, os quais alguns conceitos são repetidos, no entanto com abordagem histórica, com exemplos do texto histórico, e outra parte com conceitos, mas sem exemplos de conflitos de ideias abordadas no texto histórico, ou seja, sem a diferenciação a partir do conflito de ideias por meio de conceitos históricos.

É interessante notar que alunos A5.2 e A6.2, que refizeram o mapa da primeira abordagem, foram unitarizados na UR1.5 na segunda etapa e na primeira na UR1.4. Dessa forma, pode-se perceber que, no segundo mapa, os alunos não relataram exemplos que continham episódios históricos ou nomes de cientistas que elaboraram experimentos para o desenvolvimento das ideias da física de plasma. Vale ainda ressaltar que o aluno A5.2 fez um mapa com uma quantidade muito menor de relações. De acordo com Moreira (2006), o que pode ter acontecido é o esquecimento e/ou uma mudança de subsunçores, que são passos importantes durante a aprendizagem significativa de um dado conceito, ou, ainda, que o aluno simplesmente não deu a devida importância para a reconstrução do mapa.

No mapa, pode-se observar a hierarquia de conceitos, no entanto, na parte direita do mapa, pode-se observar que A1 trabalhou com conceitos e exemplos que estavam no texto histórico e que o conceito de luminescência e de condutibilidade elétrica é repetido na vertical. Entretanto, estes aparecem em uma parte com exemplos históricos observados por Crookes (1879) e em outra posição, somente relatados.

Tem-se, nesse mapa, um exemplo de bidimensionalidade, já que vários conceitos são relatados na horizontal e com mesmo grau de generalidade, como citado nas observações de Crookes (1879), e conceitos mais gerais, superordenados, são relatados em posições acima. Ainda, na parte em que são citados episódios históricos, tem-se uma riqueza de relações entre conceitos demonstrando a importância de uma abordagem histórica.

Enfatizamos o papel que a História e a Filosofia da Física podem desempenhar, como subsídio para a melhoria do ensino de Física, pela relação que esses domínios de conhecimento possuem e demonstram com as estruturas cognitivas de conhecimento e com as concepções prévias, como fonte de exemplares históricos analiticamente estudados que mostram a estrutura e a dinâmica da construção de uma teoria, como também fonte de concepções alternativas (que podem ser competidoras ou não) de explicações e conceitos (BATISTA, 2004, p. 461).

Os alunos não foram orientados para descrever em seus mapas nomes de cientistas ou episódios históricos, e sim para construir um mapa sobre o conceito plasma, e é relevante dizer que, mesmo sem a orientação, a HFC aparece na maior parte dos mapas desse grupo de alunos. Dessa forma, pode-se inferir que, para esse grupo de alunos, a abordagem histórica e seus episódios contribuíram para os alunos descreverem o conceito de plasma.

Análise da UC2: a intenção dessa UC era encontrar relações entre a HFC, conceitos tecnológicos e aplicações no cotidiano dos alunos. Como é observado no Quadro 4, todos os alunos foram unitarizados na UR2.1, que contempla aplicações, porém sem fragmentos da HFC.

Assim, os alunos não utilizaram ou relacionaram a HFC com as aplicações, talvez porque no texto essas partes se encontravam separadas, propositalmente, pois para a aprendizagem ser significativa os alunos deveriam mostrar relações diferentes das apresentadas, assim como serem submetidos a situações diferentes.

Testes de compreensão devem, no mínimo, ser escritos de maneira diferente e apresentados em um contexto, de certa forma, diferente daquele originalmente encontrado no material instrucional. Solução de problemas, sem dúvida, é um método válido e prático de se procurar evidência de aprendizagem significativa. Talvez seja, segundo Ausubel, a única maneira de avaliar, em certas situações, se os alunos, realmente, compreenderam significativamente as ideias que são capazes de verbalizar (MOREIRA, 2006, p. 28).

Vale ainda ressaltar que, inicialmente, as aplicações foram colocadas em pequenas caixas com cores diferentes ao longo do texto histórico quando era conveniente, ou seja, quando surgia algum conceito que é utilizado em tais aplicações. Mas, para enriquecimento de análise, foi pensado que seria interessante deixar as aplicações no final do texto para verificar se os alunos iriam relacioná-las com a HFC. Apesar da não utilização da HFC como auxílio das aplicações tecnológicas, pode-se observar que ainda assim os alunos não tiveram erros conceituais, talvez porque construíram o mapa logo após a leitura do texto, ao assistirem ao vídeo e ao discutirem sobre o tema.

Os alunos que refizeram os mapas foram classificados na mesma UR, tanto na primeira quanto na segunda construção do mapa, demonstrando a não utilização da HFC como auxílio para a exemplificação das aplicações tecnológicas, no entanto relatando as aplicações do texto. É importante notar que, mesmo com ausência de relações entre HFC, os alunos, após seis meses da primeira construção dos mapas e sem o texto de apoio, ainda demonstraram aplicações tecnológicas. Pode-se inferir que os exemplos de aplicações tecnológicas podem ser considerados como conceitos significativos para esse grupo.

Observa-se, ainda, que, em alguns mapas, os alunos fizeram a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa na parte do mapa em que se encontravam as aplicações, surgindo, então, uma Unidade de Contexto Emergente.

O que se pode perceber nesse item é que todos os alunos apresentam as aplicações na mesma ordem em que se encontravam no texto e sem a utilização de HFC, talvez por estarem acostumados a darem respostas prontas e exatamente como são apresentadas no texto. Vale ressaltar que esse fato ocorre quando Moreira (2010) cita os conceitos fora de foco, que revela o ensino mecânico e “treinador” para resolução de apenas um grupo de problemas ou situações.

Análise da UC3: essa unidade foi elaborada para unitarizar possíveis mapas que não apresentavam aplicações tecnológicas ou que contemplavam, mas não traziam relações com o apresentado no texto e se nesses mapas existiam contexto histórico.

A UR que demonstra que todos os alunos, exceto o alunos A6, foram classificados na UR3.2, em que os mapas apresentam somente conceitos que estão presentes no texto sem novos exemplos.

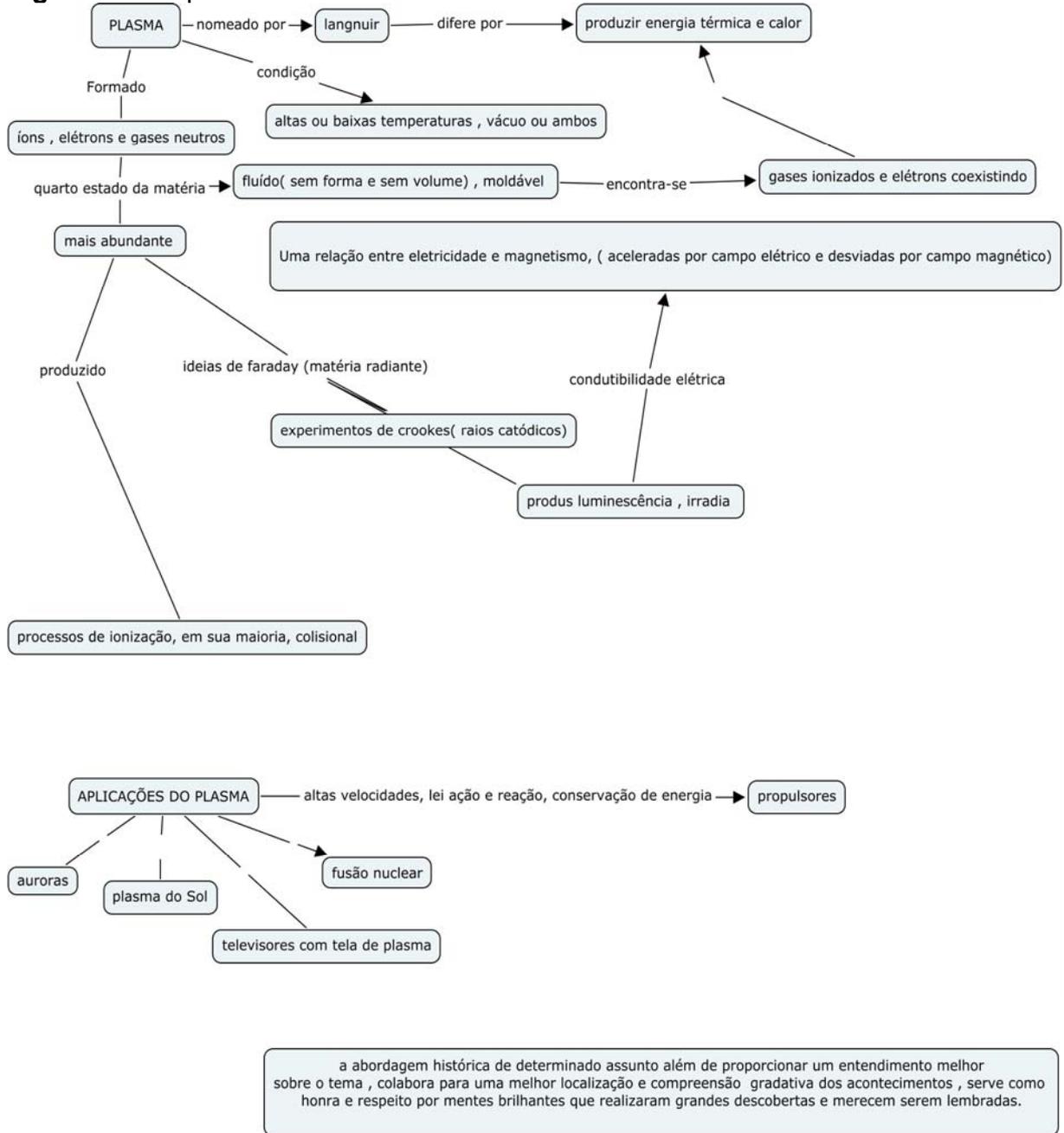
É relevante ressaltar que os alunos que refizeram os mapas foram classificados nessa UR, tanto na primeira construção de mapas quanto na segunda, demonstrando assim que, talvez, pelo menos os conceitos apresentados no texto foram significativos, já que depois de seis meses as aplicações, mesmo sem o texto de apoio, ainda aparecem nos mapas, no entanto com uma quantidade menor de exemplos. Nesses mapas o exemplo que mais foi citado foi a tela da TV de plasma. Acredita-se, de acordo com os referenciais (MONTEIRO; NARDI, 2007; OSTERMANN; MOREIRA, 2000; OSTERMANN; CAVALCANTI, 1999; TERRAZAN, 1992 BRASIL, 2006), que isso pode ter ocorrido, pois esse conceito explica o funcionamento de um dispositivo no dia-dia dos alunos.

Ainda o aluno A2, unitarizado na UR3.2 que demonstrou somente exemplos no texto, elaborou outro mapa ao lado do que definiu o que era plasma sem relação alguma entre o conceito plasma e suas aplicações.. No texto, as aplicações tecnológicas foram apresentadas em um tópico separado do resumo historiográfico e, talvez, por esse motivo, o aluno não relacionou esses aspectos com os demais. Moreira (2010) nos diz a respeito dos conceitos fora de foco, dos quais um deles é a reprodução de alguma coisa como se fosse a verdade e a resposta como pronta fechada em certo ou errado.

Dessa maneira, o aluno pode estar condicionado a trabalhar os conceitos da maneira que lhe são apresentados, sem expandir suas idéias, fazendo relações e mudando a generalidade de seus conceitos ou proposições subsunçores. De acordo com a Figura 40, pode-se observar que o aluno A2 elaborou dois mapas sem “conectividade” entre eles e, por esse motivo, esse mapa foi classificado nessa UR, ou seja, mapas que não contemplam aplicações.

Apesar de ter as aplicações presentes na imagem, um fator importante, talvez um dos mais importantes, é a relação entre conceitos, ou seja, a mudança dos conceitos subsunçores do aluno se dá por meio de interações que são resultados de relações entre o novo e o conceito subsunçor. Quando se tem a interação desses conceitos por meio de relações, pode-se dizer que o aprendiz retém o conteúdo de maneira significativa e, ainda, que seus subsunçores são agora mais elaborados.

Figura 40: Mapa do aluno A2.



Fonte: o próprio autor.

Quando esse aluno não demonstra novos exemplos, não se pode afirmar que eles não sabem, ou que não pensaram nesses outros exemplos, e sim que não foram relatados nos mapas

Para Moreira (2010), a não verbalização de novas situações significa que o aprendiz não tem condições, conhecimento, ou então não quis atribuir novos exemplos, podendo ser indício de uma aprendizagem mecânica.

