



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

LIGIA AYUMI KIKUCHI

**UMA PROPOSTA DE UNIDADE DIDÁTICA PARA O ENSINO
DA FÍSICA DE PLASMAS NA FORMAÇÃO INICIAL DE
PROFESSORES**

Londrina
2020

LIGIA AYUMI KIKUCHI

**UMA PROPOSTA DE UNIDADE DIDÁTICA PARA O ENSINO
DA FÍSICA DE PLASMAS NA FORMAÇÃO INICIAL DE
PROFESSORES**

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

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

Londrina
2020

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

Kikuchi, Ligia Ayumi .

Uma proposta de Unidade Didática para o ensino da Física de Plasmas na Formação Inicial de Professores / Ligia Ayumi Kikuchi. - Londrina, 2020.
180 f. : il.

Orientador: Irinéa de Lourdes Batista.

Tese (Doutorado 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, 2020.
Inclui bibliografia.

1. Formação de Professores - Tese. 2. Ensino de Física - Tese. 3. Física de Plasmas - Tese. 4. Unidade Didática - Tese. I. Batista, Irinéa de Lourdes. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática. III. Título.

CDU 53

LIGIA AYUMI KIKUCHI

**UMA PROPOSTA DE UNIDADE DIDÁTICA PARA O ENSINO
DA FÍSICA DE PLASMAS NA FORMAÇÃO INICIAL DE
PROFESSORES**

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

BANCA EXAMINADORA

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

Prof^a. Dr^a. Iramaia Jorge Cabral de Paulo
Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT

Prof. Dr. Sérgio Camargo
Universidade Federal do Paraná - UFPR

Prof. Dr. Walter Anibal Rammazzina Filho
Universidade Tecnológica Federal do Paraná -
UTFPR

Prof. Dr. Paulo Sérgio de Camargo Filho
Universidade Tecnológica Federal do Paraná -
UTFPR

Londrina, 28 de Fevereiro de 2020.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha querida família pelo apoio e pensamentos positivos, não só em relação aos meus estudos, mas também em minha vida, que desde meus primeiros passos sempre me incentivou.

À minha orientadora, professora Dra. Irinéa de Lourdes Batista, pela confiança, dedicação e espírito crítico na orientação desta pesquisa, e também pelas contribuições em minha formação profissional e pessoal.

À/aos membra/os da banca, Profa. Dra. Iramaia Jorge Cabral de Paulo, Prof. Dr. Sérgio Camargo, Prof. Dr. Walter Anibal Rammazzina Filho, Prof. Dr. Paulo Sérgio de Camargo Filho, por terem contribuído gentilmente com sugestões e críticas para o aprimoramento deste trabalho.

Aos colegas integrantes do grupo de pesquisa *IFHIECEM* (Investigações em Filosofia e História da Ciência, e Educação Matemática), pelas relevantes discussões, contribuições, leituras e sugestões para o aperfeiçoamento deste trabalho.

Agradeço aos estudantes e professores participantes desta investigação, que gentilmente cederam parte de seu tempo para participar desta pesquisa.

À CAPES, pelo auxílio financeiro.

A todos aqueles que me apoiaram ao longo desta caminhada, por terem contribuído de alguma maneira para que este momento se tornasse realidade.

Obrigada!

KIKUCHI, Ligia Ayumi. **Uma proposta de Unidade Didática para o Ensino da Física de Plasmas na Formação Inicial de Professores**. 2020. 179 f. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2020.

RESUMO

Esta pesquisa realizou uma investigação teórico-metodológica para elaboração e aplicação de uma Unidade Didática de Física de Plasmas com base na História da Ciência, na Aprendizagem Significativa, nos Momentos Pedagógicos e na Didática das Ciências, para estudantes de Licenciatura em Física. Assim, apresentamos um exemplar de uma abordagem didática deste conteúdo, de modo que esta possa contribuir para o repertório de saberes de professores de Física. Os resultados dessa aplicação foram obtidos por meio de questionários, prévio e posterior, e mapas conceituais, na busca de compreender as noções dos estudantes a respeito do tema. Além disso, a Unidade Didática foi enviada a professores atuantes nas Licenciaturas em Física para que esses realizassem uma validação. A partir dos resultados, foi possível inferir que, em função da abordagem com base na História da Ciência, a Unidade Didática possibilitou aos estudantes uma ampliação em suas visões de Natureza da Ciência. Por meio dos resultados obtidos da aplicação da Unidade Didática, observamos indícios de Aprendizagem Significativa. Dessa maneira, podemos afirmar que a Unidade Didática permitiu um enriquecimento dos conceitos por meio da diferenciação progressiva e reconciliação integrativa realizadas pelos estudantes, portanto, houve uma assimilação dos novos conceitos. Além disso, de acordo com a validação realizada pelos professores participantes, a Unidade Didática construída apresenta uma estrutura com potencial de oferecer aos estudantes em formação inicial uma situação de aprendizagem que aciona, articula e integra os saberes disciplinares relacionados com a Física de Plasmas com seus saberes da formação profissional, saberes experienciais e saberes curriculares. A partir da análise realizada, pudemos inferir que a Unidade Didática de Física de Plasmas elaborada pode contribuir para a construção do repertório de saberes de futuros professores.

Palavras-chave: Formação de Professores. Ensino de Física. Física de Plasmas. Unidade Didática. História da Ciência.

KIKUCHI, Ligia Ayumi. **A Didactic Unit proposal for the Teaching of Plasma Physics in the Initial Teachers' Education**. 2020. 179 p. Doctoral thesis (PhD in Science Teaching and Mathematics Education) – State University of Londrina, Londrina, 2020.

ABSTRACT

This research conducted a theoretical and methodological investigation for the elaboration and application of a Didactic Unit of Plasma Physics based on History of Science, Meaningful Learning, the Pedagogical Moments and the Didactic of Sciences, for Physics Education Undergraduate students. Thus, we present a sample of a didactic approach on this content, so that it can contribute to the repertoire of knowledge of Physics teachers. The results of this application were obtained by questionnaires, before and after, and concept maps, in order to understand the students' notions about the theme. In addition, the Didactic Unit was sent to professors, working in Physics Education Undergraduate courses, to validate it. From the results, it was possible to infer that, due to its History of Science approach, the Didactic Unit enabled students to broaden their views on the Nature of Science. Considering the results obtained by applying the Didactic Unit, we noticed Meaningful Learning evidences. Then, we can affirm that the Didactic Unit makes possible an enrichment of concepts through progressive differentiation and integrative reconciliation by the students, therefore, there was an assimilation of new concepts. Moreover, according to the professors' validation, the elaborated Didactic Unit presents a structure with potential to offer students in initial formation a learning situation that triggers, articulates and integrates the disciplinary knowledge related to Plasma Physics with their professional formation knowledge, experiential knowledge and curricular knowledge. From the analysis performed, it is possible to infer that the elaborated Didactic Unit about Plasma Physics can contribute to the construction of the future teachers' repertoire of knowledge.

Keywords: Teacher Education. Physics Teaching. Plasma Physics. Didactic Unit. History of Science.

SUMÁRIO

TRAJETÓRIA ACADÊMICA	8
INTRODUÇÃO	10
1 UMA SÍNTESE DE CONHECIMENTOS E SABERES DOCENTES	15
1.1 FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO E A FORMAÇÃO DE PROFESSORES	20
1.1.1 O Ensino da Física de Plasmas	26
1.1.1.1 Publicações a respeito do ensino da Física de Plasmas	28
1.2 HISTÓRIA DA CIÊNCIA NO ENSINO DE CIÊNCIAS E NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES	40
2 ASPECTOS TEÓRICOS DA UNIDADE DIDÁTICA	48
2.1 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA	51
2.1.1 Mapas Conceituais	54
2.2 MOMENTOS PEDAGÓGICOS	58
2.3 ARTICULAÇÃO DOS ASPECTOS TEÓRICOS DA UNIDADE DIDÁTICA	59
2.4 PRODUTO EDUCACIONAL: “INTRODUÇÃO À FÍSICA DE PLASMAS: UMA ABORDAGEM BASEADA NA HISTÓRIA DA CIÊNCIA”	60
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA A INVESTIGAÇÃO EMPÍRICA	70
3.1 ANÁLISE DOS DADOS DOS ESTUDANTES OBTIDOS POR MEIO DA APLICAÇÃO DA UNIDADE DIDÁTICA	74
3.1.1 Unidades de Contexto e de Registro: Questionários, Prévio e Posterior	74
3.1.2 Procedimentos Analíticos dos Mapas Conceituais Produzidos Pelos Estudantes	79
3.2 UNIDADES DE CONTEXTO E DE REGISTRO: VALIDAÇÃO DA UNIDADE DIDÁTICA POR PROFESSORES PARTICIPANTES	80
4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	87

4.1	RESULTADOS OBTIDOS DOS ESTUDANTES POR MEIO DA APLICAÇÃO DA UNIDADE DIDÁTICA.....	87
4.1.1	Análise das Respostas aos Questionários Prévio e Posterior	87
4.1.2	Análise dos Mapas Conceituais da Física de Plasmas Construídos pelos Estudantes	106
4.2	UMA ANÁLISE DOCENTE DA UNIDADE DIDÁTICA	117
4.3	METANÁLISE	135
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	150
	REFERÊNCIAS.....	153
	APÊNDICES.....	161
	APÊNDICE A – Composição Histórico-Conceitual da Física de Plasma.....	162
	APÊNDICE B – Questionário para investigar conhecimentos de estudantes de Licenciatura em Física	171
	APÊNDICE C – Questionário para análise da Unidade Didática	172
	APÊNDICE D – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido para estudantes participantes.....	174
	APÊNDICE E – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido para professores participantes.....	176
	ANEXOS	178
	ANEXO A – Mapas Conceituais elaborados pelos estudantes participantes	179

TRAJETÓRIA ACADÊMICA

Meu primeiro contato com autores da área de Ensino de Física preocupados com a introdução de temas de Física Moderna e Contemporânea (FMC) na Educação Básica aconteceu quando ingressei na Iniciação Científica sob orientação da professora Dra. Irinéa de Lourdes Batista, e comecei a participar do grupo de pesquisa IFHIECEM (Investigações em Filosofia e História da Ciência, e Educação em Ciências e Matemática), da Universidade Estadual de Londrina (UEL).

Sou licenciada em Física pela UEL. Ingressei no curso de Especialização em Ensino de Física na UEL no início de 2013. Em minha monografia, elaboramos uma sequência didática como proposta didática que pudesse colaborar para o ensino de Física de Plasmas no Ensino Médio. A partir da especialização, observamos que para que assuntos de Física Moderna e Contemporânea fossem abordados na Educação Básica, seria necessário que os professores tivessem formação para isso.

Iniciei o mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática em 2014, na UEL, como uma oportunidade de aprofundar os estudos já iniciados na especialização. Foi realizada uma discussão a respeito do ensino da temática Física de Plasmas e a formação de professores. Para isso, realizamos uma Análise Documental de Projetos Políticos Pedagógicos de Cursos de Licenciatura em Física brasileiros, além da elaboração de um questionário para professores desses cursos analisados. Evidenciamos pouca atenção dada a essa temática na formação de professores.

É relevante citar também que, nesse mesmo contexto do Ensino de Física de Plasmas, outro integrante do grupo de pesquisa IFHIECEM realizou sua pesquisa de mestrado uma investigação de uma abordagem didática com enfoque na história da Física de Plasma por meio da Aprendizagem Significativa. Essa abordagem foi realizada com estudantes do Ensino Médio.

No início de 2016, ingressei no doutorado no mesmo Programa de Pós-Graduação na UEL, então pude aprofundar mais a respeito da Formação de Professores com relação à Física de Plasmas.

É relevante ressaltar que este trabalho faz parte de um contexto de pesquisas do grupo IFHIECEM. Alguns dos objetivos deste grupo de pesquisa que estão relacionados a esta tese são:

- Investigar noções teórico-metodológicas e ontológicas concernentes à natureza, estrutura e construção do conhecimento científico;

- Alcançar resultados aplicáveis na realidade escolar (Educação Básica e Superior: formação docente e aprendizagem científica), por meio da contribuição da História da Ciência para a Educação em Ciências e Matemática, buscando uma melhoria da didática no Ensino de Ciências.

Demais informações do grupo a respeito dos objetivos, publicações, atividades, entre outros, estão disponíveis na página eletrônica: <<http://www.uel.br/grupo-pesquisa/ifhiecem/index.html>>.

INTRODUÇÃO

Nossa sociedade está repleta de desenvolvimentos científicos e tecnológicos, aparelhos eletrônicos, dispositivos automáticos, sistemas de controle, usos do laser e telecomunicações, computação quântica, impressoras 3D, etc. Além disso, a Indústria 4.0 está revolucionando a maneira como são produzidos os bens nas linhas de produção por meio de tecnologias empregadas nos processos produtivos. Dentre essas tecnologias estão, por exemplo, sensores mais baratos, internet e inteligência artificial (AIRES; MOREIRA; FREIRE, 2017). Apesar de há mais de um século nossa sociedade estar repleta desses desenvolvimentos em nosso cotidiano, cujos fenômenos estão relacionados com a Física Moderna e Contemporânea (FMC)¹, o ensino de Física nas escolas ainda continua com ênfase na Física Clássica (MONTEIRO; NARDI; BASTOS FILHO, 2009; OSTERMANN; FERREIRA; CAVALCANTI, 1998; OSTERMANN; MOREIRA, 2000a, 2000b; TERRAZAN, 1992), mantendo-se afastado de ideias revolucionárias que mudaram a Física do século XX. Nesse sentido, para que a Educação Científica acompanhe esse desenvolvimento do conhecimento científico contemporâneo, existem discussões, tanto nacional quanto internacionalmente, da necessidade da introdução do ensino de tópicos de FMC nas aulas para o Ensino Médio.

Observa-se, em livros didáticos atuais de Física para o Ensino Médio, que existe uma opção por alguns tópicos relacionados à FMC como, por exemplo, a Teoria da Relatividade, a Teoria Quântica, a Física Nuclear, a Física de Partículas. E essas escolhas, quando não se limitam a uma apresentação histórica pouco rigorosa, ainda procuram seguir critérios que possibilitem a utilização de um formalismo matemático elementar, adequado para estudantes da Educação Básica (FIGUEIRA, 2014).

A Física de Plasmas é um dos temas relacionados com a Física Moderna e Contemporânea que, apesar de cotidianamente estar relacionado com fenômenos naturais como, por exemplo, as auroras, austral e boreal, fogo, relâmpago,

¹ De acordo com Dominghini (2012), a Física pode ser dividida, historicamente, em três grandes etapas: Física Clássica, Física Moderna e Física Contemporânea. A Física Clássica compreende os trabalhos desenvolvidos a partir da tríade Copérnico, Galileu e Newton até a teoria clássica do Eletromagnetismo, no final do século XIX. A Física Moderna abrange o conjunto de teorias a partir do início do século XX, com os trabalhos de Planck da Mecânica Quântica e de Einstein da Relatividade. A Física Contemporânea origina-se a partir do final da Segunda Guerra Mundial, com os estudos das partículas subatômicas. Nesta pesquisa, utilizaremos o termo Física Moderna e Contemporânea (FMC) para expressar os trabalhos do campo da Física realizados a partir do século XX.

normalmente, não são ensinados nas aulas de Física, nem da Educação Básica, nem do Ensino Superior em Física, seja nas Licenciaturas ou nos Bacharelados.

O assunto de Física de Plasmas não aparece explicitamente na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) (BRASIL, 2018), mas podemos relacioná-la com as unidades temáticas “Matéria e Energia” e “Vida, Terra e Cosmos”. Com relação ao Ensino Superior, Kikuchi (2016), por meio de uma investigação nos currículos de cursos de Licenciatura em Física, evidenciou pouca ocorrência dessa temática na formação inicial de professores.

Além dos fenômenos naturais diretamente observáveis, o estado de plasma também pode ser encontrado em tecnologias atuais como lâmpadas fluorescentes, bolas de plasma, escapamentos de foguetes, *tokamak* (equipamento para obtenção de fusão termonuclear), telas de plasma em televisores. Ou seja, esse tema se mostra relevante para a fronteira C&T (Ciência & Tecnologia), uma vez que faz parte das bases teóricas de desenvolvimentos tecnológicos.

Nesse contexto da era da tecnologia da informação e comunicação, com os avanços da internet e de tecnologias emergentes, a educação encontra-se em transformações que englobam as instituições de ensino, os educadores e estudantes. Essa Educação 4.0² apresenta novos cenários de aprendizagem que exigem novas práticas pedagógicas que envolvem o domínio da linguagem tecnopedagógica (FÜHR, 2018).

Dentre essas tecnologias emergentes, destaca-se a Internet das Coisas, do inglês, *Internet of Things* (IoT). De acordo com Silva e Szesz Junior (2018), o processo de consolidação da IoT atinge a educação e a sala de aula tradicional, a qual passa por um processo de mudanças, a fim de adaptar-se à tecnologia disponível, com diversos recursos para acompanhar essa era digital.

Ainda no que tange à Educação na era da tecnologia da informação e comunicação, salientamos que, para que a temática de Física de Plasmas seja

² Este já é um termo recorrente na literatura. Trazemos a definição dada por Führ (2018): “**Educação 4.0** – Com o advento da Quarta Revolução Industrial e da era digital, a educação apresenta um novo paradigma onde a informação encontra-se na rede das redes, nas aldeias globais e encontra-se acessível a todos de forma horizontal e circular, sem limite de tempo e espaço geográfico. O educador, nesta chuva de sinapses de informações acessíveis pelas TICs, torna-se o orquestrador, o curador das múltiplas informações junto ao educando, onde procura organizar e sintetizar a informação, transformando a informação em conhecimento e o conhecimento em sabedoria. O educando nesse ambiente ciberarquitetônico torna-se o ator, o autor do conhecimento através da pesquisa proposta nos projetos interdisciplinares que possibilitam o desenvolvimento de competências e habilidades para corresponder a sociedade 4.0.”.

adequadamente ensinada na Educação Básica, é preciso pensar na formação de professores, não somente em relação ao conteúdo de FMC. É necessário, também, desenvolver recursos didáticos, buscando por abordagens metodológicas capazes de apresentar esses conteúdos de maneira dinâmica e contextualizada, para que o assunto não seja desconexo aos alunos, e para que o professor se sinta capaz de ensinar tópicos desse conteúdo em sala de aula.

As pesquisas em Ensino de Ciências ressaltam a relevância da utilização de novas abordagens metodológicas que atendam à necessidade da Ciência de se tornar cada vez mais próxima e significativa aos alunos. Tais pesquisas abordam benefícios que a utilização da História da Ciência pode oferecer para o Ensino de Ciências, bem como seu caráter explicativo (BATISTA, 2004; MARTINS, 1990; MATTHEWS, 1995; PEDUZZI, 2001; ROBILOTTA, 1988; ARAMAN, 2006; BATISTA; ARAMAN, 2009). Uma abordagem didática com base na História da Ciência, de acordo com a literatura científica da área, pode fornecer modos de contextualização para a aprendizagem de temas relevantes de Natureza da Ciência, que é fundamental para a construção do repertório de saberes de docentes de Física (BATISTA, 2004, 2009, 2016), além de facilitar a aprendizagem de conteúdos de Física, como a Física de Plasmas. Nesse sentido, a Teoria da Aprendizagem Significativa (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980) possui um potencial para favorecer essa aprendizagem.

Com base no contexto e nos argumentos acima expostos, o presente trabalho discorre a respeito da seguinte questão: De que maneira seria possível a elaboração de uma situação de ensino com base científica que proporcione momentos de aprendizagem para a construção de saberes docentes a respeito da Física de Plasmas na formação inicial de professores?

Desse modo, o objetivo do presente trabalho foi realizar uma investigação teórico-metodológica para elaboração e aplicação de uma Unidade Didática da Física de Plasmas com base na História da Ciência, na Aprendizagem Significativa e nos Momentos Pedagógicos e na Didática das Ciências, para estudantes de Licenciatura em Física, articulada a uma investigação de construção de Saberes Docentes nesta temática. Portanto, apresentamos um exemplar de uma abordagem didática deste conteúdo, de maneira que esta possa contribuir para o repertório de saberes de professores de Física.

Para alcançar tal objetivo, elencamos como objetivos específicos:

- elaborar uma composição histórico-conceitual da Física de Plasmas;
- elaborar uma Unidade Didática por meio de uma investigação metodológica na Didática das Ciências;
- identificar noções prévias dos estudantes de Licenciatura em Física a respeito da Física de Plasmas;
- analisar uma possibilidade de ampliação de noções dos estudantes desse assunto, mediante uma proposta de Unidade Didática, fundamentada na Teoria da Aprendizagem Significativa;
- identificar indícios de Aprendizagem Significativa dos estudantes em relação à temática, alcançada por meio da Unidade Didática.

Essa Unidade Didática visou uma formação a respeito da temática Física de Plasmas com o objetivo de possibilitar aos estudantes: conhecer, analisar e interpretar o estado de plasma; diferenciar o estado de plasma de outros estados da matéria, por meio de suas principais características; explicar modos de produção de plasma; identificar exemplos do estado de plasma em fenômenos naturais e tecnologias; uma maneira de se prepararem metodologicamente para o exercício da docência no que se refere ao ensino de conteúdos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, em especial, a Física de Plasmas.

Nos capítulos desta tese, portanto, foram descritos e discutidos os resultados que surgiram durante o seu percurso investigativo.

No primeiro capítulo, foi apresentada uma síntese de conhecimentos e saberes que acompanham os professores em sua ação docentes. Discutimos a introdução da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio e sua relação com a Formação de Professores. Justificamos a escolha do tema Física de Plasmas como um dos tópicos de FMC e apresentamos discussões a respeito do seu ensino. Além disso, apresentamos uma revisão de literatura de publicações a respeito do ensino da Física de Plasmas. Foram apresentadas, também, discussões a respeito da História da Ciência no Ensino de Ciências e suas implicações na Formação de Professores.

Em seguida, no segundo capítulo, apresentamos a fundamentação utilizada para a elaboração da Unidade Didática, baseada nos princípios da Teoria da Aprendizagem Significativa, nos três momentos pedagógicos e na História da Ciência.

No terceiro capítulo, foram apresentados os procedimentos metodológicos adotados na investigação empírica que foi de cunho qualitativo e interpretativo, baseada na Análise de Conteúdo.

O quarto capítulo foi destinado à apresentação dos dados obtidos por meio da aplicação da Unidade Didática e das respostas de professores a um questionário. Foram apresentadas, também, nesse capítulo, as inferências realizadas a partir da análise dos dados com relação à fundamentação teórica.

1 UMA SÍNTESE DE CONHECIMENTOS E SABERES DOCENTES

A formação de professores, de acordo com García (1999, p. 26) é a área de conhecimento e de investigação centrada no estudo dos processos por meio dos quais os professores aprendem e desenvolvem sua competência profissional.

Com relação à formação inicial de professores, García (1999, p. 77) apresenta como funções: 1) a de formação de futuros professores, de modo a assegurar uma preparação de acordo com as funções profissionais que o professor deverá desempenhar; 2) a função de controle da certificação ou permissão para poder exercer a profissão docente; 3) a função de ser agente de mudança do sistema educativo e contribuir para a socialização e reprodução da cultura dominante.

Neste capítulo, apresentamos uma síntese com base em autores relevantes da área de formação docente a respeito de questões que envolvem os conhecimentos e os saberes que acompanham os professores em sua ação docente. As discussões abordam diferentes saberes que os professores mobilizam e a relevância destes saberes para a atuação docente e seu desenvolvimento profissional.

Existe um consenso entre pesquisas da área de que a prática profissional do professor exige uma rede complexa de conhecimentos e saberes que se combinam na tentativa de atender seus desafios no dia a dia (ARAMAN, 2011). Dessa maneira, pesquisadores como Shulman (1986, 1987, 2014), Gauthier *et al.* (1998), García (1999) e Tardif (2007) evidenciam a necessidade de compreender e explicitar saberes que professores mobilizam durante a ação docente, bem como possibilidades de articulação desses saberes com pesquisas em formação de professores.

Shulman (1986, 1987, 2014) considera que os professores necessitam de um conjunto de compreensões, conhecimentos, habilidades e disposições para atuar de maneira efetiva nas situações de ensino e de aprendizagem com as quais se depara diariamente, denominado de base de conhecimentos (*knowledge base*).

Ele distingue três categorias de conhecimentos presentes no desenvolvimento cognitivo de docentes: o conhecimento do conteúdo (*subject matter content knowledge*); o conhecimento pedagógico do conteúdo (*pedagogical content knowledge*) e o conhecimento do currículo (*curricular knowledge*). A base de

conhecimentos do professor se forma na articulação entre essas três categorias (SHULMAN, 1986, 1987, 2014).

O conhecimento do conteúdo refere-se à quantidade e organização do conhecimento em si na mente do professor. Nas diferentes áreas, a maneira de discutir a estrutura do conteúdo do conhecimento difere. O conhecimento pedagógico do conteúdo vai além do conhecimento da matéria em si para a dimensão do conhecimento da matéria para o ensino, um conhecimento que engloba os aspectos mais relacionados com seu ensino. Dentro do conhecimento pedagógico do conteúdo estão os modos de representar e formular a matéria fazendo-a compreensível para o seu ensino. Uma vez que não existe uma poderosa maneira de representação, o professor deve ter em mãos várias alternativas de representação, algumas das quais derivam de pesquisas enquanto outras originam da sua prática. No conhecimento do currículo, este é representado pelo programa planejado para o ensino de matérias ou tópicos de um determinado nível, a variedade de materiais instrucionais disponíveis em relação a estes programas (SHULMAN, 1986).

Em outro trabalho, Shulman (1987, 2014) inclui outros conhecimentos que um professor mobiliza durante seu exercício profissional, fazendo parte da base de conhecimento:

- conhecimento do conteúdo;
- conhecimento pedagógico geral, com especial referência aos princípios e estratégias mais abrangentes de gerenciamento e organização de sala de aula, que parecem transcender a matéria;
- conhecimento do currículo, particularmente dos materiais e programas que servem como “ferramentas do ofício” para os professores;
- conhecimento pedagógico do conteúdo, esse amálgama especial de conteúdo e pedagogia que é o terreno exclusivo dos professores, seu meio especial de compreensão profissional;
- conhecimento dos alunos e de suas características;
- conhecimento de contextos educacionais, desde o funcionamento do grupo ou da sala de aula, passando pela gestão e financiamento dos sistemas educacionais, até as características das comunidades e suas culturas; e
- conhecimento dos fins, propósitos e valores da educação e de sua base histórica e filosófica. (SHULMAN, 2014, p. 206).

Nesse mesmo sentido, Gauthier *et al.* (1998, p. 17-28) afirmam que o conhecimento dos elementos do saber profissional docente pode permitir aos professores o exercício do seu ofício com mais competência, uma vez que o ensino

é concebido como a mobilização de vários saberes que formam um reservatório no qual o professor se abastece para responder a exigências específicas de sua situação concreta de ensino.

O reservatório de saberes, para Gauthier *et al.* (1998, p.29-33), engloba todos os saberes do docente:

- saberes disciplinares (a matéria): produzidos pelos pesquisadores e cientistas nas disciplinas científicas, a respeito do mundo;
- saberes curriculares: “conhecer o programa”;
- saberes das ciências da educação: conhecimentos profissionais que o informam a respeito de facetas de seu ofício ou da educação;
- saberes da tradição pedagógica (o uso): representação da profissão serve de molde para guiar os comportamentos dos professores;
- saberes experienciais (a jurisprudência particular): feitos de pressupostos e de argumentos que não são testados por meio de métodos científicos;
- saberes da ação pedagógica (o repertório de conhecimentos do ensino ou a jurisprudência pública validada): saber experiencial dos professores a partir do momento em que se torna público e que é testado por meio das pesquisas realizadas em sala de aula.

Assim, segundo Gauthier *et al.* (1998, p. 18), o “repertório de conhecimentos” designa os “saberes da ação pedagógica”, que remetem diretamente ao gerenciamento da classe e ao gerenciamento do conteúdo.

O repertório de conhecimentos próprios ao ensino engloba uma porção do saber dos professores, esta oriunda da prática na sala de aula e necessária à profissionalização da atividade docente, aquela que diz respeito aos saberes produzidos pelos docentes no exercício de sua atividade (GAUTHIER *et al.*, 1998, p. 185).

Gauthier *et al.* (1998, p. 185-186) concebem o repertório de conhecimentos próprios ao ensino como um conjunto de enunciados que expressam algo a respeito da prática docente em sala de aula, relacionados aos saberes práticos que mobilizam conhecimentos referentes tanto aos procedimentos de instrução quanto às maneiras de gerenciar a sala de aula.

Segundo García (1999), o conhecimento profissional dos professores pode ser dividido em quatro componentes: conhecimento psicopedagógico, conhecimento do conteúdo, conhecimento didático do conteúdo e conhecimento do contexto.

O conhecimento psicopedagógico é aquele relacionado com o ensino, com a aprendizagem, com os alunos, com os princípios gerais de ensino, tempo de aprendizagem, tempo de espera, ensino em pequenos grupos, gestão de classe, etc. Inclui também o conhecimento de técnicas didáticas, estrutura das classes, planificação do ensino, teorias do desenvolvimento humano, processos de planificação curricular, avaliação, cultura social e influências do contexto no ensino, história e filosofia da educação, aspectos legais da educação, etc.

O conhecimento do conteúdo diz respeito aos conhecimentos da matéria a ensinar. O conhecimento que os professores possuem do conteúdo a ensinar influencia o que e como ensinam. A falta de conhecimentos do professor pode afetar o nível de discurso na classe, assim como o tipo de perguntas que os professores formulam e o modo como os professores criticam e utilizam livros-texto.

O conhecimento didático do conteúdo é a combinação entre o conhecimento da matéria a ensinar e o conhecimento pedagógico e didático de como a ensinar.

O conhecimento do contexto diz respeito aos conhecimentos dos professores do local onde se ensina e a quem se ensina. O professor deve adaptar seu conhecimento geral da matéria às condições particulares da escola e dos alunos que a frequentam.

Dentre as pesquisas de saberes docentes, destaca-se também a realizada por Tardif (2007), na qual o saber³ dos professores está relacionado com a pessoa e a identidade deles, com sua experiência de vida e sua história profissional, com suas relações com os estudantes em sala de aula e com os outros atores escolares. Esse saber é

um processo de construção ao longo de uma carreira profissional, na qual o professor aprende progressivamente a dominar seu ambiente de trabalho, ao mesmo tempo em que se insere nele e o interioriza por meio de regras de ação que se tornam parte integrante de sua “consciência prática” (TARDIF, 2007, p. 14).

³ Utilizamos a expressão “saber” como aquele construído pelo professor, diferenciando de “conhecimento”, sendo este compartilhado entre pesquisadores em uma comunidade científica.

Tardif (2007) se refere ao saber docente como um saber plural, formado por saberes oriundos de diversas fontes. Esses saberes são os da formação profissional (incluindo os das ciências da educação e da pedagogia), saberes disciplinares, curriculares e experienciais.

Saberes da formação profissional: conjunto de saberes obtido por meio de instituições de formação de professores – escolas ou faculdades de Ciências da Educação. Englobam os saberes das Ciências da Educação e os saberes pedagógicos. Os saberes das Ciências da Educação são destinados à formação científica dos professores e, caso sejam incorporados à prática docente, podem se transformar em prática científica, em tecnologia da aprendizagem. Os saberes pedagógicos provêm de reflexões da prática educativa, reflexões racionais e normativas que conduzem a sistemas de representação e de orientação da atividade educativa.

Saberes disciplinares: saberes integrados à prática docente por meio da formação dos professores nas diversas disciplinas ofertadas pelas instituições universitárias por meio do ensino de conteúdos disciplinares. Esses saberes correspondem aos diversos campos de conhecimento que dispõe nossa sociedade. São obtidos por meio de cursos e departamentos universitários independentes, das faculdades de educação e de cursos de formação de professores, como por exemplo, Matemática, Física, Química, Literatura etc.

Saberes curriculares: saberes que correspondem aos discursos, objetivos, conteúdos e métodos, a partir dos quais a instituição escolar categoriza e apresenta os saberes sociais por ela definidos. São apresentados sob a forma de programas escolares da instituição, que serão utilizados pelos professores durante o exercício da prática de ensino.

Saberes experienciais (ou práticos): conjunto de saberes desenvolvido pelos professores durante o exercício de suas funções e na prática de sua profissão, baseado em seu trabalho cotidiano e no conhecimento de seu meio. São saberes práticos que surgem da experiência docente, e formam um conjunto de representações a partir das quais os professores interpretam, compreendem e orientam sua profissão e sua prática cotidiana em todas as suas dimensões.

A profissão docente se articula, simultaneamente, com diferentes saberes, uma vez que o professor ideal deve conhecer sua matéria, sua disciplina e seu programa, além de possuir conhecimentos relacionados às ciências da educação e à

pedagogia e desenvolver um saber prático baseado em sua experiência cotidiana com os estudantes. Essas múltiplas articulações entre a prática docente e os saberes fazem dos professores um grupo social e profissional, cuja existência depende de sua capacidade de dominar, integrar e mobilizar tais saberes enquanto condições para sua prática (TARDIF, 2007, p. 39).

Dessa maneira, para a introdução de conteúdos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) na Educação Básica, é necessário que os professores de Física se apropriem de **saberes disciplinares** a respeito do conteúdo e de **saberes da formação profissional** e **saberes experienciais**. Nesse sentido, a História da Ciência pode possibilitar a compreensão de um determinado conceito científico por meio do estudo de seu desenvolvimento e aperfeiçoamento, além de proporcionar uma metodologia diferenciada para o ensino de Ciências. Dessa maneira, a História da Ciência permite um aprimoramento tanto de **saberes disciplinares** como de **saberes da formação profissional**. Além disso, para uma efetiva introdução de novos temas no Ensino Médio, são necessários também **saberes curriculares** para a discussão de mudanças no currículo com relação a substituição de assuntos de Física Clássica pelos de FMC, além de discussões a respeito de que momentos, séries, esses novos assuntos deverão ser apresentados.

Na próxima seção, discutimos a introdução da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio e sua relação com a Formação de Professores. Justificamos a escolha do tema Física de Plasma como um dos tópicos de FMC e apresentamos discussões a respeito do seu ensino. Além disso, apresentamos uma revisão de literatura de publicações a respeito do ensino da Física de Plasma.

1.1 FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO E A FORMAÇÃO DE PROFESSORES

O ensino de Física Moderna e Contemporânea (FMC) na Educação Básica já vem sendo discutido ao menos durante as últimas três décadas. Na literatura da área há várias justificativas apresentadas por pesquisadores para o ensino da FMC no Ensino Médio, como por exemplo: despertar a curiosidade dos estudantes e ajudá-los a reconhecer a Física como um empreendimento humano e, portanto, mais próxima a eles; estabelecer o contato dos alunos com ideias revolucionárias que mudaram a Ciência do século XX. Como consequência desse ensino, temos a

atração de jovens para carreiras científicas, para serem futuros pesquisadores e/ou professores de Física (OSTERMANN; FERREIRA; CAVALCANTI, 1998; OSTERMANN; MOREIRA, 2000a).

Pesquisas a respeito dessa temática, como a de Valadares e Moreira (1998), por exemplo, destacam a relevância do diálogo dos alunos com os fenômenos físicos que estão por trás do funcionamento de aparelhos que, atualmente, são utilizados no dia a dia da maioria das pessoas. De acordo com esses pesquisadores, a introdução de conceitos básicos de Física Moderna e da relação da física da sala de aula e a física do cotidiano se mostra relevante para que os estudantes do Ensino Médio conheçam os fundamentos da tecnologia atual, que já atua diretamente em suas vidas.

Destaca-se, também, que a Física Moderna, segundo Carvalho e Zanetic (2004), introduziu um novo modo de pensar não só na Ciência, como também em várias outras áreas do conhecimento, permitindo visualizar o mundo como uma teia inter-relacionada e interdependente de fenômenos. Essa nova visão, para estes autores,

[...] permitiu relacionar as partes com o todo e o todo com as partes, rompendo com a causalidade linear e dando lugar à outra que contempla a interação, a probabilidade e a complementaridade [...] (CARVALHO; ZANETIC, 2004, p. 2).

Outros benefícios que a FMC pode possibilitar foram citados por Monteiro, Nardi e Bastos Filho (2009), que destacaram: a construção de uma visão cultural da Ciência; uma visão mais coerente da Física, bem como da natureza do trabalho científico; uma discussão da Ciência e Tecnologia como expressão de interesses e criatividade humanos; uma problematização a respeito dos propósitos e implicações das tecnologias elaboradas a partir da Física; entre outros.

Apesar do crescente número de pesquisas e iniciativas de elaboração de materiais didáticos, que visam contribuir com a introdução da Física Moderna e Contemporânea na Educação Básica (ARRIASSECQ; GRECA, 2006; GRECA; MOREIRA, 2001; FISCHLER; LICHTFELDT, 1992; OSTERMANN; MOREIRA, 2000a, 2000b; OTERO; FANARO; ARLEGO, 2009), grande parte dos alunos de nível médio têm um contato com uma Física cada vez mais distante de sua realidade em sala de aula. Ainda são ensinadas “verdades”, respostas “certas”, entidades isoladas, causas simples e identificáveis, “coisas” fixas, diferenças dicotômicas,

segundo um ensino em que se “transmite” o conhecimento, desestimulando o questionamento. Assim, quando conteúdos de Física Moderna são introduzidos, isso é realizado de maneira desestruturada, dificultando a compreensão dos alunos e dando lugar a sérios erros conceituais (GIL PEREZ; SENENT; SOLBES, 1985).

Além das pesquisas em Educação Científica, os documentos educacionais oficiais brasileiros também citam a abordagem da Física Moderna e Contemporânea para o Ensino Médio.

Segundo as Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+), o Ensino de Física deve apresentar um conjunto de competências que tornem possível a compreensão de fenômenos naturais e tecnológicos presentes no cotidiano do aluno. É preciso “construir uma visão da Física que esteja voltada para a formação de um cidadão contemporâneo, atuante e solidário, com instrumentos para compreender, intervir e participar na realidade” (BRASIL, 2002, p. 1). Portanto, uma das competências em Física esperadas ao final da escolaridade básica com respeito à Ciência e tecnologia na cultura contemporânea, de acordo com as PCN+, é compreender maneiras pelas quais a Física e as tecnologias influenciam a interpretação do mundo atual, condicionando modos de pensar e interagir: “Por exemplo, como a relatividade ou as ideias quânticas povoam o imaginário e a cultura contemporânea, conduzindo à extrapolação de seus conceitos para diversas áreas, [...]” (BRASIL, 2002, p. 68).

De acordo com as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Básica (DCNEB), “o conhecimento científico e as novas tecnologias constituem-se, cada vez mais, condição para que a pessoa saiba se posicionar frente a processos e inovações que a afetam” (BRASIL, 2013, p. 26).

Na Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2018), também é possível observar a preocupação com o ensino de aspectos da Física Moderna e Contemporânea, pois, segundo tal documento, uma das competências específicas da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias para o Ensino Médio seria

Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global (BRASIL, 2018, p. 554).

É citado, ainda, que nessa competência específica podem-se estudar diferentes conteúdos referentes: à estrutura da matéria; à fusão e fissão nucleares; aos efeitos biológicos das radiações ionizantes; à mutação; à poluição; aos ciclos biogeoquímicos; ao desmatamento; à camada de ozônio e efeito estufa; ao desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias de obtenção de energia elétrica; entre outros.

A formação de um cidadão, portanto, deve levar em consideração a sociedade em que ele está inserido, uma sociedade repleta de desenvolvimentos científicos e tecnológicos, cujos fenômenos estão relacionados com a Física Moderna e Contemporânea. Devemos considerar que os estudantes têm sua vida influenciada por esses desenvolvimentos e precisam compreender o mundo em que vivem. Sendo assim, a respeito da FMC, os documentos educacionais brasileiros se revelam em concordância com pesquisas científicas da área.

Existem, na literatura, várias pesquisas que apresentam discussões de temas de Física Moderna e Contemporânea e sua relação com as tecnologias ao nosso redor, em que pesquisadores e professores estão preocupados com a melhoria do ensino de ciências, buscando uma formação de cidadãos com relação ao papel da ciência e da tecnologia, seus valores e ideologias (CAVALCANTE; TAVOLARO, 2001; CORRALLO, 2009; FERREIRA; DAMASIO; RODRIGUES, 2014; OLIVEIRA; VIANNA; GERBASSI, 2007; PINTO; ZANETIC, 1999; VICENTINI *et al.*, 2010). Essa discussão se mostra relevante uma vez que uma sociedade alfabetizada científica e tecnologicamente pode ser capaz de propiciar uma boa qualidade de vida.

Salientamos que para que as temáticas de FMC sejam possibilitadas aos estudantes da Educação Básica, é necessário que professores de Física também possuam formação de modo que cumpram essas necessidades, já que eles são os mediadores decisivos entre o currículo estabelecido e os estudantes (GIMENO SACRISTÁN, 2000).

Oliveira, Vianna e Gerbassi (2007, p. 448) ressaltam que a atualização do currículo deve estar vinculada com a formação de professores, pois não basta introduzir novos assuntos que proporcionem análise e estudos de assuntos mais atuais se não houver uma preparação adequada dos estudantes das Licenciaturas para essa mudança e se o profissional em exercício não tiver a oportunidade de se atualizar.

Nesse mesmo sentido, para Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2012), é preciso investir na formação e no desenvolvimento profissional de professores, uma vez que estes são profissionais essenciais nos processos de mudança das sociedades.

Segundo as Diretrizes Nacionais Curriculares para os Cursos de Física (BRASIL, 2001), o perfil esperado dos formandos em Física é de um profissional que seja capaz de abordar e tratar problemas novos e tradicionais, com apoio em conhecimentos sólidos e atualizados em Física, além de estar preocupado em buscar novas maneiras do saber e do fazer científico e tecnológico. Além disso, a formação do Físico deve levar em consideração tanto perspectivas tradicionais de atuação dessa profissão como novas demandas que vêm emergindo nas últimas décadas. Deve-se propor, portanto, uma formação ampla e flexível, que desenvolva habilidades e conhecimentos necessários às expectativas atuais e capacidade de adequação a diferentes perspectivas de atuação futura (BRASIL, 2001).

As *competências essenciais* dos formandos em Física, de acordo com as Diretrizes Nacionais Curriculares para os Cursos de Física, são:

1. Dominar princípios gerais e fundamentos da Física, estando familiarizado com suas áreas clássicas e modernas;
2. descrever e explicar fenômenos naturais, processos e equipamentos tecnológicos em termos de conceitos, teorias e princípios físicos gerais;
3. diagnosticar, formular e encaminhar a solução de problemas físicos, experimentais ou teóricos, práticos ou abstratos, fazendo uso dos instrumentos laboratoriais ou matemáticos apropriados;
4. manter atualizada sua cultura científica geral e sua cultura técnica profissional específica;
5. desenvolver uma ética de atuação profissional e a consequente responsabilidade social, compreendendo a Ciência como conhecimento histórico, desenvolvido em diferentes contextos sociopolíticos, culturais e econômicos (BRASIL, 2001, p. 4).

Essas Diretrizes ainda apresentam que uma das *habilidades gerais* que devem ser desenvolvidas pelos formandos em Física seria “reconhecer as relações do desenvolvimento da Física com outras áreas do saber, tecnologias e instâncias sociais, especialmente contemporâneas” (BRASIL, 2001, p. 4). Portanto, de acordo com as Diretrizes Nacionais Curriculares para os Cursos de Física, os futuros professores de Física deveriam ser preparados para o ensino da FMC na Educação Básica durante seu curso de graduação.

De acordo com Monteiro, Nardi e Bastos Filho (2009), no entanto, a introdução de assuntos de FMC no Ensino Médio não está ocorrendo, apesar de os

professores atribuírem papel relevante a essa introdução. Segundo esses autores, alguns dos impedimentos dessa introdução, citados pelos professores entrevistados, foram lacunas em sua formação, tempo disponível reduzido, extensiva quantidade de conceitos da Física Clássica a ser trabalhada, formalismo matemático complexo, entre outros (MONTEIRO; NARDI; BASTOS FILHO, 2009).

Além desses impedimentos, para que essa temática possa ser ensinada na Educação Básica, é preciso pensar a respeito da busca por abordagens metodológicas capazes de apresentar ao aluno a Física Moderna e Contemporânea de maneira dinâmica e contextualizada, evitando a armadilha de tornar seu ensino obsoleto e desconexo aos alunos. Nessa perspectiva, Valadares e Moreira (1998) apresentam sugestões de como introduzir tópicos de Física Moderna relacionados com o cotidiano dos estudantes da Educação Básica. Eles dão ênfase especial às experiências de baixo custo e que permitem uma vivência direta de princípios subjacentes à tecnologia atual. Carvalho e Zanetic (2004) defendem que a introdução da Física Moderna e Contemporânea na Educação Básica pode ocorrer em articulação com a arte.

Existem, na literatura, recomendações de posturas metodológicas diferenciadas no intuito de viabilizar a introdução da FMC. Monteiro, Nardi e Bastos Filho (2009) classificaram essas recomendações em três grupos, sem ainda um consenso entre eles:

i. Inserção de conteúdos de FMC sem utilização e referência aos modelos semiclássicos. As referências aos modelos da Física Clássica poderão funcionar como um obstáculo para a aprendizagem conceitual dos tópicos da FMC pelos estudantes.

ii. Apresentação da FMC a partir do desenvolvimento histórico dos conceitos. Os limites da Física Clássica precisam ser debatidos, esclarecendo os limites de validade desta. A ausência de referências às dificuldades da Física Clássica poderá favorecer o surgimento de erros conceituais por ocasião da interpretação dada pelos estudantes a respeito da construção da Ciência moderna.

iii. Sustentação em tópicos da Física Clássica para o ensino de tópicos de FMC.

Na próxima seção, justificamos a escolha do tema Física de Plasma como um dos tópicos de Física Moderna e Contemporânea e apresentamos discussões a respeito do seu ensino.

1.1.1 O Ensino da Física de Plasmas

Em uma revisão da literatura relativa ao ensino de FMC, Pereira e Ostermann (2009) constataram que, apesar do aumento de publicações a respeito do tema, a maioria dos artigos ainda se refere à bibliografia de consulta para professores. A maior parte dos trabalhos que encontraram foi relativa à Mecânica Quântica (26 artigos), e, em segundo lugar, à Relatividade (11 artigos). Outros trabalhos (13 artigos) encontrados referiam-se aos temas de: Radiação, Supercondutividade, Física de Partículas, Física Nuclear, Armas Nucleares, Física de Plasmas, Teoria Quântica de Campos, entre outros. Nessa revisão de Pereira e Ostermann (2009), a Física de Plasmas foi um tema encontrado em apenas um desses trabalhos, no qual foi elaborado um curso introdutório para nível universitário (SANTIAGO; TAVARES; CAVALCANTI, 2001). Evidenciamos, ainda, que nesse trabalho não está explícito se o curso elaborado foi voltado para a formação inicial de professores de Física.

O plasma, ou “quarto estado da matéria”, em extensão aos estados sólido, líquido e gasoso, é um gás ionizado, em estado de alta energia, que consiste em uma combinação eletricamente condutora e interativa de partículas carregadas (íons e elétrons) e neutras, campos elétricos e magnéticos que afetam as propriedades elétricas e o seu comportamento.

Apesar de ser constituído por partículas carregadas eletricamente, o plasma se conserva eletricamente neutro, equilibrando sua carga elétrica negativa e positiva em cada parcela de volume de matéria. Se ocorrer qualquer desequilíbrio entre as densidades de cargas, surgem forças eletrostáticas que, devido à alta condutividade elétrica, fazem com que o estado inicial de neutralidade se recomponha. Ao entrar em contato com campos magnéticos, ou qualquer excitação elétrica, o plasma emite luz.

Estima-se que 99% da matéria do universo se encontram no estado de plasma, portanto, este é o estado físico mais abundante existente, sendo o dominante da matéria visível das estrelas (CHEN, 1974). Assim, do ponto de vista epistemológico, uma justificativa para a relevância da Física de Plasma ser abordada na Educação Básica é que esse tema faz parte da discussão de um dos fundamentos da Ciência, que é conhecer a matéria. Uma vez que o plasma se configura como o quarto estado da matéria, ele faz parte dos conceitos

estruturantes. Então, para que o conceito estruturante “Matéria” seja ensinado de maneira mais completa, é preciso que a Física de Plasmas seja contemplada. Ou seja, ensinar o quarto estado da matéria se mostra relevante para o entendimento da natureza.

Pirovani, Erthal e Campos (2013) apresentam várias relações possíveis do conteúdo de plasma com diferentes temas estruturadores para o Ensino de Física, sugeridos nos Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 1999):

- **Movimento: variações e conservações:** podem-se associar os plasmas a fluidodinâmica, uma vez que os plasmas possuem todas as propriedades dinâmicas dos fluidos.
- **Calor, ambiente, fontes e usos de energia:** uma vez que é possível discutir como a matéria muda de um estado físico para outro à medida que se fornece energia térmica ao sistema. Pode-se ainda tratar da transformação de energia que ocorre nos Tokamaks.
- **Equipamentos eletromagnéticos e telecomunicações:** vários equipamentos eletrônicos modernos utilizam tecnologias providas de estudos com plasmas. Além disso, os plasmas são formados de partículas que conduzem eletricidade. Eles tanto geram como sofrem a ação de campos eletromagnéticos.
- **Matéria e radiação:** pois plasmas podem ser encontrados nos raios cósmicos, que são partículas carregadas de alta energia. A interação com a matéria também pode ser abordada, visto que plasmas são utilizados para soldagem e corte de materiais como aço inoxidável e alumínio.
- **Universo, Terra e vida:** sendo a maior parte do universo composta de plasma, pode-se discutir a existência do plasma no ambiente interplanetário, no campo magnético da Terra, no vento solar, nas estrelas, no interior do Sol etc. (PIROVANI; ERTHAL; CAMPOS, 2013, p. 3).

Destacamos também que esse tema é relevante tanto para o ensino da Física, quanto para o ensino da Química e da Biologia, uma vez que os estados físicos da matéria também são discutidos nas disciplinas de Química, no Ensino Médio, e de Ciências, no Ensino Fundamental. Ou seja, a Física de Plasmas possui um caráter interdisciplinar.

Além de se mostrar relevante para a educação científica, por ser um assunto de FMC, a Física de Plasmas pode ajudar na compreensão de fenômenos naturais, como por exemplo, o Sol, as estrelas, as auroras – austral e boreal – fogo, relâmpago. Além da relação com os fenômenos naturais, os plasmas podem ser encontrados em tecnologias atuais como lâmpadas fluorescentes, bolas de plasma, escapamentos de foguetes e *tokamak* – engenho para obtenção da fusão termonuclear. A popularização da Física de Plasmas, na sociedade, aconteceu por meio das telas de plasma de televisores.

Podemos citar, além disso, a complexidade de seu desenvolvimento histórico, que foi estruturante para a Física, e a possibilidade de utilizá-la, como um exemplo, para ensinar questões centrais a respeito da Natureza da Ciência.

Apesar da relevância do ensino da Física de Plasmas, esse tema praticamente não é discutido na Educação Básica, ficando o ensino restrito a apenas três estados: sólido, líquido e gasoso. É ensinado aos estudantes que tudo se trata da quantidade de energia cinética presente na matéria, no entanto, o conhecimento a respeito dos gases não é suficiente para explicar fenômenos que ocorrem a altíssimas energias, como explicar o que está acontecendo no Sol. O conhecimento do quarto estado da matéria é relevante, então, para explicar os estados de altíssimas energias cinéticas. Além disso, um dos elementos mais interessantes do ponto de vista da área educacional, da Educação Científica, é o uso do fogo no dia a dia, no qual é possível encontrar também o estado de plasma. O fogo, portanto, é um fenômeno natural tão antigo, tão importante para a humanidade e, mesmo assim, a natureza do fogo, que inclui também o estado de plasma, não é discutida com os alunos⁴.

Na próxima seção, será apresentada uma revisão de literatura de publicações científicas a respeito do ensino da Física de Plasma, com o intuito de observar os resultados já existentes na área.

1.1.1.1 Publicações a respeito do ensino da Física de Plasmas

Foi realizada uma revisão na literatura cujo objetivo foi obter um panorama geral e atual a respeito das discussões de Física de Plasmas em pesquisas em Ensino de Ciências. Consideramos que uma pesquisa bibliográfica permite que lacunas existentes na área investigada possam ser evidenciadas para que se discutam possíveis encaminhamentos necessários para futuras pesquisas.

Uma Análise Documental foi realizada de acordo com Lüdke e André (1986), em que consideram os documentos não apenas como uma fonte de informação contextualizada, mas que surgem em um determinado contexto e fornecem informações a respeito desse mesmo contexto. Logo, pode-se considerar

⁴ Não argumentaremos a respeito do fogo na composição histórico-conceitual da Física do Plasma, uma vez que seu tratamento historiográfico é complexo, porque haveria de fazê-lo de maneira “retroativa”, isto é, apresentar a identificação tardia do fogo como uma “espécie” de plasma.

documento “quaisquer materiais escritos que possam ser usados como fonte de informação sobre o comportamento humano” (PHILLIPS, 1974, p. 187).

Desse modo, o levantamento bibliográfico foi realizado em eventos no Brasil da área de Ensino de Física, em teses e dissertações de programas de Ensino de Ciências, e em periódicos nacionais e internacionais das áreas de Ensino de Física e Ensino de Ciências, pesquisando em trabalhos, publicados no período de 2000 a 2018, a temática “Ensino de Física de Plasmas”. Os eventos analisados foram: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC), Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF), e Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF). Com relação aos periódicos, foram analisados os pertencentes aos estratos A1, A2, B1 e B2 da área de Ensino, classificados no quadriênio 2013-2016 pela CAPES.

A pesquisa foi realizada diretamente nas páginas eletrônicas dos eventos mencionados, do catálogo de teses e dissertações da CAPES e dos periódicos. Esse levantamento bibliográfico nos possibilitou encontrar 16 trabalhos relacionados à temática “Ensino da Física de Plasma”, sendo oito artigos, cinco dissertações e três trabalhos em eventos. Esses 16 trabalhos foram classificados de acordo com seus enfoques: instrumentação para o ensino, descrição de curso, proposta de ensino, plasma como conteúdo incidental, compreensão de estudantes, potencialidade para abordar o conteúdo. Os artigos encontrados em cada classificação são mostrados no Quadro 1.

Quadro 1 – Trabalhos encontrados no levantamento

1. Instrumentação para o ensino	1.1 Graduação	THOMA, M. H.; KRETSCHMER, M. ROTHERMEL, H.; THOMAS, H. M.; MORFILL, G. E. The plasma crystal. <i>American Journal of Physics</i> , [s. l.], v. 73, n. 5, 2005.
		WISSEL, Stephanie A.; ZWICKER, Andrew; ROSS, Jerry; GERSHMAN, Sophia. The use of dc glow discharges as undergraduate educational tools. <i>American Journal of Physics</i> , [s. l.], v. 81, 2013.
	1.2 Ensino Médio	GEKELMAN, Walter; WISE, J.; PRIBYL, P.; BAKER, R.; LAYTON, W.; SKRZYPEK, J.; NIKNEJADI, P.; RANSOM, R.; LEE, D.; ZARINSHESNAS, R.; KIM, T.; BUCK, R.; WARFEL, E.; TASOFF, T.; CARMONA, J.; SKOLNIK, S.; KIM, L.; FURLONG, D.; GIBSON, N. Ion acoustic wave experiments in a high school plasma physics

		laboratory. <i>American Journal of Physics</i> , [s. l.], v. 75, p. 103-110, 2007.
		GEKELMAN, Walter; PRIBYL, Patrick; BIRGE-LEE, Henry; WISE, Joe; KATZ, Cami; WOLMAN, Ben; BAKER, Bob; MARMIE, Ken; PATANKAR, Vedang; BRIDGES, Gabriel; BUCKLEY-BONANNO, Samuel; BUCKLEY, Susan; GE, Andrew; THOMAS, Sam. Drift waves and chaos in a LAPTAG plasma physics experiment. <i>American Journal of Physics</i> , [s. l.], v. 84, n. 2, 2016.
		ERTHAL, João Paulo Casaro; PIROVANI, Filipe Eduardo da Silva; CAMPOS, Ramón Giotri. Globo de plasma: uma montagem simples com amplo potencial para discussões em sala de aula. <i>Caderno Brasileiro de Ensino de Física</i> , [s. l.], v. 31, n. 3, p. 666-676, 2014.
	1.3 Geral	LINCOLN, James. Plasma globe revisited. <i>The Physics Teacher</i> , [s. l.], v. 56, 2018.
2. Proposta de Ensino sem Fundamentação Didática		SANTIAGO, M. A. M.; TAVARES, M.; CAVALCANTI, G. H. Elaboração de um Curso Introdutório de Física de Plasma. <i>Revista Brasileira de Ensino de Física</i> , São Paulo, v. 23, n. 1, p. 104-107, 2001.
		VENCESLAU, Gustavo Mulim. Física de plasma no Ensino Médio . 2015. 97 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília/DF, 2015.
3. Proposta de Ensino com Fundamentação Didática		HERNÁNDEZ, Fidel Benjamín Alarcón; ALBERÚ, María del Pilar Segarra; WEBER, Jorge Barojas. Enseñanza de plasmas físicos en el nivel medio superior. <i>Latin-American Journal of Physics Education</i> , [s. l.], v. 8, n. 2, jun. 2014.
		SAVISKI, Samuel de Oliveira Fajardo. Uma abordagem didática com enfoque na história da física do plasma por meio da Aprendizagem Significativa . 2014. 135 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Centro de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.
		TONELLI, Luís Galileu G. Uma proposta para a introdução dos plasmas no estudo dos estados físicos da matéria no Ensino Médio . 2014. 99 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

	KIKUCHI, Ligia Ayumi. O ensino da física do plasma e a formação de professores . 2016. 118 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.
4. Plasma como conteúdo incidental	SOUZA, Sandro Fonseca de; SILVA, Cláudio Elias da. Uma abordagem sobre fusão termonuclear para Ensino Médio. <i>In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA</i> , 15., Curitiba. Anais [...] . Curitiba, PR, 2003.
	SILVA, Ingrid Ribeiro da Rocha. Explorando as diferentes telas de TV : uma proposta de inserção da física moderna e contemporânea no Ensino Médio. 2011. 134 f. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática. Belo Horizonte, 2011.
5. Compreensão de estudantes	PIROVANI, Filipe Eduardo da Silva; ERTHAL, João Paulo Casaro; CAMPOS, Ramón Giostri. Investigação sobre a compreensão de estudantes do Ensino Médio sobre o quarto estado da matéria. <i>In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS</i> , 9., Águas de Lindóia. Anais [...] . Águas de Lindóia, SP, 2013.
6. Potencialidade para abordar o conteúdo	SILVA, Igo Paulino da; MEDEIROS, Amauri Fragoso de; COSTA, Ricardo Arlen Buriti da; PAULINO, Ana Roberta da Silva; SALES, Fernanda de Sousa. A abordagem das bolhas de plasma no Ensino Médio e a aplicação de conceitos de física básica. <i>In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA</i> , 16., Rio de Janeiro. Anais [...] . Rio de Janeiro, RJ, 2005.

Fonte: a própria autora

Dentre os trabalhos apresentados no Quadro 1, seis artigos estão relacionados com a instrumentação para o ensino da Física de Plasmas. Dentre esses artigos, foram encontrados dois trabalhos com foco na Graduação, três com foco no Ensino Médio e um geral, sem explicitar o grau de ensino. A seguir, apresentamos os principais resultados observados nesses trabalhos.

Thoma *et al.* (2005) descreveram um experimento de graduação em que estudantes puderam produzir e investigar o cristal de plasma e a transição para a fase líquida. De acordo com os autores, plasmas complexos e o cristal de plasma exibem muitos fenômenos novos e permitem uma grande variedade de

experimentos interessantes, oferecendo a possibilidade de estudar diretamente vários aspectos da Física de Plasmas, do estado sólido e de fluidos. Portanto, plasmas complexos são assuntos ideais para um curso de física experimental de graduação (THOMA *et al.*, 2005).

No artigo de Wissel *et al.* (2013), os autores afirmaram que plasmas têm uma maneira atraente de fazer com que os estudantes se tornem interessados em Física. Eles discutem que os plasmas podem e devem ser incorporados no currículo de graduação como demonstrações e investigações avançadas de eletromagnetismo e efeitos quânticos. Wissel *et al.* (2013) descrevem uma série de aparatos experimentais variando em custo e tamanho, mas projetados para facilitar o uso em laboratório de graduação. Segundo os autores, os experimentos descritos serviram como uma introdução de plasmas e sistemas complexos. Um dos dispositivos descritos foi baseado em um tubo de descarga incandescente de corrente contínua, que permite uma série de experimentos em tópicos, tais como quebra de rigidez elétrica, espectroscopia, magnetismo, e temperatura do elétron. De acordo com os autores, a descarga incandescente de corrente contínua revelou-se um instrumento eficaz no ensino de física. Wissel *et al.* (2013) afirmaram também que a introdução básica à Física de Plasmas pode ser uma excelente incursão em técnicas experimentais e em métodos científicos.

Gekelman *et al.* (2007) descrevem uma aliança, chamada de LAPTAG (*Los Angeles Physics Teachers Alliance Group*), entre uma Universidade da Califórnia e várias escolas de Ensino Médio. Essa aliança estava centrada em um experimento de laboratório construído por estudantes e professores. Esse experimento a respeito da Física de Plasmas envolveu conceitos e equipamentos sofisticados não disponíveis em escolas de Ensino Médio. Os autores afirmaram que, embora o número de estudantes, do Ensino Médio, afetado tenha sido pequeno, o impacto foi potencialmente grande na vida científica tanto dos estudantes quanto dos professores participantes. Os estudantes participantes puderam interagir com cientistas e ter acesso e convivência com pesquisadores ativos. Já os professores participantes obtiveram experiências para possíveis aplicações em projetos inovadores, feira de ciências e desenvolvimento de seu currículo.

Gekelman *et al.* (2016) também descrevem um projeto envolvendo essa mesma aliança (LAPTAG), cuja motivação foi utilizar recursos que uma universidade poderia prover para melhorar a educação científica de estudantes de Ensino Médio e

fornecer formação em serviço para professores de Física. Os estudantes entram para o LAPTAG com diferentes conhecimentos em matemática e física e com diversos conjuntos de habilidades. Deste modo, começa-se cuidadosamente uma discussão e planejamento do tópico de pesquisa. Os diagnósticos e adaptações necessários são realizados como um esforço em grupo. Durante todo o processo, palestras são oferecidas para ajudar os estudantes a aprofundar e refinar seus níveis de compreensão. Os estudantes identificam as habilidades e conhecimentos que eles precisam para progredir durante a pesquisa, e instruções para preencher lacunas em suas proficiências. Os estudantes participam nos experimentos e ajudam a analisar os dados, e isso pode ser seguido de uma apresentação em conferência ou por uma publicação em um jornal. De acordo com os autores, esse processo é muito efetivo em permitir que estudantes construam significado para si mesmo por meio do processo de ensino.

No trabalho de Erthal, Pirovani e Campos (2014), foi apresentada e explicitada a confecção e montagem de um globo de plasma alternativo, que pode ser produzido com facilidade por professores e estudantes. O aparato tem o potencial de subsidiar discussões norteadas pelos temas estruturadores propostos em documentos oficiais brasileiros, de maneira contextualizada, relacionando o fenômeno com a natureza e com aplicações tecnológicas presentes no cotidiano dos estudantes. Enquanto o trabalho de Lincoln (2018), por sua vez, teve o objetivo de apresentar diferentes modos de se utilizar o globo de plasma como um aparato de ensino de Física.

Encontramos dois trabalhos com propostas de ensino sem base em alguma fundamentação teórica em Didática. Um artigo apresentou a descrição de um curso relacionado à Física de Plasmas. O trabalho de Santiago, Tavares e Cavalcanti (2001) teve como objetivo descrever a elaboração e execução de um curso introdutório de Física de Plasmas. Esse curso foi elaborado com ênfase nos aspectos experimentais. A partir do resultado desse curso, os autores decidiram pela elaboração de um texto didático com essas características. Após a primeira tentativa de um curso básico de plasmas, os autores obtiveram resultados positivos. De acordo com Santiago, Tavares e Cavalcanti (2001, p. 107), a interação entre teoria e laboratório mostrou-se excelente devido à proximidade do estudante com o mundo real: “O que se viu foi um aluno ligeiramente pressionado a se dedicar um pouco mais para poder compreender o ‘mãos à obra’ exigido pelo laboratório”. Os autores

ainda destacam que a teoria em alguns pontos não conseguiu acompanhar completamente as experiências, como era o objetivo, mas acreditam que resolvendo esse aspecto será possível realizar um programa de nível excelente para os estudantes.

Venceslau (2015) apresentou um aparato experimental portátil para uso em sala de aula, um tubo de Crookes, e um material didático teórico, em forma de *site*. Esses materiais foram destinados à introdução de Física de Plasmas no Ensino Fundamental e Médio, podendo ser utilizado também no Ensino Superior. O material didático foi desenvolvido com foco na evolução histórica de conceitos, técnicas e tecnologias que levaram à identificação e caracterização do quarto estado da matéria.

No que se refere a propostas de ensino com base em fundamentações teóricas em Didática, cujo conteúdo principal foi a Física de Plasmas, encontramos quatro trabalhos, nos quais três destes foram dissertações de Mestrado. Além disso, em dois trabalhos o plasma foi abordado como um conteúdo incidental, ou seja, a Física de Plasmas não era o conteúdo principal a ser ensinado, mas sim um conteúdo específico, para o entendimento de outro mais abrangente. Descrevemos, a seguir, os resultados encontrados nesses seis trabalhos.

Hernández, Alberú e Weber (2014) apresentaram uma experiência didática a respeito do tema que foi realizada com dois grupos diferentes de estudantes de Ensino Médio do sistema da *Universidad Nacional Autónoma de México* (UNAM). Essa experiência consistiu na execução de uma sequência didática apresentada como um plano de aula, direcionada pelo esquema do modelo didático “Ensinar para a Compreensão”, na qual se combinaram o trabalho em equipes, a realização de experimentos e a discussão de ideias. Os resultados obtidos ao final da aplicação da proposta evidenciam aspectos positivos em relação aos aspectos procedimentais, conceituais e atitudinais, mesmo quando o tema apresentado (plasmas físicos) é totalmente novo nesse nível.

Saviski (2014) realizou uma pesquisa com o objetivo de encontrar possíveis relações de uma síntese histórica da Física de Plasmas com a Aprendizagem Significativa Crítica, por meio de Unidades Potencialmente Significativas e dos Mapas Conceituais. O autor elaborou uma sequência didática e aplicou em turmas do 3º ano do Ensino Médio.

O trabalho de Tonelli (2014) trata de um relato de experiência da aplicação

de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), tendo como base o ensino dos Estados Físicos da Matéria focando o estudo dos plasmas. A UEPS foi aplicada com alunos do 2º ano do Ensino Médio. De acordo com o autor, foi possível observar, por meio dos resultados obtidos, uma evolução nos significados atribuídos aos conceitos envolvidos.

No trabalho de Kikuchi (2016), fez-se uma discussão a respeito da Física de Plasmas e a Formação de Professores. Ao investigar a ocorrência ou ausência do ensino da temática nos currículos dos cursos de Licenciatura em Física no Brasil, a autora evidenciou pouca atenção dada a essa temática na formação de professores. Além disso, Kikuchi (2016) elaborou uma proposta de Unidade Temática a respeito da Física de Plasmas para a formação de professores, com base na Aprendizagem Significativa e na História da Ciência. Essa Unidade Temática foi avaliada por docentes atuantes nas Licenciaturas em Física, e se mostrou uma boa proposta para trabalhar tal conteúdo na formação de professores.

O objetivo do trabalho de Souza e Silva (2003) foi desenvolver uma maneira de abordar a fusão termonuclear e suas aplicações tecnológicas para o Ensino Médio. No entanto, este trabalho não apresenta fundamentação teórica baseada em Didáticas.

Silva (2011) elaborou uma proposta de ensino para a inserção de Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio, com base na aprendizagem dialógica de Paulo Freire e os momentos pedagógicos de Delizoicov e outros. O foco do trabalho foi o ensino de conceitos básicos de FMC a partir do tema: Telas de TV. Foram exploradas as telas das TVs de LCD, plasma, LED e tubo. Os conceitos de FMC foram abordados a partir do estudo das características de funcionamento dessas diferentes telas. Foram apresentadas as características do plasma e exploradas suas propriedades.

Obtivemos um trabalho a respeito de compreensão de estudantes. Pirovani, Erthal e Campos (2013) investigaram a percepção de estudantes do Ensino Médio a respeito do quarto estado da matéria por meio de um questionário. Os autores obtiveram resultados negativos, e evidenciaram a pouca compreensão dos estudantes a respeito do quarto estado da matéria e sua aplicabilidade nas tecnologias atuais.

Por fim, encontramos um artigo que apresenta uma potencialidade para abordar o conteúdo em sala de aula. No trabalho de Silva *et al.* (2005), os autores

apresentam um fenômeno conhecido como bolhas de plasma ou bolhas ionosféricas, que ocorre na ionosfera noturna terrestre (~200 km de altitude). Essas bolhas de plasma atrapalham as comunicações via satélite, acarretando problemas nos sistemas de navegação via GPS e de comunicação.

Grande parte dos artigos encontrados relaciona o ensino da Física de Plasma com experimentos, por meio da instrumentação para o ensino, e eles apresentam maneiras diferenciadas de abordagem. Algumas das abordagens estão baseadas em experimentos com equipamentos sofisticados (THOMA *et al.*, 2005; WISSEL *et al.*, 2013; GEKELMAN *et al.*, 2007; GEKELMAN *et al.*, 2016), já em outros trabalhos, sua confecção e montagem podem ser realizadas tanto por professores quanto por alunos (ERTHAL; PIROVANI; CAMPOS, 2014; VENCESLAU, 2015).