Segundo (MOREIRA, 2010, p. 12),

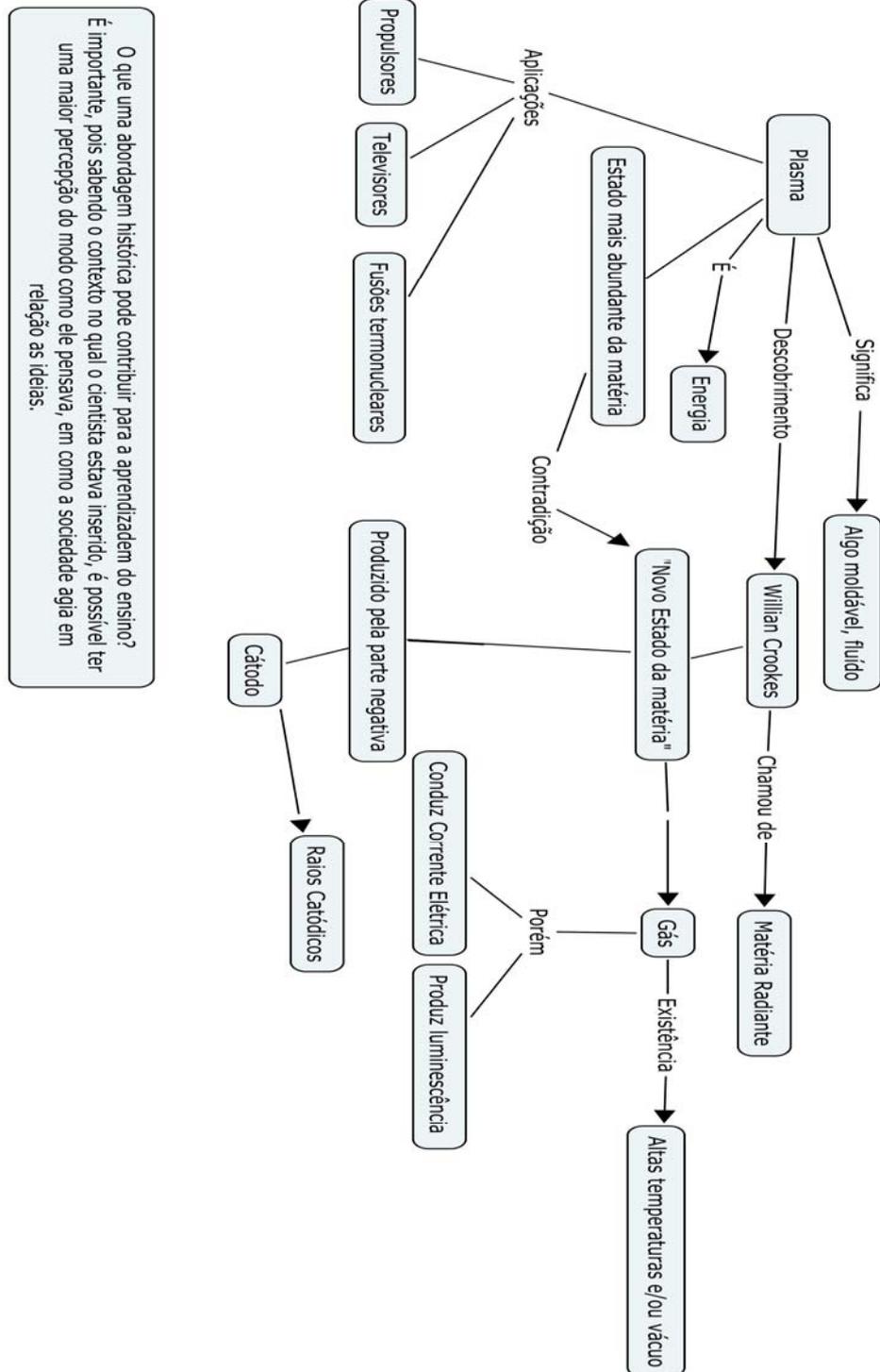
Princípio da consciência semântica. Este princípio facilitador da aprendizagem significativa crítica implica várias conscientizações. A primeira delas, e talvez a mais importante de todas, é tomar consciência de que o significado está nas pessoas, não nas palavras. Sejam quais forem os significados que tenham as palavras, eles foram atribuídos a elas pelas pessoas. Contudo, as pessoas não podem dar às palavras significados que estejam além de sua experiência. Observa-se aí, outra vez, a importância do conhecimento prévio, i.e., dos significados prévios na aquisição de novos significados. Quando o aprendiz não têm condições, ou não quer atribuir significados às palavras, a aprendizagem é mecânica, não significativa.

Pode-se entender que talvez os alunos não tenham atribuído novos exemplos por não tentarem ampliar os resultados e exemplos dados, ou seja, estão acostumados a serem testados por perguntas e respostas que contemplem somente o que está no texto e com o conceito de certo e errado, chamados de conceitos fora de foco por Moreira. Pode até ser que alguns alunos pensaram em outros exemplos, mas, pelos motivos já apresentados, resolveram não exemplificar, ficando na sua zona de conforto. Ainda nessa UR, nenhum aluno trouxe somente novos exemplos, ou seja, sempre que aparecem novos exemplos há também exemplos contidos no texto.

Análise da UCE 4: essa unidade reúne mapas que contêm fragmentos de aplicações tecnológicas podendo ou não contemplar a diferenciação progressiva e reconciliação integrativa desses conceitos. O objetivo é encontrar mapas com exemplos mais específicos e com mais relações no que diz respeito a aplicações de tecnologias.

A partir do Quadro 4, pode-se observar que 8 dos 10 mapas foram unitarizados na URE4.1, que contempla mapas com ausência de exemplos de aplicações tecnológicas ou de exemplos de aplicações, no entanto sem uma diferenciação progressiva e reconciliação integrativa evidente, ou seja, não contempla especificidades desses exemplos. Nessa unidade, os alunos podem ou não representar alguns exemplos nos mapas, sem a preocupação de uma divisão ou aprofundamento, como se pode observar no mapa da Figura 45.

Figura 41: Mapa do aluno A4.

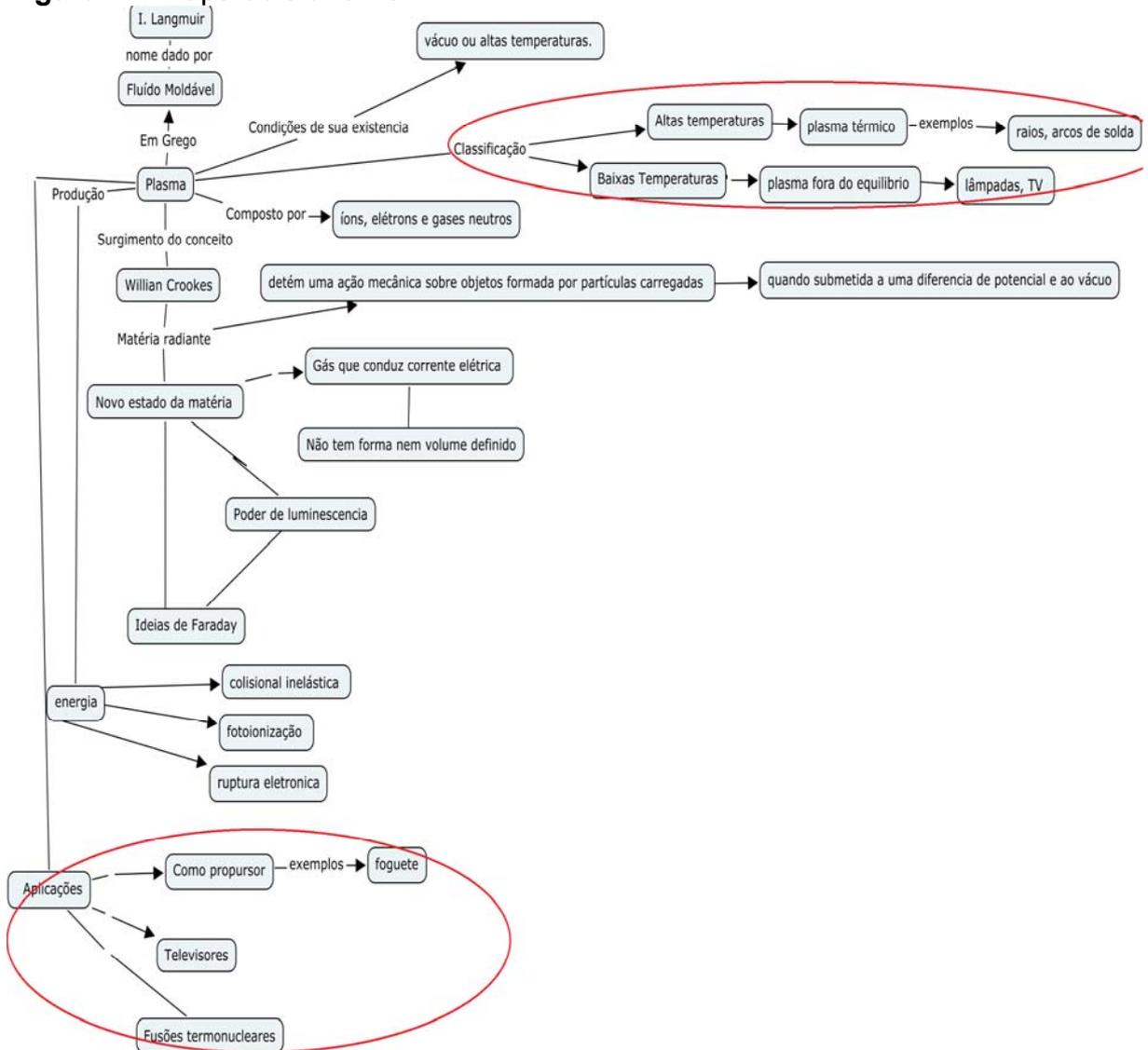


Fonte: o próprio autor.

As especificidades que não foram relatadas e que poderiam aparecer nos mapas estavam no texto de apoio, que os alunos poderiam verificar e discutir os conceitos físicos nessas aplicações favorecendo assim a diferenciação progressiva na parte das aplicações tecnológicas.

Ainda, na UCE4, tem-se 2 alunos unitarizados na UR4.2, que contempla mapas com fragmentos os quais tenham exemplos de aplicações tecnológicas da física do plasma por meio de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa. Dessa maneira, nessa UR serão classificados mapas que apresentam esses exemplos com relações e especificidades, caracterizando a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa.

Figura 42: Mapa do aluno A3.



Fonte: o próprio autor.

Na Figura 42, foram destacadas duas partes: uma, de aplicações que o aluno dá o exemplo do propulsor e usa o foguete, e outra, mais acima, a qual divide o plasma de alta temperatura e baixa temperatura, também dando exemplos de aplicações. O que fica evidente nesse mapa é que essas duas partes destacadas

poderiam estar juntas fornecendo, assim, relações mais ricas, no entanto aparecem separadas da mesma forma como estavam no texto.

Nessa UR, os alunos que foram submetidos à construção de dois mapas na primeira implementação da Unidade didática foram unitarizados na mesma UR4.1, não especificando os exemplos. É interessante dizer que o fato da não verbalização não significa diretamente falta de entendimento ou assimilação. Dessa forma, o fato desses alunos apresentarem os conceitos de maneira geral em dois momentos diferentes pode relatar que, talvez, os exemplos mais gerais foram aqueles que mais fizeram sentido para eles, ou seja, significativos.

O que ficou muito evidente na análise dos mapas, até agora, é que muitos alunos representaram no mapa a mesma ordem de conteúdos, exemplos e aplicações que se encontravam no texto. Dessa forma, podem ter ocorrido pelo menos dois fatores que induziram os alunos a fazer isso, já que a quantidade de variáveis, quando se fala em ensino e em aprendizagem, são muitas. Uma delas é quando se pensa em ensino e, nesse caso, em um episódio de ensino, tem-se a relação triádica que já foi apresentada, a qual o aluno se encontra no vértice superior, sendo o mais importante do processo. Depois temos o professor como mediador e o material didático que deve ser substancialmente significativo para o aluno. Se essa relação triádica não for completa, talvez porque o material não foi significativo para o aluno, porque o professor não conseguiu fazer as devidas mediações, ou, ainda, porque o aluno realmente não estava com vontade de aprender naquele dia - e esse último fator é muito importante dentro dos princípios Ausubelianos - o episódio de ensino e de aprendizagem fica comprometido.

Mas ainda há outro fator que deve ser levado em consideração, o qual já foi mencionado durante as análises, que o aluno está acostumado com o tipo de ensino em respostas reproduzidas e o conceito de verdade, o que caracteriza uma aprendizagem tradicional, chamada por Moreira (2011) de mecânica.

De acordo com Moreira (2011, p. 43),

Na escola, seja ela fundamental, média ou superior, os professores apresentam aos alunos conhecimentos que eles supostamente devem saber. Os alunos copiam tais conhecimentos como se fossem informações a serem memorizadas, reproduzidas nas avaliações e esquecidas logo após. Esta é a forma clássica de ensinar e aprender, baseada na narrativa do professor e na aprendizagem mecânica do aluno.

Análise da UCE5: essa unidade surgiu a partir de um questionamento de um aluno e se estendeu para toda a sala. Sendo importante para a análise do trabalho, essa unidade contempla respostas acerca da importância de uma abordagem histórica de alguns assuntos de Física no Ensino Médio.

Nessa unidade, o aluno A5 não respondeu, pois no momento do questionamento ele já tinha ido embora. Os alunos que refizeram o mapa não responderam novamente a pergunta. Dessa maneira, a ausência de respostas, que contempla a UR5.5 tem unitarizados 5 alunos, em que o aluno 5 não responde a pergunta nos dois mapas. Um aluno foi categorizado na URE5.1, o qual entende que a utilização de uma abordagem que contempla HFC contribui para processos de memorização do conteúdo. Esse mesmo aluno fala a respeito da importância da abordagem para o entendimento de como foram obtidos os resultados que se tem atualmente. Mesmo assim, cita no final da resposta que esse tipo de abordagem contribui no processo de memorização.

Nesse momento, podem surgir algumas perguntas: será que quando esse aluno cita memorização, está pensando somente mecanicamente para uma possível prova ou em um armazenamento de relações não arbitrárias entre conceitos que podem levá-lo a uma aprendizagem significativa?

Por esse motivo, essa UR foi elaborada e o aluno unitarizado. É importante dizer que esse aluno poderia ser classificado em outra unidade, mas é mais oportuno que fique nessa, pois as respostas relacionadas à memorização são importantes, uma vez que, durante todo o texto, foi falado em aprendizagem significativa e aprendizagem mecânica. Metodologicamente, também é importante que um mesmo aluno não se enquadre em duas URs de uma mesma UC, pois, segundo Bardin (2002), uma boa unidade deve conter algumas qualidades, dentre elas, a de mútua exclusão.

Segundo Bardin (2002, p. 113):

a exclusão mútua: esta condição estipula que cada elemento não pode existir em mais de uma divisão. As categorias deveriam ser construídas de tal maneira que um elemento não pudesse ter dois ou vários aspectos susceptíveis de fazerem com que fosse classificado em duas ou mais categorias. Em certos casos, pode pôr-se em causa esta regra, com a condição de se adaptar o código de maneira a que não existam ambiguidades no momento dos cálculos (Multicodificação).

Na URE5.2, a qual unitariza alunos que entendem a utilização de abordagem que contempla HFC, contribuindo para compreensão dos conceitos atuais, foi unitarizado 1 dos alunos. Essa unidade foi elaborada, pois diversos autores defendem a inclusão de FMC no Ensino Médio para o entendimento e compreensão da Física e da tecnologia presentes no seu cotidiano. Os alunos também relatam que a HFC contribui para o entendimento dos conteúdos atuais.

De acordo com as OCEM (BRASIL, 2006, p. 46),

A tecnologia merece atenção especial, pois aparece nos Parâmetros Curriculares como parte integrante da área das Ciências da Natureza. Observa-se que nos livros didáticos os conteúdos disciplinares selecionados e trabalhados pouco têm a ver com a tecnologia atual, ficando essa, na maioria das vezes, como simples ilustração. Deve-se tratar a tecnologia como atividade humana em seus aspectos prático e social, com vistas à solução de problemas concretos. Mas isso não significa desconsiderar a base científica envolvida no processo de compreensão e construção dos produtos tecnológicos.