Para Gekelman *et al.* (2007), é enorme a necessidade da educação científica do Ensino Médio. O aluno do Ensino Médio está entediado e não vê razão de prosseguir seus estudos em Ciências. De acordo com esses autores, um tema relevante, tal como o estudo da ciência de plasmas, pode ser um forte motivador. Além disso, a Física de Plasmas é um ramo da Ciência que não é apresentado aos alunos em sala de aula. Para Gekelman *et al.* (2007), outro motivo para estudar tal tema seria que muitos dos empregos emergentes na sociedade atual estão dirigidos à tecnologia. No entanto, poucos alunos têm visto os instrumentos utilizados nas experiências. Logo, trabalhar com um dispositivo de Física de Plasmas em um laboratório ativo seria uma motivação para os estudantes de Ensino Médio e poderia ajudar a resolver essa lacuna tecnológica na formação desses estudantes (GEKELMAN *et al.*, 2007). Essas justificativas estão de acordo com as apresentadas por Ostermann, Ferreira e Cavalcanti (1998) e por Ostermann e Moreira (2000a) para a introdução de tópicos de Física Contemporânea no Ensino Médio: despertar a curiosidade dos estudantes e ajudá-los a reconhecer a Física como um empreendimento humano; atrair jovens para carreiras científicas, para serem futuros pesquisadores ou professores de Física, entre outras.

Da mesma maneira, o globo de plasma apresentado por Erthal, Pirovani e Campos (2014) tem sido utilizado em salas de aula do Ensino Médio e em mostras e feiras de ciências, despertando interesse e curiosidade dos alunos.

A interação dos estudantes com esse equipamento pode fomentar discussões a respeito da natureza e das tecnologias atuais presentes no

cotidiano desses alunos, contribuindo para redução do analfabetismo científico (ERTHAL; PIROVANI; CAMPOS, 2014, p. 675).

Segundo Hernández, Alberú e Weber (2014), outro motivo para a abordagem do tema Física de Plasmas na Educação Básica é que cada vez mais existem novas tecnologias e, portanto, também são mais os conteúdos acadêmicos que dão explicação à forma de operação dos aparelhos tecnológicos, os quais não são apresentados nas diferentes escolas do país (neste caso, México). Além de que, a educação, em particular a educação científica, é um dos caminhos que contribuem de maneira relevante nos processos de melhoramento das pessoas e, assim, das sociedades (HERNÁNDEZ; ALBERÚ; WEBER, 2014). Com relação às discussões de temas de FMC e as tecnologias, já vêm sendo apresentadas por pesquisadores e professores preocupados com a melhoria do ensino de ciências, buscando uma formação de cidadãos com relação ao papel da ciência e da tecnologia e seus valores (CAVALCANTE; TAVOLARO, 2001; CORRALLO, 2009; FERREIRA; DAMASIO; RODRIGUES, 2014; OLIVEIRA; VIANNA; GERBASSI, 2007; PINTO; ZANETIC, 1999; VICENTINI *et al.*, 2010).

O crescimento da tecnologia dos plasmas, de acordo com Pirovani, Erthal e Campos (2014), pode, também, gerar impactos nos processos de inovação no Brasil, sendo que os estudos da área possuem um caráter multidisciplinar. Por isso, a compreensão de temas básicos a respeito de plasmas é fundamental para uma formação focada na cidadania e no conhecimento global. Essa formação na cidadania vai ao encontro das pesquisas de Terrazzan (1992), por exemplo, em que afirmou que a influência crescente dos conteúdos de Física Moderna e Contemporânea para o entendimento do mundo atual, bem como a inserção consciente e participativa do cidadão nesse mundo, define a necessidade do debate das maneiras de abordagem de tais conteúdos no Ensino Médio.

Apesar de esses trabalhos servirem de consulta para professores, notamos que os artigos de Gekelman *et al.* (2007) e Gekelman *et al.* (2016) se caracterizam mais como um artigo de divulgação de um trabalho realizado com estudantes e professores de Ensino Médio junto com pesquisas em Universidades. Já no trabalho de Erthal, Pirovani e Campos (2014), é apresentado o potencial do globo de plasma para discussões em sala de aula, mas não é apresentada uma estratégia de como este experimento poderia ser utilizado em uma abordagem didática. Desse modo, se algum professor se interessasse em trabalhar com o experimento proposto, ele não

possuiria uma base que pudesse auxiliá-lo em atividades a serem desenvolvidas a respeito do tema. Os trabalhos restantes estão divididos da seguinte maneira: duas propostas de ensino sem fundamentação didática; dois deles apresentam o plasma como um conteúdo incidental e não como conteúdo principal da abordagem; outro trabalho apresenta compreensões de estudantes a respeito da temática; e, por fim, um trabalho apresenta a potencialidade para abordar o conteúdo, mas também sem fundamentação em alguma teorização de ensino ou aprendizagem. Apenas três trabalhos apresentaram propostas de abordagem didática com a temática de Física de Plasmas que foram aplicadas em sala de aula, com base em uma teorização de ensino ou aprendizagem.

Com relação às propostas didáticas avaliadas ou testadas em sala de aula, elas podem auxiliar o professor interessado em abordar a temática em suas aulas, por meio de uma adequação de acordo com sua realidade escolar. No artigo de Hernández, Alberú e Weber (2014), foi elaborada uma proposta relacionada ao tema de plasmas, em que são ressaltados aspectos físicos e qualitativos dos plasmas, retomando direta ou indiretamente vários dos temas de um curso intermediário de física. Como apresentado por Pirovani, Erthal e Campos (2013), o plasma pode ser relacionado a diferentes temas estruturadores para o Ensino de Física: movimento; calor, ambiente, fontes e usos de energia; equipamentos eletromagnéticos e telecomunicações; matéria e radiação; universo, Terra e vida. Nesse sentido, um dos pontos-chave citados por Gekelman *et al.* (2007) para o sucesso da aliança também foi que o experimento realizado no projeto poderia relacionar com os conteúdos que os alunos estavam aprendendo nas aulas de Ciências do Ensino Médio.

Considerando os seis trabalhos que apresentam propostas de ensino, com e sem fundamentação didática, destacamos que três delas estão baseadas na História da Ciência, com objetivo de facilitar a compreensão de conceitos científicos por meio do estudo de seu desenvolvimento e aperfeiçoamento, além de possibilitar uma formação crítica do estudante (BATISTA, 2004; MARTINS, 1990; MATTHEWS, 1995; PEDUZZI, 2001; ROBILOTTA, 1988).

Em nosso levantamento, apenas um trabalho encontrado discute a Física de Plasmas na Formação de Professores (KIKUCHI, 2016). Esse resultado vai ao encontro com Monteiro, Nardi e Bastos Filho (2009), que evidenciam que o perfil de formação inicial de professores está distante do planejamento de estratégias de

ensino de FMC. Podemos afirmar, portanto, que existe uma necessidade de se discutir o tema na formação docente.

A inserção da FMC no Ensino Médio é relevante, uma vez que pode proporcionar uma nova forma de pensar a realidade natural em que vivemos, e perceber que a realidade social é produto das ações humanas e passível de transformações. Apesar dessa relevância, essa nova realidade ainda está distante das salas de aula, o que limita uma discussão que poderia ser estimulante e desafiadora para os estudantes.

De acordo com o levantamento realizado, poucos foram os trabalhos encontrados a respeito do tema Física de Plasmas, e grande parte deles estava relacionada com a parte experimental da temática. Desse modo, evidencia-se a pouca existência de pesquisas na área de Educação em Ciências a respeito do ensino da Física de Plasmas, tanto nacionais quanto internacionais. Sendo assim, há uma necessidade de novas investigações a fim de analisar propostas de diferentes abordagens para que professores da Educação Básica possam tomar como base para sua prática em sala de aula.

Observamos também, em nosso levantamento, uma quase ausência de investigações na área de Formação de Professores. Em adição a esse resultado, Kikuchi (2016), ao investigar a situação do ensino da Física de Plasmas em currículos de cursos de Licenciaturas em Física, evidenciou pouca atenção dada a essa temática na formação inicial, apesar de, conforme a literatura, ser um tema relevante, tanto por estar presente no cotidiano dos estudantes quanto por ser um assunto de Física Moderna e Contemporânea. Por isso, é necessário pensar na formação inicial de professores com relação à temática, para que eles adquiram as competências para abordar tal conteúdo em sala de aula.

Diante de poucas pesquisas acadêmicas a respeito da Física de Plasmas, tanto com relação à Educação Básica quanto no Ensino Superior, justifica-se, portanto, a relevância de discutirmos a inserção desse conteúdo na formação de professores de Física.

Uma das possíveis maneiras de abordar conteúdos de Física Moderna e Contemporânea, de modo a priorizar o significado, a relevância e o contexto da Ciência durante seu desenvolvimento, seria por meio da História da Ciência. A História da Ciência ressalta aspectos que auxiliam na compreensão de fenômenos, demonstrando aos estudantes que a Ciência é resultado de um processo contínuo,

desfazendo o mito de que o conhecimento científico é imutável. De acordo com Chicóira, Camargo e Toppel (2015), o uso da História e Filosofia da Ciência, como eixo condutor do ensino, possibilita discussões a respeito do processo de construção do conhecimento, promovendo um estudo contextualizado de conteúdos de FMC.

Assumimos aqui, portanto, um ensino de Física de Plasmas a partir de uma abordagem histórica, uma vez que esta é uma abordagem contextualizadora e considerando os argumentos da utilização da História da Ciência como um instrumento didático útil para tornar o ensino da Ciência mais interessante e facilitar sua aprendizagem (MARTINS, 1998). Desse modo, a seguir apresentaremos benefícios, encontrados na literatura, que uma abordagem didática utilizando a História da Ciência pode fornecer para o Ensino de Ciências e também para a formação de professores.

1.2 HISTÓRIA DA CIÊNCIA NO ENSINO DE CIÊNCIAS E NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES

Neste capítulo serão apresentadas discussões de pesquisas que abordam o papel que a História da Ciência pode desempenhar no Ensino de Ciências.

A História da Ciência tem sido considerada um instrumento que pode possibilitar a superação de problemas relativos ao Ensino de Ciências, uma vez que torna possível a compreensão do processo de construção do conhecimento (ROBILOTTA, 1988).

Sob um ponto de vista didático, a História da Ciência pode ser usada para contrabalançar aspectos técnicos de uma aula, complementando-os com um estudo de aspectos sociais, humanos e culturais. Ela pode ser utilizada, também, para facilitar a compreensão de um determinado tema, pois, geralmente, resultados científicos atualmente aceitos são pouco intuitivos e óbvios, sendo resultado de um longo desenvolvimento e discussão. Logo, o ensino desse desenvolvimento pode facilitar a compreensão dos resultados finais e de seu significado, pois, sem a reconstrução de sua História, não se pode conhecer e ensinar a base da Ciência, que é constituída por determinados fatos observados e argumentos propostos e discutidos em determinadas épocas (MARTINS, 1990).

Tendo em vista argumentos similares, Matthews (1995) realizou uma sistematização das contribuições que a História da Ciência pode fornecer para estudantes e docentes de Ciências. Conforme sua análise da literatura da época, a

História da Ciência: motiva e atrai os estudantes; humaniza a matéria; pode tornar as aulas de Ciências mais desafiadoras e reflexivas, permitindo o desenvolvimento do pensamento crítico; promove uma compreensão dos conceitos científicos por traçar seu desenvolvimento e aperfeiçoamento; promove uma compreensão de episódios fundamentais na História da Ciência; demonstra que a Ciência é mutável e instável e que, por isso, o pensamento científico atual está sujeito a transformações que se opõem à ideologia cientificista; permite uma compreensão mais profícua do método científico e apresenta os padrões de mudança na metodologia vigente.

Em relação às pesquisas com a utilização de materiais históricos de qualidade em sala de aula, Peduzzi (2001) defende que esses podem: contribuir para proporcionar uma aprendizagem de Ciências mais significativa, aproveitando as concepções alternativas dos estudantes; contribuir para a compreensão do aluno de que o pensamento científico evolui com o tempo, portanto, as teorias científicas são fonte de constantes revisões; proporcionar uma metodologia diferenciada para o ensino de Ciências; relacionar o desenvolvimento científico com os avanços tecnológicos da sociedade, seus benefícios e seus problemas, contribuindo para a formação crítica do estudante.

O papel que a História e a Filosofia da Física podem desempenhar, como subsídio para a melhoria do ensino de Física, também é enfatizado por Batista (2004):

[...] 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).

Dessa maneira, o desenvolvimento didático do conteúdo físico deve levar em consideração a história desse conteúdo e os problemas de interesse epistemológico (problemas geradores), pois o desenvolvimento de um trabalho que envolva tais aspectos pode proporcionar uma maior compreensão do processo de criação de conhecimentos físicos, evidenciando o papel da epistemologia histórica da Física.

Uma abordagem histórico-filosófica pode, também, permitir entender a origem da problemática envolvida no desenvolvimento de um conceito científico, os desafios conceituais ou empíricos que foram ultrapassados até a elaboração

conceitual atual (BATISTA, 2004). Esta autora também considera que uma abordagem histórico-filosófica contribui para a compreensão da razão de uma proposição ser estabelecida como conhecimento, estimulando o estudante, em Licenciaturas e Bacharelados nas áreas de Ciências da Natureza, a pensar de maneira integrada e crítica, com uma visão ampliada e consistente da atividade científica.

Na mesma linha de raciocínio de Batista (2004), Ferreira e Ferreira (2010) afirmaram que a introdução da História da Ciência nos cursos de Licenciatura seria um meio de levar os futuros educadores a compreenderem como ocorre a construção do conhecimento científico e como a aceitação de uma ideia científica não está sujeita somente ao seu valor intrínseco, uma vez que depende das influências de fatores sociais, políticos, filosóficos, religiosos, entre outros.

Segundo Batista (2009), pesquisas têm indicado a relevância da utilização da História e Filosofia da Ciência (HFC), tanto para a formação para a pesquisa quanto para a formação docente.

Quanto à formação para a pesquisa, o enfoque em HFC auxilia no preparo para: realizar pesquisa científica criativa, compreender metodologia e planejamento científicos, reconhecer temas originais de estudos, entender a estrutura e a dinâmica da comunidade científica etc. (BATISTA, 2009).

No que diz respeito à formação para a docência, Batista (2009) afirmou que a inserção de enfoques, elementos e materiais didáticos com fundamentação histórico-filosófica, deve sofrer adaptações e transformações pedagógicas (programática, didática e metodológica) para aplicação em sala de aula. Tais abordagens mediadoras permitirão trabalhar com reprodução de experimentos históricos, familiarização com textos originais científicos e transposição de conhecimentos científicos historicamente construídos para uma forma de conhecimento escolar construído didaticamente com integração sistemática de HFC.

Ainda de acordo com Batista (2009, p. 42),

uma formação que propicie *abordagens com enfoque em HFC* tem que levar em conta que tratam-se de conhecimentos novos para o professor (saberes disciplinares e procedimentais); que esse enfoque necessita de mudança nos estilos e nos métodos de avaliação; que deve ser relevante para os alunos e que algumas dificuldades institucionais inesperadas vão aparecer, como acontece com qualquer outra abordagem diferente da tradicional.

Batista (2016) também destaca que uma abordagem histórico-filosófica no Ensino de Ciências, como um instrumento para a transformação da prática docente, pode colaborar na construção de conhecimento docente e escolar.

A partir do estudo dos referenciais da área expostos neste capítulo, ficou evidente que um dos argumentos apresentados a respeito do papel positivo da utilização da História da Ciência é a compreensão do processo de construção do conhecimento, por meio de estudos de aspectos sociais, humanos e culturais, mostrando que a Ciência é mutável e instável, sujeita a transformações etc. (ROBILOTTA, 1988; MARTINS, 1990; PEDUZZI, 2001; BATISTA, 2004, 2009; FERREIRA; FERREIRA, 2010). Ou seja, podemos afirmar que a História da Ciência pode contribuir para uma imagem mais coerente de Ciência.

Em relação às perspectivas de Ciência de estudantes e docentes, Gil Pérez *et al.* (2001) elencaram o que eles chamaram de “deformações”, que expressam uma imagem ingênua, afastada do que é a construção do conhecimento científico, mas que foi se consolidando até tornar-se um estereótipo socialmente aceito que a própria educação científica reforça ativa ou passivamente. Tais “deformações” foram:

1. **Visão empírico-indutivista e ateórica da Ciência:** destaca o papel “neutro” da observação e da experimentação, esquecendo o papel essencial das hipóteses como orientadoras da investigação, assim como dos corpos coerentes de conhecimentos (teorias) disponíveis, que orientam todo o processo.
2. **Visão rígida (algorítmica, exata, infalível) da Ciência:** o “método científico” é apresentado como um conjunto de etapas a seguir mecanicamente. Destaca-se um tratamento quantitativo, um controle rigoroso, esquecendo ou recusando a criatividade, o caráter tentativo e a dúvida.
3. **Visão aproblemática e ahistórica (dogmática e fechada) da Ciência:** os conhecimentos já elaborados são transmitidos sem mostrar os problemas que lhe deram origem, sua evolução, as dificuldades encontradas etc.
4. **Visão exclusivamente analítica da Ciência:** destaca a necessária divisão parcelar dos estudos, seu caráter limitado, simplificador; esquece os esforços posteriores de unificação e de construção de corpos

coerentes de conhecimentos ou o tratamento de “problemas-ponte” entre diferentes campos de conhecimento que podem unificar-se.

5. **Visão meramente acumulativa e de crescimento linear dos conhecimentos científicos:** o desenvolvimento científico aparece como um crescimento linear, puramente cumulativo, que ignora as crises e as remodelações profundas.
6. **Visão individualista e elitista da Ciência:** os conhecimentos científicos aparecem como obras de gênios isolados, ignorando o papel do trabalho coletivo e cooperativo, dos intercâmbios entre equipes. Acredita-se que os resultados obtidos por um só cientista ou equipe podem ser suficientes para confirmar ou refutar uma hipótese ou toda uma teoria.
7. **Visão descontextualizada e socialmente neutra do trabalho científico:** esquecem-se as complexas relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS).

Gil Pérez *et al.* (2001) também apresentam características essenciais do trabalho científico:

1. **Recusa da ideia de “Método Científico”:** como um conjunto de regras perfeitamente definidas a aplicar de uma maneira mecânica, independentemente do domínio investigado. Existem métodos, um pluralismo metodológico.
2. **Recusa de um empirismo que concebe os conhecimentos como resultados da inferência indutiva a partir de “dados puros”:** os dados não têm sentido em si mesmos. Eles requerem ser interpretados de acordo com um sistema teórico.
3. **Destacar o papel atribuído pela investigação ao pensamento divergente:** as hipóteses orientam a procura de dados.
4. **Procura de coerência global:** é preciso duvidar dos resultados obtidos e de todo o processo seguido para obtê-los, o que conduz a revisões contínuas na tentativa de obter esses mesmos resultados por diferentes caminhos e para mostrar a coerência com os resultados obtidos em outras situações.
5. **Compreender o caráter social do desenvolvimento científico:** o trabalho científico é influenciado pelos problemas e circunstâncias do momento histórico.

Essas características também são descritas por Lederman (2002) como aspectos da Natureza da Ciência, que se refere à epistemologia e sociologia da ciência, Ciência como um modo de conhecimento, ou valores e crenças inerentes ao conhecimento científico e seu desenvolvimento.

De acordo com Gil Pérez *et al.* (2001), conseguir uma compreensão do trabalho científico tem um indubitável interesse para os responsáveis pela educação científica de futuros cidadãos de um mundo marcado pela ciência e pela tecnologia. Destacamos que alguns argumentos apresentados a respeito do papel positivo da utilização da História da Ciência são citados por vários autores, outros aspectos são complementares ou aperfeiçoamentos de estudos anteriores. Por exemplo, é consenso que a História da Ciência pode facilitar a compreensão de um determinado conceito científico por meio do estudo de seu desenvolvimento e aperfeiçoamento (BATISTA, 2004; MARTINS, 1990; MATTHEWS, 1995; PEDUZZI, 2001; ROBILOTTA, 1988). Autores como Matthews (1995), Peduzzi (2001) e Batista (2004) também apresentam a possibilidade de uma formação crítica do estudante por meio de estudos com base na História da Ciência.

Desse modo, observamos que uma das maneiras de abordar tópicos de Física Moderna e Contemporânea, tanto na Educação Básica quanto nos cursos de Formação de Professores, seria por meio da História da Ciência.

No entanto, é preciso ter cautela ao trabalhar com a História da Ciência no ensino. Martins (1990) já apresentava três exemplos negativos de uso da História da Ciência no ensino:

1. Cronologia: enumeração de datas, nomes de pessoas e seus feitos; ou descrições vagas e superficiais. A cronologia é pouco informativa e pouco útil. Serve para que o estudante conheça nomes de cientistas e tenha uma ideia a respeito das épocas (e sequências) de determinados estudos, mas não facilita o ensino da própria Ciência.

2. Anedotas (reais ou inventadas). O uso de anedotas também não é útil, pois pode apresentar uma visão distorcida e mistificada da Ciência e dos cientistas.

3. Persuasão e intimidação. Invocar a “autoridade” de um nome para reprimir dúvidas e impor doutrinas, invertendo a natureza do pensamento científico, que procura se basear em fatos e argumentos. Por exemplo: “a lei da gravitação universal é verdadeira porque Newton a provou” (MARTINS, 1990).

Teixeira, Greca e Freire Jr. (2012a) afirmaram que, embora exista uma ampla literatura estimulando o uso de HFC no Ensino de Ciências, bem como propostas curriculares que enfatizam essa orientação, ainda não se encontram, no Brasil, trabalhos de revisão sistemática a respeito da eficácia de seu uso. Por essa razão, esses pesquisadores apresentaram um estado da arte de pesquisas que investigaram intervenções didáticas orientadas por História e Filosofia da Ciência em salas de aula de Física e que estão publicadas nas principais revistas brasileiras dedicadas a trabalhos em Ensino de Ciências e Ensino de Física. Essa análise teve como finalidade obter informação crítica e confiável, de uma maneira sistemática, a respeito da literatura relacionada ao uso didático de HFC.

A análise da caracterização geral e dos resultados relatados pelos 14 trabalhos selecionados por Teixeira, Greca e Freire Jr. (2012a), permitiu que os pesquisadores fizessem uma síntese de como a HFC tem sido abordada em salas de aula de Física no Brasil. Os autores resumiram em três vertentes:

- (1) objetivos a serem atingidos – A HFC tem sido usada no Ensino de Física com vistas a atingir diferentes – porém, não excludentes – objetivos: melhoria na compreensão de conceitos, melhoria na visão sobre a natureza da ciência, melhoria da qualidade da argumentação, melhoria das capacidades metacognitivas e avaliação da receptividade ao material didático;
- (2) estratégias de ensino – A HFC tem sido usada no Ensino de Física por meio de duas estratégias distintas: o conteúdo de Física sendo apresentado de forma integrada com seu desenvolvimento histórico-filosófico; o conteúdo de Física sendo apresentado de forma desconectada com a HFC, sendo esta apresentada como um adicional, independente do conteúdo;
- (3) materiais instrucionais – A HFC tem sido usada no Ensino de Física por meio de textos históricos (o que inclui uso de originais), reprodução de experimentos históricos e uso de histórias em quadrinhos sobre o trabalho dos cientistas (TEIXEIRA; GRECA; FREIRE Jr., 2012a, p. 33).

Ainda existe uma escassez de pesquisas de natureza empírica em que são publicadas propostas de intervenções didáticas orientadas por História e Filosofia da Ciência, em sala de aula de Física, tanto em âmbito nacional (TEIXEIRA; GRECA; FREIRE JR., 2012a) quanto internacional (TEIXEIRA; GRECA; FREIRE JR., 2012b). Dessa maneira, eles afirmaram que a comunidade de pesquisadores da área deve investir na realização de intervenções visando o uso de HFC no Ensino de Física, tornando-as objetos de investigação, para que se possa ter uma compreensão da sua eficácia em situações reais de sala de aula.

Dessa maneira, diante dos benefícios que a História da Ciência pode proporcionar ao Ensino de Ciências, e, portanto, também para a formação de professores, assumimos para esta tese como pertinente para seus objetivos que a Unidade didática desenvolvida proporcionasse um ensino de FMC a partir de uma abordagem histórica.

Essa abordagem foi baseada no que Batista (2016) chamou de composição histórica: uma construção textual que reúne elementos históricos e historiográficos e científicos para a inteligibilidade de um tema científico escolhido com vistas a um papel pedagógico e à disseminação de conhecimentos históricos.

O objetivo do processo metodológico de composição é obter uma construção histórico-epistemológica que explicita a epistemologia de um fenômeno ao longo de seu entendimento em episódios históricos, demonstrando os elementos conceituais que vão compondo a explicação encontrada, ao mesmo tempo em que conduzimos uma análise comparada problematizadora com a explicação aceita contemporânea e cientificamente para um dado fenômeno, problema ou conceito na História da Ciência (BATISTA, 2016, p. 164).

No próximo capítulo, apresentamos a fundamentação utilizada para a elaboração da Unidade Didática, baseada nos princípios da Teoria da Aprendizagem Significativa, nos três momentos pedagógicos e na História da Ciência.

2 ASPECTOS TEÓRICOS DA UNIDADE DIDÁTICA

O termo unidade didática é utilizado, segundo Zabala (1998), para referir às sequências de atividades estruturadas para a realização de objetivos educacionais determinados. Podem-se considerar atividades, por exemplo: uma exposição, um debate, uma leitura, uma pesquisa bibliográfica, tomar notas, uma ação motivadora, uma observação, uma aplicação, um exercício, um estudo etc. As atividades ou tarefas podem ser definidas como uma unidade básica do processo de ensino e aprendizagem, cujas variáveis apresentam estabilidade e diferenciação: determinadas relações interativas professor/estudantes e estudantes/estudantes, uma organização grupal, determinados conteúdos de aprendizagem, certos recursos didáticos, uma distribuição do tempo e do espaço, um critério avaliador; tudo isso em torno de determinadas intenções educacionais (ZABALA, 1998).

Ainda de acordo com Zabala (1998), para que essas atividades possam proporcionar condições de uma aprendizagem de conceitos ou princípios, elas devem ser complexas para que provoquem um processo de elaboração e construção pessoal do conceito.

As condições para que a construção que o estudante faz seja mais ampla ou mais restrita, são dispostas pelo educador, para que se oriente em um sentido ou em outro, por meio da observação dos estudantes, da ajuda que lhes proporciona para que utilizem seus conhecimentos prévios, da apresentação que faz dos conteúdos. É o educador quem mostra os elementos essenciais do conteúdo, relacionando-os com o que os estudantes sabem e vivem, proporcionando-lhes experiências para que possam explorá-los, analisá-los, utilizá-los em situações diversas, avaliando a situação em seu conjunto e reconduzindo-a quando considera necessário, entre outras coisas (ZABALA, 1998).

As atividades iniciais, de acordo com Zabala (1998), têm como uma das funções prioritárias evidenciar os conhecimentos prévios. Essa atividade pode permitir saber que conhecimentos os estudantes têm a respeito do tema em questão. É necessária a manifestação dos estudantes que se encontram em uma situação mais desfavorável e não apenas por uns poucos estudantes, nem por aqueles que geralmente dispõem de mais informação. Isso evita cair na fácil ilusão de acreditar que as respostas dadas espontaneamente por parte dos estudantes correspondem ao conhecimento de todos e de cada um deles (ZABALA, 1998).

Logo, o papel fundamental dos docentes, nessa etapa, consiste em incentivar a participação. Se não há participação, o processo será seguido por poucos, embora se tenha a falsa impressão de se tratar de um processo coletivo.

Uma atividade que propõe uma situação problemática, segundo Zabala (1998), pode promover a atividade mental necessária para a construção do conceito. É preciso observar o grau de envolvimento dos estudantes nesse processo, a fim de que não se limite a um acompanhamento mecânico de alguns passos supostamente construtivos. Um conceito ou princípio faz parte do conhecimento do estudante não apenas quando este é capaz de repetir sua definição, mas quando sabe utilizá-lo para a interpretação, compreensão ou exposição de um fenômeno ou situação; quando ele é capaz de situar os fatos, objetos ou situações concretas naquele conceito que os inclui (ZABALA, 1998).

O educador precisa oferecer uma situação com um grau notável de participação dos estudantes, com uma grande variedade de atividades e criar um ambiente seguro e ordenado que ofereça a todos os estudantes a oportunidade de participar, em um clima com multiplicidade de interações que contemplem possibilidades de errar e realizar as modificações oportunas (ZABALA, 1998).

Zabala (1998) afirmou que é relevante aceitar as contribuições dos estudantes, mesmo que se expressem de maneira pouco clara ou parcialmente incorreta, e estimular a participação daqueles com menor tendência espontânea a intervir, por meio do oferecimento de espaços de trabalho em pequenos grupos. No entanto, o ensino não deve se limitar ao que o estudante sabe, mas a partir desse conhecimento é preciso conduzi-lo à aprendizagem de novos conhecimentos, ao domínio de novas habilidades e a melhoras de comportamentos já existentes, colocando-os em situações que os obriguem a realizar um esforço de compreensão e trabalho.

O objeto de estudo estruturador das aprendizagens deve ser a própria realidade do estudante. Ao partir de uma situação real, pode ser maior o número de relações possíveis de se estabelecer entre as experiências anteriores e os novos conteúdos, uma vez que ao incrementar o número de vínculos, a relevância da aprendizagem aumentará e terá mais possibilidades de aplicação em situações diferentes. Quanto mais relações possam ser estabelecidas entre os novos conteúdos e os esquemas de conhecimento já existentes, mais possibilidades terá a pessoa de dar resposta a situações ou problemas complexos (ZABALA, 1998).

Para este autor, ao considerarmos um referencial do ensino e da aprendizagem construtivista, o objeto da avaliação deixa de se centrar nos resultados obtidos e se situa no processo de ensino e aprendizagem, tanto da classe como de cada um dos estudantes. A avaliação, portanto, tem como finalidade ser um instrumento educativo que informa e faz uma valoração do processo de aprendizagem do estudante, com o objetivo de lhe oportunizar as propostas educacionais mais adequadas (ZABALA, 1998).

Dessa maneira, Zabala (1998) apresenta a avaliação como um processo constituído por três fases: avaliação inicial, avaliação reguladora e avaliação final. A avaliação inicial permite conhecer o que cada estudante sabe e consegue fazer. Esse conhecimento é o ponto de partida que deve permitir ao professor estabelecer o tipo de atividade que favorece a aprendizagem de cada estudante. No processo de aplicação do plano de intervenção, ou seja, durante a aula, será necessário adequar as diferentes variáveis educativas às necessidades de cada estudante: tarefas e atividades, conteúdo, formas de agrupamento, tempo etc. Assim sendo, Zabala (1998) denomina de avaliação reguladora aquela que permite conhecer como cada estudante aprende ao longo do processo de ensino e aprendizagem, para se adaptar às novas necessidades que se colocam. Por fim, o autor utiliza o termo avaliação final para se referir aos resultados obtidos e aos conhecimentos adquiridos; e o termo avaliação somativa ou integradora para o conhecimento e a avaliação de todo o percurso do estudante (ZABALA, 1998).

A aprendizagem de conceitos é avaliada por meio de atividades em que os estudantes possam demonstrar que entenderam, bem como sua capacidade para utilizar os conceitos aprendidos. As atividades que podem garantir o conhecimento do que cada estudante compreende implicam a observação do uso de cada um dos conceitos em diversas situações e nos casos em que o estudante os utiliza em suas explicações espontâneas. Desse modo, a observação do uso dos conceitos em trabalhos de equipe, debates, exposições e diálogos será uma boa fonte de informação do verdadeiro domínio do termo e o meio mais adequado para poder oferecer a ajuda de que cada estudante precisa (ZABALA, 1998).

De acordo com Zabala (1998, p. 33),

quando se explica de certa maneira, quando se exige um estudo concreto, quando se propõe uma série de conteúdos, quando se pedem determinados exercícios, quando se ordenam as atividades de certa maneira etc., por trás

destas decisões se esconde uma ideia sobre como se produzem as aprendizagens.

É necessária, portanto, uma teoria de aprendizagem que dê suporte para a elaboração da Unidade Didática. Por isso, tomamos como base a Teoria da Aprendizagem Significativa (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980), e os Momentos Pedagógicos (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1990; DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2012), para fundamentar as organizações e o processo, como um todo, da Unidade Didática.

2.1 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

A essência do processo de Aprendizagem Significativa, segundo Ausubel, Novak e Hanesian (1980), é que ideias são relacionadas às informações previamente adquiridas pelo estudante por meio de uma relação não arbitrária e substantiva (não literal), ou seja, essas ideias são relacionadas a algum aspecto relevante existente na estrutura cognitiva do estudante. Essas informações já presentes em sua estrutura cognitiva são chamadas subsunçores. Eles servem de apoio para a aprendizagem do estudante, com os quais a nova informação vai ser relacionada.

Dessa maneira, uma vez que os estudantes não são sujeitos neutros, ou seja, trazem para a sala de aula seus conhecimentos prévios ou sua cultura, é necessário, de acordo com a teoria da Aprendizagem Significativa, tomar como base o que eles já sabem. Portanto, como um primeiro passo da Unidade Didática foi realizar um levantamento para sondagem dos subsunçores, sendo estes pontos de partida para a Aprendizagem Significativa.

Uma Aprendizagem Significativa implica a aquisição de novos conceitos. Ela exige tanto que o estudante manifeste disposição para uma Aprendizagem Significativa (uma disposição para relacionar o novo material à sua estrutura cognitiva) como a apresentação ao estudante de material potencialmente significativo (que os materiais tenham significado lógico). A interação entre significados novos e ideias básicas relevantes à estrutura cognitiva do estudante dá origem a significados reais e psicológicos (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 32).

Para que a aprendizagem seja significativa, o novo conhecimento deve ser incorporado à estrutura cognitiva mediante uma relação substantiva e não arbitrária. Portanto, um material de aprendizagem significativo também deve relacionar-se de maneira não arbitrária e substantiva às ideias correspondentemente relevantes e inerentes à capacidade humana (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980).

Se o material exibe um caráter não arbitrário é porque existe uma base adequada e quase autoevidente para relacioná-lo de maneira não arbitrária aos tipos de ideias correspondentemente relevantes que os seres humanos são capazes de aprender. A relação substantiva implica que, se o material de aprendizagem for não arbitrário, permitirá que um símbolo ou grupo de ideias equivalentes se relacionem à estrutura cognitiva sem alteração resultante no significado (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980).

Na Aprendizagem Significativa, Ausubel, Novak e Hanesian (1980) afirmaram que o processo de obtenção de informações produz uma modificação tanto na nova informação como no aspecto relevante da estrutura cognitiva com a qual a nova informação estabelece relação.

A Aprendizagem Significativa é progressiva, isto é, os significados vão sendo captados e internalizados progressivamente e nesse processo a linguagem e a interação pessoal são relevantes. A diferenciação progressiva, a reconciliação integradora, a organização sequencial e a consolidação são princípios programáticos facilitadores da Aprendizagem Significativa.

No processo de diferenciação progressiva, as ideias mais gerais e inclusivas da matéria de ensino são apresentadas no início da instrução e diferenciadas em termos de detalhes e especificidades. Trata-se de uma abordagem na qual o que é mais relevante deve ser introduzido desde o início e, em seguida, trabalhado por meio de exemplos, situações, exercícios.

A reconciliação integradora consiste na exploração de relações entre conceitos e proposições, chamando atenção para diferenças e semelhanças e reconciliação de inconsistências reais e aparentes.

Ausubel, Novak e Hanesian (1980, p. 4) consideram o estudante construtor de seu próprio conhecimento. No entanto, embora os estudantes devam assumir a responsabilidade por sua própria aprendizagem, a escola (ou universidade, neste caso) não pode abdicar da responsabilidade de orientar essa aprendizagem. O ensino é uma das condições que pode influenciar a aprendizagem. Portanto, a

instituição de ensino deve se encarregar de fornecer disciplinas válidas e pedagogicamente apropriadas para os estudantes, planejar o currículo escolar e os métodos de ensino localizados adequadamente.

No entanto, a escola não pode assumir a responsabilidade completa pelo aprendizado do estudante. Este deve também buscar uma participação por meio de um aprendizado ativo e crítico, tentando compreender e reter o que é ensinado, integrando novas informações às obtidas em experiências anteriores e experiência idiossincrática, traduzindo novas proposições para uma linguagem própria, dedicando um esforço necessário para dominar dificuldades inerentes a novos aprendizados, formulando questões pertinentes e envolvendo-se conscientemente na solução de problemas que lhe são dados para resolver (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 30).

A escola tem o papel de desenvolver a capacidade dos estudantes em utilizar o conhecimento adquirido na solução de problemas particulares de maneira sistemática, independente e crítica, em vários campos de questionamento. Conforme Ausubel, Novak e Hanesian (1980), para que atividades como soluções de problemas e experimentos satisfaçam condição de experiências significativas, eles devem ser construídos sob uma base de princípios e conceitos compreensíveis e as operações envolvidas devem ser significativas.

Para a aprendizagem ser significativa, o novo conceito deve interagir de maneira não linear e arbitrária com conceitos existentes; desse modo, para a obtenção de evidências dessa aprendizagem, é necessária uma aplicação de testes de maneira nova e não familiar, que requeiram máxima transformação do conhecimento adquirido. Assim, durante a Unidade Didática sugere-se a utilização de diferentes atividades (dinâmicas de grupo, mapas conceituais, seminários, etc.), para que os novos conceitos possam ser trabalhados em diversas situações.

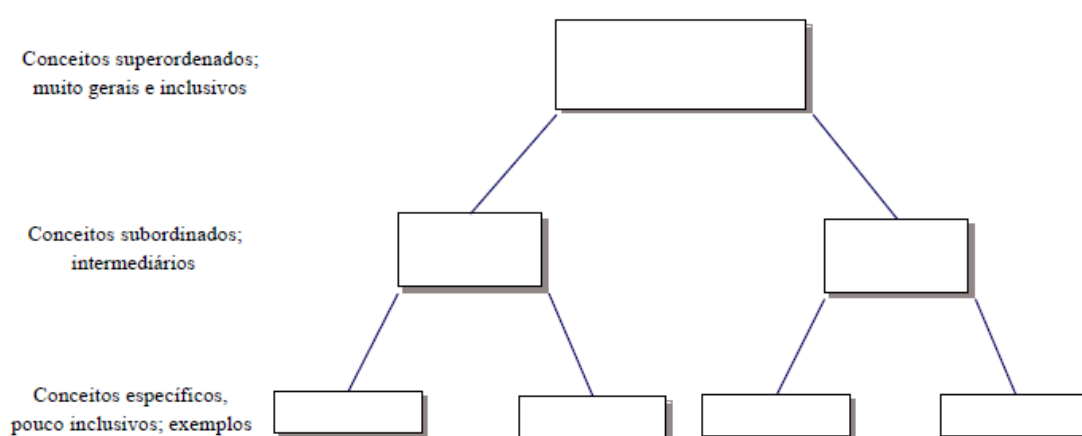
Novak e Gowin (1984) apresentam uma visão humanista à Aprendizagem Significativa, propondo que ela é uma integração construtiva, positiva, entre pensamentos, sentimentos e ações que conduz ao engrandecimento humano. Nessa perspectiva, quando a aprendizagem é significativa, o aprendiz cresce e se aprimora e se predispõe a novas aprendizagens. Essa visão humanista é relevante porque a predisposição para aprendizagem é uma das condições da Aprendizagem Significativa.

Uma vez que a Aprendizagem Significativa é progressiva, devemos nos preocupar com evidências que ocorrem durante o processo de aprendizagem. Dessa maneira, como um dos instrumentos de avaliação processual, foram utilizados os mapas conceituais, além de outras atividades como questionários, discussões em grupo, apresentação de seminário e trabalhos escritos. Na próxima seção, apresentam-se, portanto, os mapas conceituais como um dos instrumentos de avaliação e de obtenção de dados desta pesquisa.

2.1.1 Mapas Conceituais

Os mapas conceituais foram desenvolvidos por Joseph Novak e seus colaboradores com o objetivo de representar relações significativas entre conceitos (NOVAK; GOWIN, 1984) e têm sua fundamentação teórica na Teoria da Aprendizagem Significativa (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980). A relação entre mapas conceituais e Aprendizagem Significativa vem do fato de que essa estratégia revelou um alto potencial para facilitar a negociação, construção e aquisição de significados (MOREIRA, 2010). A Figura 1 apresenta um modelo simplificado de um mapa conceitual, tomando como base o princípio da diferenciação progressiva.

Figura 1 – Um modelo para mapeamento conceitual segundo a teoria de Ausubel

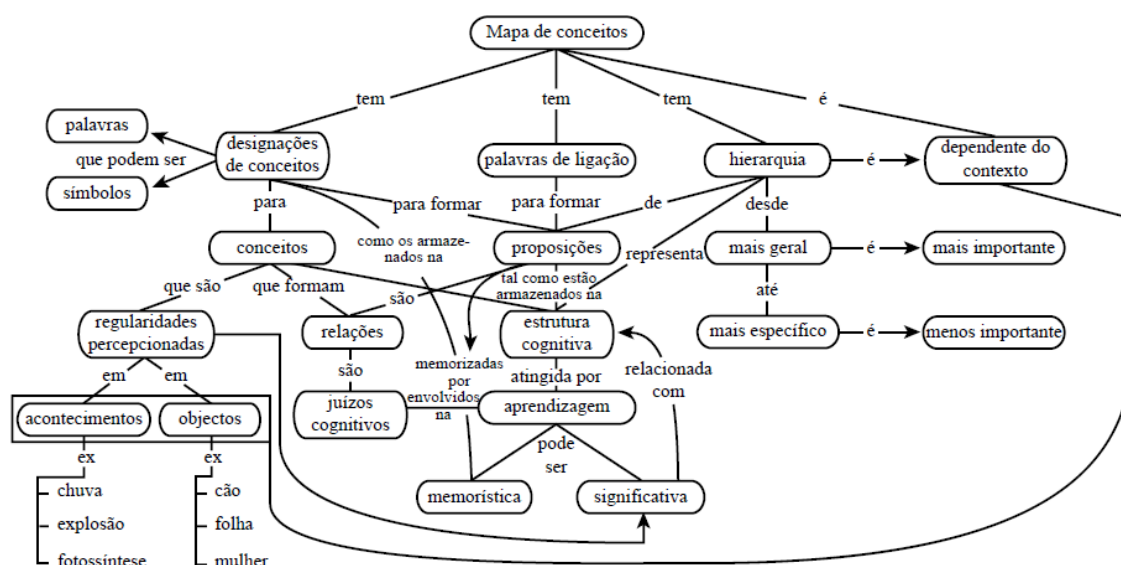


Fonte: Moreira (2006b, p. 11)

De uma maneira geral, mapas conceituais são diagramas que indicam relações entre conceitos, ou entre palavras usadas para representar conceitos. São

diagramas de significados, de relações significativas; de hierarquias conceituais. Os mapas conceituais podem ser interpretados como diagramas hierárquicos com o objetivo de refletir uma organização conceitual de um corpo de conhecimento ou parte dele. No modelo hierárquico, os conceitos mais inclusivos estão no topo da hierarquia (parte superior do mapa) e conceitos específicos, pouco abrangentes, estão na base, correspondente à parte inferior (MOREIRA, 2006b, 2010). Na Figura 2, apresentamos um mapa conceitual com as principais ideias e características de mapas conceituais.

Figura 2 – Um mapa de conceitos mostrando as ideias e as características chave envolvidas na construção dos mapas de conceitos



Fonte: Novak e Gowin (1984, p. 30)

Moreira (2006b) chama atenção para um ponto relevante de que

um mapa conceitual deve sempre ser visto como ‘um mapa conceitual’, não como ‘o mapa conceitual’ de determinado conjunto de conceitos. Isto é, qualquer mapa conceitual deve ser visto apenas como uma das possíveis representações de uma certa estrutura conceitual (MOREIRA, 2006b, p. 10).

Mapas conceituais podem ser utilizados como instrumentos de ensino e/ou de aprendizagem, interpretados por meio da “negociação de significados” (MOREIRA, 2006b).

Como instrumentos didáticos, os mapas conceituais podem ser usados para mostrar relações hierárquicas entre conceitos ensinados em uma aula, em uma unidade de ensino ou em um curso. Eles explicitam relações de subordinação e superordenação que possivelmente afetarão a aprendizagem de conceitos. São representações concisas das estruturas conceituais que estão sendo ensinadas e provavelmente facilitarão a aprendizagem dessas estruturas, que estão de acordo com a diferenciação progressiva. No entanto, Moreira (2006a) assinala que a utilização do mapa conceitual do ponto de vista instrucional não deve ser unidirecional, exclusivamente de cima para baixo, uma vez que a instrução deve promover a reconciliação integrativa, ou seja, explorar relações entre proposições e conceitos, evidenciar semelhanças e diferenças significativas e reconciliar inconsistências reais ou aparentes.

De acordo com Moreira (2006b), em um mapa conceitual se busca identificar os conceitos-chaves de um determinado conhecimento, organizá-los em um diagrama com algum tipo de hierarquia (diferenciando, de alguma maneira, entre os conceitos subordinados, superordenados, inclusivos, específicos, exemplos) e relacioná-los explicitamente (por meio de linhas conectando conceitos e de palavras-chave sobre tais linhas dando significado às relações).

O fato de dois conceitos estarem unidos por uma linha significa que há, no entendimento de quem fez o mapa, uma relação entre esses conceitos. Uma ou duas palavras-chave escritas sobre essa linha podem explicitar a natureza dessa relação. Os dois conceitos junto com as palavras-chave formam uma proposição que evidencia o significado da relação conceitual. No entanto, esse recurso não torna os mapas conceituais autoexplicativos. Estes devem ser explicados por quem os faz; ao explicar o mapa conceitual, a pessoa externaliza seus significados (MOREIRA, 2010).

Para Novak e Gowin (1984, p. 36), aprender o significado de um determinado conhecimento implica dialogar, trocar, compartilhar, e por vezes estabelecer compromissos. Essa externalização de significados, além de se mostrar eficaz para a facilitação de uma Aprendizagem Significativa, possui grande valor para o mapa conceitual como um recurso de aprendizagem por servir como uma espécie de molde ou suporte para ajudar a organizar e estruturar o conhecimento (MOREIRA, 2010; NOVAK; CAÑAS, 2010). Moreira (2010) acrescenta que na medida em que os estudantes utilizam mapas conceituais para integrar, reconciliar e

diferenciar conceitos, eles estarão usando o mapeamento conceitual como um recurso de aprendizagem.

Além da finalidade de recurso de aprendizagem, os mapas conceituais podem ser utilizados como instrumentos de avaliação, com objetivo de obter informações a respeito do tipo de estrutura que o estudante vê para um determinado conjunto de conceitos, isto é, como ele estrutura, hierarquiza, diferencia, relaciona, discrimina, integra conceitos de uma determinada unidade de estudo, tópico etc. (MOREIRA, 2006a, 2006b, 2010).

Nesse sentido, segundo Moreira, Soares e Paulo (2008, p. 2),

na medida em que os mapas conceituais incluem nomes de autores, de instituições, de áreas de conhecimento, bem como definições, leis e outras proposições, os conceitos se perdem, ficam diluídos em meio a uma grande quantidade de informações.

Além disso, Novak e Cañas (2010, p. 17) afirmaram que a dificuldade de acrescentar palavras de ligação às “linhas” dos mapas conceituais se deve à má compreensão do relacionamento entre os conceitos, ou dos significados dos conceitos, pois são as palavras de ligação que especificam esse relacionamento.

Os mapas conceituais também podem se relacionar com a História da Ciência uma vez que são instrumentos didáticos para auxiliar estudantes e professores a refletirem a respeito da estrutura e do processo de construção do conhecimento (BATISTA; ARAMAN, 2009).

Dessa maneira, durante a Unidade Didática desenvolvida nesta tese os mapas conceituais tiveram duas finalidades: 1) instrumentos de aprendizagem, para auxiliar os estudantes a refletirem a respeito da estrutura e do processo de construção do conhecimento de Física de Plasmas; 2) instrumentos de avaliação, com o objetivo de obter informações a respeito do tipo de estrutura que os estudantes relacionam um conjunto de conceitos da Física de Plasmas.

Na próxima seção, apresentam-se os Momentos Pedagógicos (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1990; DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2012), pois os consideramos como uma das possibilidades de proposta metodológica não tradicional para organizar uma dinâmica de atuação docente em sala de aula. Além disso, os Momentos Pedagógicos contemplam tanto os aspectos da Unidade Didática proposta por Zabala (1998) como as características da Aprendizagem Significativa (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980).

2.2 MOMENTOS PEDAGÓGICOS

Os Momentos Pedagógicos (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2012) são distinguidos por três momentos, com funções específicas e diferenciadas entre si: **problematização inicial**, **organização do conhecimento** e **aplicação do conhecimento**.

Na **problematização inicial** são apresentadas situações reais que os estudantes conhecem e presenciam e que estão envolvidas nos temas, embora também exijam, para interpretá-las, a introdução dos conhecimentos contidos nas teorias científicas. Esse momento é organizado de tal maneira que os estudantes sejam desafiados a expor o que estão pensando a respeito das situações. Inicialmente, a descrição feita por eles prevalece, para que o/a professor/a possa conhecer o que pensa. O objetivo é problematizar o conhecimento que os estudantes vão expondo, de modo geral, com base em poucas questões discutidas em um pequeno grupo, para, em seguida, serem exploradas as posições dos vários grupos com toda a classe, no grande grupo (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2012).

Esse primeiro momento é caracterizado pela apreensão e compreensão da posição dos estudantes perante as questões em pauta. A função coordenadora do/a professor/a se concentra em questionar posicionamentos, fomentando a discussão das diferentes respostas dos estudantes, e lançar dúvidas a respeito do assunto do que em responder ou fornecer explicações. Deseja-se estimular explicações contraditórias e localizar possíveis limitações e lacunas do conhecimento que vem sendo exposto. A finalidade desse momento é proporcionar um distanciamento crítico do aluno, ao se defrontar com as interpretações das situações propostas para discussão.

Para Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2012), o objetivo da problematização é fazer com que o estudante sinta a necessidade da aquisição de outros conhecimentos que ainda não detém, ou seja, procura-se organizar a situação em discussão como um problema que precisa ser resolvido.

Durante a **organização do conhecimento** são estudados os conhecimentos selecionados como necessários para a compreensão dos temas e da problematização inicial, sob a orientação do/a professor/a. São empregadas as mais variadas atividades, de maneira que o/a professor/a possa desenvolver a

conceituação fundamental para uma compreensão científica das situações problematizadas. Nesse momento, a resolução de problemas e exercícios, tais como os propostos em livros didáticos, pode desempenhar sua função formativa na apropriação de conhecimentos específicos (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2012).

No momento de **aplicação do conhecimento**, segundo Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2012), aborda-se o conhecimento que vem sendo incorporado pelo estudante, para analisar e interpretar tanto as situações iniciais que determinaram seu estudo como outras situações que, embora não estejam diretamente relacionadas ao motivo inicial, podem ser compreendidas pelo mesmo conhecimento. Podem ser desenvolvidas diversas atividades, buscando a generalização da conceituação que já foi abordada e formulando problemas abertos. A meta pretendida com esse momento é a de capacitar os estudantes ao emprego dos conhecimentos, no intuito de formá-los para que articulem a conceituação científica com situações reais. A identificação e emprego da conceituação envolvida, ou seja, o suporte teórico fornecido pela Ciência, é que está em pauta nesse momento. É um uso articulado da estrutura do conhecimento científico com as situações significativas, envolvidas nos temas, para compreendê-las, uma vez que esse é um dos objetivos a ser atingido com o processo de ensino e aprendizagem das Ciências. É o potencial explicativo das teorias científicas que precisa ser explorado.

Na próxima seção, apresenta-se uma articulação dos aspectos teóricos da Unidade Didática, relacionando os Momentos Pedagógicos (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1990; DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2012), com os principais elementos da Teoria da Aprendizagem Significativa.

2.3 ARTICULAÇÃO DOS ASPECTOS TEÓRICOS DA UNIDADE DIDÁTICA

Os **Momentos Pedagógicos** podem ser correlacionados com os principais elementos da Teoria da Aprendizagem Significativa. A **problematização inicial** pode ser utilizada para o levantamento de subsunçores, uma vez que, nesse momento, criamos uma situação em que o estudante é motivado a externalizar os seus conhecimentos prévios, que foram internalizados ao longo de sua vida. Além disso, esse momento também permite gerar uma predisposição para o aprendiz pela

necessidade de aquisição de novos conhecimentos, que é uma condição fundamental para a Aprendizagem Significativa.

A diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa, elementos relacionados com a estrutura do conhecimento, podem ser exploradas durante o momento de **organização do conhecimento**.

Com relação ao momento de **aplicação do conhecimento**, podemos também relacionar com a reconciliação integrativa, uma vez que este momento busca a generalização da conceitualização abordada.

Além disso, podemos relacionar a recursividade, tanto com o momento de **organização do conhecimento**, quanto com o momento de **aplicação do conhecimento**, pois a recursividade está relacionada a diversidade de atividades presentes nesses momentos, para que o estudante seja capaz de aplicar o novo conhecimento em diferentes situações.

Na próxima seção, apresenta-se o produto educacional elaborado para abordar a temática de Física de Plasmas na formação inicial de professores de Física.

2.4 PRODUTO EDUCACIONAL: “INTRODUÇÃO À FÍSICA DE PLASMAS: UMA ABORDAGEM BASEADA NA HISTÓRIA DA CIÊNCIA”

Diante dos nossos estudos e dos resultados obtidos, elaboramos uma proposta de Unidade Didática, apresentada no Quadro 2, para abordar a Física de Plasmas na formação de professores de Física, com base em uma composição histórico-conceitual (Apêndice A). Salientamos que a proposta de Unidade Didática é uma das possibilidades de trabalho com o tema, entre várias alternativas.

A Unidade Didática apresentada a seguir tem duração total prevista de 16 horas. No entanto, ela pode ser adaptada conforme a necessidade de cada professor/a, baseando-se em seu tempo disponível e/ou conhecimento prévio dos estudantes. A Unidade tem como base uma linha de acontecimentos históricos, pois um ensino contextualizado na História da Ciência pode trazer problematizações, indagações e debates ocorridos no decorrer do desenvolvimento de determinado conhecimento.

Avaliação da aprendizagem: durante o desenvolvimento da Unidade, acompanham-se os indícios de aprendizagem dos estudantes por meio dos trabalhos escritos, realizados por eles, trabalhos em grupo e nas observações de suas performances em sala de aula, feitas pela docente e registradas em diário de bordo. Observar se os estudantes alcançaram as respostas parciais de cada etapa. Um elemento que mostra que a pessoa está compreendendo o assunto é sua capacidade de elaborar, enunciar, novas perguntas por si mesma. Portanto, um modo de avaliação de aprendizagem seria observar se os estudantes conseguiram elaborar novas perguntas, por si mesmos, ou foram conduzidos pelos outros. Isso evidencia a reelaboração de seus subsunçores.

Para a avaliação da aprendizagem, levaremos em consideração Zabala (1998), que afirmou que um conceito ou princípio faz parte do conhecimento do estudante não apenas quando este é capaz de repetir sua definição, mas quando sabe utilizá-lo para interpretação, compreensão ou exposição de um fenômeno ou situação; quando o estudante é capaz de situar fatos, objetos ou situações concretas naquele conceito que os inclui. Destacamos que a avaliação será simultânea a cada etapa, com o objetivo de identificar indícios de Aprendizagem Significativa (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980), uma vez que a avaliação, como um componente do processo de ensino, visa identificar correspondência dos resultados dos estudantes com os objetivos propostos, para orientar a tomada de decisões do professor em relação às atividades seguintes (LIBÂNEO, 2013). Ainda de acordo com Libâneo (2013), a avaliação visa diagnosticar e superar dificuldades, corrigir falhas e estimular os estudantes a continuarem dedicando-se aos estudos. A seguir apresentaremos, no Quadro 2, a descrição dos momentos de atividades da Unidade Didática. Primeiramente, será apresentada a descrição das atividades, em seguida, uma análise estrutural com base na Teoria da Aprendizagem Significativa, na Didática e na História da Ciência, justificando sua organização.

Quadro 2 – Proposta de Unidade Didática⁵

Unidade Didática: Introdução à Física de Plasmas
Descrições e sugestões pedagógicas
<p>A Unidade Didática está baseada nos referenciais teóricos de Zabala (1998), nos três momentos pedagógicos (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1990; DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2012) e na Teoria da Aprendizagem Significativa (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980). A proposta foi desenvolver o tema Física de Plasma de maneira qualitativa e conceitual, evitando um tratamento matematizado extenso, o que consideramos que deva ser realizado em disciplina específica para o assunto. Essa Unidade de ensino é pensada como uma sequência de situações e cada uma delas tem seu tempo de aula estimado.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Objetivos da Unidade: possibilitar que os estudantes conheçam, analisem, e interpretem o estado de plasma; diferenciem o estado de plasma e outros estados da matéria, por meio de suas principais características; expliquem modos de produção de plasma; identifiquem exemplos do estado de plasma em fenômenos naturais e tecnologias; possibilitar que os estudantes conheçam um exemplo de uma situação de ensino baseada em fundamentos científicos da área de Ensino de Física/ Ensino de Ciências; possibilitar uma formação docente com um perfil contextualizador, problematizador, humanizado e metodologicamente consciente de como trabalhar com uma Unidade Didática. – Público-alvo: estudantes do 4º ou 5º ano do curso de Licenciatura em Física. – Total de aulas: aproximadamente quatro aulas de 4 horas (as etapas da Unidade Didática podem ser adaptadas conforme a necessidade de cada professor/a, baseando-se em seu tempo disponível e/ou conhecimento prévio dos estudantes). – Atividades: estudos de textos, pesquisas, dinâmicas em grupo, seminários, construção de mapas conceituais etc. – Conhecimentos prévios: noções básicas dos estados sólido, líquido e gasoso e as transições entre eles; ionização; quantização de energia, $E = h \cdot \nu$; teoria corpuscular da luz, óptica física (emissão e absorção de fótons). – Conteúdo programático: estados físicos da matéria; processos de ionização de um gás; modos de produção de plasma; equação de Saha; características do plasma: quase-neutralidade, comportamento coletivo (oscilações devido às forças coulombianas); emissão de radiação eletromagnética; blindagem do campo elétrico (comprimento de Debye); exemplos de plasmas na natureza e aplicações de Física de Plasma. – Avaliações: devem ocorrer durante todo o processo, desde a etapa de obtenção de conhecimentos prévios, problematização, até a participação nos grupos, seminários, trabalhos escritos, elaboração de mapas conceituais. Na Unidade Didática, o processo de avaliação é definido a partir do referencial da Teoria da Aprendizagem Significativa. – Recursos didáticos: projetor multimídia, computador, lousa, cartazes, composição histórico-conceitual.

⁵ Destacamos que esta versão final da proposta de Unidade Didática não sofreu alterações com relação às atividades. Após a validação realizada pelos professores participantes da pesquisa, foram realizadas apenas ajustes na organização e explicação de atividades. Por esse motivo, não consideramos necessária a apresentação da primeira versão da Unidade Didática.

ETAPAS	Situação Inicial (5 horas e 30 minutos = 4 horas + 1h 30 minutos)
	<ul style="list-style-type: none"> – Apresentação da professora pesquisadora e dos participantes. – Apresentação dos objetivos gerais da proposta de formação inicial.
Atividades	<ul style="list-style-type: none"> – Aplicar um questionário para obter conhecimentos prévios dos estudantes a respeito de conceitos relacionados à Física de Plasma. – Momento de preparação metodológica: sugere-se uma apresentação para os estudantes de mapas conceituais como instrumento de acompanhamento de aprendizagem. Apresentar exemplos de assuntos diversos de Física, e os estudantes exercitarão a construção de mapas conceituais de temas da Física, como por exemplo: Mecânica Clássica, Calorimetria, Ondas etc. – Sugere-se, antes da apresentação do tema, promover uma atividade indutora a respeito dos estados da matéria e suas transições, com debate utilizando a técnica de <i>brainstorming</i>, com o objetivo de estimular a exposição de ideias, com liberdade de imaginação sem que o julgamento dessas ideias interfira no processo criativo. Sugere-se perguntar aos estudantes quais os estados físicos da matéria que eles conhecem e como ocorre a transição entre cada estado físico. – Em seguida, o/a docente faz uma seleção do que for relevante para uma discussão coletiva, tendo como hipótese que deverá ocorrer menção das características dos estados sólido, líquido e gasoso, e suas transições. Por fim, sugere-se a seguinte pergunta aos estudantes: O que aconteceria se fornecêssemos energia para uma substância no estado gasoso, em um recipiente fechado? – Utilizar um extrato da composição histórico-conceitual (Apêndice A, Parte 1), evidenciando que Crookes passou por esse mesmo tipo de questionamento, levando-o a propor um quarto estado da matéria. – Solicitar aos estudantes que façam um mapa conceitual 1, individual, a respeito desse episódio histórico, com uma explicação por escrito de seu mapa.
Análise estrutural	<p>APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA</p> <p>Os estudantes, por não serem sujeitos neutros, trazem para a sala de aula seus conhecimentos prévios ou sua cultura. Por isso, conforme os princípios da teoria da Aprendizagem Significativa, precisamos identificar os conhecimentos prévios dos estudantes para tomar como base o que eles já sabem. Dessa maneira, nosso primeiro passo é realizar um levantamento para sondagem, uma vez que os estudantes não são elementos vazios, e assim se tornam um ponto de partida de toda a aprendizagem.</p> <p>Na situação inicial, utilizamos a técnica do <i>brainstorming</i>, uma vez que, como apontado por Coutinho e Bottentuit Junior (2007), esta é uma técnica que visa reunir informações para que seja realizada uma exploração de novas ideias a respeito de contextos ou problemas. Afirmaram, também, que no <i>brainstorming</i>, o que</p>

	<p>importa não é responder de maneira certa ou lógica, mas de modo espontâneo e criativo (COUTINHO; BOTTENTUIT JUNIOR, 2007). Além disso, de acordo com Miranda (2011), a técnica de <i>brainstorming</i> possui uma combinação de características que pode ajudar na criação de mapas conceituais mais completos e satisfatórios.</p> <p>Os mapas conceituais como instrumentos de avaliação têm como objetivo obter informações a respeito do tipo de estrutura que o estudante vê para um determinado conjunto de conceitos (MOREIRA, 2006b).</p> <p>DIDÁTICA</p> <p>Nesta etapa, a palavra da professora serve como força estimuladora para o assunto em questão. A professora estimula interesses, instiga a curiosidade, relata de maneira sugestiva um acontecimento, descreve com vivacidade uma situação real (LIBÂNEO, 2013). A conversação visa levar os estudantes a se aproximarem gradativamente da organização lógica dos conhecimentos e a dominarem métodos de elaborar suas ideias de maneira independente. De acordo com Libâneo (2013), a conversação pode desenvolver, nos estudantes, habilidades de expressar opiniões fundamentadas, de discutir, argumentar e refutar opiniões de outros, de aprender a escutar, contar fatos, interpretar, além de proporcionar a aquisição de novos conhecimentos.</p> <p>Uma maneira usual de organizar a conversação didática é a <i>pergunta</i>. “A pergunta é um estímulo para o raciocínio, incita os estudantes a observarem, pensarem, duvidarem, tomarem partido” (LIBÂNEO, 2013, p. 185). É, também, um indicio de que os estudantes estão compreendendo o assunto, na medida em que vão aprendendo a formular respostas pensadas e corretamente articuladas. Para Libâneo (2013), a conversação didática com base em perguntas pode ser feita pela condução direta do professor, quando ele conversa com a classe toda.</p> <p>O professor deve buscar uma atitude positiva frente às respostas dos estudantes. Elas podem ser incompletas, mas podem conter uma parte correta. Mesmo as respostas incorretas devem ser transformadas em ponto de partida para revisões ou novas explicações, pois permitem ao professor conhecer as dificuldades dos estudantes (LIBÂNEO, 2013).</p> <p>HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA</p> <p>A Unidade Didática tem como base uma linha de acontecimentos históricos, pois um ensino contextualizado na História da Ciência pode trazer problematizações, indagações e debates ocorridos no decorrer do desenvolvimento de determinado conhecimento.</p>
1º MOMENTO	Problematizações iniciais (2 horas e 30 minutos)
Atividades	<p>– Sugere-se apresentar aos estudantes as seguintes questões problematizadoras para discussão em grupos pequenos e depois em grande grupo:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Como é caracterizado o estado de plasma? 2) De que maneira podemos calcular (estimar) a quantidade de

	<p>energia necessária para a transformação de uma substância no estado gasoso para o estado de plasma?</p> <p>3) Qual a ordem de grandeza de temperatura necessária para se atingir um estado diferenciado do estado gasoso?</p> <p>4) Como o plasma pode ser produzido?</p> <p>5) Teria outra maneira de obter o estado de plasma além do aquecimento?</p> <p>– O/a docente deve fazer uma apresentação e discussão da obtenção do estado de plasma por meio da ionização de um gás. Explicar alguns processos de ionização e, conseqüentemente, de produção de plasma.</p> <p>– Apresentar e discutir a equação de Saha.</p> <p>– Em seguida, apresentar o momento histórico das contribuições de Langmuir (Apêndice A, Parte 2) como um exemplar de debate, discutindo a motivação dos estudos de Langmuir com descargas em gases ionizados e as bases que os pesquisadores da época tinham para montar os experimentos que levam a produzir a interpretação de um novo estado da matéria.</p> <p>– Os estudantes farão um mapa conceitual 2, individual, com explicações por escrito, a respeito desse momento histórico.</p>
<p>Análise estrutural</p>	<p>APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA</p> <p>Utilizamos também os mapas conceituais, uma vez que eles são instrumentos didáticos para auxiliar estudantes e professores a refletirem a respeito da estrutura e do processo de construção do conhecimento (BATISTA; ARAMAN, 2009). Eles devem apresentar uma estrutura hierárquica, em que os conceitos mais gerais e inclusivos devem ficar no topo do mapa, e os conceitos mais específicos abaixo deles (NOVAK; GOWIN, 1984).</p> <p>DIDÁTICA</p> <p>A meta é problematizar o conhecimento que os estudantes vão expondo, com base em poucas questões propostas relativas ao tema e às situações significativas (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2012). Segundo Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2012), um dos objetivos da problematização é fazer com que o estudante sinta a necessidade de adquirir outros conhecimentos que ainda não detém, ou seja, procura-se configurar a situação em discussão como um problema que precisa ser enfrentado.</p> <p>Nesse momento, trabalhamos com a dinâmica grupal. Essa maneira de estruturar diferentes estudantes configura uma determinada organização social de aula em que estes convivem, trabalham e se relacionam, segundo modelos nos quais o grande grupo permite e contribui para o trabalho coletivo e pessoal. Uma das finalidades do trabalho em grupo é obter a cooperação dos estudantes entre si na realização de uma tarefa. Esse tipo de atividade procura desenvolver habilidades de trabalho coletivo responsável e capacidade de verbalização para que os estudantes aprendam a se expressar e a defender seus pontos de vista (LIBÂNEO, 2013; ZABALA, 1998).</p>

	<p>HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA</p> <p>O papel da composição histórica é obter uma construção histórico-epistemológica que explicita a epistemologia do fenômeno ao longo de seu entendimento em episódios históricos, demonstrando os elementos conceituais que vão compondo a explicação encontrada, ao mesmo tempo em que se conduz uma análise comparada problematizadora com a explicação aceita contemporânea e cientificamente para um determinado fenômeno, problema ou conceito na História da Ciência (BATISTA, 2016).</p>
2º MOMENTO	Organização do conhecimento (4 horas)
Atividades	<ul style="list-style-type: none"> – Sugere-se realizar uma miniaula expositiva, com apresentação em <i>slides</i>, abrindo espaço para perguntas dos estudantes e estimulando discussões em sala. – O/a docente deve apresentar a definição de plasma, dos modos de produção de plasma (diferentes fontes de excitação/ionização/fotoionização), as características do plasma: quase-neutralidade, comportamento coletivo (oscilações devido às forças coulombianas); emissão de radiação eletromagnética; blindagem do campo elétrico (comprimento de Debye), exemplos de plasmas na natureza e aplicações de Física de Plasmas⁶. Na parte de aplicações do plasma, enfatizar a respeito da emissão de luz (lâmpadas fluorescentes, telas de TV) e da obtenção de altas temperaturas (solda e corte de metais). – Depois, deverá ser entregue aos estudantes a última parte da composição histórico-conceitual da Física do Plasma (Apêndice A, Parte 3). – Em seguida, solicitar-lhes que façam um mapa conceitual 3, individual, e outro em pequenos grupos. – Após a construção dos mapas, eles deverão ser apresentados para a turma, em cartazes. Após a apresentação e discussão dos mapas, os estudantes terão a oportunidade de corrigir eventuais imprecisões antes que sejam entregues ao/à docente.
Análise estrutural	<p>APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA</p> <p>Moreira (2006b) sugere que os estudantes sejam incentivados a construir e a apresentar seus mapas conceituais como um exercício de negociação e socialização de significados. Esse recurso, dentre outros, pode apoiar o desenvolvimento de uma Aprendizagem Significativa.</p> <p>DIDÁTICA</p> <p>No momento de organização do conhecimento, utilizamos o método expositivo que, de acordo com Libâneo (2013), é adequado para explicação de um assunto de modo sistemático, quando há poucas possibilidades de prever um contato direto dos estudantes com fatos</p>

⁶ Neste momento, é possível discutir também a dimensão político e social envolvida na produção científica, mostrando aos estudantes que certos conhecimentos são postergados por interesses econômicos, como o desenvolvimento de novas tecnologias envolvendo o plasma.