De um grupo de 5 mapas que responderam a questão, 3 alunos foram unitarizados na URE5.3, que contempla respostas de alunos que entendem a utilização de abordagem que contempla HFC e contribui para uma humanização da ciência, respeitando as ideias e sua evolução até os dias atuais. Essa categoria foi elaborada, pois vários autores (BATISTA, 2004; 2013; LAVAQUI; BATISTA, 2007; MATTHEWS, 1995; MOREIRA, 2000; 2010; ROBILOTTA, 1988; SALVI; BATISTA, 2008) os quais defendem que a utilização da HFC no Ensino Médio e Superior contribui para o aprendiz entender que a ciência não é feita por heróis, em episódios isolados de pura mágica, mas construída por meio de um processo dinâmico de conflito de ideias, produzida por seres humanos com erros e acertos.

Para Matthews (1995, p. 184),

A história e a filosofia podem dar às idealizações em ciência uma dimensão mais humana e compreensível e podem explicá-las como artefatos dignos de serem apreciados por si mesmos. Isto é importante para os estudantes que estão sendo apresentados ao mundo da ciência. A incapacidade de apreciar o que exatamente é a idealização, e o que não é, tem sido a base de muita crítica anti-científica.

Algumas respostas que se enquadraram nessa unidade falavam a respeito da melhor localização e compreensão gradativa de acontecimentos; o

respeito às pessoas que estudaram e dedicaram sua vida à pesquisa; o entendimento ao contexto no qual os cientistas viviam para saber como eles pensavam e como a sociedade agia.

Estudos mostram a necessidade de inserção da HFC tanto no nível Médio como Superior por diversos motivos, dentre eles atrair jovens para as carreiras científicas, despertar a curiosidade, entender a Ciência como empreendimento humano, além de outros. Moreira (2011) ainda relata que a aprendizagem só pode ser significativa e crítica quando o aprendiz perceber que as definições são invenções, ou criações humanas, que tudo o que sabemos tem origem em perguntas e que todo nosso conhecimento é metafórico.

Martins (2007) realizou uma pesquisa acerca das dificuldades encontradas por licenciandos, alunos de pós-graduação e professores da rede pública sobre a implementação de abordagens que contemplam a HFC no Ensino Médio. Uma das perguntas foi a seguinte “por que é importante a presença da HFC no Ensino Médio?”. As respostas foram organizadas em tópicos, como se pode observar no Quadro 5.

Quadro 5: Categorização das respostas obtidas no trabalho de Martins (2007).

<i>O uso da História e da Filosofia...</i>	Total*
1. Mostra o desenvolvimento histórico da ciência, como ela realmente evoluiu, como ela é feita.	22
2. Ajuda a entender melhor os conteúdos, a origem dos conceitos; facilita o aprendizado das leis, princípios e conceitos.	19
3. Dá sentido ao conhecimento, contextualiza-o.	14
4. Ajuda a despertar a curiosidade dos alunos e o seu interesse pela ciência; é interessante; torna o ensino mais prazeroso.	13
5. Contribui para desmistificar a ciência, mostrando erros dos grandes pensadores; contribui para uma “visão crítica”.	10
6. Mostra a importância da ciência na sociedade; faz parte da cultura.	6
7. Ajuda a mostrar semelhanças entre as idéias históricas e as concepções (alternativas) dos alunos.	3
8. Contribui para a interdisciplinaridade.	1

Fonte: Martins (2007, p. 120).

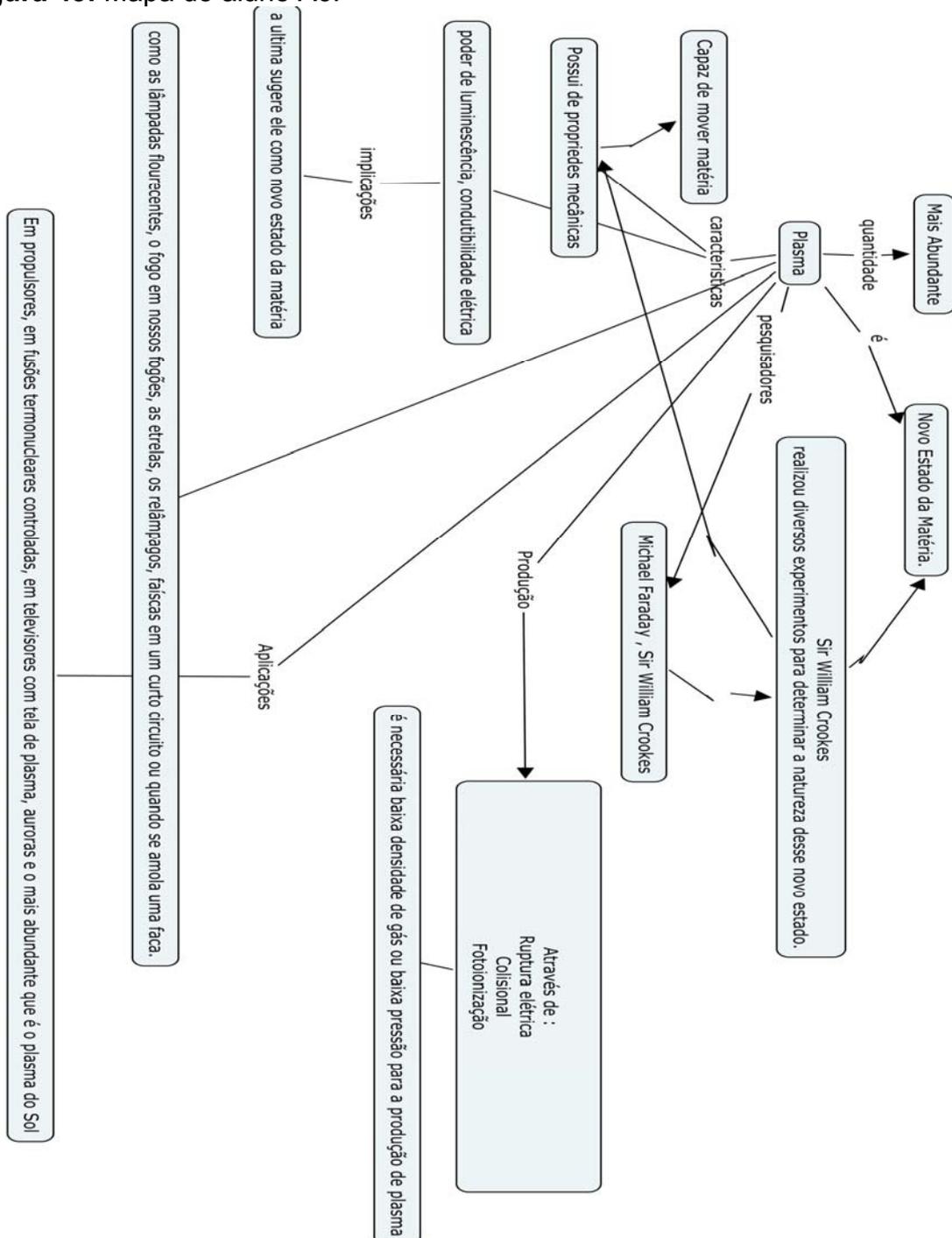
No Quadro 5, as respostas podem ser repetidas, ou seja, o mesmo participante pode estar em categorias diferentes. O interessante é que os mesmos tópicos levantados nesse trabalho com licenciandos, alunos de pós-graduação e professores da rede pública podem ser encontrados nesse trabalho em respostas obtidas por alunos do 3º ano do Ensino Médio. Esse resultado nos relata que, além da necessidade da implementação de HFC no Ensino Médio, é sabido a sua importância e suas contribuições por ambas as partes: os professores e os alunos.

Análise da UCE6: Essa unidade foi elaborada, pois, durante a análise, foi constatado que vários mapas que seriam analisados não constituíam de fato um mapa conceitual, pois não relacionavam apenas conceitos. Os mapas relatavam nomes e textos e suas relações. Foi por esse motivo que se optou em modificar o nome mapa conceitual para apenas mapas na análise do texto. Assim, a intenção, nesse momento, é separar os mapas em mapas conceituais e não conceituais e verificar as possíveis relações com o que já foi analisado, ou seja, aplicações tecnológicas, o conceito de plasma e a relevância histórica.

No quadro 4 tem-se que 3 mapas de 10 estão classificados na URE6.1, que unitariza mapas que apresentam características de mapas conceituais. Essa unidade é composta somente por mapas que foram refeitos. Esse resultado mostra que na primeira implementação os mapas não tinham características de mapas conceituais e que as próximas aplicações deveriam ter uma atenção especial na explicação e orientação na construção de mapas. Dessa forma as orientações foram repassadas e com mais cuidado. O colégio onde foi feita a aplicação tem como base de formação o construtivismo e, segundo os professores e coordenadores, os alunos já tinham uma base sólida na construção de mapas conceituais. Talvez, por esse motivo, durante a primeira implementação, o tempo para a explicação e orientação do mapa foi relativamente pequeno, demonstrando não ser eficiente, nem suficiente.

Como exemplo de mapas que não se caracterizam mapas conceituais, nem mapas que podem ser caracterizados, tem-se a figura 43 e 44, que compara dois mapas de um mesmo aluno na primeira implementação, o qual foi classificado em diferentes unidades, ou seja, o primeiro A6, não caracteriza um mapa conceitual e o mapa que foi elaborado seis meses depois, A6.2, caracterizando, assim, um mapa conceitual.

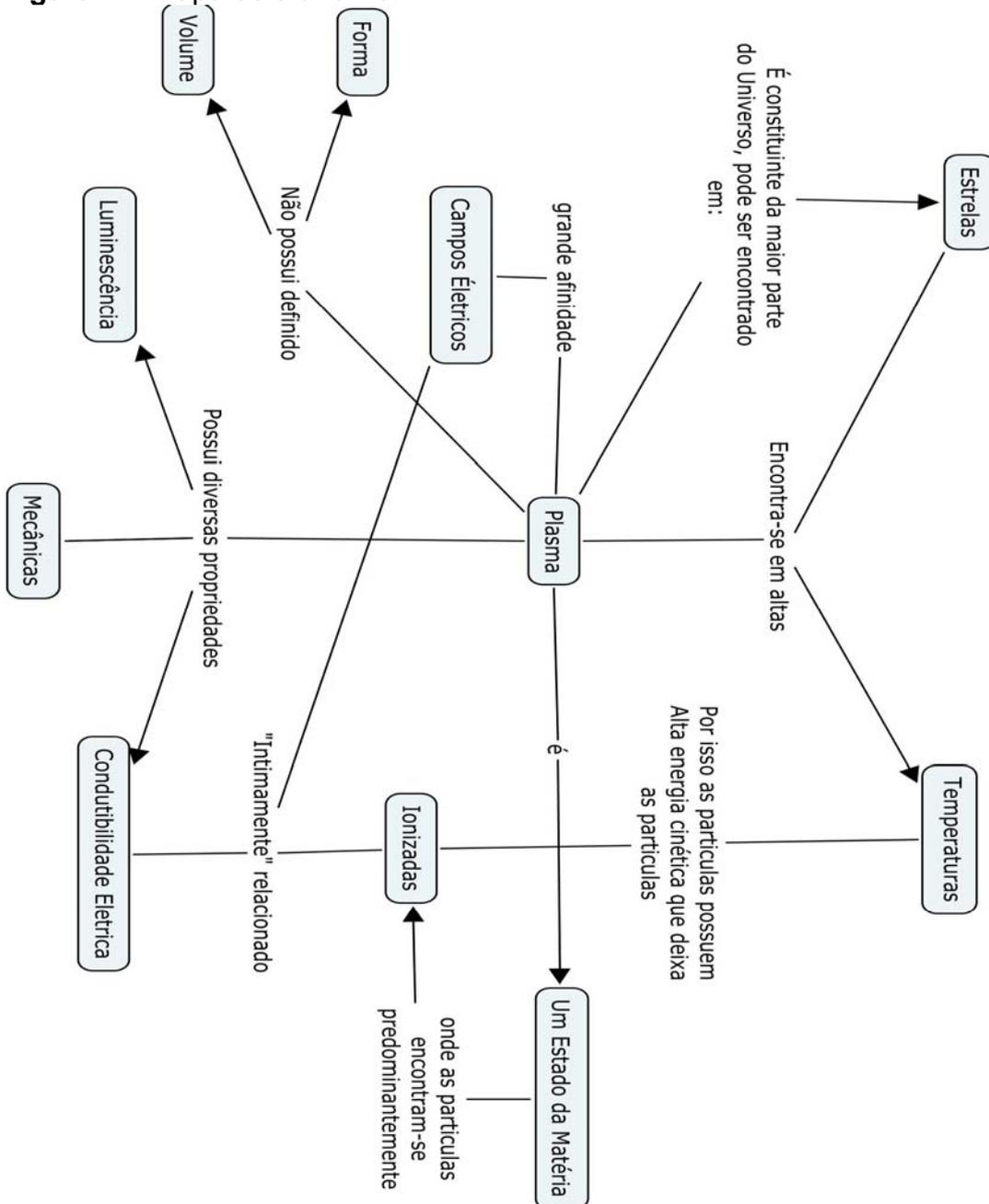
Figura 43: Mapa do aluno A6.



Fonte: o próprio autor.

Como pode-se observar na figura 43, o aluno A6 relata nas caixas principais textos, nomes, algumas ações e não somente conceitos. Na figura 44, o mesmo aluno elabora um novo mapas, em que houve novamente orientação sobre a construção de um mapa conceitual.

Figura 44: Mapa do aluno A6.2.



Fonte: o próprio autor.

6.2.2 Análise da segunda implementação.

Na segunda implementação, participou um grupo de 14 alunos de dois colégios diferentes. Como na primeira aplicação, o número de alunos foi relativamente pequeno. Dessa forma, optou-se por convidar alunos de dois colégios diferentes, já que, em cada colégio, a turma do terceiro ano do Ensino Médio tem aproximadamente 30 alunos. Para a análise foram utilizadas as mesmas unidades de contexto da primeira, no entanto aqui as unidades 4,5 e 6 não serão mais

utilizadas como emergentes já que elas foram emergidas na primeira análise com o primeiro grupo de alunos.

Quadro 6: Unitarização para a segunda implementação.

UNIDADES DE REGISTRO	MAPAS
UR1.1	-
UR1.2	-
UR1.3	-
UR1.4	A8; A9; A10; A13; A14; A15; A18; A19; A20;
UR1.5	A7 ; A11; A12; A16; A17
UR2.1	A7; A8; A9; A10; A12; A13; A15; A16; A18;
UR2.2	A20
UR2.3	-
UR2.4	-
UR2.5	A11; A14; A17; A19
UR3.1	A10; A14; A19
UR3.2	A12; A13; A15; A16; A18; A20
UR3.3	-
UR3.4	A11; A17
UR3.5	A6; A7; A8; A9
UR4.1	A11; A12; A14; A15; A17; A19;
UR4.2	A7; A8; A9; A10; A13; A16; A18; A20
UR5.1	
UR5.2	A7; A12; A14; A20
UR5.3	A8; A10; A11; A13; A16; A17; A18; A19
UR5.4	A15
UR5.5	-
UR6.1	A7; A8; A9; A10; A11; A13; A14; A15; A16; A17; A18; A20; C
UR6.2	A12; A19

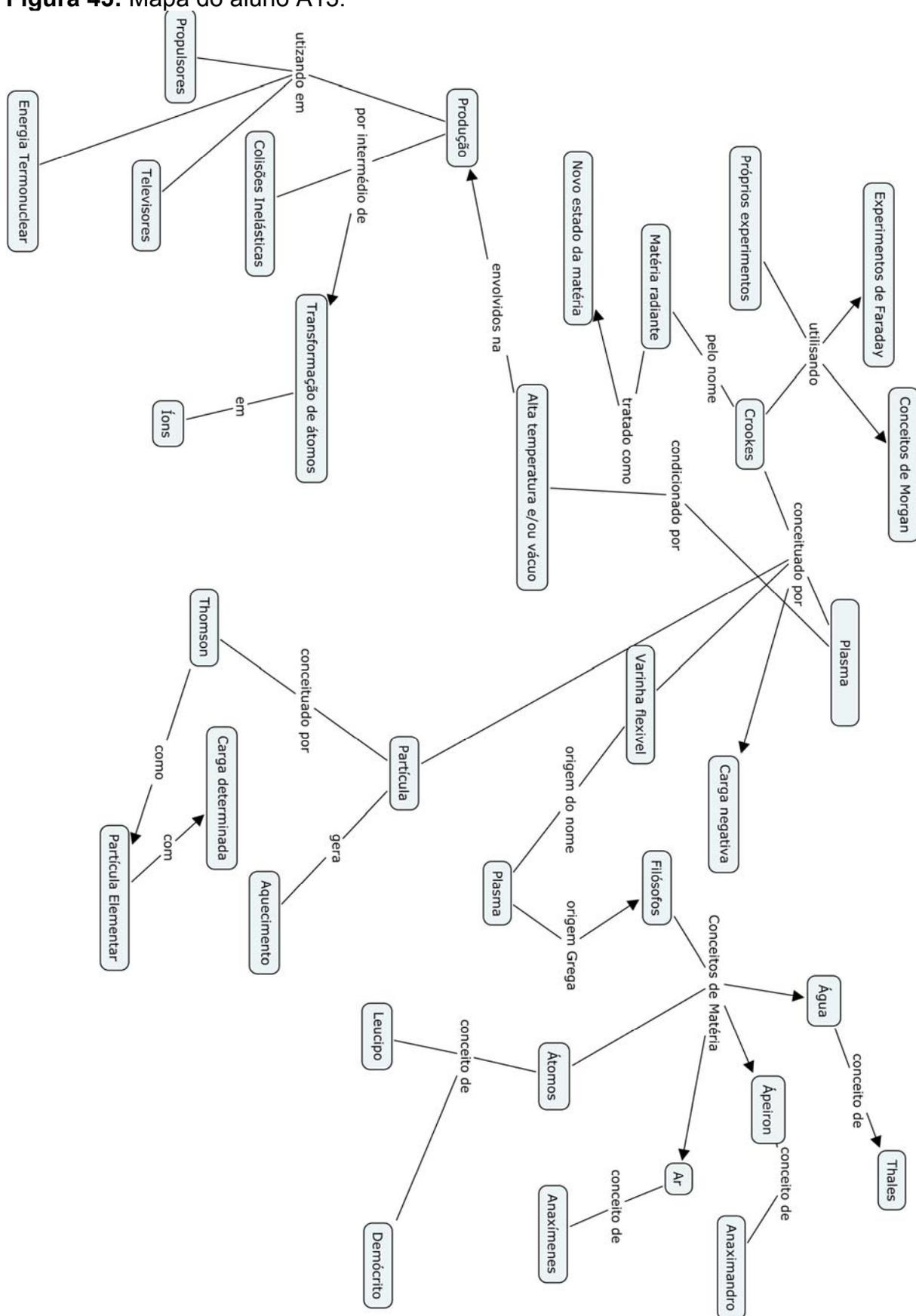
Fonte: O próprio autor.

Análise da UC1: Como já foi citada, essa unidade foi elaborada para relacionar mapas que relacionam a diferenciação progressiva e reconciliação integrativa com a HFC. De acordo com o quadro 6 , tem-se que 9 de 14 mapas foram relacionados na UR1.4, que contempla mapas com diferenciação progressiva e reconciliação integrativa por meio da HFC e por outros exemplos. Ainda, 5 mapas na UR1.5 que contemplam a diferenciação progressiva e reconciliação integrativa

sem relação com a HFC, ou seja, mapas que apresentam especificidades de conceitos e grau de generalidade, no entanto sem relação com a HFC.

Como já foi analisado na primeira implementação, alguns mapas apresentam grande variedade de relações quando utilizam a HFC como suporte para a diferenciação dos conceitos. Um exemplo de mapa que demonstra riqueza de exemplos históricos é o mapa do aluno A13 na figura 45.

Figura 45: Mapa do aluno A13.



Fonte: o próprio autor.

O mapa representado na figura 45 foi girado, pois facilita a sua visualização. Nesse mapa, pode-se verificar a evidência de episódios históricos relacionados com o plasma, como por exemplo quando o aluno cita a varinha flexível, que é uma citação de Crookes para o fenômeno de desvio da matéria radiante por campo magnético, demonstrando seu caráter de partícula negativa.

Ainda, nessa UR, um resultado muito importante e que não foi constatada somente diferenciação progressiva ou somente reconciliação integrativa. Dessa forma, sempre que ocorreu a diferenciação progressiva, ocorreu também a reconciliação integrativa.

Cabe, também, destacar que toda aprendizagem que resultar em reconciliação integrativa resultará igualmente em diferenciação progressiva adicional de conceitos ou proposições. A reconciliação integrativa é uma forma de diferenciação progressiva da estrutura cognitiva que ocorre na aprendizagem significativa (MOREIRA, 2006, p. 37).

A APSC ocorre quando o aprendiz consegue, a partir de um subsunção, entender suas relações com outros conceitos de diferentes graus de generalidades, discutir acerca do tema e ter sua opinião formada, não sendo influenciado por ideias equivocadas, mas para auxiliar na implementação e disseminação de ideias aceitas no meio científico sobre conceitos aprendidos.

As Orientações Curriculares para o Ensino Médio (BRASIL, 2006) relatam que o aluno utilize e aplique os conhecimentos escolares em diferentes contextos, em tempos distintos, sendo que o professor e a escola já não estão mais em cena, respondendo a determinadas situações, elaborando hipóteses, construindo modelos e fazendo uma análise crítica de suas hipóteses e modelos, relacionando-os com as situações emergentes no processo.

Como foi apresentado na Figura 41 e nessa UC, o aluno consegue, a partir de uma evolução dos conceitos, definir o conceito geral, que nesse caso é plasma. Fazendo, assim, a diferenciação de outros conceitos parecidos com o plasma que já foram estudados. Desse modo, quando esse aluno tiver acesso a informações sobre o tema, seja em discussões com amigos ou em textos de jornais, ele terá argumentos para discutir e/ou refletir sobre o assunto de forma não linear.

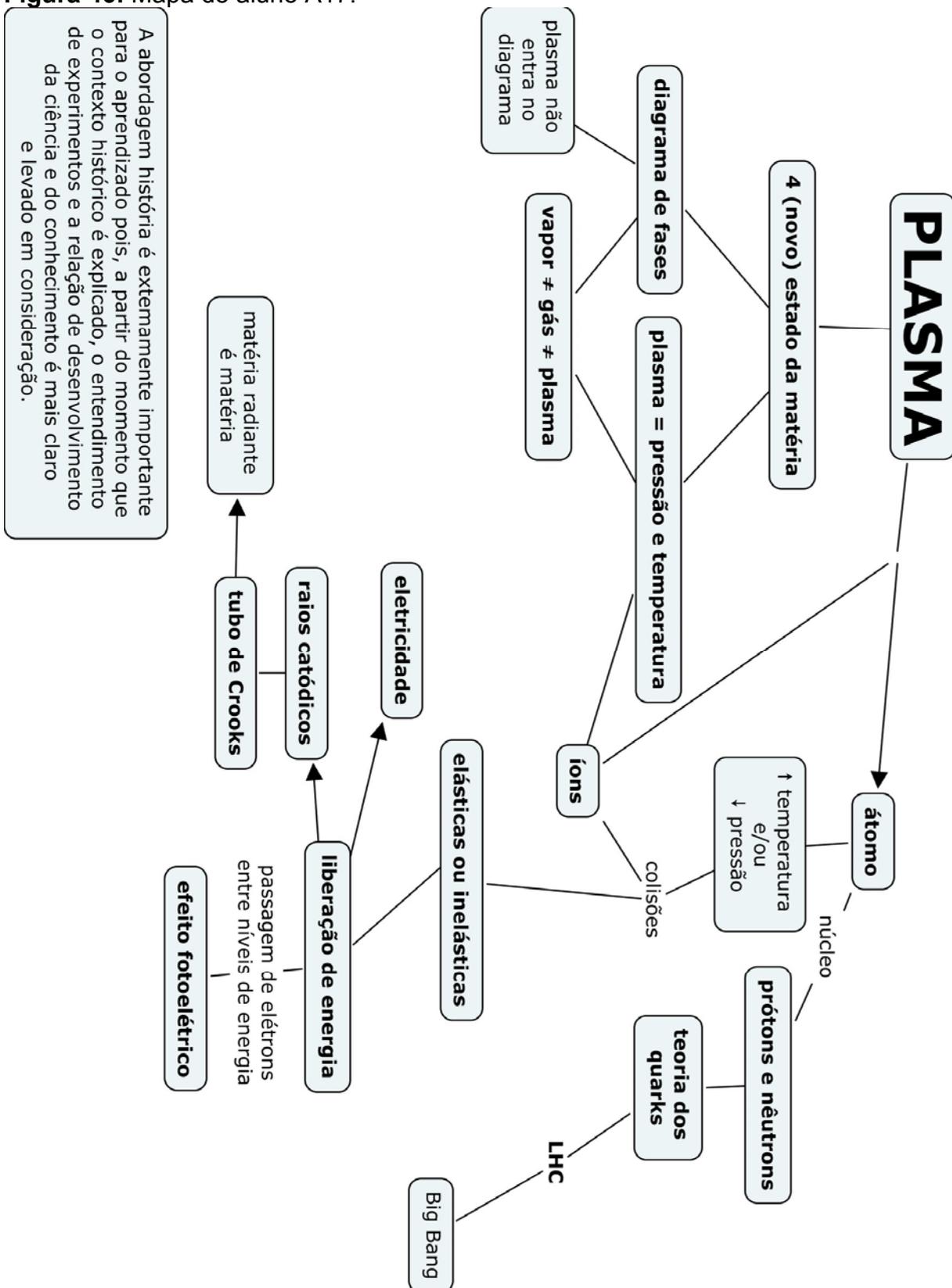
Análise da UC2: A intenção de utilizar essa unidade é encontrar relações entre HFC e aplicações tecnológicas relativas ao plasma. Nessa unidade 9, mapas se enquadram na UR2.1 em mapas que apresentam exemplos de tecnologias apresentadas no texto e aceitas no meio científico, no entanto sem relações com a HFC. Na UR2.2, que demonstra relações de exemplos relacionados com HFC, tem-se somente 1 aluno, e os outros 4 alunos são unitarizados na UR2.5, que contempla mapas sem exemplos de tecnologias.

Deve-se levar em consideração os mapas que mostraram ausência de exemplos de aplicações tecnológicas, pois se tem um total de 14 alunos nessa unidade. É interessante notar que, apesar da tecnologia presente na vida dos alunos, e que a todo momento ela é manuseada por eles, como no caso da TV de plasma, o fogo, as estrelas e outras, esse grupo não relata os exemplos no mapa e no texto explicativo. O que pode ter acontecido é que os alunos não leram a parte das tecnologias e/ou não prestaram a atenção na discussão entre os colegas e as intervenções do professor, ou, ainda, que optaram por terminar rapidamente o mapa, já que o tempo de sua construção estava acabando.

Na segunda implementação, o número de alunos foi maior e o tempo de discussão acabou excedendo o planejado na unidade didática, aumentando o tempo total de aplicação em 20 minutos. O tempo excedente não afetou a construção do mapa individual. Sendo assim, acredita-se que não foi a falta de tempo o fator determinante para a ausência desses exemplos. Pode-se, ainda, dizer que, talvez, esses conceitos não sejam relevantes para a estrutura cognitiva desse grupo de alunos, pois pode ser que eles relacionaram essas aplicações somente como produto final do conceito, sem relação com o mesmo, não podendo contribuir para a explicação do conceito plasma ainda que não foram orientados para colocar exemplos de tecnologias, e sim para construir um mapa sobre o tema plasma.

Como exemplo de mapa que não demonstra aplicações tecnológicas, tem-se o mapa do aluno A17, na figura 46.

Figura 46: Mapa do aluno A17.



A abordagem história é extremamente importante para o aprendizado pois, a partir do momento que o contexto histórico é explicado, o entendimento de experimentos e a relação de desenvolvimento da ciência e do conhecimento é mais claro e levado em consideração.

Fonte: o próprio autor.

Análise da UC3: Essa unidade relaciona os mapas que têm ausência exemplos de aplicações tecnológicas presentes no texto de apoio e novos exemplos que não aparecem no texto.