	<p>ou acontecimentos.</p> <p>HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA</p> <p>Outro motivo para utilizarmos o trabalho em grupos é promover uma proximidade com a História da Ciência, uma vez que uma investigação científica não é realizada de maneira individual e a Ciência é uma produção cultural coletiva. Por isso, é relevante ter pares para discutir.</p>
3º MOMENTO	Aplicação do conhecimento (2 horas)
Atividades	<ul style="list-style-type: none"> – Apresentação de seminário curto (20 minutos cada) a respeito de aplicações de plasma, a ser realizado pelos estudantes, em duplas. O/A docente pode apresentar alguns temas para a escolha dos estudantes, mas estes podem ter a liberdade de escolher outros além dos apresentados. Exemplos de temas: Telas de plasma, Plasma para soldagem, Propulsão de plasma para veículos espaciais, Fusão termonuclear controlada, Plasma na chama, Plasma na medicina, Plasmas solares, etc. A escolha do assunto deverá ser decidida na aula anterior, para preparação dos estudantes, como uma <u>atividade extraclasse</u>. – Elaboração (<u>atividade extraclasse</u>) e apresentação de atividades de ensino para o conteúdo de Física de Plasma a ser aplicado no Ensino Médio. – Síntese e discussão de como seria possível esse assunto chegar às aulas do Ensino Médio, em que momento (ano) o assunto seria mais bem encaixado e quais conteúdos específicos deveriam ser levados para a Educação Básica (conceitos fundamentais).
Análise estrutural	<p>DIDÁTICA</p> <p>A meta pretendida no momento de aplicação de conhecimentos é capacitar os estudantes ao emprego dos conhecimentos, para que articulem a conceituação científica com situações reais. Segundo Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2012), as mais diversas atividades devem ser desenvolvidas, buscando a generalização da conceituação que já foi abordada. No momento de aplicação de conhecimentos, se propõe a participação ativa do estudante em atividades colaborativas.</p> <p>Utilizaremos o método de trabalho independente que consiste de tarefas dirigidas e orientadas pelo professor, para que os estudantes as resolvam de modo independente e criativo. O trabalho independente pressupõe determinados conhecimentos, compreensão da tarefa e do seu objetivo, de modo que os estudantes possam aplicar conhecimentos e habilidades sem a orientação direta do professor (LIBÂNEO, 2013).</p> <p>SABERES DOCENTES</p> <p>O planejamento de uma atividade de ensino tem o potencial de possibilitar correlações entre os saberes da formação profissional, disciplinares, curriculares e experienciais.</p>

Aula integradora final e avaliação da Unidade Didática em sala de aula (2 horas)	
Atividades	<ul style="list-style-type: none"> – Solicitar que os estudantes façam um mapa conceitual 4, individual, com uma síntese geral dos conceitos de plasma e uma explicação por escrito do mapa construído. – Aplicar um questionário posterior e uma avaliação da Unidade Didática a ser realizada pelos estudantes.
Análise estrutural	<p>APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA</p> <p>Mapas conceituais podem ser traçados para exteriorizar proposições. Se a pessoa que fez o mapa rotula com uma ou mais palavras-chave as linhas que unem conceitos em um mapa, seu mapa representará proposições que expressam significados atribuídos às relações entre conceitos. Dessa maneira, os mapas conceituais podem ser vistos como instrumentos para exteriorizar o entendimento conceitual e proposicional que uma pessoa tem a respeito de um determinado conhecimento (MOREIRA, 2006b).</p> <p>DIDÁTICA</p> <p>Zabala (1998) afirmou que um conceito ou princípio faz parte do conhecimento do estudante não apenas quando este é capaz de repetir sua definição, mas quando sabe utilizá-lo para interpretação, compreensão ou exposição de um fenômeno ou situação; quando o estudante é capaz de situar fatos, objetos ou situações concretas naquele conceito que os inclui.</p>

Fonte: a própria autora

Esta Unidade Didática teve também como objetivo contribuir para o repertório de saberes de futuros professores de Física, proporcionando momentos para aprimoramento de seus saberes disciplinares, saberes da formação profissional, saberes experienciais e saberes curriculares.

O contato dos estudantes com diferentes atividades (dinâmicas em grupo, mapas conceituais, apresentação de seminários, atividades com base na História da Ciência) fornece aos futuros professores estratégias que podem ser incorporadas em sua futura prática docente, aprimorando seus **saberes da formação profissional**, aqueles relacionados às Ciências da Educação, seus **saberes experienciais (ou práticos)**, uma vez que algumas das atividades servem como um ensaio para os estudantes de seu exercício das funções de professores e da prática de sua profissão, além de seus **saberes disciplinares**, com relação ao conteúdo de Física de Plasmas, um dos campos de conhecimento que está presente em nossa sociedade.

Os **saberes curriculares** podem ser mobilizados durante o momento de discussão de como o assunto de Física de Plasmas poderia chegar às aulas do Ensino Médio, em que série o assunto seria mais bem encaixado e quais conteúdos específicos deveriam ser levados para a Educação Básica (conceitos fundamentais), uma vez que é preciso conhecer a estrutura e programas curriculares das instituições de ensino para tal discussão.

No próximo capítulo, descrevemos os procedimentos metodológicos utilizados para a investigação empírica.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA A INVESTIGAÇÃO EMPÍRICA

Em uma pesquisa qualitativa de cunho interpretativo, a análise de dados é o processo de busca e de organização sistemática de materiais acumulados com o objetivo de aumentar a compreensão desses materiais e de lhes permitir apresentar o que foi encontrado. De acordo com Bardin (2011), na análise qualitativa, toma-se em consideração a presença ou a ausência de uma dada característica de conteúdo ou de um conjunto de características em um determinado fragmento de mensagem.

A abordagem qualitativa corresponde a um procedimento mais intuitivo, mais maleável e mais adaptável, a índices não previstos, ou à evolução das hipóteses. A análise qualitativa é válida na elaboração das deduções específicas a respeito de um acontecimento ou uma variável de influência precisa (BARDIN, 2011).

Elaboramos uma proposta de Unidade Didática para abordar a Física de Plasma na formação de professores de Física, com base nos referenciais teóricos de Zabala (1998), nos três momentos pedagógicos (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1990), na Teoria da Aprendizagem Significativa (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980) e na História da Ciência.

Essa proposta de Unidade Didática foi ofertada para estudantes de Licenciatura em Física da Universidade Estadual de Londrina, como um curso de extensão “Introdução à Física de Plasma”, com duração de 16 horas presenciais, quatro encontros de quatro horas cada, realizados nos dias 14, 21, 28 de maio e 04 de junho de 2019. Obtivemos oito participantes no total, em que seis eram da Física (sendo cinco estudantes da graduação e uma estudante do mestrado) e dois participantes da Química (um estudante da graduação e uma estudante do mestrado). Dentre os estudantes de graduação em Física, um participante era do 3º ano, dois do 4º ano e dois do 5º ano. O estudante de graduação em Química era do 1º ano. As duas participantes já formadas estão cursando o mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática.

Destacamos que mesmo que o público alvo do curso de extensão fossem estudantes de Licenciatura em Física, obtivemos também inscritos da área de Química e do Mestrado. Consideramos pertinente a participação desses estudantes da área de Química, porque o estado de plasma possui um caráter interdisciplinar uma vez que os estados físicos da matéria também são discutidos da disciplina de Química. Com relação às estudantes do Mestrado, recém-graduadas, podemos

afirmar que o interesse dessas estudantes no curso foi devido à falta dessa temática em suas formações iniciais.

Os resultados da aplicação da Unidade Didática foram obtidos por meio de questionários, prévio e posterior e mapas conceituais elaborados pelos estudantes participantes. Esses dados foram analisados e discutidos por meio da Análise de Conteúdo (BARDIN, 2011) na busca de classificar, interpretar e compreender as noções dos estudantes de Licenciatura em Física a respeito do tema Física de Plasma.

Por fim, enviamos essa Unidade Didática tanto a docentes pesquisadores da área de Ensino de Física que atuam nas Licenciaturas, quanto a docentes que atuam em disciplinas relacionadas à Física Moderna e Contemporânea, para uma análise geral e validação da Unidade Didática. Apresentamos um perfil desses docentes no Quadro 3.

Essa proposta didática foi enviada após sua aplicação, para validação teórica da estrutura da Unidade Didática, sem a necessidade de um teste de aplicação prática por parte dos professores participantes, ou seja, uma avaliação com base em seus conhecimentos e suas experiências como professores a respeito da sua plausibilidade e qualidade para o Ensino Superior. Dessa maneira, para essa análise, elaboramos um questionário com sete questões abertas a respeito da organização da Unidade Didática (assuntos abordados, atividades propostas, abordagem didática, tempo de realização, entre outros itens). Foi realizada uma decodificação intersubjetiva deste questionário pelos integrantes do grupo de pesquisa IFHIECEM. Os resultados obtidos da validação da Unidade Didática, oriundos da participação de cinco docentes, também foram analisados por meio da Análise de Conteúdo (BARDIN, 2011).

Quadro 3 – Perfil dos docentes participantes avaliadores da proposta de Unidade Didática

Professor/a Participante	Pós-Graduação	Tempo de docência no Ensino Superior	Instituição de Ensino
P1	Doutorado em Física da Matéria Condensada	20 anos	Universidade Estadual de Londrina (UEL)

P2	Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática	4 anos	Universidade Estadual do Centro-Oeste (Unicentro)
P3	Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática	4 anos	Universidade Federal do Paraná (UFPR)
P4	Doutorado em Física da Matéria Condensada	40 anos	Universidade Estadual de Londrina (UEL)
P5	Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática	20 anos	Instituto Federal do Paraná (IFPR)

Fonte: a própria autora

De acordo com Bardin (2011), a análise de conteúdo pode ser resumida como um conjunto de técnicas de análise 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 destas mensagens.

A inferência é a função ou o objetivo da análise de conteúdo. Essa inferência pode ser realizada com base em indicadores de frequência ou com a ajuda de indicadores combinados. Bardin (2011) ainda acrescenta que, na abordagem qualitativa, a presença (ou a ausência) pode constituir um índice tanto (ou mais) frutuoso do que a frequência de aparição. A partir dos resultados da análise, é possível regressar às causas (BARDIN, 2011, p. 27).

Respostas a questionários, segundo Bardin (2011), é um dos domínios possíveis da aplicação da análise de conteúdo. Ou seja, respostas a questionários são tipos de documentos que podem ser submetidos à análise.

Do tratamento das mensagens que manipula, o analista utiliza para inferir (deduzir de maneira lógica) conhecimentos a respeito do emissor da mensagem ou do seu meio. A descrição (a enumeração das características do texto, resumida após tratamento) é a primeira etapa necessária e a interpretação (a significação concedida a essas características) é a última fase. A inferência é o procedimento intermediário, que permite a passagem de uma à outra.

Segundo Bardin (2011), a análise de conteúdo se organiza em torno de três diferentes fases: 1. Pré-análise; 2. Exploração do material; 3. Tratamento dos resultados, inferência e interpretação.

A pré-análise é uma fase de organização, que corresponde a um período cujo objetivo é tornar operacionais e sistematizar as ideias iniciais, de maneira a conduzir a um esquema do desenvolvimento das operações sucessivas. Nessa primeira fase estão: a escolha dos documentos a serem submetidos à análise, a formulação das hipóteses e dos objetivos e a elaboração de indicadores que fundamentem a interpretação final (BARDIN, 2011). Nesta pesquisa, utilizaremos os questionários respondidos pelos estudantes participantes, os mapas conceituais produzidos durante o curso de extensão e os questionários respondidos pelos professores participantes.

A segunda fase é constituída pela exploração do material, na qual são construídas as Unidades de Contexto e de Registro.

As unidades de registros são unidades de significação a codificar e corresponde ao segmento de conteúdo a considerar como unidade de base. De acordo com Bardin (2011), o tema é utilizado como unidade de registro para estudar motivações de opiniões, de atitudes, de valores, de crenças, de tendências, etc. As respostas a questões abertas, as entrevistas individuais ou de grupo etc., podem ser analisadas tendo o tema por base. Uma análise temática consiste em investigar os “núcleos de sentido” que compõem uma situação, cuja presença, ou frequência de aparição, pode significar alguma coisa para o objetivo analítico escolhido (BARDIN, 2011, p. 135).

As unidades de contexto permitem compreender a significação dos itens obtidos, repondo-os no seu contexto. Elas servem de unidade de compreensão para codificar a unidade de registro e corresponde ao segmento da mensagem, cujas dimensões (superiores às da unidade de registro) permitem compreender a significação exata da unidade de registro (BARDIN, 2011).

Na análise de conteúdo, de acordo com Bardin (2011, p.41), existe a chamada análise temática, que é uma análise dos “significados”. Dessa maneira, para este trabalho, foram elaboradas Unidades Temáticas de Contexto com suas subunidades, chamadas de Unidades de Registro. Destacamos que as Unidades de Registro prévias são hipóteses de possíveis respostas a encontrar para determinada questão do questionário, de acordo com literatura da área, ou seja, essas Unidades

de Registro foram elaboradas com base na fundamentação teórico-metodológica desta pesquisa, compondo os elementos hipotético-dedutivos desta investigação. Caso ocorra alguma resposta não prevista, podem ser elaboradas Unidades de Registro Emergentes. As Unidades de Contexto e de Registros elaboradas estão apresentadas posteriormente.

O tratamento dos resultados, inferência e interpretação fazem parte da terceira fase, na qual é destinada ao tratamento dos resultados e ocorre nela a condensação e o destaque das informações para análise, culminando nas interpretações inferenciais. É a etapa da análise reflexiva, crítica e da discussão dos dados com a fundamentação teórica (BARDIN, 2011). Nesta etapa, realizamos, então, uma articulação dos dados obtidos pelos questionários e mapas conceituais com a fundamentação teórica, para discussão e interpretação dessas inferências. Por fim, realizamos uma metanálise com o objetivo de relacionar os resultados obtidos por meio da aplicação da Unidade Didática com os resultados obtidos da validação realizada pelos professores do Ensino Superior.

3.1 ANÁLISE DOS DADOS DOS ESTUDANTES OBTIDOS POR MEIO DA APLICAÇÃO DA UNIDADE DIDÁTICA

Os dados dos estudantes foram obtidos durante o processo de aplicação da Unidade Didática, por meio de questionários, prévio e posterior, e mapas conceituais. A seguir, descrevemos os procedimentos de análise desses dados.

3.1.1 Unidades de Contexto e de Registro: questionários, prévio e posterior

Para compreender as noções dos estudantes de Licenciatura em Física a respeito do tema Física de Plasma, elaboramos um questionário, pois o intuito foi o de investigar o posicionamento pessoal dos participantes a respeito do problema e as questões abertas possibilitam analisar as respostas de maneira mais ampla.

O questionário era composto por cinco questões abertas (Apêndice B) a respeito do entendimento de Ciência, e de conceitos relacionados ao estado de plasma (características, exemplos, modos de produção, etc.). Esse questionário foi respondido duas vezes por cada estudante, uma previamente e outra posterior à aplicação da Unidade Didática.

A seguir, apresentaremos e explicaremos as questões elaboradas e as Unidades Temáticas de Contexto (UC), Unidades de Registro (UR) prévias e, caso surjam, Unidades de Registro Emergentes (URE). Essas Unidades de análise foram decodificadas intersubjetivamente nos seus significados por integrantes do grupo de pesquisa IFHIECEM.

Questão 1: Na sua compreensão, o que é Ciência?

Essa questão foi proposta com o objetivo de investigar como os participantes compreendem o que é Ciência, ou seja, se os estudantes apresentam uma imagem ingênua da construção do conhecimento científico ou se estes apresentam características essenciais do trabalho científico. Além disso, investigou-se se os estudantes citam elementos de interpretação do que é o conhecimento científico, devido à contextualização histórica utilizada na Unidade Didática, mesmo sem discussão explícita de aspectos da Natureza da Ciência. Essa questão é relevante uma vez que, de acordo com Gil Pérez *et al.* (2001), uma compreensão do trabalho científico tem um indubitável interesse para os responsáveis pela educação científica de futuros cidadãos de um mundo marcado pela ciência e pela tecnologia.

A Unidade Temática de Contexto 1 (UC1) “**Compreensão da Ciência**”, baseada em Lederman *et al.* (2002) e Heerdt (2014), tem o intuito de reunir fragmentos textuais das noções mais gerais dos participantes a respeito de Ciência. As unidades de registro (UR) elaboradas para a UC1 foram apresentadas no Quadro 4 a seguir.

Quadro 4 – Unidades de Registro para a UC1

Unidade Temática de Contexto 1 (UC1) “ Compreensão da Ciência ”		
UR	Descrição	Explicação para os registros
UR1.1	“ Ciência como processo de produção de conhecimento ”	Ciência como um processo de produção de conhecimento por meio de testes fundamentados em observações e experiências, influenciada por valores sociais, etc.
UR1.2	“ Ciência como conhecimento produzido por uma comunidade científica ”	Ciência como uma forma de conhecimento construído coletivamente e aceito por uma determinada comunidade científica.

UR1.3	“Ciência como processo de compreensão”	Ciência como uma atividade de estudar, investigar, compreender e/ou explicar fenômenos naturais e/ou sociais.
UR1.4	“Ciência como conhecimento verdadeiro”	Ciência como conhecimento que não pode ser questionado e nem alterado.
UR1.5	“Ciência como conhecimento comprovado”	Ciência como conhecimento comprovado por meio de dados empíricos.
UR1.6	“Ciência utilitária”	Ciência como um processo de investigação que busca resolver problemas e, a partir dessa resolução, trazer benefícios para a sociedade.
UR1.7	“Ciência mutável, em constante desenvolvimento”	Ciência como conhecimento em constante desenvolvimento.
UR1.8	“Ciência rígida”	Ciência como um conhecimento obtido por métodos rígidos.

Fonte: a própria autora

Questão 2: No contexto da disciplina de Física, o que é plasma?

Essa questão foi proposta com o intuito de investigar se os participantes conhecem algo a respeito do estado de plasma e de suas características.

A Unidade Temática de Contexto 2 (UC2) **“Estado de plasma”** foi elaborada com o intuito de reunir fragmentos textuais das noções dos participantes a respeito do estado de plasma e as suas unidades de registros podem ser consultadas no Quadro 5.

Quadro 5 – Unidades de Registro para a UC2

Unidade Temática de Contexto 2 (UC2) “Estado de plasma”		
UR	Descrição	Explicação para os registros
UR2.1	“Caracterização do estado de plasma⁷”	Apresentação de diversas características do estado de plasma.
UR2.2	“Estado da matéria”	Plasma apenas como um dos estados da matéria.

⁷ Sempre que aparecer o termo plasma, estamos nos referindo ao plasma físico.

UR2.3	“Desconhecimento”	Participantes afirmam não saber o que é o plasma.
-------	--------------------------	---

Fonte: a própria autora

Questão 3: Dê exemplos de fenômenos naturais e/ou tecnologias presentes no cotidiano, relacionados ao plasma.

Essa questão foi proposta com o intuito de investigar se os participantes conhecem fenômenos naturais e/ou tecnologias que estão relacionados com o estado de plasma.

A Unidade Temática de Contexto 3 (UC3) **“Exemplos de fenômenos naturais e/ou tecnologias”** foi elaborada com o intuito de reunir fragmentos textuais das exemplificações citadas pelos participantes relacionadas ao estado de plasma. As unidades de registro correspondentes à UC3 foram apresentadas no Quadro 6.

Quadro 6 – Unidades de Registro para a UC3

Unidade Temática de Contexto 3 (UC3) “Exemplos de fenômenos naturais e/ou tecnologias”		
UR	Descrição	Explicação para os registros
UR3.1	“Fenômenos naturais e tecnologias”	Apresentação de exemplos tanto de fenômenos naturais quanto de tecnologias relacionadas com o estado de plasma.
UR3.2	“Fenômenos naturais”	Apresentação somente de exemplos de fenômenos naturais relacionados com o estado de plasma.
UR3.3	“Tecnologias”	Apresentação somente de exemplos de tecnologias relacionadas com o estado de plasma.
UR3.4	“Sem exemplificação”	Participantes não souberam exemplificar nem fenômenos naturais, nem tecnologias relacionadas com o estado de plasma.
UR3.5	“Exemplificação equivocada”	Exemplos equivocados, que não se relacionam com o estado de plasma.

Fonte: a própria autora

Questão 4: Como o plasma pode ser produzido?

Essa questão foi proposta com o intuito de investigar se os participantes conhecem a maneira como se produz o estado de plasma.

A Unidade Temática de Contexto 4 (UC4) “**Produção de plasma**” foi teve como intuito reunir fragmentos textuais nas quais os participantes apresentam maneiras de produção de plasma. No Quadro 7, foram apresentadas as unidades de registro pertencentes à UC4.

Quadro 7 – Unidades de Registro para a UC4

Unidade Temática de Contexto 4 (UC4) “ Produção de plasma ”		
UR	Descrição	Explicação para os registros
UR4.1	“ Explicação de acordo com o consenso científico atual ”	Explicação de pelo menos um modo de produção de plasma de acordo com o consenso científico atual.
UR4.2	“ Explicação parcialmente correta ”	Explicação de modos de produção de plasma, mas com imprecisões científicas.
UR4.3	“ Explicação equivocada/confusa ”	Explicação equivocada para a produção de plasma.
UR4.4	“ Desconhecimento ”	Participantes afirmaram não conhecer os modos como o plasma pode ser produzido.

Fonte: a própria autora

Questão 5: Apresente, por gentileza, as propriedades físicas que caracterizam o plasma.

Essa questão foi proposta com o intuito de investigar se os participantes conhecem as propriedades físicas do estado de plasma.

A Unidade Temática de Contexto 5 (UC5) “**Características do estado de plasma**” foi elaborada com o intuito de reunir fragmentos textuais das noções dos participantes a respeito das características do estado de plasma. As unidades de registros correspondentes a essa unidade foram apresentadas no Quadro 8.

Quadro 8 – Unidades de Registro para a UC5

Unidade Temática de Contexto 5 (UC5) “ Características de plasmas ”		
UR	Descrição	Explicação para os registros
UR5.1	“ Propriedades físicas do estado de plasma ”	Apresentação de uma ou mais propriedades físicas que caracterizam o plasma.
UR5.2	“ Caracterização parcialmente correta ”	Apresentação de propriedades físicas do plasma, mas com imprecisões científicas.
UR5.3	“ Caracterização equivocada/ confusa ”	Caracterização equivocada das propriedades física que caracterizam o plasma.
UR5.4	“ Desconhecimento ”	Participantes afirmaram não conhecer as propriedades físicas do plasma.

Fonte: a própria autora

3.1.2 Procedimentos Analíticos dos Mapas Conceituais produzidos pelos Estudantes

Como indicadores da Aprendizagem Significativa, procuramos encontrar nos mapas conceituais elaborados pelos estudantes, além de conceitos relacionados à Física de Plasmas e suas relações com fenômenos naturais e tecnologias, a hierarquização dos conceitos, suas relações e a maneira criativa utilizada na elaboração dos mapas conceituais pelos estudantes, observado a presença da diferenciação progressiva e da reconciliação integrativa.

Para a análise dos mapas conceituais, realizamos uma divisão destes em três grupos, com base em Bernardelli (2014):

Grupo 1: Mapas conceituais considerados como uma construção linear, apresentando poucos conceitos.

Grupo 2: Mapas conceituais considerados como uma construção parcialmente satisfatória, porque apresentam indícios apenas de relações com diferenciação progressiva entre conceitos.

Grupo 3: Mapas conceituais considerados como mapas adequados, apresentando relações relevantes entre conceitos, caracterizadas pela presença da diferenciação progressiva e da reconciliação integrativa, com a utilização de palavras de ligação adequadas.

Na próxima seção, apresentam-se as Unidades Temáticas de Contexto e de Registro elaboradas para agrupar as respostas dos professores participantes para validação da Unidade Didática.

3.2 UNIDADES DE CONTEXTO E DE REGISTRO: VALIDAÇÃO DA UNIDADE DIDÁTICA POR PROFESSORES PARTICIPANTES

Para realizar uma avaliação por pares da Unidade Didática, elaboramos um questionário que foi enviado tanto para docentes pesquisadores da área de Ensino de Física que atuam nas Licenciaturas, quanto a docentes que atuam em disciplinas relacionadas a questões de Física Moderna e Contemporânea, para uma análise geral da Unidade Didática. O questionário (Apêndice C) foi composto por sete questões abertas a respeito da organização da Unidade Didática (assuntos abordados, atividades propostas, abordagem didática, tempo de realização, entre outros itens).

Para analisarmos as respostas dos professores ao questionário, elaboramos Unidades Temáticas de Contexto e de Registro prévias, com base na Análise de Conteúdo (BARDIN, 2011). A partir dessas unidades, classificamos e agrupamos fragmentos textuais das respostas obtidas por meio do Questionário 2. As Unidades de análise também foram decodificadas intersubjetivamente nos seus significados por integrantes do grupo de pesquisa IFHIECEM.

A seguir, apresentamos e explicamos as questões elaboradas e as Unidades Temáticas de Contexto para avaliação da Unidade Didática (UCUD), Unidades de Registro (URUD) prévias e Unidades de Registro Emergentes (URUDE).

Questão 1: O tema escolhido é pertinente para ser ensinado nos cursos de Licenciatura em Física? Por favor, explique sua resposta.

Essa questão foi proposta com o objetivo de investigar se os professores participantes consideram relevante (ou não) o ensino do tema Física de Plasma nos cursos de Licenciatura em Física.

A Unidade Temática de Contexto para avaliação da Unidade Didática 1 (UCUD1), "**Relevância da Física de Plasma**", foi elaborada com o intuito de reunir fragmentos textuais a respeito da relevância ou irrelevância do tema Física de Plasma para o curso de Licenciatura em Física, citada pelos professores participantes. As unidades de registro (URs) elaboradas para a UCUD1 foram apresentadas no Quadro 9.

Quadro 9 – Unidades de Registro para a UCUD1

Unidade Temática de Contexto para avaliação da Unidade Didática 1 (UCUD1) “Relevância da Física de Plasma”		
URUD	Descrição	Explicação para os registros
URUD1.1	“ Tema/assunto de Física Moderna e Contemporânea ”	Relevância da Física de Plasma por ser um tema de Física Moderna e Contemporânea.
URUD1.2	“ Tema/assunto presente no cotidiano ”	Relevância da Física de Plasma por ser um tema do cotidiano das pessoas.
URUD1.3	“ Tema/assunto irrelevante ”	Participantes não consideraram a temática relevante para os cursos de Licenciatura em Física.
URUD1.4	“ Relevante ”	Participantes citaram a relevância do tema, mas não citaram os motivos de tal relevância.
URUDE1.5	“ Assunto de complexidade matemática e conceitual ”	Relevância do tema pela sua complexidade matemática e conceitual.

Fonte: a própria autora

Questão 2: A Unidade Didática contém o conteúdo básico essencial para oferecer condições de aprendizagem aos estudantes? Por favor, comente sua resposta.

Essa questão foi proposta com o intuito de investigar se, de acordo com professores participantes, a Unidade Didática possui os conteúdos suficientes para que os estudantes possam aprender a respeito de Física de Plasma.

A Unidade Temática de Contexto para avaliação da Unidade Didática 2 (UCUD2), “**Conteúdos de Física de Plasma**”, foi elaborada com o intuito de reunir fragmentos textuais das opiniões dos professores participantes a respeito do conteúdo de Física de Plasma abordado na Unidade Didática. No Quadro 10, apresentou-se as unidades de registro para a UCUD2.

Quadro 10 – Unidades de Registro para a UCUD2

Unidade Temática de Contexto para avaliação da Unidade Didática 2 (UCUD2) “ Conteúdos de Física de Plasma ”		
URUD	Descrição	Explicação para os registros
URUD2.1	“ Conteúdos adequados ”	Os conteúdos propostos para a Unidade Didática se mostram adequados.
URUD2.2	“ Conteúdos parcialmente adequados ”	Os conteúdos apresentados estão adequados, porém necessita de algumas alterações, acrescentando outros conteúdos ou retirando outros.
URUD2.3	“ Conteúdos inadequados ”	Os conteúdos propostos para a Unidade Didática se mostram inadequados.

Fonte: a própria autora

Questão 3: A maneira como o conteúdo está organizado e apresentado nas etapas da Unidade Didática está adequado para oferecer condições de aprendizagem aos estudantes? Sim ou não? Por favor, especifique.

Essa questão foi proposta com o intuito de analisar a organização teórico-metodológica da Unidade Didática, considerando a maneira como as atividades estão estruturadas para o ensino da temática proposta.

A Unidade Temática de Contexto para avaliação da Unidade Didática 3 (UCUD3), “**Organização do conteúdo**”, foi elaborada com o intuito de reunir fragmentos textuais das opiniões dos professores participantes relacionadas à organização do conteúdo ao longo da Unidade Didática. As unidades de registro correspondentes à UCUD3 foram expostas no Quadro 11. Uma vez que a Unidade Didática teve como base a Teoria da Aprendizagem Significativa, também demos ênfase nessa teorização como referencial de análise.

Quadro 11 – Unidades de Registro para a UCUD3

Unidade Temática de Contexto para avaliação da Unidade Didática 3 (UCUD3) “ Organização do conteúdo ”		
URUD	Descrição	Explicação para os registros
URUD3.1	“ Organização adequada em relação à Aprendizagem Significativa ”	Conteúdo organizado de maneira adequada na perspectiva da Aprendizagem Significativa.

URUD3.2	“Organização parcialmente adequada em relação à Aprendizagem Significativa”	Partes do conteúdo precisam ser reorganizadas para que ele esteja adequado em relação à perspectiva da Aprendizagem Significativa.
URUD3.3	“Organização adequada”	Conteúdo organizado de maneira adequada, porém, não é citada a perspectiva da Aprendizagem Significativa.
URUD3.4	“Organização parcialmente adequada”	Partes do conteúdo precisam ser reorganizadas para que ele esteja adequado, porém, não é citada a Aprendizagem Significativa.
URUD3.5	“Organização inadequada”	Organização do conteúdo não está adequada, seja na perspectiva da Aprendizagem Significativa ou outra, e necessita ser revista.
URUDE3.6	“Dificuldade em avaliar”	Docente afirmou não conseguir avaliar a organização do conteúdo.

Fonte: a própria autora

Questão 4: O tempo planejado para que os estudantes de Licenciatura em Física possam realizar cada uma das atividades está adequado? Por favor, comente.

Essa questão foi proposta com o intuito de investigar se o tempo proposto para cada atividade está adequado à metodologia adotada na Unidade Didática.

A Unidade Temática de Contexto para avaliação da Unidade Didática 4 (UCUD4), **“Tempo das atividades”**, foi elaborada com o intuito de reunir fragmentos textuais nas quais os professores participantes apresentam suas análises a respeito do tempo proposto em relação às atividades da Unidade Didática. No Quadro 12, foram apresentadas as unidades de registro pertencentes à UCUD4.

Quadro 12 – Unidades de Registro para a UCUD4

Unidade Temática de Contexto para avaliação da Unidade Didática 4 (UCUD4) “Tempo das atividades”		
URUD	Descrição	Explicação para os registros
URUD4.1	“Tempo adequado”	O tempo proposto para as atividades da Unidade Didática se mostra adequado.

URUD4.2	“Tempo parcialmente adequado”	O tempo de algumas atividades se mostra adequado e de outras atividades necessita alterações.
URUD4.3	“Tempo inadequado”	O tempo proposto para a aplicação da Unidade Didática se mostra inadequado.

Fonte: a própria autora

Questão 5: De acordo com sua experiência, o tempo total provável de realização da Unidade Didática sugerido para sua aplicação é apropriado para que os estudantes possam aprender o conteúdo de maneira significativa? Por favor, comente.

Essa questão foi proposta com o intuito de investigar se o tempo proposto para a aplicação da Unidade Didática está adequado à metodologia adotada.

A Unidade Temática de Contexto para avaliação da Unidade Didática 5 (UCUD5), **“Tempo da Unidade Didática”**, foi elaborada com o intuito de reunir fragmentos textuais das respostas dos professores participantes nas quais eles apresentam suas análises a respeito do tempo proposto em relação à aplicação da Unidade Didática. As unidades de registro correspondentes a essa unidade temática foram explicitadas no Quadro 13.

Quadro 13 – Unidades de Registro para a UCUD5

Unidade Temática de Contexto para avaliação da Unidade Didática 5 (UCUD5) “Tempo da Unidade Didática”		
URUD	Descrição	Explicação para os registros
URUD5.1	“Tempo adequado”	O tempo proposto para a aplicação da Unidade Didática se mostra adequado.
URUD5.2	“Tempo parcialmente adequado”	O tempo total está adequado, no entanto, a distribuição ao longo da Unidade Didática necessita alterações.
URUD5.3	“Tempo inadequado”	O tempo proposto para a aplicação da Unidade Didática se mostra inadequado.

Fonte: a própria autora

Questão 6: As atividades e avaliações sugeridas (em classe e extraclasse) se mostram adequadas e viáveis para serem trabalhadas nos cursos de Licenciatura em Física? Por favor, comente sua resposta.

Essa questão foi proposta com o intuito de investigar acerca da relevância e da qualidade teórico-metodológica das atividades e avaliações sugeridas no que se refere à proposta e aos objetivos da Unidade Didática.

A Unidade Temática de Contexto para avaliação da Unidade Didática (UCUD6), “**Adequação das atividades e avaliações**”, foi elaborada com o intuito de reunir fragmentos textuais a respeito da opinião dos professores participantes a respeito da adequação das atividades e avaliações em relação à proposta da Unidade Didática. As unidades de registro elaboradas para a UCUD6 foram expostas no Quadro 14.

Quadro 14 – Unidades de Registro para a UCUD6

Unidade Temática de Contexto para avaliação da Unidade Didática 6 (UCUD6) “ Adequação das atividades e avaliações ”		
URUD	Descrição	Explicação para os registros
URUD6.1	“Atividades e avaliações adequadas, na perspectiva da Aprendizagem Significativa”	Atividades e avaliações utilizadas se mostram adequadas com a proposta, mediante a perspectiva da Aprendizagem Significativa.
URUD6.2	“Atividades e avaliações adequadas”	Atividades e avaliações propostas estão adequadas, porém não necessariamente na perspectiva da Aprendizagem Significativa.
URUD6.3	“Atividade e avaliações inadequadas”	As atividades e as avaliações propostas se mostram inadequadas, seja na perspectiva da Aprendizagem Significativa ou em outra, e necessita ser revista.

Fonte: a própria autora

Questão 7: Por gentileza, deixe seus comentários (aspectos positivos e críticas) a respeito da Unidade Didática elaborada para a formação de professores de Física, e sugestões de possíveis alterações.

Essa questão foi proposta com o intuito de obter informações para aprimorar a Unidade Didática por meio de aspectos positivos e críticas que foram apresentados pelos professores participantes.

A Unidade Temática de Contexto para avaliação da Unidade Didática 7 (UCUD7), “**Aspectos positivos e críticas**”, foi elaborada com o intuito de reunir fragmentos textuais das opiniões dos professores participantes a respeito dos aspectos positivos e críticas em relação à Unidade Didática. As unidades de registros para UCUD7 foram apresentadas no Quadro 15.

Quadro 15 – Unidades de Registro para a UCUD7

Unidade Temática de Contexto para avaliação da Unidade Didática 7 (UCUD7) “ Aspectos positivos e críticas ”		
URUD	Descrição	Explicação para os registros
URUD7.1	“ Aspectos positivos ”	Apresentação de aspectos positivos em relação à Unidade Didática.
URUD7.2	“ Críticas ”	Apresentação de críticas em relação à Unidade Didática, com sugestões de aprimoramento.

Fonte: a própria autora

No próximo capítulo, apresentamos a discussão dos resultados, as inferências e as interpretações realizadas. Salientamos que esse processo não foi linear, uma vez que foi necessário retomar o referencial teórico e os procedimentos metodológicos. Além disso, as Unidades Temáticas de Contexto e de Registro foram refinadas durante esse processo.

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo, apresentamos os dados coletados, os resultados, as inferências e as interpretações. Os dados foram decodificados intersubjetivamente pelos integrantes do grupo de pesquisa IFHIECEM. É conveniente enfatizar que, com relação às análises, essa não é a única interpretação possível, pois está permeada pelas escolhas teóricas e metodológicas desta pesquisa.

4.1 RESULTADOS OBTIDOS DOS ESTUDANTES POR MEIO DA APLICAÇÃO DA UNIDADE DIDÁTICA

Nesta seção, são apresentados os dados referentes aos questionários, prévio e posterior, respondidos pelos estudantes participantes e os dados referentes aos Mapas Conceituais por estes elaborados durante a Unidade Didática.

4.1.1 Análise das Respostas aos Questionários Prévio e Posterior

As respostas às questões foram devidamente unitarizadas em suas Unidades Temáticas de Contexto e de Registro, e apresentadas em quadros. Após cada quadro de unitarização, apresentamos uma discussão entre os resultados obtidos e os referenciais teóricos adotados neste trabalho.