Na UR3.1 foram unitarizados 3 mapas que não apresentam exemplos de aplicações tecnológicas, no entanto utiliza a HFC da ciência para definir o conceito de plasma. Já na UR3.2, tem-se 6 mapas que apresentam somente exemplos de aplicações presentes no texto de apoio, ou seja, nessa unidade os alunos não relatam novos exemplos, que talvez sabiam ou que poderiam relacionar com o tema.

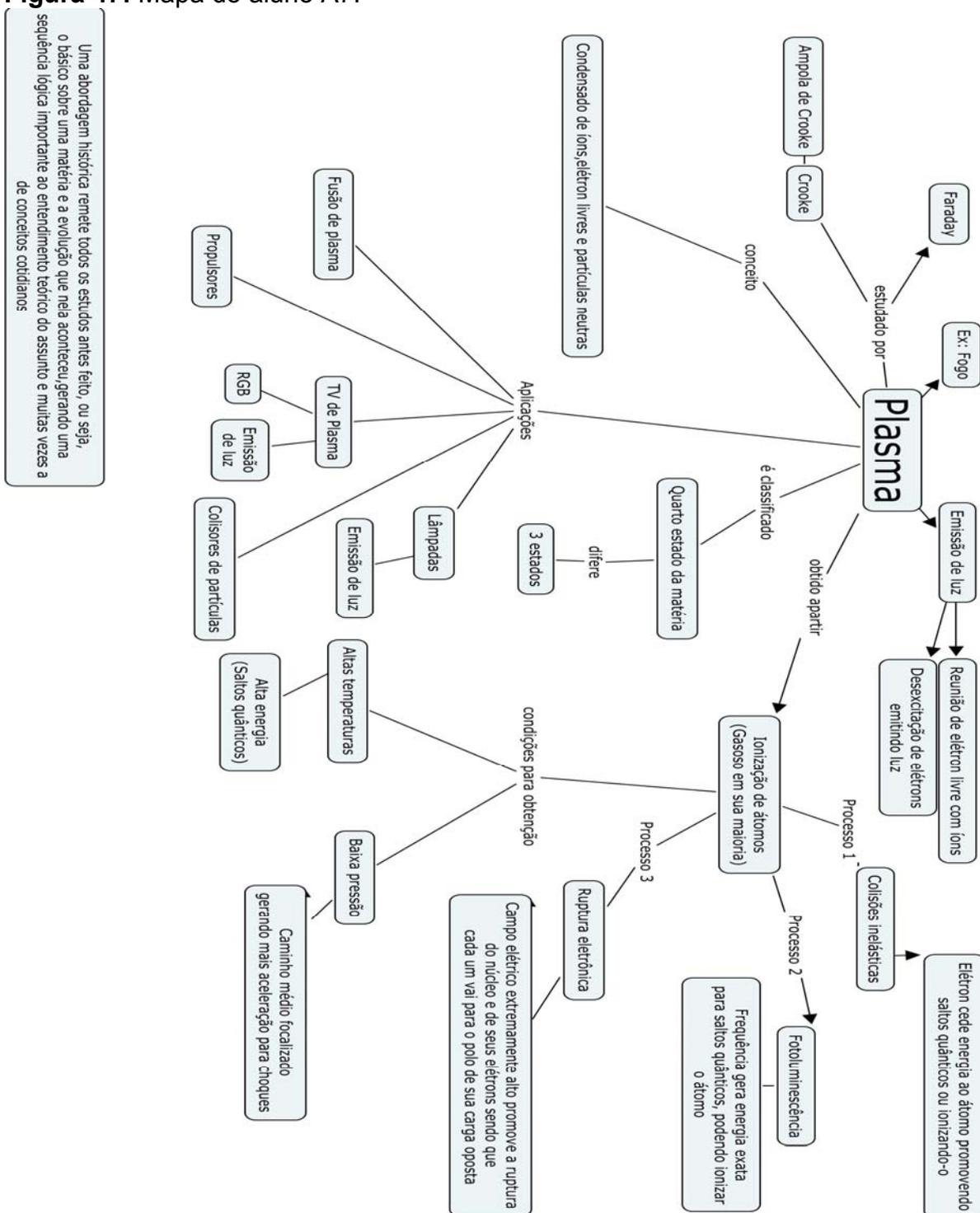
Na UR3.4, que unitariza mapas nos quais não contemplam exemplos de aplicações tecnológicas, nem contexto histórico nos conceitos relacionados ao plasma, tem-se 2 alunos, o que pode ser indício de uma aprendizagem mecânica, ou apenas de não verbalização do aluno. Já na UR3.5, que demonstra mapas que apresentam novos exemplos, além dos presentes no texto, tem-se 4 mapas. É interessante notar que, desses mapas, todos demonstram exemplos históricos para a explicação do conceito plasma e, ainda, um deles, além de usar HFC para definir o conceito, ainda a utiliza como apoio na hora de exemplificar as aplicações tecnológicas presentes no texto.

O que se pode verificar é que, ainda que os alunos não apresentaram exemplos de aplicações tecnológicas, a HFC foi utilizada para o desenvolvimento do conceito plasma que foi apresentado no mapa. É relevante a quantidade de alunos que apresentaram novos exemplos, ou seja, exemplos que não são fornecidos no texto de apoio. Tem-se 4, de um total de 14 alunos, mas se for levar em consideração que 5 desses alunos não apresentaram exemplos, pois 3 estão na UR3.1 e 2 na 3.4., pode-se dizer que 4 de 9 alunos que apresentaram exemplos de mapas relataram novos exemplos.

Pode-se, aqui, inferir que, mesmo sem orientação de apresentar aplicações tecnológicas no mapa, já que a instrução foi a elaboração e mapas sobre a temática plasma, a abordagem pode ter favorecido a relação entre o novo conceito adquirido pelos alunos, que é o plasma com alguns exemplos que os mesmos tinham do seu cotidiano e que fazem parte de sua estrutura cognitiva. Dessa maneira, de acordo com Moreira, o que pode ter ocorrido é uma superordenação de conceitos, ou seja, a elaboração de novos subsunçores ou de subsunçores mais

elaborados na estrutura cognitiva do sujeito. Um exemplo de mapa que contempla novos exemplos é a figura 47, do aluno A7.

Figura 47: Mapa do aluno A7.



Uma abordagem histórica remete todos os estudos antes feito, ou seja, o básico sobre uma matéria e a evolução que nela aconteceu, gerando uma sequência lógica importante ao entendimento teórico do assunto e muitas vezes a de conceitos cotidianos

Fonte: o próprio autor.

É interessante notar que o aluno consegue estender o conceito de plasma, que se encontra na tela de sua televisão, é o mesmo de uma lâmpada que está na sua casa. A APSC pode se dar de três formas diferentes: representacional, de conceitos e proposicional, as quais o aprendiz deve relacionar o novo conceito com a sua estrutura cognitiva, tendo como um passo muito importante o processo de assimilação. Assim, é o processo que ocorre quando um conceito ou proposição potencialmente significativo é assimilado por meio de um subsunçor na estrutura cognitiva do aluno. No caso do aluno A7, pode-se observar que, além de citar a TV, há ainda uma relação com poder de emissão luminosa e é relacionado também com a lâmpada, favorecendo a superordenação de conceitos para exemplos diferentes.

De acordo com Moreira (2006), se uma nova informação potencialmente significativa **a** relaciona-se com um conceito subsunçor **A**, tem-se o produto interacional **A'a'**, em que tanto **A** como **a** são modificados por meio da interação. Além da aquisição e retenção de significados, o esquecimento subjacente desses significados acontece após o processo. Mas, com o passar do tempo, os conceitos podem não estar mais associados da forma **A'a'**, no entanto se encontram modificados da forma **A'** e **a'**. Sendo assim, os conceitos subsunçores se encontram mais elaborados e com um grau de generalidade maior, proporcionando, dessa forma, outros tipos de relações.

Análise da UC4: Essa unidade de Contexto que apareceu como emergente na primeira implementação, aqui, aparece somente como unidade de contexto e tem a intenção de analisar e unitarizar mapas que apresentam ou não exemplos mais específicos de aplicações tecnológicas. Sendo assim, a mesma é dividida em duas partes a UR4.1 onde se tem ausência de diferenciação progressiva, ou que simplesmente não apresenta exemplos de aplicações tecnológicas, em que 6 de um total de 4 alunos foi unitarizado, e a UR4.2 que apresenta mapas com exemplos mais específicos de aplicações tecnológicas, caracterizando assim a diferenciação progressiva desses exemplos.

Como exemplo de mapa com diferenciação progressiva na parte dos exemplos de aplicações tecnológicas, a figura 48 apresenta o mapa do aluno A20.

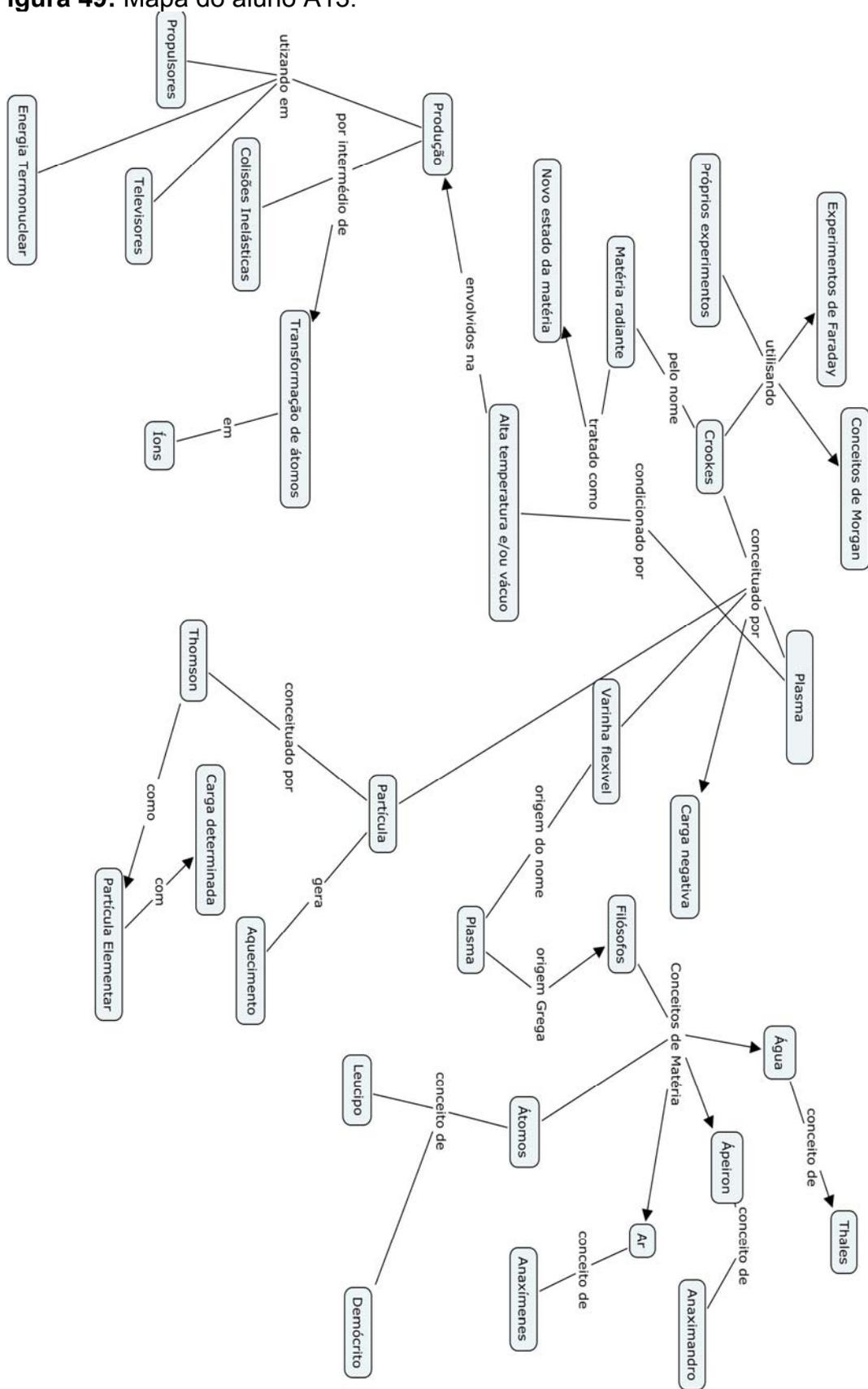
Como se pode observar na figura 48, quando o aluno relata o exemplo de aplicação da TV de plasma, tem-se a especificidade do conceito de pixel e do sistema RGB. Ainda que tenha esse exemplo no texto mostra essas especificidades, é relevante notar que, mesmo sem a instrução de constar exemplos de aplicações, o aluno relata e ainda relaciona as aplicações com conceitos mais específicos.

Análise da UC5: Os alunos da segunda implementação foram orientados a responderem a pergunta que surgiu na primeira implementação sobre a contribuição de uma abordagem histórica para o entendimento de determinado assunto. Sendo assim, essa categoria não se enquadra mais como emergente para esse grupo de alunos, pois, como já foi dito, esse grupo constitui um outro estudo de caso a ser estudado. De acordo com o quadro 6, 1, aluno entende a contribuição da abordagem como facilitador no processo de memorização e, ainda, 4 alunos foram classificados na UR5.2, que reúne respostas de alunos que entendem que uma abordagem por meio da HFC contribui para o entendimento de conceitos atuais da ciência.

Para a UR5.3, que reúne respostas que indicam a humanização da ciência, foram unitarizados 8 alunos de um total de 14, o que expressa uma grande quantidade. Sendo assim, pode-se inferir que, mesmo sem os alunos utilizarem a HFC para exemplificação de tecnologias utilizadas, ou para a definição do termo plasma, de maneira geral, os alunos relatam a sua importância. Na UR 5.4, apenas 1 aluno relata a importância da HFC como recurso para a interdisciplinaridade.

Análise da UC6: Essa unidade que foi emergente durante a análise da primeira implementação, relacionando mapas com características de mapas conceituais e mapas que não podem ser classificados como conceituais. Sendo assim, na UR6.1, que contempla mapas com características de mapas conceituais, tem-se 12 de um total de 14 alunos, o que demonstra que, para a segunda aplicação, a orientação para a elaboração dos mapas foi respeitada pelos alunos já que somente dois mapas não representam mapas conceituais para esse grupo. A figura 49 mostra o mapa do aluno 13 com características de mapas conceituais.

Figura 49: Mapa do aluno A13.



Fonte: o próprio autor.

6.2.3 A comparação e a negociação de significados

Nesse tópico, serão levantados os aspectos mais marcantes em cada UC e será feita uma comparação com os mapas elaborados pelos dois grupos de alunos: o mapa elaborado coletivamente pelo primeiro grupo e o mapa do pesquisador. Os quadros, nessa parte do trabalho, contemplam a quantidade total de alunos em cada UR, lembrando que tem-se um total de 24 mapas nas duas implementações.

O quadro 7 compara as duas implementações e na última tabela tem-se o número total de alunos nessa UR.

Quadro 7: Comparação entre as implementações e frequência relativa.

UNIDADES DE REGISTRO	MAPAS - PRIMEIRA IMPLEMENTAÇÃO	MAPAS - SEGUNDA IMPLEMENTAÇÃO	QUANTIDADE DE ALUNOS
UR1.1	-		0
UR1.2	-		0
UR1.3	A2;		1
UR1.4	A1; A3; A4; A5; A6; A2.2 ; A1.2; C	A8; A9; A10; A13; A14; A15; A18; A19; A20;	16
UR1.5	A5.2; A6.2	A7 ; A11; A12; A16; A17	7
UR2.1	A1;A2;A3;A4;A5;A6; A1.2; A2.2; A5.2; A6.2; C	A7; A8; A9; A10; A12; A13; A15; A16; A18;	19
UR2.2		A20	1
UR2.3	-		0
UR2.4	-		0
UR2.5		A11; A14; A17; A19	4
UR3.1		A10; A14; A19	3
UR3.2	A1;A2;A3;A4;A5; A1.2; A2.2; A5.2; A6.2;;C	A12; A13; A15; A16; A18; A20	14
UR3.3	-		0
UR3.4		A11; A17	2
UR3.5	A6;	A7; A8; A9	4
URE4.1	A1;A2;A4;A5; A1.2; A2.2; A5.2; A6.2	A11; A12; A14; A15; A17; A19;	14
URE4.2	A3; A6; C	A7; A8; A9; A10; A13; A16; A18; A20	10
URE5.1	A1;	A9	2

URE5.2	A6;	A7; A12; A14; A20	5
URE5.3	A2; A3; A4;	A8; A10; A11; A13; A16; A17; A18; A19	11
URE5.4		A15	1
URE5.5	A1.1; A2.2; A5; A5.2; A6.2		5
URE6.1	A1.1; A2.2; A6.2; A20; C	A7; A8; A10; A11; A13; A14; A15; A16; A17; A18;	14
URE6.2	A1; A2; A3; A4; A5; A5.5 A6;	A12; A19	9

Fonte: O próprio autor.

O quadro 7 demonstra a unitarização das duas implementações e a frequência relativa. De acordo com o quadro 6, tem-se que, na primeira unidade de contexto, tanto na primeira implementação, quanto na segunda, a UR1.4 é a unidade de maior frequência de dados, resultando em um total de 16 , o que representa 16 mapas de um total de 24. Nesta, a maior parte dos mapas apresentam a diferenciação progressiva e reconciliação integrativa da física do plasma por meio da HFC e por outros exemplos que não a utilizam.

Já na UC2, o maior índice, 19 mapas são unitarizados na UR2.1 que relaciona mapas com exemplos de tecnologias, no entanto sem a utilização da HFC. É interessante notar que, durante a segunda implementação, tem-se alunos unitarizados no UR2.5, ausência de exemplos de tecnologias e, na primeira implementação, nenhum aluno foi classificado nessa UR.

O quadro ainda demonstra que, na UC3, 15 alunos não relatam novos exemplos de tecnologias e, ainda, na segunda implementação, tem-se 3 mapas sem aplicações, UR3.1, e, na primeira implementação, todos os mapas relatam aplicações tecnológicas. Já na UR3.5, que representa mapas com novos exemplos de aplicações tecnológicas, tem-se um aluno na primeira implementação e três alunos na segunda implementação, representando, assim, 4 alunos de um total de 24.

Na UC4, tem-se uma pequena divergência nos dados já que na primeira implementação tem um número maior de alunos na UR4.1, em que os mapas não apresentam diferenciação progressiva, nem reconciliação integrativa nos exemplos e, na segunda implementação, tem-se um número maior de alunos na UR4.2, em que os mapas apresentam maior especificidade nos exemplos de

aplicações tecnológicas. Mas, de maneira geral, o que se tem é 14 mapas dos alunos unitarizados na UR4.1 e 10 unitarizados na UR4.2

Analisando a UC5 nas duas implementações, o maior índice de dados se encontra na UR5.3, que contempla respostas dos alunos que entendem, ou explicitam as suas idéias, demonstrando a humanização da ciência por meio da HFC.

Na UC6, 9 mapas não apresentam características de mapas conceituais, o que poderia comprometer uma pesquisa se o fator determinante fosse a elaboração de mapas conceituais. Nota-se no quadro 6 que a maioria dos mapas que não tem caráter conceitual se enquadram nas URs:

- UR1.4 que contempla a diferenciação progressiva e reconciliação integrativa por meio da HFC e de outros exemplos;
- UR2.1 que contempla mapas com exemplos de aplicações tecnológicas sem relação com HFC;
- UR3.2 que contempla mapas que só apresentam exemplos de aplicações tecnológicas apresentadas no texto de apoio;
- URE4.1 que contempla mapas sem especificidades nos exemplos de aplicações tecnológicas, não demonstrando a diferenciação progressiva e reconciliação integrativa nesses conceitos;
- URE5.3 que contempla respostas que consideram o caráter de humanização da ciência.

O quadro 8 demonstra a comparação feita, por meio de letras sublinhadas e em vermelho.

Quadro 8: Relação entre URs e mapas sem características conceituais.

UNIDADES DE REGISTRO	MAPAS - PRIMEIRA IMPLEMENTAÇÃO	MAPAS – SEGUNDA IMPLEMENTAÇÃO	QUANTIDADE DE ALUNOS
UR1.1	-		0
UR1.2	-		0
UR1.3	A2;		1
UR1.4	<u>A1; A3; A4; A5; A6; A2.2 ;</u> <u>A1.2; C</u>	<u>A8; A9; A10; A13;</u> <u>A14; A15; A18; A19;</u> <u>A20;</u>	<u>16</u>
UR1.5	A5.2; A6.2	A7 ; A11; A12; A16; A17	7
UR2.1	<u>A1;A2;A3;A4;A5;A6; A1.2;</u> <u>A2.2; A5.2; A6.2; C</u>	<u>A7; A8; A9; A10;</u> <u>A12; A13; A15; A16;</u> <u>A18;</u>	<u>19</u>
UR2.2		A20	1
UR2.3	-		0
UR2.4	-		0
UR2.5		A11; A14; A17; A19	4
UR3.1		A10; A14; A19	3
UR3.2	<u>A1;A2;A3;A4;A5; A1.2; A2.2;</u> <u>A5.2; A6.2;;C</u>	<u>A12; A13; A15; A16;</u> <u>A18; A20</u>	<u>14</u>
UR3.3	-		0
UR3.4		A11; A17	2
UR3.5	A6;	A7; A8; A9	4
URE4.1	<u>A1;A2;A4;A5; A1.2; A2.2;</u> <u>A5.2; A6.2</u>	<u>;A11; A12; A14; A15;</u> <u>A17; A19;</u>	<u>14</u>
URE4.2	A3; A6;; C	A7; A8; A9; A10; A13; A16; A18; A20	10
URE5.1	A1;	A9	2
URE5.2	A6;	A7; A12; A14; A20	5
URE5.3	<u>A2; A3; A4;</u>	<u>A8; A10; A11; A13;</u> <u>A16; A17; A18; A19</u>	<u>11</u>
URE5.4		A15	1
URE5.5	A1.1; A2.2; A5; A5.2; A6.2		5
URE6.1	A1.1; A2.2; A6.2; A20; C	A7; A8; A10; A11; A13; A14; A15; A16; A17; A18;	14
URE6.2	<u>A1; A2; A3; A4; A5; A5.5 A6;</u>	<u>A12; A19</u>	<u>9</u>

Fonte: o próprio autor.

De acordo com os dados, pode-se observar que os mapas que não podem ser classificados como mapas conceituais não relacionam exemplos de aplicações tecnológicas com suporte na HFC, e, ainda, não apresentam novos exemplos de aplicações tecnológicas. Desse modo, pode-se inferir sobre a possibilidade de uma estreita relação a qual a HFC e novos exemplos utilizam a FMC, o que explica as tecnologias utilizadas pelos alunos, podendo, até mesmo, auxiliar na construção de mapas conceituais, enriquecer os conceitos dos alunos e aumentar o repertório de aplicações e explicações de assuntos do seu cotidiano.

Apesar do resultado obtido, os alunos relataram a importância de uma abordagem histórica para o entendimento, respeitando a humanização da ciência que é elaborada por conflitos de idéias de diferentes épocas.

Após a comparação entre as duas implementações, será feita, agora, uma comparação entre as aplicações e os mapas coletivos e os do pesquisador. Os conceitos e relações mais encontrados com maior frequência, apresentados nos mapas e outros relevantes ao nosso referencial, serão colocados na forma de tópicos a seguir:

- a) HFC enriquecendo as relações entre conceitos, propiciando a APSC;
- b) Diferenciação progressiva sempre acompanhada de reconciliação integrativa;
- c) Bidimensionalidade dos mapas conceituais;
- d) Aplicações tecnológicas apresentadas sem o uso da HFC, somente como estavam no texto de apoio;
- e) Representação das aplicações tecnológicas exatamente como no texto-base;
- f) 2 mapas não contemplaram aplicações tecnológicas;
- g) Apenas 4 alunos apresentaram novos exemplos de aplicações que não estavam no texto;
- h) 10 alunos apresentaram a diferenciação progressiva dos exemplos de aplicações tecnológicas;
- i) 5 alunos relatam que a HFC como fator importante no processo de entendimento de conceitos atuais;
- j) 12 alunos relatam que a humanização da ciência por meio da HFC;

- k) 9 mapas não podem ser caracterizados como mapas conceituais;
- l) Relação entre mapas considerados não conceituais, a ausência de HFC e exemplos de aplicações tecnológicas.

A partir dos pontos levantados, será feita uma comparação com o mapa feito pelo grupo no final da aplicação. A comparação é válida já que um dos princípios para a aprendizagem é a negociação de significados e, na elaboração do mapa em grupo, os alunos discutiram e fizeram as relações decididas em conjunto.

Para Moreira (2011, p. 18),

Ensino centrado no aluno tendo o professor como mediador é ensino em que o aluno fala mais e o professor fala menos. Deixar o aluno falar implica usar estratégias nas quais os alunos possam discutir, negociar significados entre si, apresentar oralmente ao grande grupo o produto de suas atividades colaborativas, receber e fazer críticas. O aluno tem que ser ativo, não passivo. Ela ou ele tem que aprender a interpretar, a negociar significados, tem que aprender a ser crítico e a aceitar a crítica.

O mapa elaborado pelo grupo foi classificado nas unidades, mas não foi citado, pois a comparação foi feita somente com os mapas individuais. Agora, é importante fazer uma comparação com os mapas individuais, mapa coletivo e, depois, com o mapa feito pelo pesquisador, demonstrando o que era esperado de seus alunos. No Quadro 3, o mapa construído pelo grupo foi unitarizado na UR1.4, em que se tem a diferenciação progressiva e reconciliação integrativa sendo favorecidas por meio de exemplos históricos, e outros fornecidos pelo texto de apoio.

Tem-se que na UC2 o mapa do grupo também se encontra na UR2.1, assim como 19 mapas. Essa UR reúne mapas que relatam exemplos de aplicações da física do plasma, mas sem relações com episódios históricos apresentados no texto. Já na UC3, o mapa do grupo contempla apenas exemplos de aplicações tecnológicas apresentados no texto e, por esse motivo, foi unitarizado na UR3.2. Nessa UC, tem-se 15 alunos que também somente relataram exemplos do texto, sem citar novos exemplos, ou relacionar o assunto com outros exemplos que poderiam ser subsunçores.

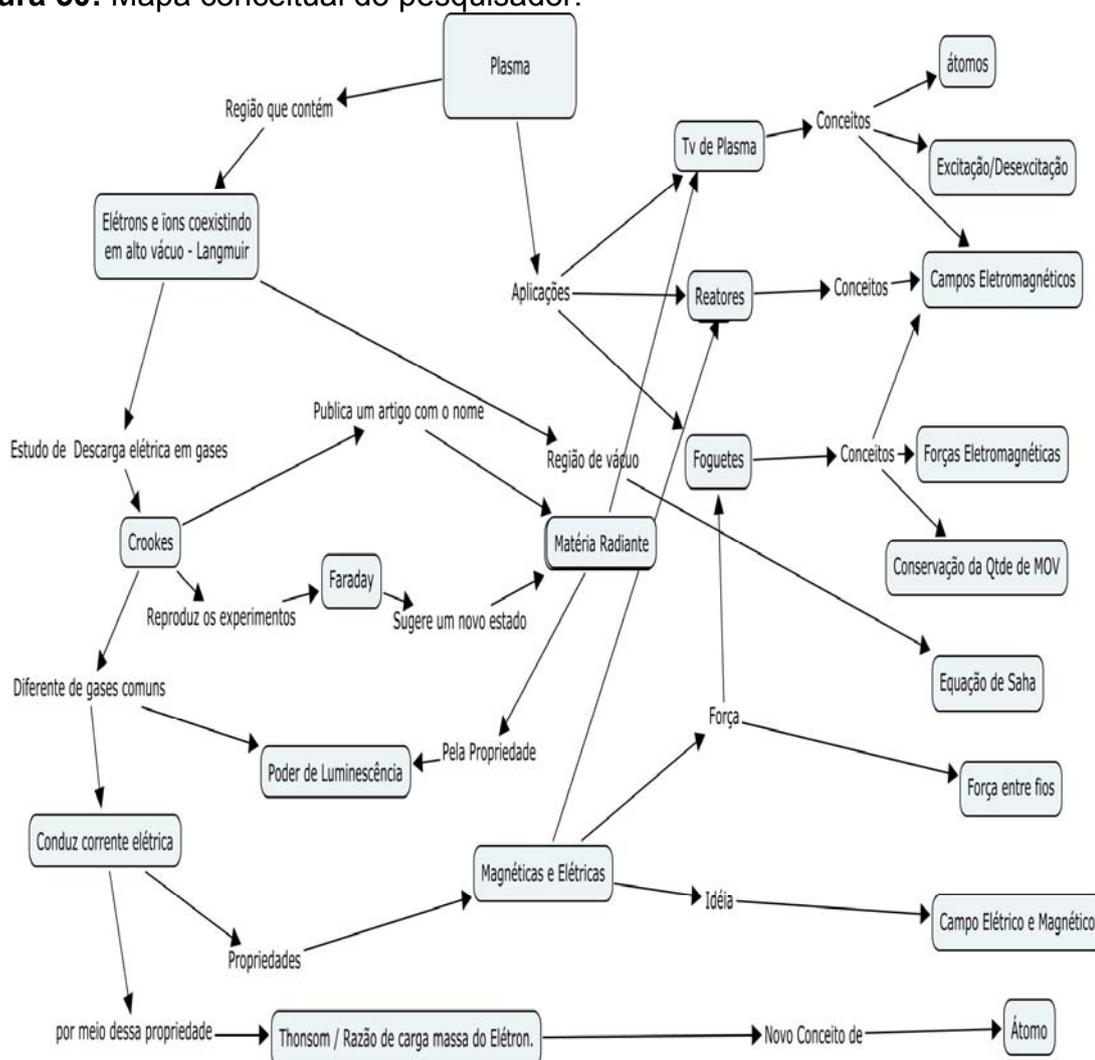
A maior discrepância que há entre o mapa do grupo e o mapa coletivo foi na UCE4, pois aparece no Quadro 3 categorizado na URE 4.2 juntamente com mais 10 mapas dos alunos, especificando os exemplos dados, proporcionando uma melhor diferenciação progressiva desses exemplos. A maior

incidência está na URE4.1, 14 alunos, que reúne mapas que não contemplam exemplos de aplicações tecnológicas e quando há relato não há especificidade.