Segundo Bogdan e Biklen (1994), as identidades dos sujeitos devem ser protegidas, para que a informação que recolhemos não possa causar-lhes qualquer tipo de transtorno ou prejuízo. Deste modo, para a apresentação e discussão dos dados empíricos, os fragmentos de registro foram identificados pelo código do/a estudante, por meio de letras e números (E1, E2, ..., E8). Além disso, destacamos que os dados aqui utilizados foram oriundos de respostas formalmente esclarecidas e consentidas (Apêndice D – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido para estudantes participantes).

Na UC1 “**Compreensão da Ciência**”, classificamos os registros obtidos com a Questão 1 que permitiu identificar como os estudantes participantes compreendem o que é Ciência. No Quadro 16, apresentamos os fragmentos textuais obtidos no curso de extensão. Destacamos que sublinhamos as palavras-chaves que nos possibilitaram classificar as respostas dos estudantes em determinada Unidade de Registro.

Quadro 16 – Unitarização dos dados referentes à UC1

Unidade Temática de Contexto 1 (UC1) “ Compreensão da Ciência ”			
UR	Descrição	PRÉVIO	POSTERIOR
UR1.1	“ Ciência como processo de produção de conhecimento ”	1 registro	Nenhum registro
		“Ciência é o estudo da natureza e da sociedade fundamentado na experimentação, observação e elaboração de hipóteses.” (E7)	
UR1.2	“ Ciência como conhecimento produzido por uma comunidade científica ”	1 registro	2 registros
		“A ciência é um <u>empreendimento humano</u> , que na maioria dos casos visa entender fenômenos e suas regularidades, [...]” (E1)	<p>“Ciência é uma <u>construção humana e coletiva</u>. Visa geralmente a compreensão de fenômenos e a construção de conhecimentos a respeito deles. É, em sua maioria, influenciada por fatores sociais.” (E1)</p> <p>“Ciência é um corpo de conhecimento sistematizado e aceito por uma <u>comunidade científica</u> que busca estudar fenômenos históricos, sociais, culturais, naturais.” (E2)</p>
UR1.3	“ Ciência como processo de compreensão ”	3 registros	5 registros
		<p>“Ciência é o <u>estudo</u> da natureza e de relações humanas para melhor <u>explicar</u> fenômenos naturais e <u>compreender</u> também a sociedade.” (E2)</p> <p>“Ciência é o ato de tentar <u>compreender</u>, aplicar e <u>explicar</u> o mundo através de diversos tipos de conhecimento e metodologia.” (E6)</p>	<p>“O <u>estudo</u> de fenômenos naturais e sociais, e buscar uma forma de <u>entender</u> tais fenômenos.” (E3)</p> <p>“É o ato de instigar, <u>investigar</u> e criar modelos para <u>explicar</u> os fenômenos da natureza, com o agravante que uma hipótese possa ser contestada e até derrubada com base na</p>

		<p>“<u>Estudar</u> a natureza com objetivo de melhor <u>entendê-la</u>.” (E8)</p>	<p>experimentação.” (E4)</p> <p>“Ciência é constituída por métodos específicos de <u>investigação</u> da realidade humana, capazes de produzir, de forma sistemática, conhecimento.” (E5)</p> <p>“É o <u>estudo</u> de fenômenos naturais e sociais que promove teorias que <u>explicam</u> e fazem previsões.” (E7)</p> <p>“<u>Estudar</u> a natureza e tentar <u>entendê-la</u>.” (E8)</p>
UR1.4	“Ciência como conhecimento verdadeiro”	Nenhum registro	Nenhum registro
UR1.5	“Ciência como conhecimento comprovado”	Nenhum registro	Nenhum registro
UR1.6	“Ciência utilitária”	1 registro	Nenhum registro
		“[...] para posteriormente <u>usar</u> esse conhecimento para resolver problemas ou desenvolver novas tecnologias.” (E1)	
UR1.7	“Ciência mutável, em constante desenvolvimento”	2 registros	Nenhum registro
		<p>“A ciência pode ser descrita como um conjunto de conhecimentos humanos e naturais, que <u>sofrem alterações</u> durante os anos.” (E3)</p> <p>“Ciência é um corpo de ideias que podem ser postas ou não à prova, podendo <u>sofrer mudanças</u> de acordo com o avanço do</p>	

		conhecimento. Para tanto, deve-se dispor de experimentos e análises criteriosos, evitando-se assim ideais errôneos acerca da natureza.” (E4)	
UR1.8	“Ciência rígida”	1 registro	1 registro
		“Ciência por uma definição etimológica é conhecimento, mas que por si só não se sustenta, pois nem todo conhecimento é ciência. Portanto, pode-se dizer que ciência é um conhecimento produzido e acumulado através de <u>métodos específicos e rígidos</u> que permitem a explicação de fenômenos.” (E5)	“É tentar descrever e estudar fenômenos naturais através de <u>regras impostas bem definidas</u> a fim de poder testar e reproduzir experimentos.” (E6)

Fonte: a própria autora

Como podemos observar no Quadro 16, obtivemos um registro prévio na UR1.1 “**Ciência como processo de produção de conhecimento**”, no qual se observa uma noção de Ciência com um processo de produção de conhecimento por meio de testes fundamentados em observações e experiências. Nessa resposta ao questionário prévio, a estudante concebe Ciência como “*o estudo da natureza e da sociedade fundamentado na experimentação, observação e elaboração de hipóteses.*” (E7 – prévio). Essa noção de Ciência está de acordo com referenciais de História, Filosofia e Sociologia da Ciência (ROBILOTTA, 1988; MATTHEWS, 1995; BATISTA, 2004; FERREIRA; FERREIRA, 2010), que compreendem a Ciência como um processo de construção de conhecimento, por meio de estudos de aspectos sociais, humanos e culturais.

Para a UR1.2 “**Ciência como conhecimento produzido por uma comunidade científica**” houve um registro no questionário prévio e dois registros no questionário posterior com noções de Ciência como uma forma de conhecimento construído coletivamente e aceito por uma determinada comunidade científica. Essas estudantes percebem a Ciência como uma construção humana: “*A ciência é*

um empreendimento humano, que na maioria dos casos visa entender fenômenos e suas regularidades, [...]” (E1 – prévio, grifos nossos). O fato de encontrarmos poucos registros na UR1.2 em relação ao total de registros pode ser um indício de que, em geral, os estudantes podem não ver a Ciência como um processo humanizado ou não ver esse aspecto como o mais relevante para se mencionar.

É relevante ressaltar que os fatos de a participante E1 manter sua resposta na UR1.2 e de a participante E2 mudar sua resposta da UR1.3 para a UR1.2 após a aplicação da Unidade Didática podem ser um indicativo de que esta Unidade Didática se revelou adequada para fornecer meios para que os participantes enxerguem a Ciência como um processo humanizado. A partir disso, podemos inferir que essas respostas podem ser resultado das discussões históricas durante o curso, uma vez que, de acordo com pesquisas, com uma intervenção baseada na História da Ciência, a visão de Natureza da Ciência dos estudantes fica mais ampla, e isso inclui essa visão de Ciência como uma produção coletiva. Matthews (1995) afirmou que a História e a Filosofia da Ciência (HFC) podem

humanizar as ciências e aproximá-las dos interesses pessoais, éticos, culturais e políticos da comunidade; [...] melhorar a formação do professor auxiliando o desenvolvimento de uma epistemologia da Ciência mais rica e mais autêntica, ou seja, de uma maior compreensão da estrutura das Ciências bem como do espaço que ocupam no sistema intelectual das coisas (MATTHEWS, 1998, p. 165).

Desse resultado podemos deduzir que, como apresentado na literatura, uma intervenção com fundamentação histórica humaniza a Ciência, ou seja, permite a compreensão do processo de construção do conhecimento (ROBILOTTA, 1988; MATTHEWS, 1998; BATISTA, 2004; FERREIRA; FERREIRA, 2010). A UR1.3 “**Ciência como processo de compreensão**” foi a unidade com mais registros, tanto no questionário prévio (três registros) quanto no posterior (cinco registros). Esses estudantes possuem uma noção de Ciência como uma tentativa de estudar, investigar, compreender e/ou explicar fenômenos naturais e/ou sociais. Como exemplo de registro, temos: “*O estudo de fenômenos naturais e sociais, e buscar uma forma de entender tais fenômenos.*” (E3 – posterior, grifos nossos). Resultados semelhantes foram encontrados na pesquisa de Heerdt (2014) em que muitos professores apresentam a Ciência como um processo de construção do conhecimento.

Na UR1.6 “**Ciência utilitária**”, foi obtido um registro prévio com uma noção de Ciência como um conhecimento para resolver problemas ou desenvolver novas tecnologias: “*A Ciência é um empreendimento humano, que na maioria dos casos visa entender fenômenos e suas regularidades, para posteriormente usar esse conhecimento para resolver problemas ou desenvolver novas tecnologias*” (E1 – prévio). Essa estudante percebia a Ciência como um processo de investigação que busca resolver problemas e trazer benefícios para a sociedade. Essa é uma noção bastante ingênua, de que a Ciência melhorará a qualidade de vida da população. Essa noção de Ciência utilitária também está presente em outros estudos a respeito da compreensão que professores têm de Ciência, como, por exemplo, as pesquisas desenvolvidas por Miranda e Freitas (2008) e Heerdt (2014). A resposta dessa estudante migrou para a UR1.2, no questionário posterior. Além disso, esse registro de E1 está em conformidade com a noção de objetivos sociais da Ciência, que, segundo autores como Lacey (2008), por exemplo, são objetivos relacionados com a perspectiva de valor de cientistas ou comunidade de cientistas e que implica na adoção de estratégias para a pesquisa científica visando produzir determinados conhecimentos que se destinam a certos fins de aplicações sociais.

Não identificamos registros prévios nem posteriores nas UR1.4 “**Ciência como conhecimento verdadeiro**” e UR1.5 “**Ciência como conhecimento comprovado**”. A partir dessa não presença de registros nessas unidades, podemos fazer uma relevante inferência de que esses estudantes participantes não possuem tais visões positivistas, de Ciência como conhecimento verdadeiro e/ou comprovado.

Obtivemos dois registros prévios na UR1.7, em que os estudantes afirmaram que a Ciência sofre alterações, ou seja, esses registros refletem o aspecto provisório e/ou autocorretivo da Ciência: “*Ciência é um corpo de ideias que podem ser postas ou não à prova, podendo sofrer mudanças de acordo com o avanço do conhecimento. Para tanto, deve-se dispor de experimentos e análises criteriosos, evitando-se assim ideais errôneos acerca da natureza.*” (E4 – prévio, grifos nossos). Esses registros estão de acordo com um dos argumentos de contribuições que a História da Ciência pode fornecer a estudantes e docentes, que seria a compreensão de uma Ciência mutável e instável, ou seja, o pensamento científico atual está sujeito a transformações (MATTHEWS, 1995). É interessante notar que os registros desses dois estudantes para o questionário posterior foram agrupados na UR1.3 “**Ciência como processo de compreensão**”. Ou seja, houve uma alteração

na sua exposição a respeito de suas visões de Ciência, mesmo apresentando ainda aspectos relacionados à Natureza da Ciência. Podemos observar que boa parte das respostas posteriores classificadas na UR1.3 migrou de outras UR do questionário prévio. Podemos inferir que a Unidade Didática, pôde fornecer a esses estudantes essa nova visão da Ciência, que é um dos benefícios da utilização da História da Ciência no Ensino de Ciências (ROBILOTTA, 1988; MATTHEWS, 1995; PEDUZZI, 2001; BATISTA, 2004; MARTINS, 1990).

Na UR1.8 classificamos respostas com noções positivistas da Ciência, nas quais os estudantes concebem a Ciência como um “*conhecimento produzido e acumulado através de métodos específicos e rígidos [...]*” (E5 – prévio, grifos nossos). Essa visão rígida esquece ou recusa a criatividade, o caráter tentativo e a dúvida no fazer Ciência (GIL PÉREZ et al., 2001).

Para a Unidade Didática, utilizamos uma abordagem metodológica baseada na História da Ciência, mas sem discussões explícitas a respeito da natureza do conhecimento científico. Mesmo assim, os estudantes que antes possuíam visões distorcidas da Ciência, após o curso apresentaram uma visão mais adequada de Ciência. Por exemplo, o estudante E5 apresentou uma visão inadequada, de Ciência rígida, de acúmulo de conhecimento na resposta ao questionário prévio, e no posterior, houve uma alteração para uma visão mais adequada, não se referindo mais à rigidez ou acúmulo de conhecimento: “*Ciência é constituída por métodos específicos de investigação da realidade humana capazes de produzir, de forma sistemática, conhecimento.*” (E5 – posterior).

É interessante notar que o estudante E6, na resposta ao questionário prévio, apresentou uma noção de Ciência como um processo de compreensão (UR1.3): “*Ciência é o ato de tentar compreender, aplicar e explicar o mundo através de diversos tipos de conhecimento e metodologia*” (E6 – prévio), citando um pluralismo metodológico, uma das características essenciais do trabalho científico, de acordo com Gil Pérez et al. (2001). No entanto, para o questionário posterior, este mesmo estudante apresentou uma noção de Ciência rígida (UR1.8): “*É tentar descrever e estudar fenômenos naturais através de regras impostas bem definidas a fim de poder testar e reproduzir experimentos.*” (E6 – posterior). Essas respostas mostram um conflito cognitivo e noções epistemológicas antagônicas que ainda podem estar presentes em um mesmo estudante. Podemos afirmar que esse conflito é comum de ser encontrado nas noções de uma mesma pessoa, uma vez que esse tipo de

resultado também foi encontrado na pesquisa de Heerdt (2014). Diante desse conflito, é necessário um tempo maior para a abordagem desses novos conceitos por meio de novas atividades, para que o estudante possa aperfeiçoar suas noções e conhecimentos a respeito do assunto.

No Quadro 17, classificamos os registros obtidos com a Questão 2, de acordo com a UC2 “**Estado de plasma**”, identificando os conhecimentos que os estudantes possuem a respeito do estado de plasma e de suas características.

Quadro 17 – Unitarização dos dados referentes à UC2

Unidade Temática de Contexto 2 (UC2) “ Estado de plasma ”			
UR	Descrição	PRÉVIO	POSTERIOR
UR2.1	“ Caracterização do estado de plasma ”	<p>4 registros</p> <p>“Plasma é um estado físico da matéria, que no diagrama ternário é demonstrado em temperaturas altíssimas e pressões específicas.” (E2)</p> <p>“É o quarto estado da matéria, sendo mais energético que o gasoso, constituindo-se de íons e elétrons livres. Pode ocorrer em baixas pressões sob ação de campo elétrico intenso, ou sob altíssimas temperaturas.” (E4)</p> <p>“Um estado da matéria com alta energia.” (E6)</p> <p>“Eu acho que plasma é um estado da matéria onde os átomos têm muita energia cinética, um gás que foi muito aquecido.” (E7)</p>	<p>8 registros</p> <p>“Plasma é considerado o quarto estado da matéria, e consiste na ionização de um gás a altas temperaturas. É constituído por íons, elétrons e átomos neutros.” (E1)</p> <p>“Plasma é um estado físico da matéria que possui alta energia cinética e baixa energia de ligação.” (E2)</p> <p>“Plasma é um gás ionizado com partículas carregadas que geram um efeito coletivo.” (E3)</p> <p>“É o quarto estado da matéria; constituído por íons, elétrons e moléculas neutras; sendo eletricamente neutro; com temperaturas que podem variar da ambiente até milhões de K.” (E4)</p>

			<p>“Plasma é um estado específico de alta energia que procede ao gasoso.” (E5)</p> <p>“Um gás ionizado de alta energia que caracteriza um dos estados da matéria.” (E6)</p> <p>“É o quarto estado da matéria composto por um gás muito energético com moléculas neutras e ionizadas.” (E7)</p> <p>“Um gás rarefeito e ionizado a uma temperatura altíssima ou com uma alta diferença de potencial que toma uma organização interna de seus íons formando uma corrente elétrica interna.” (E8)</p>
UR2.2	“Estado da matéria”	4 registros	Nenhum registro
		<p>“O plasma é considerado o quarto estado da matéria.” (E1)</p> <p>“Plasma é considerado o 4º estado da matéria.” (E3)</p> <p>“Plasma pode ser considerado um estado da matéria.” (E5)</p> <p>“Um estado físico.” (E8)</p>	
UR2.3	“Desconhecimento”	Nenhum registro	Nenhum registro

Fonte: a própria autora

Podemos observar no Quadro 17, que no questionário prévio as respostas dos estudantes se dividiram entre as UR2.1 “**Caracterização do estado de plasma**” e UR2.2 “**Estado da matéria**”, com quatro registros cada uma.

Nas respostas ao questionário prévio, metade dos estudantes apresentou o plasma apenas como um estado físico da matéria, sem especificar suas características, como, por exemplo: “*Plasma é considerado o 4º estado da matéria.*” (E3 – prévio). Esse resultado inicial vai ao encontro da pesquisa realizada por Pirovani, Erthal e Campos (2013), na qual apresentaram a falta de conhecimento do assunto por estudantes de Ensino Médio, e também da pesquisa de Kikuchi (2016), que evidenciou a falta de discussão dessa temática nas Licenciaturas em Física, por meio de uma análise dos currículos desses cursos.

Com relação às respostas ao questionário posterior, todos os estudantes apresentaram diferentes características do estado de plasma, sendo classificadas na UR2.1 “**Caracterização do estado de plasma**”. Como exemplo, temos a resposta: “*Um gás ionizado de alta energia que caracteriza um dos estados da matéria.*” (E6 – posterior). Com essa UR podemos perceber que o número de registros com características do estado de plasma aumentou depois do curso de extensão.

Na Questão 2, em que foi solicitado aos estudantes explicarem o que é o plasma, no contexto da disciplina de Física, houve consideráveis alterações em relação à apresentação de caracterizações do estado de plasma, ao se comparar respostas aos questionários prévio e posterior. Tomando como exemplo as respostas de E1, temos: “*O plasma é considerado o quarto estado da matéria.*” (E1 – prévio) e “*Plasma é considerado o quarto estado da matéria, e consiste na ionização de um gás a altas temperaturas. É constituído por íons, elétrons e átomos neutros.*” (E1 – posterior). Resultados semelhantes foram encontrados por Tonelli (2014), ao aplicar uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa a respeito dos estados físicos da matéria, focando principalmente no estudo do plasma, para estudantes de Ensino Médio. Tonelli (2014) observou uma evolução nos significados atribuídos aos conceitos envolvidos em relação aos que os estudantes apresentavam anteriormente a respeito do plasma.

É interessante comentar que, além do aumento de registros na UR2.1, houve uma diferença na qualidade das descrições iniciais e finais, mesmo quando classificadas na mesma UR. Por exemplo, na resposta ao questionário prévio, o

participante E7 descreveu a composição do plasma apenas como de átomos com alta energia cinética e não se referiu à presença de cargas elétricas (íons e elétrons): “*Eu acho que plasma é um estado da matéria onde os átomos têm muita energia cinética, um gás que foi muito aquecido.*” (E7 – prévio). Já em sua resposta ao questionário posterior, esse mesmo participante faz referência às cargas: “*É o quarto estado da matéria composto por um gás muito energético com moléculas neutras e ionizadas.*” (E7 – posterior), apresentando uma descrição mais precisa da composição de um plasma. Com isso, podemos inferir que a Unidade Didática se mostrou eficiente para uma ampliação de saberes a respeito do conteúdo abordado, e, portanto, um enriquecimento dos subsunçores desses estudantes, que são indícios de assimilação dos novos conceitos.

Não identificamos registros prévios nem posteriores na UR2.3 “**Desconhecimento**”.

Na UC3 “**Exemplos de fenômenos naturais e/ou tecnologias**”, classificamos os registros obtidos com a Questão 3 que identificam que exemplos de fenômenos naturais e/ou tecnologias relacionados com o estado de plasma os estudantes conhecem. Esses registros são apresentados no Quadro 18.

Quadro 18 – Unitarização dos dados referentes à UC3

Unidade Temática de Contexto 3 (UC3) “ Exemplos de fenômenos naturais e/ou tecnologias ”			
UR	Descrição	PRÉVIO	POSTERIOR
UR3.1	“ Fenômenos naturais e tecnologias ”	3 registros	8 registros
		“Um fenômeno natural de estado de plasma é o fogo. E tecnologias, as telas de plasmas de TVs.” (E1)	“Fenômenos naturais: auroras boreais, ionosfera, fogo. Tecnologias: usinas termonucleares, telas.” (E1)
		“Aurora boreal, relâmpagos, tokamak, TV de plasma.” (E3)	“Estrelas, galáxias, sol, vento solar, relâmpago, lâmpada, chama, Tokamak, cinturão de Van Allen (magnetosfera), usado para produção de
		“Descargas elétricas em gases; como nos raios durante uma	

		tempestade, o Sol em si, lâmpadas de neônio ou outros gases, deposição de filmes finos pela técnica de sputtering; etc.” (E4)	<p>energia.” (E2)</p> <p>“Naturais: aurora boreal, raios, relâmpagos, chama azul do fogo, estrelas, ventos solares.</p> <p>Tecnologias: tokamak, TV de plasma, lâmpadas fluorescentes.” (E3)</p> <p>“Cinturão de Van Allen, estrelas, vento estelar, raios, globo de plasma, lâmpada fluorescente, etc.” (E4)</p> <p>“Raios, televisores e telas, aplicações na medicina e limpeza e desenvolvimento sustentável do meio ambiente, fogo em alta temperatura.” (E5)</p> <p>“Relâmpago, alguns tipos de chama, queimadores específicos propulsores a plasma.” (E6)</p> <p>“Raios, fogo, lâmpadas, displays.” (E7)</p> <p>“Fenômenos Naturais: raio, fogo, estrelas, aurora boreal.</p> <p>Tecnologias: faíscas, fogo em fogões.” (E8)</p>
UR3.2	“Fenômenos naturais”	1 registro	Nenhum registro
		“O fogo.” (E8)	
UR3.3	“Tecnologias”	2 registros	Nenhum registro
		“TV de plasma, lâmpadas.” (E2)	

		“Não conheço muitos exemplos cotidianos, mas se me lembro bem alguns filmes finos de metais são feitos utilizando plasma.” (E6)	
UR3.4	“Sem exemplificação”	1 registro	Nenhum registro
		“Não sei.” (E5)	
UR3.5	“Exemplificação equivocada”	Nenhum registro	Nenhum registro

Fonte: a própria autora

Na Questão 3, foi solicitado aos estudantes a apresentação de exemplos de fenômenos naturais e/ou tecnologias relacionados ao plasma. Com relação às respostas ao questionário prévio, como pode ser observado no Quadro 18, obtivemos três registros prévios em que os estudantes apresentam exemplos tanto de fenômenos naturais quanto de tecnologias relacionados com o estado de plasma, que foram classificados na UR3.1 “**Fenômenos naturais e tecnologias**”. Um deles foi de E1: “*Um fenômeno natural de estado de plasma é o fogo. E tecnologias, as telas de plasmas de TVs.*” (E1 – prévio). Um registro prévio foi classificado na UR3.2 “**Fenômenos naturais**”, no qual um estudante apresentou um exemplo de fenômeno natural relacionado com o estado de plasma: “*O fogo.*” (E8 – prévio). Identificamos dois registros no questionário prévio que foram agrupados na UR3.3 “**Tecnologias**”, como por exemplo: “*TV de plasma, lâmpadas.*” (E2 – prévio). É relevante evidenciar que, nas respostas ao questionário prévio, apenas um estudante afirmou não conhecer exemplos relacionados ao plasma: “*Não sei.*” (E5 – prévio), classificado na UR3.4 “**Sem exemplificação**”.

Com relação a esses registros prévios, Pirovani, Erthal e Campos (2013) obtiveram resultados semelhantes a partir de respostas a um questionário para investigar a compreensão de estudantes do Ensino Médio a respeito do quarto estado da matéria. Esses autores obtiveram como resultados a carência de compreensão da maior parte dos estudantes participantes a respeito de plasmas e de sua aplicabilidade em tecnologias atuais. Os exemplos de fenômenos e/ou

tecnologias relacionados ao plasma citados por esses estudantes foram Sol e relâmpago, lâmpadas fluorescentes e telas de plasma de TV.

Posteriormente, houve um aumento de registros na UR3.1 “**Fenômenos naturais e tecnologias**”. Obtivemos três registros prévios, passando para oito registros posteriores, em que os estudantes apresentam exemplos tanto de fenômenos naturais quanto de tecnologias relacionados com o estado de plasma. Por exemplo: “*Naturais: aurora boreal, raios, relâmpagos, chama azul do fogo, estrelas, ventos solares. Tecnologias: tokamak, TV de plasma, lâmpadas fluorescentes.*” (E3 – posterior). Esse resultado mostra um aumento de registros após a realização do curso de extensão.

Percebemos também, além de um enriquecimento na quantidade de exemplos nas respostas ao questionário posterior, uma maior diversidade de exemplos. Esses resultados nos permitem inferir que os estudantes se apropriaram dos conhecimentos a respeito de exemplos de fenômenos naturais e de tecnologias apresentados durante o curso de extensão. Esse enriquecimento demonstra indícios de alteração de subsunção por parte desses estudantes. Ou seja, podemos afirmar que, de acordo com Ausubel, Novak e Hanesian (1980), ocorreu um processo de assimilação pelos estudantes, que acontece quando um novo conhecimento interage, de maneira não-arbitrária e não-literal com um conhecimento prévio relevante.

Não identificamos registros prévios nem posteriores na UR3.5 “**Exemplificação equivocada**”.

Na UC4 “**Produção de plasma**”, classificamos os registros obtidos por meio da Questão 4, que são apresentados no Quadro 19.

Quadro 19 – Unitarização dos dados referentes à UC4

Unidade Temática de Contexto 4 (UC4) “Produção de plasma”			
UR	Descrição	PRÉVIO	POSTERIOR
UR4.1	“Explicação de acordo com o consenso científico atual”	2 registros	4 registros
		<p>“Pode-se produzir plasma ao se <u>ionizar</u> um gás aplicando sobre ele um campo elétrico intenso; além de elevar a temperatura de um gás até sua ionização.” (E4)</p> <p>“Se fornecermos energia para um gás, os átomos deste gás se <u>ionizam</u> produzindo o plasma.” (E1)</p>	<p>“Pode ser produzido adicionando energia ao gás por meio de <u>fotoionização</u> e aplicação de altas diferenças de potencial.” (E1)</p> <p>“Ele pode ser de ocorrência natural ou produzido pelo ganho de energia de um gás (para <u>ionizar</u>) ou por <u>fotoionização</u>.” (E2)</p> <p>“Aquecimento de um gás até sua <u>ionização</u>; aplicação de um campo elétrico intenso no gás; incidência de radiações ionizantes.” (E4)</p> <p>“Aplicando uma diferença de potencial ou fornecendo calor a um gás a fim de <u>ionizá-lo</u>.” (E6)</p>
UR4.2	“Explicação parcialmente correta”	5 registros	4 registros
		<p>“Em altas temperaturas e pressões controladas.” (E2)</p> <p>“Pode ser produzido por estrelas, mas artificialmente, não sei.” (E5)</p> <p>“Fornecendo energia a certos tipos de gases</p>	<p>“Aplicando uma grande ddp ou fornecendo uma grande quantidade de temperatura.” (E3)</p> <p>“Através de altos fornecimentos de energia, ou diferença de potencial no vácuo, com poucas partículas de um gás.” (E5)</p>

		geralmente.” (E6) “Aquecendo um gás a temperaturas muito elevadas.” (E7) “Através da queima de combustível.” (E8)	“Com temperaturas muito elevadas ou uma diferença de potencial muito grande.” (E7) “Aplicando uma alta diferença de potencial em um gás rarefeito a uma alta temperatura.” (E8)
UR4.3	“Explicação equivocada/ confusa”	Nenhum registro	Nenhum registro
UR4.4	“Desconhecimento”	1 registro “Não sei.” (E3)	Nenhum registro

Fonte: a própria autora

Na Questão 4, buscamos compreender as noções dos estudantes a respeito dos modos de produção de plasma. De acordo com o Quadro 19, foram obtidos dois registros no questionário prévio e quatro registros no posterior em que os estudantes explicam pelo menos um modo de produção de plasma. Esses registros foram agrupados na UR4.1 **“Explicação de acordo com o consenso científico atual”**, cujo resultado mostra um significativo aumento de registros após a realização do curso de extensão. Temos como exemplo, a resposta de E4: *“Pode-se produzir plasma ao se ionizar um gás aplicando sobre ele um campo elétrico intenso; além de elevar a temperatura de um gás até sua ionização.”* (E4 – prévio, grifos nossos).

Encontramos cinco registros prévios e quatro posteriores na UR4.2 **“Explicação parcialmente correta”**, nos quais os estudantes apresentaram algumas condições necessárias para a obtenção do estado de plasma, no entanto, não citam o conceito de ionização do gás, característica essencial para descrever o estado de plasma. Por exemplo: *“Em altas temperaturas e pressões controladas.”* (E2 – prévio).

Em relação à UR4.4 **“Desconhecimento”**, obtivemos um registro prévio: *“Não sei.”* (E3 – prévio). Não identificamos registros prévios nem posteriores na UR4.3 **“Explicação equivocada/ confusa”**.

Ao se comparar as respostas aos questionários prévio e posterior de um mesmo estudante, podemos observar alterações em detalhamento do modo de produção de plasma. Temos como exemplo, as respostas de E6: “*Fornecendo energia a certos tipos de gases geralmente.*” (E6 – prévio – UR4.2). “*Aplicando uma diferença de potencial ou fornecendo calor a um gás a fim de ionizá-lo.*” (E6 – posterior – UR4.1 –grifos nossos). Notamos que E6, no questionário prévio cita a necessidade do fornecimento de energia a um gás, no entanto, somente no questionário posterior ele cita o conceito de ionização.

Além disso, houve também uma diferença na qualidade das descrições iniciais e finais de um mesmo estudante, mesmo quando suas respostas foram classificadas na mesma Unidade de Registro. Por exemplo, nas respostas de E5: “*Pode ser produzido por estrelas, mas artificialmente, não sei.*” (E5 – prévio – UR4.2). “*Através de altos fornecimentos de energia, ou diferença de potencial no vácuo, com poucas partículas de um gás.*” (E5 – posterior – UR4.2). É interessante observar que mesmo que E5 não tenha citado a ionização em sua resposta posterior, que seria uma explicação mais completa, ele acrescentou mais conceitos com relação à sua resposta prévia.

Logo, percebemos, por meio das respostas ao questionário posterior, uma alteração adequada e significativa em relação aos modos de produção de plasma.

No Quadro 20, apresentamos a UC5 “**Características de plasmas**”, na qual foram classificados os registros obtidos com a Questão 5 que identificam os conhecimentos dos estudantes em relação às propriedades físicas do plasma.

Quadro 20 – Unitarização dos dados referentes à UC5

Unidade Temática de Contexto 5 (UC5) “ Características de plasmas ”			
UR	Descrição	PRÉVIO	POSTERIOR
UR5.1	“ Propriedades físicas do estado de plasma ”	5 registros	8 registros
		“Moléculas com alta energia cinética.” (E2) “Estado de alta energia.” (E3)	“É macroscopicamente neutro. As partículas carregadas agem coletivamente. Blindam campos

		<p>“Altas energias em decorrência da temperatura; alta condutividade elétrica devido à presença de íons e elétrons livres; interação com campos magnéticos por justamente ser capaz de produzi-los; etc.” (E4)</p> <p>“Não sei, acredito que alta energia interna e agitação molecular elevada.” (E6)</p> <p>“Alta energia e temperatura.” (E7)</p>	<p>externos.” (E1)</p> <p>“Ele é em seu estado macroscópico neutro, mas apresenta íons e elétrons livres, alta energia cinética e baixa energia de ligação, blindagem de Debye.” (E2)</p> <p>“Baixa densidade de partículas, alta temperatura, alta quantidade de energia.” (E3)</p> <p>“Presença de íons e elétrons livres além de moléculas neutras; sofrem ação de campos magnéticos/ elétricos externo; são eletricamente neutros.” (E4)</p> <p>“Energia cinética molecular alta, espaço de colisões tendendo ao infinito, média geral neutra.” (E5)</p> <p>“Alta energia, choques entre moléculas quase nulo, ionizado.” (E6)</p> <p>“O plasma é caracterizado pela presença de átomos neutros, ionizados e elétrons. No plasma frio os elétrons e íons têm uma proporção muito menor e a temperatura dos elétrons é maior comparada aos outros componentes. No plasma quente os íons estão na mesma proporção que os átomos neutros e os componentes têm a</p>
--	--	---	--

			mesma temperatura.” (E7) “Átomos ionizados, bastante energizados.” (E8)
UR5.2	“Caracterização parcialmente correta”	Nenhum registro	Nenhum registro
UR5.3	“Caracterização equivocada/confusa”	Nenhum registro	Nenhum registro
UR5.4	“Desconhecimento”	3 registros	Nenhum registro
		“Não sei.” (E1)	
		“Não sei.” (E5) “Não tenho a menor ideia.” (E8)	

Fonte: a própria autora

Quando solicitado aos estudantes apresentar as propriedades físicas que caracterizam o plasma, na Questão 5, conforme o Quadro 20, identificamos cinco registros a partir das respostas ao questionário prévio e oito registros do questionário posterior com a apresentação de uma ou mais propriedades físicas que caracterizam o plasma. Esses registros foram agrupados na UR5.1 “**Propriedades físicas do estado de plasma**”. Por exemplo: “*Estado de alta energia.*” (E3 – prévio). Apesar de não haver um aumento significativo da quantidade de registros após a realização do curso, é interessante observarmos que nas respostas ao questionário posterior, foi apresentada uma apropriação de mais características por cada participante: “*Baixa densidade de partículas, alta temperatura, alta quantidade de energia.*” (E3 – posterior). Esse enriquecimento demonstra indícios de alteração de subsunçor por parte desses estudantes com relação às propriedades dos plasmas, ou seja, podemos afirmar que ocorreu um processo de assimilação por parte dos estudantes, em que o novo conhecimento adquire significado e o subsunçor adquire novos significados (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980).

Obtivemos apenas nas respostas ao questionário prévio registros em que os estudantes afirmaram o desconhecimento de propriedades físicas do estado de plasma: “*Não sei.*” (E1 e E5 – prévios). Obtivemos três registros que foram classificados na UR5.4 “**Desconhecimento**”.

Não identificamos registros prévios nem posteriores nas UR5.2 “**Caracterização parcialmente correta**” e UR5.3 “**Explicação equivocada/confusa**”.

A seguir, apresentamos os dados obtidos por meio da elaboração dos mapas conceituais pelos estudantes participantes.

4.1.2 Análise dos Mapas Conceituais da Física de Plasmas construídos pelos Estudantes

Nesta seção, apresentamos os dados referentes aos Mapas Conceituais elaborados pelos estudantes participantes em diferentes momentos durante a Unidade Didática, conforme o Quadro 2. Os Mapas Conceituais foram identificados pelo código do/a estudante e seu respectivo mapa conceitual, por meio de letras e números (por exemplo, E1M1 se refere ao Mapa 1 da Estudante 1, e assim por diante. C1 e C2 se referem aos mapas elaborados coletivamente).