O mapa coletivo não foi unitarizado na UCE5, pois os alunos não responderam a pergunta coletivamente. Sendo assim, o mapa coletivo foi classificado na UCE6 contemplando a UR6.1, no qual ele possui características de uma mapa conceitual.

Ainda, é válido fazer uma comparação com um mapa elaborado pelo pesquisador para ter noção do que era esperado e quais pontos foram encontrados e quais não foram. O mapa elaborado pelo pesquisador foi feito antes da pesquisa e os alunos não tiveram acesso a ele já que poderia influenciar na construção dos mapas.

Figura 50: Mapa conceitual do pesquisador.



Fonte: o próprio autor.

Para uma análise dentro das unidades, pode-se classificar o mapa do pesquisador em cada UC e levantar alguns pontos que eram esperados. Dessa maneira, esse mapa poderia ser unitarizado na UR1.4, demonstrando, assim, uma diferenciação progressiva e reconciliação integrativa por meio da HFC e outros exemplos. Apesar de sempre estabelecer relações com a HFC, alguns exemplos foram se diferenciando sem a necessidade dela, concordando com os dois primeiros pontos levantados, que se trata da diferenciação progressiva sempre acompanhada de reconciliação integrativa e a riqueza de relações que a HFC pode proporcionar em um mapa.

Na UC2, o mapa do pesquisador poderia se enquadrar na UR2.2, diferenciando-se totalmente de todos os mapas elaborados, inclusive do mapa geral, concordando somente com o mapa do aluno A20. A maioria dos mapas trouxe exemplos de aplicações tecnológicas, no entanto sem relacionar com os episódios históricos apresentados no mapa. Como já foi dito durante as análises, isso pode ter ocorrido por vários fatores, mas um que chama a nossa atenção é o conceito fora de foco chamado de verdade, ou seja, o aluno está acostumado a dar respostas fechadas, certa ou errada, e exatamente como é apresentada para ele.

Já para a UC3, tem-se concordância entre o que foi encontrado nos mapas e o mapa do pesquisador, pois 22 dos mapas trouxeram exemplos de aplicações ainda que não apresentaram novos exemplos. O mapa do pesquisador relaciona as aplicações do texto sem apresentação de novos exemplos. Já 4 dos mapas apresentam novos exemplos. Entretanto, é importante chamar a atenção para o fato de a maioria dos alunos não tratarem de novos exemplos partindo de seus conhecimentos, como, por exemplo, do fogo, da faísca, das lâmpadas, entre outros.

Como se pode observar no mapa do pesquisador, também não constam novos exemplos, pois esse mapa não tinha o objetivo de encontrar e relacionar subsunçores diferentes aos encontrados no texto. Dentro dessa análise, pode-se ter o mesmo indício que já foi citado, a apresentação, ou, como é chamada por alguns autores, a verbalização de alguns exemplos e/ou conceitos da mesma maneira que foram apresentados. Dessa forma, o aluno somente reproduz o que lhe foi dito ou mostrado, sem fazer novas relações com outros conceitos, deixando, assim, relações lineares, o que retrata uma aprendizagem mecânica e não significativa.

Na unidade emergente, pode-se classificar o mapa do pesquisador na URE4.1, que fornece mapa com diferenciação progressiva nos exemplos de aplicações tecnológicas. Nessa UCE, pode-se ter correspondência entre os mapas dos alunos e do coletivo, pois 10 dos mapas foram unitarizados na mesma, relatando exemplos e algumas especificidades ou conceitos que demonstravam uma diferenciação progressiva destes. O mapa coletivo também está de acordo com o esperado pelo pesquisador já que ambos podem ser classificados na mesma URE4.1 em que os mapas trazem a diferenciação progressiva desses exemplos. Pode-se inferir que, nesse momento, a troca e a negociação favoreceram a construção de conceitos mais elaborados e específicos, favorecendo a diferenciação progressiva, a reconciliação integrativa e a exemplificação de tecnologias utilizadas pelos alunos.

Esse resultado demonstra mais uma vez que a negociação de significados entre os alunos, fazendo com que eles sejam participantes ativos no processo, proporciona uma APSC. Ressaltamos que, para que o aluno possa ser participante ativo, o material proposto, o planejamento e as intervenções do professor devem favorecer esse momento.

6.3.4 Pena Que Toda Rosa Tem Espinhos

Esse tópico foi elaborado para relatar as dificuldades encontradas durante o trabalho, fundamentação teórica, construção da abordagem, implementação, nova implementação e na análise dos dados. Acredita-se na importância desse tópico para auxílio de futuras pesquisas relacionadas com a mesma temática e com grupo de participantes parecidos.

É importante ser levantado que a temática plasma, além de atual e muito utilizada em aplicações tecnológicas, na literatura da área de ensino de ciências não foi encontrado sínteses históricas da temática já que foi feito um levantamento em revistas da área. O quadro 9 apresenta um pequeno levantamento sobre a temática do assunto em três revistas qualis A da área entre os anos de 2006 até 2011.

Quadro 9: Levantamento sobre artigos relacionando ao plasma.

REVISTA	HISTORIA E FILOSOFIA DA CIENCIA	TEMAS DE FISICA MODERNA	FISICA DO PLASMA/HISTÓRIA DA FISICA DO PLASMA	TOTAL DE ASSUNTOS RELACIONADOS	TOTAL DE ARTIGOS INVESTIGADOS
CADERNO BRASILEIRO DE ENSINO DE FISICA	8	7	0	15	159
REVISTA CIENCIA E EDUCAÇÃO	1	5	0	6	195
INVESTIGAÇÕES EM ENSINO DE CIÊNCIAS	6	2	0	8	118

Fonte: o próprio autor.

A pesquisa para a fundamentação da temática plasma não se restringe apenas a essas revistas e a esses anos. Foram investigadas revistas nacionais e internacionais para o auxílio na síntese histórica, no entanto não foram encontrados artigos. O que se tem sobre a temática consiste basicamente na área da engenharia e aplicações. Sendo assim, houve a necessidade de recorrer a textos históricos e artigos de fontes primárias, além de pensar em como transpor as informações para o entendimento de alunos do Ensino Médio.

Outro “espinho” (e esse é dos grandes) foi ausência dos alunos que foram convidados. A ausência pode ser explicada por vários aspectos que podem ser listados: o vestibular, a não obrigatoriedade de participação, implementação fora do horário regular, ausência de certificado de participação, turma pequena, entre outros.

O vestibular foi listado, pois o ensino treinador e a não criticidade são fatores dominantes na maioria dos alunos do terceiro ano do Ensino Médio dos colégios onde houve a implementação. Outro aspecto relevante foi o fato de que esses alunos fazem cursinho pré-vestibular em horários diferentes e que coincidem com a aplicação. Além do vestibular, os alunos perguntaram durante o convite se teriam certificados, ou, ainda, se ganhariam nota na disciplina regular. Tem-se a impressão de que sempre deve existir uma troca material, onde os alunos se esquecem do mais importante, que é o conhecimento. Não se pode culpar os alunos já que eles estão imersos em um sistema capitalista, em que o material é muito importante. A turma do colégio, a qual houve a implementação, é uma turma relativamente pequena. Sendo assim, para a segunda implementação, foram

convidados alunos da mesma série, porém de um outro colégio para completar o grupo.

Durante a segunda implementação, em que o grupo foi maior, proporcionou uma troca maior de informações e negociações. Nesta turma, a demanda por tempo também foi maior. Na segunda implementação, com o grupo de 14 alunos, não deu tempo para realizar o mapa do grupo ou coletivo já que o tempo foi maior nas outras atividades. Além disso, deve-se levar em consideração um tempo maior para a explicação e para a orientação na construção do mapa conceitual e para o manuseio do software Cmaptools.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Ensino Médio atual é marcado pela aprendizagem mecânica, que tem como foco, na maioria das vezes, o vestibular, deixando de lado a formação crítica dos alunos e favorecendo somente o aprendizado de respostas prontas, conceitos de verdade, de univocidade, assim como a reprodução ou cópia exata do que é apresentado. É necessário repensar o Ensino Médio no Brasil, não só em documentos, como já é feito, mas na prática, fornecendo, assim, materiais aos professores como cursos, materiais didáticos e formação inicial. Em relação aos alunos, deve-se pensar em condições e propostas que possam mudar essa cultura de que a aprendizagem mecânica é a melhor forma de aprendizado.

Acredita-se que a aprendizagem mecânica é uma das formas de aprendizado, mas não a única, e que deve ser utilizada somente em casos extremos, como na falta de subsunçores. A proposta do trabalho é ressaltar a importância de ensinar aos alunos conceitos que são contemporâneos e cotidianos a eles de tal forma que isso possa lhes fazer sentido, e que a inserção de FMC por meio da HFC, conseqüentemente, favorece a interdisciplinaridade e a APSC. O que se observou no trabalho ainda está aquém do desejado, pois os alunos ainda apresentaram respostas prontas, retiradas do texto, ou na ordem em que lhes foram apresentadas. Acreditamos que isso ocorreu por conta da cultura que se tem hoje no ensino de Ciências no Brasil, tanto por parte dos alunos, quanto dos professores, de que a ciência é feita por verdades e somente por vias de mão única, feita por gênios, que, em um momento de excelência, inventaram algo.

Os alunos mostraram, nesse trabalho, o que já é dito por diversos autores: a necessidade de outros tipos de abordagens, que eles deixam de ser agentes passivos e somente receptores de informações. Ainda, relataram, após a abordagem histórica, aspectos importantes que foram levantados no texto como a humanização da ciência e o confronto de ideias.

A HFC fornece ferramentas importantes em sua estrita relação com a APSC, pois fornece aspectos de não linearidade, desde conceitos mais simples até conceitos mais complexos, e que muitas dúvidas ou erros conceituais cometidos nos dias de hoje já foram solucionados, fornecendo, assim, ao aluno, um leque de informações que, se relacionadas da maneira correta, acarretam em uma aprendizagem crítica.

Não podemos deixar de citar que, para que a aprendizagem significativa ocorra, o aprendiz deve estar disposto à aprendizagem. Dessa forma, deve-se, antes de qualquer abordagem, levar em conta o episódio ensino, que é caracterizado pelo professor, pelo aluno, pelo material didático e pelo local. É preciso pensar em como e quais ações devem ser feitas para que o aluno se disponha a aprender. Isso pode ser feito por meio de uma abordagem que leva em consideração as características de um episódio de ensino.

O material didático fornecido ao aluno deve ser potencialmente significativo, não somente em quantidade de conteúdos, mas sim em qualidade e diversidade de abordagens. No caso do professor, ele deve pensar em quais ações como mediador, não como foco principal, devem favorecer o aprendizado do aluno.

A abordagem elaborada para o terceiro ano do Ensino Médio e em horário diferente ao de aula poderia ser aplicada em horário normal de aula com os devidos ajustes. O complicador seria o currículo a ser cumprido e a pressão que os professores sofrem para dar conta do conteúdo. No entanto, essa abordagem pode ser aplicada quando o professor terminar o assunto de eletromagnetismo e pode ainda ser dividida com o professor de química já que nessa implementação tem um assunto comum relacionado, a atomística e o experimento de detecção do elétron assim como a relação de sua carga e massa.

Talvez, essa implementação fosse interessante até mesmo para alunos do segundo ano do Ensino Médio onde a pressão conteudista é menor. É claro que, para uma turma de segundo ano, alguns conceitos devem ser trabalhados com cuidado, no entanto com as devidas adaptações, pode ser muito interessante e estimulante para os alunos já que, após a implementação, vários alunos sugeriram mais aplicações e de outros temas como buracos negros, relatividade, condensados e outros para serem estudados com eles.

Pode ser que o leitor esteja querendo saber o resultado da aprendizagem dos alunos no trabalho, o que não seria difícil de pensar, já que estamos acostumados a trabalhar quantitativamente, mas quando se fala em aprendizagem, o que podemos dizer é sobre indícios de aprendizagem significativa. Quando o sujeito está disposto ao aprendizado, ele deve saber que o processo não tem fim, pois à medida que o aprofundamento é feito, o aprendiz adquire competência para caminhar com suas pernas, ou seja, aplicar, relacionar,

aprofundar conceitos aprendidos em sala, fora dela em outros contextos e ainda utilizá-los em sua vida acadêmica ou prática no dia a dia.

O que se pode observar com o trabalho é que conteúdos de FMC unidos a uma abordagem interdisciplinar, contemplando episódios históricos e relevantes, podem contribuir para uma APSC.

REFERÊNCIAS

ABDALLA, M. C. B. **O Discreto Charme das Partículas Elementares**. 1. ed. São Paulo: Fundação Editora Unesp, 2006.