Quadro 21 – Grupos de mapas conceituais

Grupos	Mapas Conceituais	% dos mapas analisados
Grupo 1: Mapas conceituais considerados como uma construção linear, apresentando poucos conceitos.	E1M1, E7M1, E8M1 E2M2, E3M2, E4M2, E8M2 E3M3, E6M3	26,5 %
Grupo 2: Mapas conceituais considerados como uma construção parcialmente satisfatória, porque apresentam indícios apenas de relações com diferenciação progressiva entre conceitos.	E2M1, E3M1, E4M1, E5M1, E6M1 E1M2, E5M2, E6M2, E7M2 E1M3, E4M3, E7M3, E8M3 E1M4, E2M4, E3M4, E6M4, E7M4, E8M4	55,9 %

<p>Grupo 3: Mapas conceituais considerados como mapas adequados, apresentando relações relevantes entre conceitos, caracterizadas pela presença da diferenciação progressiva e da reconciliação integrativa, com a utilização de palavras de ligação adequadas.</p>	<p>E2M3, E5M3, C1M3, C2M3 E4M4, E5M4</p>	<p>17,6 %</p>
--	--	---------------

Fonte: a própria autora

Conforme descrito anteriormente, o Grupo 1 reúne mapas considerados como uma construção linear, apresentando poucos conceitos. Apresentamos, na Figura 3, um exemplar de mapa conceitual⁸ que representa os mapas do Grupo 1.

Foram classificados oito mapas nesse grupo, o que representou 26,5 % do total dos mapas construídos pelos estudantes. Esses mapas, além de conterem poucas relações entre os conceitos, apresentaram nomes de autores, datas e definições.

Novak e Gowin (1984) chamam atenção para isso, afirmando que nomes próprios não são conceitos. Além disso, para Moreira, Soares e Paulo (2008), quando são incluídos nomes de autores, instituições, áreas de conhecimento, bem como definições, leis e outras proposições, os conceitos se perdem em meio a uma grande quantidade de informações. É de se esperar a presença de mapas com essa configuração, com predominância de nomes, datas e pequenos textos de conexões devido à escola memorística, em que o estudante está acostumado com a aprendizagem por memorização.

Dessa maneira, podemos afirmar por meio dos mapas conceituais do Grupo 1 que os estudantes não possuem ainda, em sua estrutura cognitiva, conceitos suficientemente diferenciados ou não foram produzidas reconciliações integrativas suficientes para permitir a formação de afirmações preposicionais precisas (NOVAK; GOWIN, 1984). Isso nos leva a inferir que esses estudantes ainda apresentam indícios de conflitos cognitivos a respeito desse conhecimento, que podem e devem ser minimizados ao longo do estudo do tema em questão. Este é um resultado esperado e compatível com a Teoria da Aprendizagem Significativa, uma vez que a

⁸ Os mapas conceituais foram reescritos no programa CmapTools para melhor visualização.

Aprendizagem Significativa demanda tempo e recursividade na apresentação do conteúdo em questão.

Em especial, dentre os mapas conceituais do Grupo 1, o Mapa Conceitual 3 do estudante E3 (Figura 4 – E3M3) não se caracteriza como um mapa conceitual, trata-se de um diagrama de fluxo a respeito do desenvolvimento da Física de Plasma. Esse mapa apresenta uma cronologia, evidenciando uma visão acumulativa e de crescimento linear dos conhecimentos científicos, uma das visões ingênuas da Ciência elencada por Gil Pérez *et al.* (2001).

Além disso, uma estudante não realizou um mapa hierárquico, ou seja, não realizou uma diferenciação entre os conceitos mais inclusivos e os conceitos mais específicos (pouco abrangentes), como descrito por Moreira (2006b, 2010).

Observamos também, nos mapas conceituais deste grupo, uma falta de palavras de ligação entre os conceitos. Outras peculiaridades encontradas nos mapas conceituais dos estudantes que merece destaque são grandes textos explicativos no lugar das palavras de ligação. Novak e Cañas (2010) afirmaram que essa dificuldade em relação às palavras de ligação se deve à má compreensão do relacionamento entre os conceitos, ou dos significados dos conceitos, pois são as palavras de ligação que especificam esse relacionamento.

Os oito mapas analisados no Grupo 1 estão distribuídos da seguinte maneira: M1 = 3, M2 = 4, M3 = 2. A maior quantidade dos mapas classificados nesse grupo são mapas M1 e M2, ou seja, podemos levantar uma hipótese de que no início do curso os estudantes ainda não estavam habituados à construção de mapas conceituais. Uma vez que mapas conceituais são a princípio difíceis de serem elaborados mesmo que o estudante tenha uma aula a respeito de sua construção, é esperado que seus primeiros mapas apresentassem linearidade e poucos conceitos. Isso pode estar relacionado com a dificuldade de compreensão da função do Mapa Conceitual, mas também com o estigma do erro. Os estudantes têm a necessidade de construir o mapa conceitual “correto”.

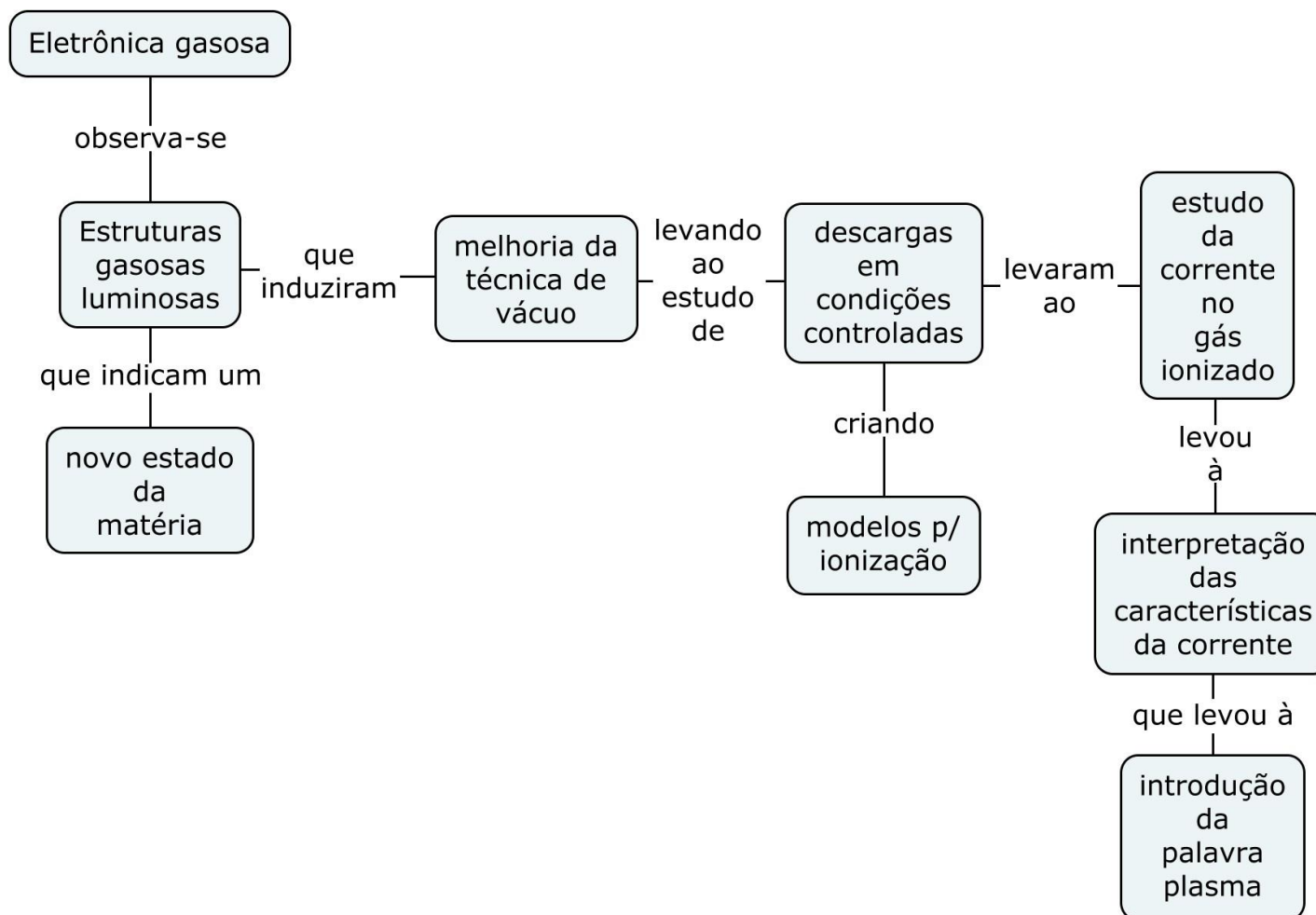
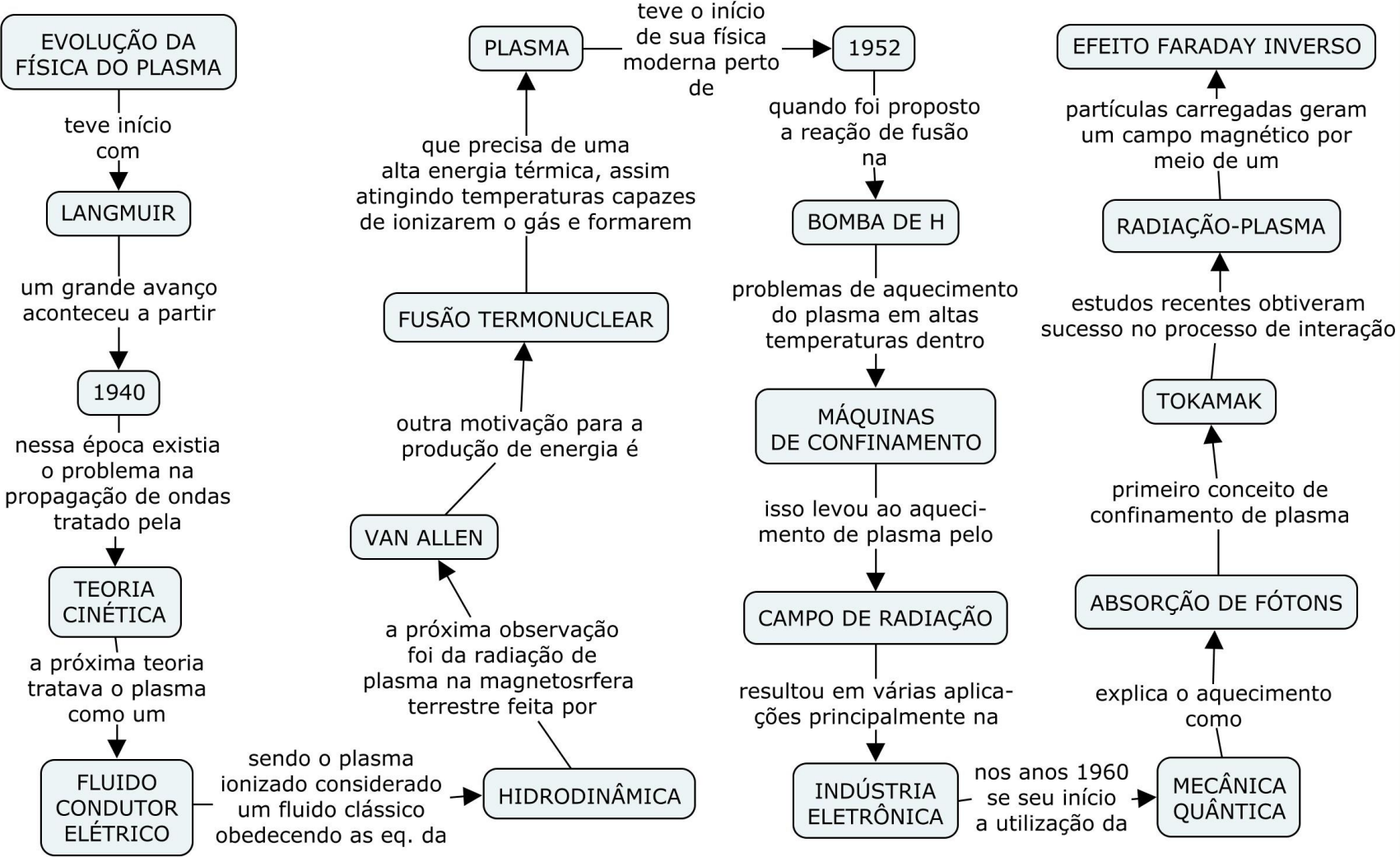
Figura 3 – Exemprar 1 de mapa conceitual do Grupo 1

Figura 4 – Exemplar 2 de mapa conceitual do Grupo 1



Fonte: E3M3

O Grupo 2 reúne mapas considerados como uma construção parcialmente satisfatória, apresentando relações entre conceitos, com indícios de diferenciação progressiva. Segundo Moreira (2006a), a diferenciação progressiva pode ser observada em mapas conceituais quando conceitos mais gerais, que estão no topo ou no centro, englobam conceitos mais específicos que se encontram na base do mapa, e conceitos de mesmo grau de generalidade aparecem aproximadamente na mesma posição vertical. Foram classificados 20 mapas nesse grupo, representando 55,9 % do total de mapas dos estudantes, apresentando uma construção parcialmente satisfatória de acordo com os parâmetros para o grupo. Na Figura 5, apresentamos um exemplar de mapa classificado no Grupo 2. Podemos considerar este, um híbrido entre mapa conceitual e diagrama de fluxo.

Considerando esses 55,9 % de mapas parcialmente satisfatórios (Grupo 2), podemos inferir que, apesar de ainda apresentarem algumas imprecisões, esses estudantes aprimoraram a estrutura de seus mapas, envolvendo conceitos relevantes e, também, possíveis relações entre eles.

Neste grupo, já começam a aparecer algumas ligações cruzadas entre os conceitos, o que pode significar que os estudantes enriqueceram, modificaram e tornaram os conceitos mais explícitos e inclusivos à medida que foram progressivamente diferenciando-os.

O princípio de Ausubel da diferenciação progressiva estabelece que a aprendizagem significativa é um processo contínuo, no qual novos conceitos adquirem maior significado à medida que são alcançadas novas relações (ligações preposicionais). Assim, os conceitos nunca são “finalmente aprendidos”, mas sim permanentemente enriquecidos, modificados e tornados mais explícitos e inclusivos à medida que se forem progressivamente diferenciando. A aprendizagem é o resultado de uma mudança do significado da experiência, e os mapas conceituais são um método de mostrar, tanto ao aluno como ao professor, que ocorreu realmente uma reorganização cognitiva (NOVAK; GOWIN, 1984, p. 115).

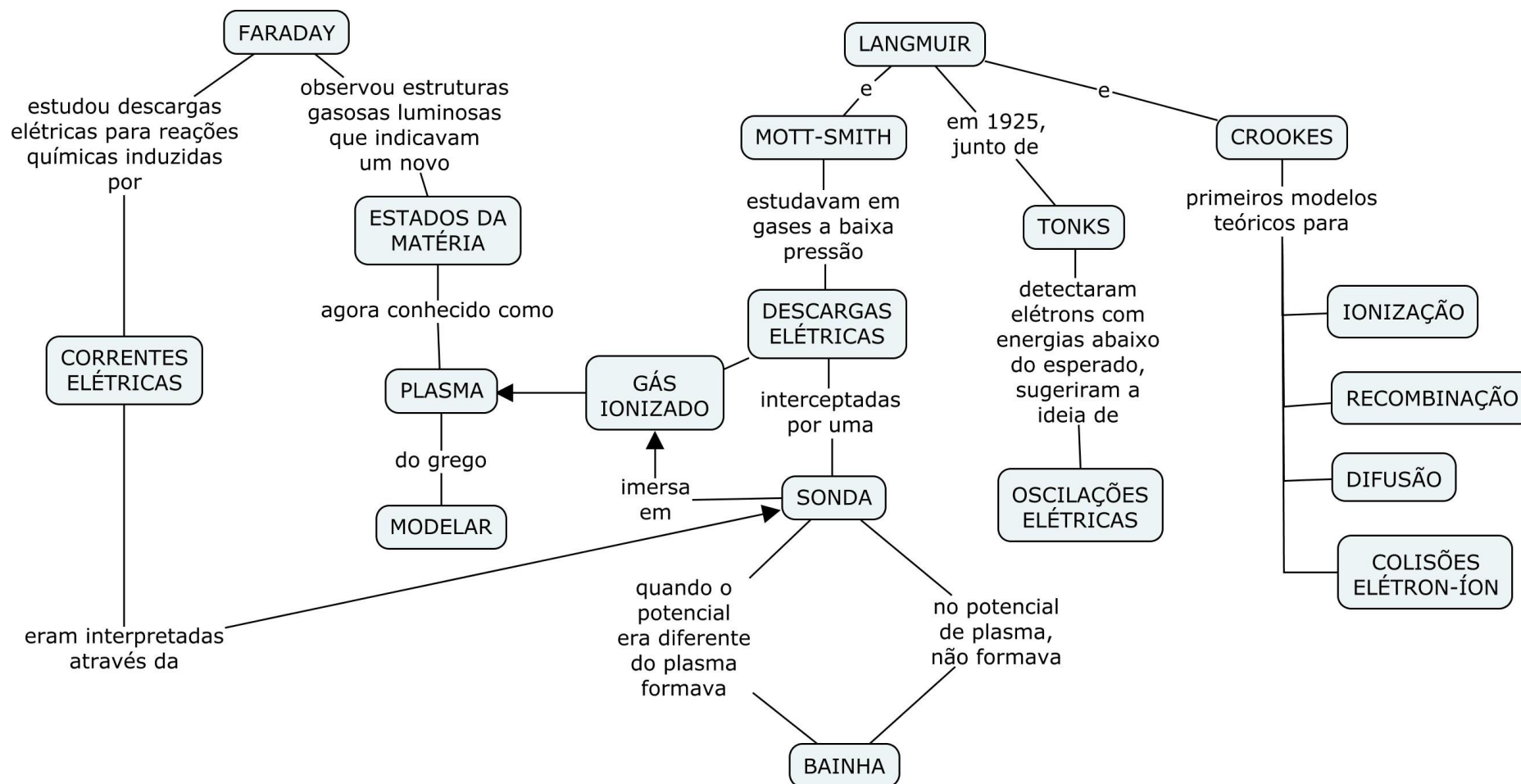
Alguns mapas classificados no Grupo 2 ainda apresentam nomes e datas, fazendo com que os conceitos se percam em meio a grande quantidade de informações como discutido no Grupo 1. Isso mostra a persistência de uma concepção de aprendizagem memorística fatídica fortemente construída na Educação Básica e Superior, valorizado no conhecimento escolarizado, além do medo do erro por parte dos estudantes participantes. Apesar disso, no geral, os mapas desse grupo apresentaram uma estrutura bem definida e de fácil

entendimento, com algumas relações cruzadas e com pouca falta de palavras de ligação.

Com relação à hierarquização, evidenciamos a diferenciação progressiva dos conceitos relacionados, no entanto, alguns mapas possuem poucas ramificações em cada nível.

Os 20 mapas classificados no Grupo 2 estão distribuídos da seguinte maneira: M1 = 5, M2 = 4, M3 = 4, M4 = 6.

Figura 5 – Exempar de mapa conceitual do Grupo 2



Fonte: E7M2

O Grupo 3 reúne mapas conceituais considerados como adequados, apresentando relações relevantes entre conceitos, caracterizando a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa. De acordo com Moreira (2006a), toda Aprendizagem Significativa que resultar em reconciliação integrativa resultará igualmente em diferenciação progressiva adicional de conceitos ou proposições. Na Figura 6, apresentamos um exemplar de mapa conceitual classificado no Grupo 3.

No geral, esse grupo, com seis mapas conceituais classificados, representou 17,6 % do total dos mapas dos estudantes, apresentando uma boa estrutura de acordo com os parâmetros descritos. Apesar de ser um porcentual mais baixo com relação aos outros grupos, pode-se afirmar que houve indícios de uma Aprendizagem Significativa por parte dos estudantes.

No Grupo 3, foi possível encontrar nos mapas conceituais uma hierarquização de conceitos e relações relevantes entre eles, com palavras de ligações adequadas, e apresentação de exemplos. De acordo com Novak e Gowin (1984, p. 51), os mapas conceituais hierárquicos revelam relações de subordinação que existem entre os conceitos dos níveis mais altos e os conceitos subordinados.

Observamos também, nesses mapas, algumas relações cruzadas, que podemos considerar como indícios de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa. Pode-se inferir que, em relação aos mapas conceituais analisados nesse grupo, os estudantes apresentam raciocínio integrado e contextualizado para a interpretação dos conceitos relacionados à Física de Plasmas.

Ressaltamos que os sete mapas conceituais classificados no Grupo 3 estão concentrados nos dois últimos mapas ($M3 = 4$ e $M4 = 2$).

Destacamos também que os mapas conceituais construídos coletivamente (C1 e C2) foram classificados nesse grupo. De acordo com Novak e Gowin (1984), quando os mapas conceituais são elaborados em grupos de estudantes, eles podem desempenhar uma função útil de conduzir discussões, favorecendo assim, uma Aprendizagem Significativa, uma vez que “aprender o significado de um dado conhecimento implica dialogar, trocar, compartilhar, e por vezes estabelecer compromissos” (NOVAK; GOWIN, 1984, p. 36).

Uma das evidências de Aprendizagem Significativa são a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa. Toda Aprendizagem Significativa que resulta em reconciliação integrativa resultará em diferenciação progressiva de

conceitos ou proposições (MOREIRA, 2006a). Dessa maneira, podemos inferir que, de acordo com os mapas do Grupo 3, estes estudantes apresentaram uma Aprendizagem Significativa de conceitos relacionados à Física de Plasma, com a apresentação de conceitos mais elaborados e com uma estruturação de novas interações entre os conceitos.

A análise dos grupos de mapas conceituais dos estudantes teve como objetivo uma visão geral. De acordo com os dados do Quadro 21, podemos afirmar que os estudantes puderam aperfeiçoar a construção de seus mapas conforme o andamento da Unidade Didática. No início do curso, os mapas conceituais elaborados (M1 e M2, principalmente) apresentavam linearidade e poucos conceitos (Grupo 1). Alguns estudantes começaram a aperfeiçoar seus mapas acrescentando mais conceitos e relações entre estes, de modo a apresentar uma diferenciação progressiva desses conceitos (Grupo 2). De uma maneira geral, ao final do curso, os estudantes relacionaram de maneira satisfatória os conceitos do tema proposto, realizando a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa em seus mapas conceituais (Grupo 3).

A seguir, apresentamos os dados obtidos por meio de um questionário para avaliação da Unidade Didática, respondido por professores do Ensino Superior.

4.2 UMA ANÁLISE DOCENTE DA UNIDADE DIDÁTICA

A Unidade Didática elaborada foi enviada a professores atuantes nas Licenciaturas em Física, por correio eletrônico (e-mail), para fazer uma análise geral da Unidade, ou seja, para realizar uma validação da Unidade Didática.

Para essa análise, elaboramos um questionário (Apêndice C) com sete questões abertas a respeito da organização da Unidade (assuntos abordados, atividades propostas, abordagem didática, tempo de realização, entre outros itens). Os enunciados das questões foram decodificados intersubjetivamente nos seus significados por integrantes do grupo de pesquisa IFHIECEM.

Nesta seção, apresentamos os dados referentes aos questionários respondidos pelos professores participantes para avaliação da Unidade Didática. Ressaltamos que os registros apresentados são as respostas na íntegra que os professores apresentaram aos questionários. Quando necessário, uma resposta foi fragmentada e classificada em mais de uma Unidade de Registro, de maneira que foi contado o número de fragmentos textuais e não o número de respostas. Os fragmentos de registro foram identificados pelo código do/a professor/a participante por meio de letras e números (P1, P2, ..., P5). Destacamos que os dados aqui utilizados também foram oriundos de respostas formalmente esclarecidas e consentidas (Apêndice E – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido para professores participantes).

No Quadro 22, a seguir, foram apresentados os resultados obtidos para o tema **“Relevância da Física de Plasma”**, investigado pela Questão 1 e referente à Unidade Temática de Contexto UCUD1. Nessa unidade temática objetivamos investigar se os professores participantes consideram o ensino do tema Física de Plasmas relevante ou não nos cursos de Licenciatura em Física.

Quadro 22 – Unitarização dos dados referentes à UCUD1

Unidade Temática de Contexto para avaliação da Unidade Didática 1 (UCUD1) “Relevância da Física de Plasma”		
URUD1.1	“Tema/assunto de Física Moderna e Contemporânea”	3 registros
		“Sim, pois visando a atualização curricular no ensino de Física, da Educação Básica, é necessário que se pense na formação docente. Física de Plasmas é um tópico de Física Moderna e Contemporânea e para

		<p>que os professores possam trabalhar esses tópicos em sala de aula, antes é necessário que tenham formação para isso. [...]” (P2)</p> <p>“Sim. A época do descobrimento coincide com o período da Física Moderna, principalmente com o elétron e modelo atômico de Bohr. Os gases formados por íons apresentam propriedades que diferem dos gases formados por átomos neutros.” (P4)</p> <p>“Considero o tema pertinente, pois, além de ser um tópico com diversas aplicações científicas e tecnológicas relevantes, mostra aspectos interessantes da física moderna e da estrutura da matéria geralmente não abordados no Ensino Médio. E como ele é direcionado para alunos de Licenciatura, priorizando aspectos qualitativos e conceituais, poderá promover sua inserção no Ensino Médio a partir da atuação dos futuros professores.” (P5)</p>
URUD1.2	“Tema/assunto presente no cotidiano”	<p>1 registro</p> <p>[...]. Além disso, é um tema que possibilita a aproximação do conteúdo estudado com seu cotidiano quando são abordadas suas aplicações tecnológicas e ainda é um campo de atuação de pesquisadores em Física, o que justifica a presença desse tema na formação docente.” (P2)</p>
URUD1.3	“Tema/assunto irrelevante”	<p>Nenhum registro</p>
URUD1.4	“Relevante”	<p>1 registro</p> <p>“Sim pertinente, inclusive na extinta disciplina do 1º ano ‘estrutura da matéria’ se ensinava sobre o tubo de Crookes e conseqüentemente plasma” (P1)</p>
URUDE1.5	“Assunto de complexidade matemática e conceitual”	<p>1 registro</p> <p>“Sim, pois trata de um assunto cuja complexidade matemática e conceitual é adequada ao nível acadêmico dos estudantes do terceiro ou quarto ano de licenciatura em física.” (P3)</p>

Fonte: a própria autora

Conforme pode ser visualizado no Quadro 22, todas as respostas à Questão 1 afirmaram a pertinência do tema Física de Plasmas nos cursos de Licenciatura em

Física, diferenciando-se as respostas pelos motivos apresentados. Os motivos citados pelos professores participantes foram diversos.

Três registros apresentaram como motivo de relevância da Física do Plasma por ser um tema de Física Moderna e Contemporânea (URUD1.1). Esse assunto também é citado em trabalhos como, por exemplo, de Pereira e Ostermann (2009) e Saviski (2014).

Outro motivo citado é por ser a Física de Plasmas um tema relacionado a objetos e experiências do cotidiano das pessoas (URUD1.2). Essa justificativa também está de acordo com pesquisas da área, em que afirmaram que a Física de Plasmas é um tema que faz parte do cotidiano das pessoas, tanto em tecnologias, quanto relacionado a fenômenos naturais (PIROVANI; ERTHAL; CAMPOS, 2013).

Como podemos observar no Quadro 22, obtivemos um registro na URUD1.4 “**Relevante**”, no qual P1 citou a relevância do tema, no entanto, não apresenta motivos de tal relevância.

Foi necessária a elaboração de uma Unidade de Registro Emergente URUDE1.5 “**Assunto de complexidade matemática e conceitual**”, na qual P3 apresenta a relevância do tema Física de Plasma pela sua complexidade matemática e conceitual: “*Sim, pois trata de um assunto cuja complexidade matemática e conceitual é adequada ao nível acadêmico dos estudantes do terceiro ou quarto ano de licenciatura em física.*” (P3).

É interessante notar nas respostas de P2 e P5 suas preocupações com os saberes disciplinares dos futuros professores em relação à Física de Plasmas: “[...] *Física de Plasmas é um tópico de Física Moderna e Contemporânea e para que os professores possam trabalhar esses tópicos em sala de aula, antes é necessário que tenham formação para isso. Além disso, é um tema que possibilita a aproximação do conteúdo estudado com seu cotidiano quando são abordadas suas aplicações tecnológicas e ainda é um campo de atuação de pesquisadores em Física, o que justifica a presença desse tema na formação docente.*” (P2).

Quanto aos resultados obtidos pela Questão 2, os mesmos foram organizados no Quadro 23. Essa questão visou investigar, de acordo com os professores participantes, se a Unidade Didática elaborada possui os conteúdos suficientes para que os estudantes possam aprender a respeito da Física de

Plasmas. Dessa forma, os seus resultados diziam respeito à Unidade Temática de Contexto denominada de “**Conteúdos de Física de Plasma**” (UCUD2).

Quadro 23 – Unitarização dos dados referente à UCUD2

Unidade Temática de Contexto para avaliação da Unidade Didática 2 (UCUD2) “ Conteúdos de Física de Plasma ”		
URUD2.1	“ Conteúdos adequados ”	3 registros
		<p>“Acredito que sim, pois a Unidade vai explorando conceitos diversos relacionados ao tema, indo de conceitos mais simples para conceitos mais elaborados.” (P2)</p> <p>“Sim, pois as atividades presentes no segundo e no terceiro momento pedagógico abordam uma ampla gama de conceituações e explicações que sustentam a noção de plasma.” (P3)</p> <p>“O conteúdo programático da unidade didática parece adequado, porém ele é apresentado de maneira muito sucinta, de forma integrada/misturada com a apresentação das atividades. Uma sugestão seria deixá-los um pouco mais evidenciados no texto, apresentando-os com mais detalhes. Talvez uma lista na parte inicial, logo após os objetivos.” (P5)</p>
URUD2.2	“ Conteúdos parcialmente adequados ”	2 registros
		<p>“Temo que não, pelo menos não de modo explícito. Não consigo visualizar o que será apresentado aos alunos como suporte pedagógico para compreensão da aula, se for apenas a ‘composição histórica’ me parece pouco...” (P1)</p> <p>“Há uma ênfase nas questões históricas, o que não deixa de ser importante, mas as explicações das propriedades de um gás de íons serem diferentes de um gás de átomos ou moléculas neutros, com propriedades interessantes, seria importante ponto para a compreensão do quarto estado da matéria.” (P4)</p>
URUD2.3	“ Conteúdos inadequados ”	Nenhum registro

Fonte: a própria autora

No Quadro 23, é possível observar que três respostas foram classificadas como conteúdos adequados (URUD2.1) e duas respostas como conteúdos parcialmente adequados (URUD2.2), necessitando algumas alterações.

De acordo com P2, “[...] a Unidade vai explorando conceitos diversos relacionados ao tema, indo de conceitos mais simples para conceitos mais elaborados.” (URUD2.1). Essa afirmação se mostra adequada à proposta da Unidade Didática uma vez que esta está baseada nos três momentos pedagógicos (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2012).

As respostas classificadas na URUD2.2 “**Conteúdos parcialmente adequados**” foram as de P1 e P4: “*Temo que não, pelo menos não de modo explícito. Não consigo visualizar o que será apresentado aos alunos como suporte pedagógico para compreensão da aula, se for apenas a ‘composição histórica’ me parece pouco...*” (P1) e “*Há uma ênfase nas questões históricas, o que não deixa de ser importante, mas as explicações das propriedades de um gás de íons serem diferentes de um gás de átomos ou moléculas neutros, com propriedades interessantes, seria importante ponto para a compreensão do quarto estado da matéria.*” (P4).

Observamos certo ceticismo de P1 e P4 com relação à utilização da composição histórica. Em resposta a estes professores participantes, esclarecemos que a Unidade Didática está baseada em várias atividades além da utilização da composição histórico-conceitual. Além disso, a ênfase nas discussões históricas não exclui a explicação conceitual da Física de Plasmas, como parece pensar P1 e P4. Ao invés disso, uma abordagem histórico-conceitual permite contextualizar tais discussões conceituais, proporcionando um melhor entendimento tanto do próprio conteúdo quanto do processo de construção do conhecimento científico (ROBILOTTA, 1988; MARTINS, 1990; MATTHEWS, 1995; PEDUZZI, 2001; BATISTA, 2004).

Inferimos, também, que estas respostas classificadas na URUD2.2 “**Conteúdos parcialmente adequados**” foram devido à não explicitação do conteúdo programático, apresentando de maneira integrada com as atividades como evidenciado por P5: “*O conteúdo programático da unidade didática parece adequado, porém ele é apresentado de maneira muito sucinta, de forma integrada/misturada com a apresentação das atividades. [...]*”. Logo, consideramos

pertinente, para uma versão da Unidade Didática, explicitarmos separadamente o conteúdo programático.

Na UCUD3, “**Organização do conteúdo**”, buscamos evidenciar se a organização do conteúdo ao longo da Unidade Didática se mostrou satisfatória, de acordo com os professores participantes. Os resultados para essa Unidade Temática de Contexto foram dispostos no Quadro 24 a seguir.

Quadro 24 – Unitarização dos dados referentes à UCUD3

Unidade Temática de Contexto para avaliação da Unidade Didática 3 (UCUD3) “ Organização do conteúdo ”		
URUD3.1	“ Organização adequada em relação à Aprendizagem Significativa ”	1 registro
		“Aparentemente sim, pois a maneira como é proposta na unidade considera os conhecimentos prévios dos alunos e aspectos da Teoria de Aprendizagem Significativa.” (P2)
URUD3.2	“ Organização parcialmente adequada em relação à Aprendizagem Significativa ”	Nenhum registro
URUD3.3	“ Organização adequada ”	2 registros
		<p>“Sim, pois a unidade obedece de maneira apropriada os três momentos pedagógicos de Angotti e Delizoicov bem como é desenhada segundo uma progressão do nível de complexidade do assunto.” (P3)</p> <p>“Acredito que sim. São programadas atividades de diagnóstico das ideias prévias dos estudantes sobre o tema, com problematizações e momentos de explicação e organização dos conteúdos por parte do professor. Além disso, há muitas atividades que geram discussões entre os alunos, e também várias atividades que propiciam um envolvimento mais ativo dos alunos com sua aprendizagem, através de leituras, construção de mapas conceituais e elaboração de seminários de aplicação do tema.” (P5)</p>
URUD3.4	“ Organização parcialmente adequada ”	1 registro
		“Os íons diferem do átomo pelo desequilíbrio da carga elétrica. Isto torna o plasma instável, dificultando o

		'manuseio'. Creio que o 2º. momento da unidade didática, está a essência sobre o plasma, com a duração de 3h:45min. Talvez aumentar um pouco mais este tempo. (4 Hs.)" (P4)
URUD3.5	"Organização inadequada"	Nenhum registro
URUDE3.6	"Dificuldade em avaliar"	1 registro "Como disse anteriormente não consigo enxergar a aula apenas com os tópicos da unidade didática. Eu gostaria de ver algum exemplo, como se construiria o mapa conceitual em questão... parece-me um pouco vago para saber se está adequado ou não, acho que dependeria mais dos saberes acumulados pelo professor do que propriamente pelo material apresentado..." (P1)

Fonte: a própria autora

É interessante ressaltar que, uma vez que a Unidade Didática teve como base a Teoria da Aprendizagem Significativa, também demos ênfase nessa teorização como referencial de análise. No entanto, os professores P1 e P4 não analisaram a Unidade Didática sob a perspectiva da Teoria da Aprendizagem Significativa já que não possuíam formação nessa área.