ADÚRIZ-BRAVO, Agutin. La didactica de las ciencias como disciplina. **Enseñanza**, Local, Barcelona, n. 18, p. 61-74, 2000.

AGOSTINO, R. d'. **Plasma deposition, treatment, and etching of polymers**. Boston: Academic Press, 1990.

ALVES, Líria. **Estados físicos da matéria**. Disponível em: <<http://www.brasilecola.com/quimica/estados-fisicos-materia.htm>>. Acesso em: 25 ago. 2013.

AUSUBEL, David P. **Psicologia educativa**: un punto de vista cognoscitivo. México: Editorial Trillas, 1978.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Tradução de Luís Antero Reto e Augusto Pinheiro. Lisboa: Edições 70, 2002.

BATISTA, I. L. O Ensino de Teorias Físicas Mediante Uma Estrutura Histórico-Filosófica. **Ciência e Educação**, Bauru, v. 10, n. 3, p. 461-476, 2004.

BATISTA, Irinéa de Lourdes; SALVI, Rosana Figueiredo. Perspectiva pós-moderna e interdisciplinaridade educativa: pensamento complexo, reconciliação integrática e aprendizagem significativa. **Aprendizagem Significativa em Revista / Meaningful learning Review**, Rio Grande do Sul, v.1, n. 3, p. 73-84, 2011.

BATISTA, Irinéa de Lourdes. A Study of Concepts and Theories Evolution in a Physics Undergraduate Discipline - The routes of Theory Building. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL HISTORY, PHILOSOPHY AND SCIENCE TECHING GROUP, 2013, Pittisburgh.

BOGDAN, R.; BIKLEN, S. **Investigação qualitativa em educação**: uma introdução à teoria e aos métodos. Local: Porto Editora, 1994.

BRASIL. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio**. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2006.

BROWN, Sanborn C. A Short History of Gaseous Electronics. In: HIRSH, Merle N.; OSKAM, H. J. **Gaseous Electronics**. New York: Academic Press, 1978. v. 1.

CHEN, Francis F. **Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion**. 1984. GALEEV, A; SUDAN, R. N. Basic plasma physics.

CROOKES, William. **On radiant matter**. Local: Electric Spacecraft, Inc., 1879.

DIAS, Valéria Silva. **Michel Faraday**: subsídios para metodologia de trabalho experimental. 2003. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Física, USP, São Paulo. 2004.

DUPONT, Benoit. **LCD Or Plasma** - What's Your Pleasure? Understanding Modern Flat-Panel TV Technologies. Disponível em: <<http://www.tomshardware.com/reviews/lcd-plasma,992-5.html>>. Acesso em: 25 ago. 2013.

Evolução dos Modelos Atômicos. Disponível em: <http://www.iq.ufrgs.br/ead/fisicoquimica/modelosatomicos/modelo_dalton.html>. Acesso em: 25 ago. 2013.

FERREIRA, José Leonardo. **Introdução à Física de Plasma.** Disponível em: <<http://trad.fis.unb.br/plasmas/Aulas%20IFP.htm>>. Acesso em: 25 ago. 2013.

FEYNMAN, Richard P.; LEIGHTON, Robert B.; SAND, Mathews. **Lições de física de Feynman:** edição definitiva. Tradução de Adriana Válio Roque da Silva. Porto Alegre: Bookman, 2008. v. 1.

FRANCISCO, Luciano Vieira. **Tales de Mileto:** Tudo Começa na Água. Disponível em: <<http://www.brasilecola.com/filosofia/tales-mileto.htm>>. Acesso em: 25 ago. 2013.

GRAF – Grupo de reelaboração do ensino de física. **Eletromagnetismo.** 5. ed. São Paulo: Edusp, 2002.

HALLIDAY, David; RESNIK, Robert; KRANE, Denneth S. **Física 3.** 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004. v. 2.

LAKATOS, I. O falseamento e a metodologia dos programas de pesquisa científica. *In:* LAKATOS, I; MUSGRAVE, A. (Org.). **A crítica e o desenvolvimento do conhecimento.** São Paulo: Cultrix, 1979.

LANGMUIR, I. Oscillations in ionized gases. **Physical review**, Local, v. 33, n. ?, p. 195-211, fev. 1929.

LAVAQUI, Vanderlei; BATISTA, Irinéa de Lourdes. Interdisciplinaridade em ensino de Ciências e Matemática no Ensino Médio. **Ciência e Educação**, Local, v. 13, n. ?, p. 399-420, 2007.

MAGALHÃES E.L.W., Construção de um Reator a Plasma Frio para Tratamento de Superfície de Materiais. Disponível em: <<http://www.cnpf.embrapa.br/publica/comuntec/edicoes/CT237.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2013.

MARTINS, A. F. P. História e Filosofia da Ciência no Ensino: Há Muitas Pedras no Caminho... **Caderno Brasileiro do Ensino de Física**, Florianópolis, v. 24, n. 1, p. 112-131, abr. 2007.

MATTHEWS, Michael R. História, Filosofia e Ensino de Ciências: A tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense do Ensino da Física**, Florianópolis, v.12, n. 3, p.164-214, 1995.

MCKELLIGET, J. **O que é o Plasma?** 1998. Disponível em:
<<http://www.ifi.unicamp.br/~aruy/plasma/plasma2.htm>>. Acesso em: 25 ago. 2013.

MONTEIRO, M. A.; NARDI, R. Tendências das pesquisas sobre o ensino da física moderna e contemporânea apresentadas nos ENPEC. *In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS*, 6., 2007, Florianópolis. **Anais...** Belo Horizonte: ABRAPEC, 2007.

MOREIRA, Marco A. **Aprendizaje significativo: teoría y práctica**. Madrid: VISOR, 2000.

MOREIRA, Marco A. **A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula**. Brasília: Editora da UnB, 2006.

MOREIRA, Marco A. **Aprendizagem Significativa Crítica**. 2010. Disponível em:
<www.if.ufrgs.br/~moreira/apsigcritport.pdf>. Acesso em: 06 nov. 2013.

MOREIRA, Marco A. Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas – UEPS. **Aprendizagem Significativa em Revista / Meaningful learning Review**, Rio Grande do Sul, v.1 n. 2, p. 43-63, 2011.

NETTO, Luiz Ferraz. **Fissão e Fusão**. Disponível em:
<http://www.feiradeciencias.com.br/sala23/23_MA06.asp>. Acesso em: 25 ago. 2013.

NOVAK, J. D.; GOWIN, D. B. **Aprender a aprender**. Tradução de Carla Valadares. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 1996.

OHRING, M. **The materials science of thin films**. San Diego: Academic Press, 1992.

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**, Local, v. 5, n. 2, 2000.

Paschen Curves. Disponível em:
<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/82/Paschen_Curves.PNG>. Acesso em: 25 ago. 2013.

Plasma content. Disponível em:
<http://www.gamelib.com.br/static/_versions/uploads/assets/junho-2012/plasma_content.jpg>. Acesso em: 25 ago. 2013.

POSTMAN, Neil; WEINGARTNER, Charles. **Teaching as a subversive activity**. New York: Dell Publishing Co., 1969.

PRÄSS, Alberto Ricardo. **Plasma**: o quarto estado da matéria. Disponível em: <http://www.fisica.net/nuclear/plasma_o_quato_estado_da_materia.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2013.

Radiant Matter. Disponível em: <<http://www.tfcbooks.com/mall/more/cover/315-rm.htm>>. Acesso em: 25 ago. 2013.

ROCHA, José Fernando. **Origens e evolução das idéias da física**. Salvador: EDUFBA, 2002.

ROBILOTTA, M. R. O cinza, o branco e o preto: da relevância da história da ciência no ensino de física. **Caderno Catarinense de Ensino Física**, Florianópolis, v. 5, p. 7-22, 1988.

SALVI; Rosana Figueiredo; BATISTA, Irinéa de Lourdes. A análise dos valores na educação científica: contribuições para uma aproximação da filosofia da ciência com pressupostos da aprendizagem significativa. **Experiências em Ensino de Ciências, Local**, v. 3, p. 43-52, 2008.

SMITH E. G. THOMSON, J. J. Cathode Rays. **Philosophical Magazine**, Cambridge, v.44, n.293, p. 21-76, 1897.

STURROCK, Peter A. **Plasma Physics**: An Introduction to the Theory of Astrophysical, Geophysical & Laboratory Plasmas. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

TAYNARA. **Trabalho de Filosofia**. Disponível em: <http://trabalhofilosofiaes.blogspot.com.br/2011_10_01_archive.html>. Acesso em: 25 ago. 2013.

TERRAZZAN, E. A. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 9, n. 3, p. 209-214, dez. 1992.

Televisão, Imagens Tele-transportadas. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/tecnologiacomciencia/TV_Plasma.swf>. Acesso em: 25 ago. 2013.

WEIKART, C. M.; MIYAMA, M.; YASUDA, H. K. Surface modification of conventional polymers by depositing plasma polymers of trimethylsilane and trimethylsilane+O₂. **Journal of Colloid and Interface Science**, Local, v. 211, p. 28-38, 1999.

ZABALA, Antoni. **Como trabalhar os conteúdos procedimentais em aula**. Porto Alegre: Artmed, 1999.

ANEXOS

ANEXO A

Modelo de autorização para a instituição

AUTORIZAÇÃO

Eu....., abaixo assinado, responsável pela(o)....., autorizo a realização da pesquisa de Mestrado com título **“UMA ABORDAGEM DIDÁTICA COM ENFOQUE NA HISTÓRIA DA FÍSICA DO PLASMA POR MEIO DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA”**, a ser conduzida pelos pesquisadores abaixo relacionados. Fui informado pelo responsável do estudo sobre as características e objetivos da pesquisa, bem como das atividades que serão realizadas na instituição a qual represento.

Declaro ainda ter lido e concordar com o parecer ético emitido pelo CEP da instituição proponente, conhecer e cumprir as Resoluções Éticas Brasileiras, em especial a Resolução CNS 196/96. Esta instituição está ciente de suas co-responsabilidades como instituição co-participante do presente projeto de pesquisa e de seu compromisso no resguardo da segurança e bem-estar dos sujeitos de pesquisa nela recrutados, dispondo de infra-estrutura necessária para a garantia de tal segurança e bem-estar.

Londrina,..... dede 20.....

Fonte: www.pucpr.br/arquivosUpload/5383966171326821578.doc

ANEXO B

Termo de consentimento livre e esclarecido

“ UMA ABORDAGEM DIDÁTICA COM ENFOQUE NA HISTÓRIA DA FÍSICA DO PLASMA POR MEIO DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA ”

O seu filho ou (O menor o qual você é responsável), está sendo convidado (a) a participar do projeto de pesquisa acima citado. O documento abaixo contém todas as informações necessárias sobre a pesquisa que estamos fazendo. A colaboração do seu filho ou do (menor) neste estudo será de muita importância para nós, mas caso o mesmo desista de participar a qualquer momento, isso não causará nenhum prejuízo ao seu filho ou a você como responsável.

Eu, _____
 __, residente e domiciliado na cidade de _____, portador da Cédula de identidade, RG _____, e inscrito no CPF _____ nascido (a) em ____ / ____ / _____, responsável pelo menor _____, concordo de livre e espontânea vontade na sua participação como voluntário (a) do estudo **“AS POSSÍVEIS RELAÇÕES ENTRE UM BREVE RESUMO HISTORIOGRÁFICO DA FÍSICA DO PLASMA POR MEIO DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA CRÍTICA NO ENSINO MÉDIO”**.

O menor ou (O responsável pelo menor) fica ciente que:

- I) “Informar ao responsável sobre a pesquisa a ser realizada, citando os objetivos e a metodologia da pesquisa de forma reduzida”;
- II) Os dados serão coletados em “hospitais, clínicas, asilos, escolas...”, através de questionário e exame físico sucinto para a caracterização da amostra;
- III) O menor não é obrigado a responder as perguntas realizadas no questionário de avaliação;
- IV) A participação neste projeto não tem objetivo de submeter o menor a um tratamento, bem como não causará nenhum gasto com relação aos procedimentos médico-clínico-terapêuticos efetuados com o estudo;

- V) O menor tem a liberdade de desistir ou de interromper a colaboração neste estudo no momento em que desejar, sem necessidade de qualquer explicação;
- VI) A desistência não causará nenhum prejuízo à saúde ou bem estar físico do menor, com isso não virá a interferir no atendimento ou tratamento médico;
- VII) A participação do menor neste projeto contribuirá para acrescentar à literatura dados referentes ao tema, direcionando as ações voltadas para a promoção da saúde e não causará nenhum risco à integridade física, psicológica, social e intelectual do mesmo;
- VIII) O responsável pelo menor não receberá remuneração e nenhum tipo de recompensa nesta pesquisa, assim como, o menor do qual é responsável, sendo sua autorização à participação do menor voluntária;
- IX) Os resultados obtidos durante este ensaio serão mantidos em sigilo;
- X) Durante a realização da pesquisa, serão obtidas as assinaturas do responsável pelo menor e do pesquisador, também, constaram em todas as páginas do TCLE as rubricas do pesquisador e do responsável pelo menor;
- XI) O responsável pelo menor concorda que os resultados sejam divulgados em publicações científicas, desde que seus dados pessoais não sejam mencionados;
- XII) Caso o responsável pelo menor desejar, poderá pessoalmente ou por meio de telefone tomar conhecimento dos resultados parciais e finais desta pesquisa.
 - () Desejo conhecer os resultados desta pesquisa.
 - () Não desejo conhecer os resultados desta pesquisa.

Londrina, _____ de _____ de _____.

Declaro que obtive todas as informações necessárias, bem como todos os eventuais esclarecimentos quanto às dúvidas por mim apresentadas. Desta forma autorizo a participação do menor na referida pesquisa acima citada.

Assinatura do Responsável pelo menor: _____

Testemunha 1 : _____

Nome / RG / Telefone

Testemunha 2 : _____
Nome / RG / Telefone

Responsável pelo Projeto: _____

Assinatura do Pesquisador Responsável: _____

Contato do Pesquisador: (43) 9901 – 7397

Fonte: www.unama.br/novoportal/.../MODELO-DE-TCLE-PARA-MENOR.doc

ANEXO C

**OS DADOS DA PESQUISA SÃO RESTRITOS, PARA
CONSULTAR ENTRAR EM CONTATO COM O PESQUISADOR.**