Conforme apresentado no Quadro 24, P2 afirmou que *"Aparentemente sim, pois a maneira como é proposta na unidade considera os conhecimentos prévios dos alunos e aspectos da Teoria de Aprendizagem Significativa."* (URUD3.1). Essa afirmação pôde ser feita uma vez que a Unidade Didática possui uma estrutura organizada de acordo com os pressupostos da Teoria da Aprendizagem Significativa (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980).

Em relação à organização do conteúdo, dois registros foram classificados na URUD3.3 **"Organização adequada"**. P3 afirmou que a Unidade obedece de maneira apropriada os três momentos pedagógicos. Já P5 comenta que *"Acredito que sim. São programadas atividades de diagnóstico das ideias prévias dos estudantes sobre o tema, com problematizações e momentos de explicação e organização dos conteúdos por parte do professor. Além disso, há muitas atividades que geram discussões entre os alunos, e também várias atividades que propiciam um envolvimento mais ativo dos alunos com sua aprendizagem, através de leituras, construção de mapas conceituais e elaboração de seminários de aplicação do*

tema.”. Essas afirmações também estão de acordo com o referencial teórico utilizado para a elaboração da Unidade Didática, que foi elaborada levando em consideração atividades com propostas de situações problemáticas, que, de acordo com Zabala (1998), pode promover a atividade mental dos estudantes necessária para que estes construam um determinado conceito. É preciso, também, estimular o envolvimento dos estudantes nesse processo, como evidenciado por P5, aliando essas situações com momentos de interação, discussão e troca de significados.

Outro resultado do Quadro 24 a ser destacado é a afirmação de P4: “[...]. *Creio que o 2º. momento da unidade didática, está a essência sobre o plasma, com a duração de 3h:45min. Talvez aumentar um pouco mais este tempo. (4 Hs.)*”. Classificamos esta resposta na URUD3.4 “**Organização parcialmente adequada**”.

Foi necessária a elaboração de uma Unidade de Registro Emergente URUDE3.6 “**Dificuldade em avaliar**” na qual um docente afirmou não conseguir avaliar a organização do conteúdo: “*Como disse anteriormente não consigo enxergar a aula apenas com os tópicos da unidade didática. Eu gostaria de ver algum exemplo, como se construiria o mapa conceitual em questão... parece-me um pouco vago para saber se está adequado ou não, acho que dependeria mais dos saberes acumulados pelo professor do que propriamente pelo material apresentado...*” (P1). Concordamos com P1 que o resultado final das aulas da Unidade Didática dependerá dos saberes de cada professor, no entanto, ressaltamos que o objetivo da Unidade Didática não é oferecer um material único para o professor. Este deve ter, em seu repertório de conhecimentos, tanto saberes disciplinares (relacionados ao conteúdo Física de Plasmas), como saberes da formação profissional (saberes pedagógicos). A formação de professores, especialmente em Ciências Básicas, deve ser categórica na formação e na materialidade de que esses dois saberes são fundamentais e emaranhados. Ou seja, não pode mais haver espaço privilegiado de um em detrimento do outro.

No Quadro 25, apresentamos as análises dos professores participantes com respeito ao tempo proposto para as atividades da Unidade Didática (UCUD4).

Quadro 25 – Unitarização dos dados referentes à UCUD4

Unidade Temática de Contexto para avaliação da Unidade Didática 4 (UCUD4) “Tempo das atividades”		
URUD4.1	“Tempo adequado”	<p>3 registros</p> <p>“O tempo de realização das atividades é sempre uma incógnita, pois vai depender do número de alunos e do desenvolvimento deles, como indicado no início de sua unidade. O tempo estipulado parece adequado. As atividades são bem definidas e não são muito extensas, o que facilita uma estimativa de tempo.” (P2)</p> <p>“Sim, já que as atividades envolvem em sua maioria a elaboração de mapas conceituais, leituras curtas e apresentações que permitem que sejam realizados com um tempo mais controlado pelo docente.” (P3)</p> <p>“Após o ‘brainstorm’ inicial, creio que a organização das ideias mais relevantes e pertinentes seja essencial para as sequências posteriores, com a intervenção do docente, com as explicações dos conceitos físicos. Está adequado o tempo para os estudantes.” (P4)</p>
URUD4.2	“Tempo parcialmente adequado”	<p>1 registro</p> <p>“É sempre difícil estimar com precisão o tempo que cada atividade irá tomar, pois isso depende muito da participação e engajamento da turma, da complexidade das atividades e da maneira como o professor faz a mediação e negociação de significados, entre outras coisas.</p> <p>No 1º momento (2h), por exemplo, existe uma atividade de problematização com perguntas + apresentação de uma equação (que provavelmente será discutida e não simplesmente “apresentada”) + contextualização histórica (não ficou claro nesse ponto se eles já trarão o texto lido, se será lido na sala ou se essa parte será exposta pelo professor – sugiro detalhar isso) + elaboração de mapas conceituais com explicações por escrito. Acho pouco provável que consiga fazer tudo isso nas 2h propostas...</p> <p>No 3º momento (2h15) também considero o tempo curto demais para as atividades propostas. Esse tempo provavelmente será tomado apenas com os seminários (dependendo do tamanho da turma). A elaboração e apresentação de atividades para o Ensino Médio acrescida de discussão pertinente a</p>

		<p>isso com certeza não caberia dentro desse tempo, a não ser que ocorra de maneira superficial.</p> <p>A situação inicial e o 2º momento são os que me parecem ter o tempo compatível com o número e complexidade das atividades.” (P5)</p>
URUD4.3	“Tempo inadequado”	<p>1 registro</p> <p>“Pareceu-me que 16 horas no total é muito tempo caso nenhuma matematização seja feita.” (P1)</p>

Fonte: a própria autora

Com relação ao tempo planejado para as atividades, três registros foram classificados na URUD4.1 **“Tempo adequado”**. Por exemplo, P2 afirmou que “[...] *O tempo estipulado parece adequado. As atividades são bem definidas e não são muito extensas, o que facilita uma estimativa de tempo.*”

P5 comenta que alguns momentos o tempo está compatível com a complexidade das atividades e outros momentos não. Por isso, sua resposta foi classificada na URUD4.2 **“Tempo parcialmente adequado”**.

É relevante ressaltar nas respostas de P2 e P5 a dificuldade de se estimar com precisão o tempo de realização das atividades, uma vez que isso depende do número de estudantes e de sua participação e engajamento, da maneira como o/a professor/a realiza a mediação em sala de aula, entre outras coisas. Com relação a essa preocupação, já está previsto na proposta da Unidade Didática que as turmas são diferentes umas das outras. Logo, o professor tem a liberdade de adaptar a Unidade Didática dependendo de sua realidade em sala de aula. Conforme Zabala (1998), no processo de aplicação, em aula, do plano de intervenção, será necessário adequar às necessidades de cada estudante as diferentes variáveis educativas: tarefas e atividades, conteúdo, formas de agrupamento, tempo, etc.

Ainda foi observada uma resposta que indica uma inadequação do tempo da abordagem. P1 afirmou que: *“Pareceu-me que 16 horas no total é muito tempo caso nenhuma matematização seja feita.”*. Assim, classificamos esta resposta na URUD4.3 **“Tempo inadequado”**. Podemos perceber na resposta de P1 uma visão de ensino tradicional, baseada na matematização dos conceitos físicos, considerando a discussão teórico-conceitual menos relevante, o que consideramos inadequado para a formação de professores.

No Quadro 26, foram expostos os resultados referentes à Questão 5 (UCUD5) que investigou se o tempo proposto para a aplicação da Unidade Didática está adequado à metodologia adotada. Destaca-se que a UCUD5 se referia ao tempo planejado para a Unidade Didática como um todo.

Quadro 26 – Unitarização dos dados referentes à UCUD5

Unidade Temática de Contexto para avaliação da Unidade Didática 5 (UCUD5) “Tempo da Unidade Didática”		
URUD5.1	“Tempo adequado”	<p>5 registros</p> <p>“Sim, há tempo mais do que suficiente para compreender o assunto.” (P1)</p> <p>“Da maneira como está exposto na Unidade Didática, tudo indica que sim, uma vez que considera aspectos da Teoria de Aprendizagem Significativa em seu processo, como os conhecimentos prévios, a diferenciação progressiva, a negociação de significados e o uso dos mapas conceituais que são considerados facilitadores da aprendizagem significativa. Além disso, tudo indica que o material foi planejado para ser potencialmente significativo, o que também é relevante para que a aprendizagem ocorra de maneira significativa.” (P2)</p> <p>“Sim, o tempo proposto de aplicação da unidade parece estar adequado, a característica das atividades ajuda bastante: miniaulas, elaboração de mapas conceituais, leitura da composição histórico-conceitual e apresentações pelos estudantes, são atividades que tem potencial mobilizador de aprendizagens significativas.” (P3)</p> <p>“O conteúdo tratado parecer ser bastante conceitual, conforme o objetivo. Se o estudante compreender o que é PLASMA, e que o plasma não significa necessariamente alta temperatura ou emissão de luz intensa, mas que possibilita. Assim o tempo total de 16 horas está bom.” (P4)</p> <p>“Aqui também reitero o que escrevi na questão anterior: estimar com precisão é tarefa difícil... Porém tenho algumas considerações:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Foi colocado no início da unidade didática que ela seria distribuída em 4 encontros de 4 horas,

		<p>porém, o tempo estimado para cada atividade está programado de maneira mais complexa (5h30 + 2h + 3h45 + 2h15 + 2h30). Apesar da soma dar 16 horas, a distribuição fica bastante complicada de ser distribuída em 4 períodos de 4h. É necessário observar como as atividades serão distribuídas dentro desse constrangimento... Por exemplo: no segundo encontro terá 1h30 da atividade inicial + 2h do 1º momento + 30 minutos do 2º momento? E assim por diante...</p> <ul style="list-style-type: none"> • Outra coisa que não está clara é o intervalo entre os encontros, pois existem tarefas entre eles (preparação de seminário, por exemplo). Como isso não está explícito na unidade didática, não sei como será feito. • Pela minha experiência, a distribuição dos encontros interfere na maneira como as atividades são distribuídas e, deste modo, apesar do tempo total parecer adequado, a distribuição dos momentos propostos em cada encontro deve ser melhor pensada..." (P5)
URUD5.2	"Tempo parcialmente adequado"	Nenhum registro
URUD5.3	"Tempo inadequado"	Nenhum registro

Fonte: a própria autora

Todos os registros da UCUD5 foram classificados na URUD5.1 **"Tempo adequado"**. Apenas P5 fez algumas ressalvas, dentre elas: "[...] *Pela minha experiência, a distribuição dos encontros interfere na maneira como as atividades são distribuídas e, deste modo, apesar do tempo total parecer adequado, a distribuição dos momentos propostos em cada encontro deve ser melhor pensada...*". Considerando esta resposta de P5 juntamente com o teste empírico, destacamos que o tempo planejado foi remodelado.

É interessante observar que P2 e P3 citaram em suas respostas a adequação do tempo relacionando com aspectos da Teoria da Aprendizagem Significativa (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980): "*Da maneira como está exposto na Unidade Didática, tudo indica que sim, uma vez que considera aspectos da Teoria de Aprendizagem Significativa em seu processo, como os conhecimentos*

prévios, a diferenciação progressiva, a negociação de significados e o uso dos mapas conceituais que são considerados facilitadores da aprendizagem significativa. Além disso, tudo indica que o material foi planejado para ser potencialmente significativo, o que também é relevante para que a aprendizagem ocorra de maneira significativa.” (P2).

Ressaltamos também a resposta de P1, na qual afirmou que “*Sim, há tempo mais do que suficiente para compreender o assunto.*”. Apesar de afirmar que o tempo total da Unidade Didática está adequado, podemos afirmar, juntamente com sua resposta à Questão 4, que para ele o tempo previsto poderia ser menor caso não haja um enfoque na matematização. Essas respostas reificam a concepção de que quando o professor não tem uma formação com relação ao ensino (este professor possui formação na área de Física da Matéria Condensada), dificilmente ele fará uma formação de professores de maneira adequada.

No que diz respeito à “**Adequação das atividades e avaliações**” (UCUD6), investigado pela Questão 6, os resultados obtidos foram sistematizados no Quadro 27.

Quadro 27 – Unitarização dos dados referentes à UCUD6

Unidade Temática de Contexto para avaliação da Unidade Didática 6 (UCUD6) “Adequação das atividades e avaliações”		
URUD6.1	“Atividades e avaliações adequadas, na perspectiva da Aprendizagem Significativa”	1 registro
		<p>“As atividades parecem ser adequadas. Leituras e discussão de textos, construção de mapas conceituais, elaboração e apresentação de seminários são atividades corriqueiras dentro de uma licenciatura. Uma sugestão é deixar mais claro quais atividades serão realizadas em classe e quais serão extraclases (a maioria está explícita, mas algumas geram dúvidas para quem lê a unidade didática).</p> <p>A avaliação, como foi sucintamente descrita, parece ser processual e formativa, ao longo de todas as atividades realizadas, sendo assim compatível com um processo de aprendizagem significativa. Por outro lado, mesmo em uma licenciatura, as concepções de avaliação dos alunos (e também de muitos professores), costuma ser mais restrita e pontual. Esse é um tema que merece destaque em qualquer unidade didática, pois podemos contribuir com uma ressignificação da avaliação dentro de uma</p>

		perspectiva de aprendizagem significativa por parte dos alunos que vivenciam esse tipo de abordagem.” (P5)
URUD6.2	“Atividades e avaliações adequadas”	<p>4 registros</p> <p>“Sim, as atividades são pertinentes aos alunos da licenciatura.” (P1)</p> <p>“Sim, embora não ficou muito explícito quais atividades seriam em sala de aula e quais seriam extraclases (acredito que seja a preparação dos seminários e dos planos de ensino). É interessante que os estudantes se familiarizem com atividades diversificadas, pois podem ser multiplicadores dessas ações em suas futuras práticas docentes.” (P2)</p> <p>“As elaborações dos mapas-conceituais, apresentações, leitura e interpretação da composição histórico conceitual, as miniaulas, elaboração de planos de ensino para o Ensino Médio, todas são atividades apropriadas à formação dos futuros professores de física, pois além de ajudarem na compreensão e aprendizagem da física pelos acadêmicos, os ajudará no contexto das salas de aulas. Outro aspecto interessante da unidade é o momento de preparação metodológica que eu acho de suma importância para formação de professores, pois é um elemento que vai além da dimensão conceitual e chega à dimensão procedimental, ou seja, ao como fazer.” (P3)</p> <p>“As atividades são específicas e são adequadas. Mas por serem introdutórias, as respostas podem surpreender o docente.” (P4)</p>
URUD6.3	“Atividade e avaliações inadequadas”	Nenhum registro

Fonte: a própria autora

De acordo com P5, as atividades e avaliações utilizadas na Unidade Didática se mostram adequadas com a proposta, mediante a perspectiva da Aprendizagem Significativa (URUD6.1): “[...] A avaliação, como foi sucintamente descrita, parece ser processual e formativa, ao longo de todas as atividades realizadas, sendo assim compatível com um processo de aprendizagem significativa [...]” (P5).

As respostas de P1, P2, P3 e P4 foram classificadas na URUD6.2 “**Atividades e avaliações adequadas**”. Por exemplo, P1 afirmou que “*Sim, as atividades são pertinentes aos alunos da licenciatura.*”.

As respostas de P2 e P3, ao citarem a familiarização dos estudantes com atividades diversificadas mostra adequação ao desafio de propor abordagens menos burocráticas e conservadoras, que possam se adaptar a diferentes contextos (ZABALA, 1998; AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980). De acordo com estes professores, podemos inferir, portanto, que a Unidade Didática elaborada permite aos estudantes momentos para aprimorar seus saberes da formação profissional e saberes experienciais, uma vez que este é desenvolvido com base em sua experiência (TARDIF, 2007).

Além disso, P3 afirmou que “[...]. *Outro aspecto interessante da unidade é o momento de preparação metodológica que eu acho de suma importância para formação de professores, pois é um elemento que vai além da dimensão conceitual e chega à dimensão procedimental, ou seja, ao como fazer.*” (P3). Podemos inferir que este professor destaca, na Unidade Didática, a relevância tanto de saberes disciplinares (dimensão conceitual) quanto de saberes da formação profissional e saberes experienciais (dimensão procedimental). Destacamos aqui uma ressalva citada tanto por P2 quanto por P5 de explicitar quais atividades seriam em sala de aula e quais seriam extraclases: “[...]. *Uma sugestão é deixar mais claro quais atividades serão realizadas em classe e quais serão extraclases (a maioria está explícita, mas algumas geram dúvidas para quem lê a unidade didática) [...]*” (P5). Ressaltamos que para um melhor entendimento, explicitamos tais atividades na versão final da Unidade Didática.

Quanto aos comentários (aspectos positivos e críticas) e às sugestões de possíveis alterações a respeito da Unidade Didática que foram solicitados aos docentes avaliadores na Questão 7, os resultados obtidos foram unitarizados na UCUD7 e apresentados no Quadro 28.

Quadro 28 – Unitarização dos dados referentes à UCUD7

Unidade Temática de Contexto para avaliação da Unidade Didática 7 (UCUD7) “ Aspectos positivos e críticas ”		
URUD7.1	“ Aspectos positivos ”	<p>3 registros</p> <p>“A Unidade foi bem planejada e o fato de propor uma formação docente em tópicos de Física Moderna e Contemporânea, inclusive um tópico pouco, ou nunca, explorado na formação dos professores de Física é muito bom. Além disso, outros dois aspectos positivos são a inserção de HFC e dos Mapas Conceituais, pois se caracterizam como estratégias diferenciadas para o Ensino de Física e possibilitar o contato dos futuros professores com essas estratégias é necessário para que eles saibam utilizá-las em sala de aula.</p> <p>A ideia de pedir que eles pensem em como esse conteúdo pode ser explorado no Ensino Médio é interessante, pois se fala muito dos conteúdos específicos e pouco de como ele deve ser ensinado. [...]” (P2)</p> <p>“Acredito que a unidade didática está bem elaborada, metodologicamente fundamentada, tanto o tema conceitual: plasma, quanto as atividades propostas são adequadas a licenciatura em física. [...]” (P3)</p> <p>“[...] - Provavelmente, os meus comentários foram mais sobre o conteúdo, com menos enfoque sobre ensino aprendizagem. A utilização do brainstorm é interessante.” (P4)</p>
URUD7.2	“ Críticas e sugestões ”	<p>5 registros</p> <p>“Acho que a produção de plasma por diferentes fontes de excitação deve ser melhor explorada, exemplo da excitação com partículas aceleradas num campo elétrico, a qual é a base das válvulas retificadoras que revolucionaram a eletrônica do século XX, cuja origem é o próprio tubo de Crookes...etc...” (P1)</p> <p>“[...] Quanto às sugestões, se possível deixar o texto do episódio histórico em forma de tópicos, uma vez que ele foi dividido em três partes para o estudo dos alunos. Assim, não vai parecer que o material, dividido, está incompleto.” (P2)</p> <p>“[...] Um aspecto que poderia ser acrescentado é a dimensão político e social envolvida na produção</p>

		<p>científica, talvez acrescentando notas de rodapés para mostrar aos estudantes que certos conhecimentos são postergados por interesses econômicos, como o desenvolvimento de novas tecnologias envolvendo o plasma.” (P3)</p> <p>“- Por se tratar de um conteúdo nos anos finais do curso de licenciatura, talvez os espectros termodinâmicos possam ser um pouco mais explorados.</p> <p>- Na parte das aplicações do plasma, enfatizar sobre a emissão de luz (lamp. fluorescente, tela de TV), obtenção de altas temperatura (solda e corte de metais), seriam bastantes chamativos.</p> <p>- A análise da unidade didática seria completa, se compararmos com todo o material produzido utilizado na aplicação da unidade. [...]” (P4)</p> <p>“Na parte inicial (Descrições e sugestões pedagógicas), item “Atividades”, seria interessante colocar “construção de mapas conceituais” no lugar de “etc...”, pois essa é uma atividade importante dentro da sua unidade didática (os alunos farão 4 mapas conceituais).</p> <p>Em relação à “Composição Histórico-Conceitual da Física de Plasma”, sugiro descrever com mais detalhe alguns conceitos. Apesar de ser direcionada para alunos no final de um curso de física, sempre é bom deixar os conceitos claros, sem pressupor que sejam óbvios para os alunos. Expressões como “livre caminho médio das moléculas do gás”, “cinturões de radiação no plasma confinado na magnetosfera terrestre”, “radiação de bremsstrahlung”, entre outros, são apresentados sem conceituação. Os termos “hamiltoniana” e “toroidal” ganharam notas de rodapé explicativas. Talvez seja interessante fazer isso com outros termos também. Seria legal também ter mais imagens no texto que auxiliem o leitor a compreender os experimentos descritos, por exemplo: “...determinação de características de corrente e tensão obtidas por um pequeno eletrodo auxiliar, ou coletor (sonda), localizado no caminho da descarga...” fica difícil imaginar isso sem uma figura...” (P5)</p>
--	--	---

Fonte: a própria autora

Com relação à Questão 7, obtivemos três registros que apresentaram aspectos positivos relacionados à Unidade Didática (URUD7.1).

Segundo P2, *“A Unidade foi bem planejada e o fato de propor uma formação docente em tópicos de Física Moderna e Contemporânea, inclusive um tópico pouco, ou nunca, explorado na formação dos professores de Física é muito bom. [...]”*. Essa resposta de P2 está de acordo com Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2012), que afirmaram que a relação entre Ciência e Tecnologia, aliada à presença da tecnologia no cotidiano das pessoas, já não pode ser ignorada no ensino de Ciências, e sua ausência é inadmissível.

Foram apresentados também aspectos positivos com relação à fundamentação metodológica e às atividades propostas, como por exemplo: *“Acredito que a unidade didática está bem elaborada, metodologicamente fundamentada, tanto o tema conceitual: plasma, quanto as atividades propostas são adequadas a licenciatura em física. [...]”* (P3). P2 também apresenta como aspectos positivos: *“[...] a inserção de HFC e dos Mapas Conceituais, pois se caracterizam como estratégias diferenciadas para o Ensino de Física e possibilitar o contato dos futuros professores com essas estratégias é necessário para que eles saibam utilizá-las em sala de aula.”*. Esses registros vão ao encontro das ideias de Zabala (1998), uma vez que este afirmou que é preciso oferecer um grau notável de participação dos estudantes, com uma grande variedade de atividades e criar um ambiente seguro e ordenado que ofereça a todos os estudantes a oportunidade de participar, em um clima com multiplicidade de interações que contemplem possibilidades de errar e realizar as modificações oportunas. Podemos observar também o valor pedagógico da contextualização histórica citada por P2, possibilitando a compreensão do processo de construção do conhecimento científico, uma vez que a dinâmica desse conhecimento envolve transformações da natureza que o impedem de ser caracterizado como pronto, verdadeiro e acabado (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2012; MATTHEWS, 1995; ROBILOTTA, 1988). Além disso, podemos inferir dedutivamente que a Unidade Didática elaborada tem o potencial de fornecer aos estudantes saberes disciplinares relacionados com a Física de Plasma para sua futura prática docente, bem como momentos para aprimorar seus saberes da formação profissional e saberes curriculares, uma vez que estes correspondem aos discursos, objetivos, conteúdos e métodos relacionados ao ensino (TARDIF, 2007).

Além disso, obtivemos cinco registros na URUD7.2 **“Críticas”**, com apresentação de críticas à Unidade Didática, com sugestões de aprimoramento com

relação ao conteúdo e também à organização da estrutura do material. Foram apresentadas sugestões de acréscimo de conteúdos tanto relativos a conceitos específicos de Física de Plasmas (P1 e P4) quanto relativos à dimensão político e social para o desenvolvimento de novas tecnologias envolvendo o plasma (P3). P1 apresenta: “*Acho que a produção de plasma por diferentes fontes de excitação deve ser melhor explorada, exemplo da excitação com partículas aceleradas num campo elétrico, a qual é a base das válvulas retificadoras que revolucionaram a eletrônica do século XX, cuja origem é o próprio tubo de Crookes...etc...*”. Os outros dois registros (P2 e P5) sugerem aperfeiçoamentos relacionados com a estrutura do material da Unidade Didática, como por exemplo P5 apresenta em sua resposta: “[...] *Em relação à ‘Composição Histórico-Conceitual da Física de Plasma’, sugiro descrever com mais detalhe alguns conceitos. Apesar de ser direcionada para alunos no final de um curso de física, sempre é bom deixar os conceitos claros, sem pressupor que sejam óbvios para os alunos. [...] Seria legal também ter mais imagens no texto que auxiliem o leitor a compreender os experimentos descritos [...]*” (P5).

Na próxima seção, apresentamos uma metanálise, momento em que buscamos relacionar os resultados obtidos por meio da aplicação da Unidade Didática com os resultados obtidos da validação realizada pelos professores do Ensino Superior.

4.3 METANÁLISE

Por meio dos registros da UC2 “**Estado de plasma**”, da UC5 “**Características de plasmas**” e dos mapas conceituais, foram identificados os conhecimentos dos estudantes participantes a respeito do estado de plasma e de suas propriedades físicas.

Como resultado inicial, nas respostas ao questionário prévio, estudantes afirmaram o desconhecimento de propriedades físicas do estado de plasma: “*Não tenho a menor ideia.*” (E8 – prévio – UR5.4).

Além disso, obtivemos apenas no questionário prévio, respostas em que metade dos estudantes apresentou o plasma apenas como um estado físico da matéria, sem especificar suas características, como, por exemplo, a resposta de E1: “*O plasma é considerado o quarto estado da matéria.*” (E1 – prévio – UR2.2). Esse

resultado vai ao encontro da pesquisa realizada por Pirovani, Erthal e Campos (2013), na qual apresentaram a falta de conhecimento do assunto por estudantes de Ensino Médio, e também da pesquisa de Kikuchi (2016), que evidenciou a falta de discussão dessa temática nas Licenciaturas em Física.

Podemos inferir que essa falta de conhecimento do assunto foi sanada por meio da Unidade Didática, uma vez que de acordo com as respostas ao questionário posterior, todos os estudantes participantes apresentaram diferentes características do estado de plasma. Como exemplo, temos a alteração que E1 apresenta em sua resposta: *“Plasma é considerado o quarto estado da matéria, e consiste na ionização de um gás a altas temperaturas. É constituído por íons, elétrons e átomos neutros.”* (E1 – posterior – UR2.1).

Já com relação à Questão 5, apesar de não haver um aumento significativo da quantidade de registros na UR5.1 **“Propriedades físicas do estado de plasma”**, observamos que nas respostas ao questionário posterior, os estudantes apresentaram uma apropriação de mais características. Como, por exemplo, as respostas de E2: *“Moléculas com alta energia cinética.”* (E2 – prévio); *“Ele é em seu estado macroscópico neutro, mas apresenta íons e elétrons livres, alta energia cinética e baixa energia de ligação, blindagem de Debye.”* (E2 – posterior).

Resultados semelhantes, com estudantes de Ensino Médio, foram encontrados por Tonelli (2014), com a aplicação de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa a respeito dos estados físicos da matéria, com foco no estudo do plasma. Em sua pesquisa, Tonelli (2014) observou uma alteração nos significados atribuídos aos conceitos envolvidos em relação aos que os estudantes apresentavam anteriormente a respeito do estado de plasma.

Além disso, esse enriquecimento demonstra indícios de alteração de subsunção por parte desses estudantes. Ou seja, podemos afirmar que ocorreu um processo de assimilação pelos estudantes, que acontece quando um novo conhecimento interage de modo não-arbitrário e não-literal com um conhecimento prévio relevante (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980).

Com relação aos mapas conceituais elaborados pelos estudantes participantes, 94,1 % deles (32 mapas conceituais) apresentou um ou mais conceitos que relacionam com as características do estado de plasma, como, por exemplo, conceitos de matéria radiante ou estado ultragasoso, gás em grandes temperaturas, entre outros. A Figura 7 é um exemplo de mapa conceitual que

apresenta conceitos relacionados com características de plasma. Este mapa conceitual (E5M3) foi considerado um mapa adequado uma vez que apresenta boas correlações conceituais a respeito do tema abordado, com indícios de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa, observadas por meio das ligações cruzadas, e utilização de palavras de ligação adequadas. Além disso, obtivemos dois mapas conceituais em que os estudantes apresentaram apenas o conceito de estado da matéria sem outras características.

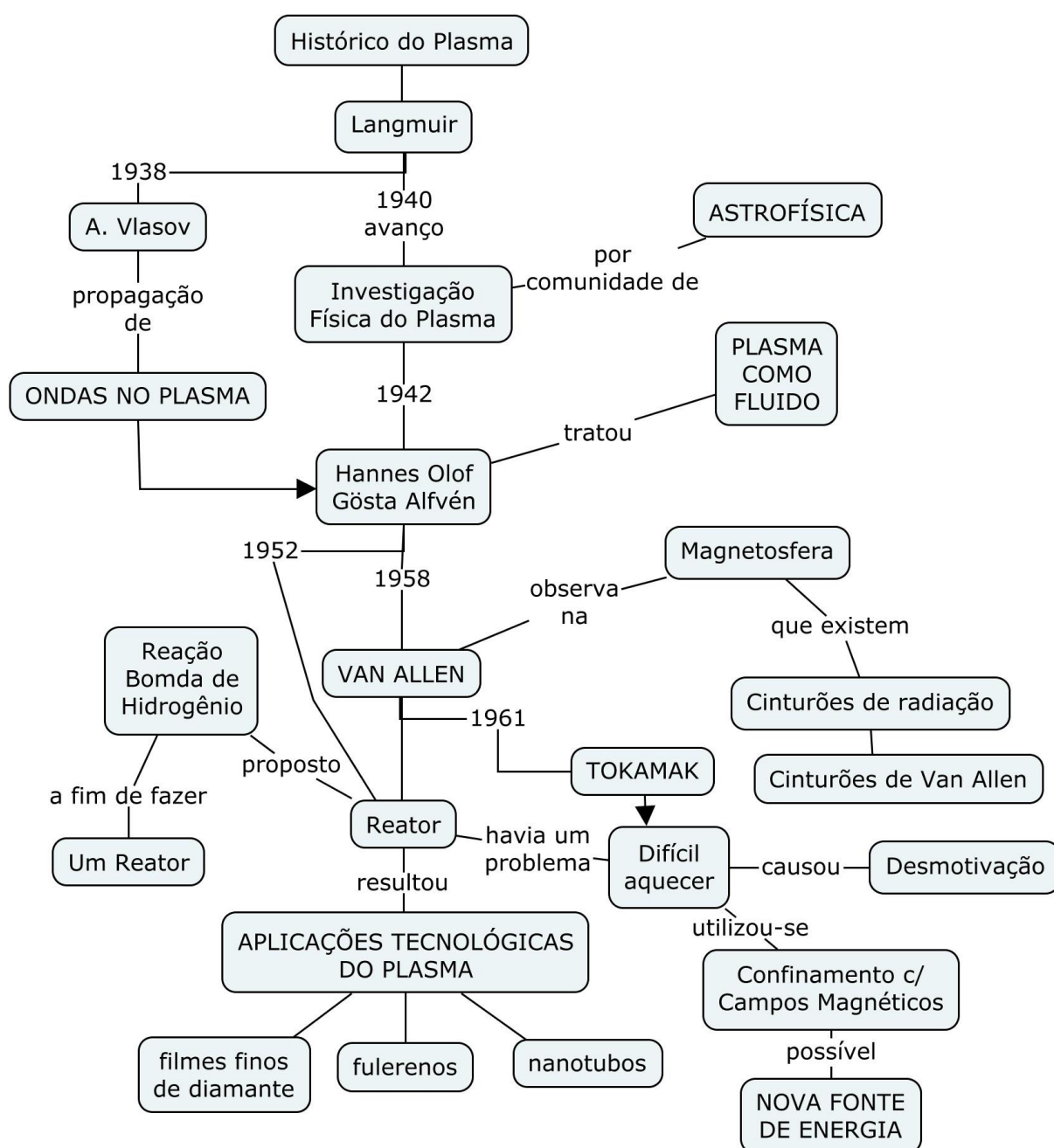
Dessa maneira, podemos inferir que a Unidade Didática possibilitou aos estudantes participantes a oportunidade possibilitar de conhecer, analisar e interpretar o estado de plasma, além de diferenciar o estado de plasma de outros estados da matéria, por meio de suas principais características.

Após a aplicação da Unidade Didática, obtivemos 100 % dos registros em que os estudantes apresentam exemplos tanto de fenômenos naturais quanto de tecnologias que estão relacionados com o plasma. Como exemplo, temos a resposta de E4: "*Cinturão de Van Allen, estrelas, vento estelar, raios, globo de plasma, lâmpada fluorescente, etc.*" (E4 – posterior – UR3.1). Esse enriquecimento, tanto na quantidade de exemplos nas respostas ao questionário posterior quanto na diversidade de exemplos, demonstra indícios de assimilação dos novos conceitos.

Nos mapas conceituais elaborados pelos estudantes participantes, observamos que 61,8 % apresentaram relações entre conceitos e fenômenos naturais e/ou aplicações tecnológicas. Apresentamos, na Figura 8, um exemplo de mapa conceitual com tais características (E6M3). Destacamos que este mapa conceitual (E6M3) foi considerado como uma construção linear (diagrama de fluxo) uma vez que apresenta poucos conceitos e fornece indícios de uma aprendizagem memorística. Além disso, este mapa apresenta nomes próprios e datas, fazendo com que os conceitos se percam em meio a uma grande quantidade de informações (MOREIRA; SOARES; PAULO, 2008).

Podemos inferir que a Unidade Didática forneceu aos estudantes momentos de aprendizagem de exemplos do estado de plasma em fenômenos naturais e tecnologias, uma vez que podemos observar indícios de Aprendizagem Significativa tanto por meio das respostas aos questionários quanto dos mapas conceituais por eles elaborados.

Figura 8 – Mapa conceitual que apresenta relações entre conceitos e fenômenos naturais e/ou aplicações tecnológicas



Fonte: E6M3

Por meio dos registros da UC4 “**Produção de plasma**” e dos mapas conceituais, foi possível identificar os conhecimentos dos estudantes participantes a respeito dos modos como o estado de plasma pode ser produzido.

Nas respostas ao questionário prévio, um estudante participante afirmou desconhecer como o plasma pode ser produzido: “*Não sei.*” (E3 – prévio – UR4.3),

enquanto cinco estudantes apresentam uma explicação parcialmente correta, como por exemplo: “*Em altas temperaturas e pressões controladas.*” (E2 – prévio – UR4.2).

Apesar de parecer que não houve grandes alterações na quantidade de registros na UR4.2 “**Explicação parcialmente correta**”, sendo cinco registros prévios e quatro registros posteriores, é interessante ressaltar que dois estudantes (E2 e E6) passaram de uma explicação parcialmente correta para uma explicação de acordo com o consenso científico atual. Além disso, o estudante E3, que afirmou desconhecimento previamente, passou a explicar de maneira parcialmente correta. Os outros estudantes (E5, E7 e E8) que continuaram com explicações parcialmente corretas, apresentaram, em suas respostas posteriores, mais conceitos de condições necessárias para a obtenção do estado de plasma, no entanto, não citam o conceito de ionização do gás, que seria a característica fundamental para descrever a produção do estado de plasma. Temos como exemplo dessa situação E5: “*Pode ser produzido por estrelas, mas artificialmente, não sei.*” (E5 – prévio) e “*Através de altos fornecimentos de energia, ou diferença de potencial no vácuo, com poucas partículas de um gás.*” (E5 – posterior).

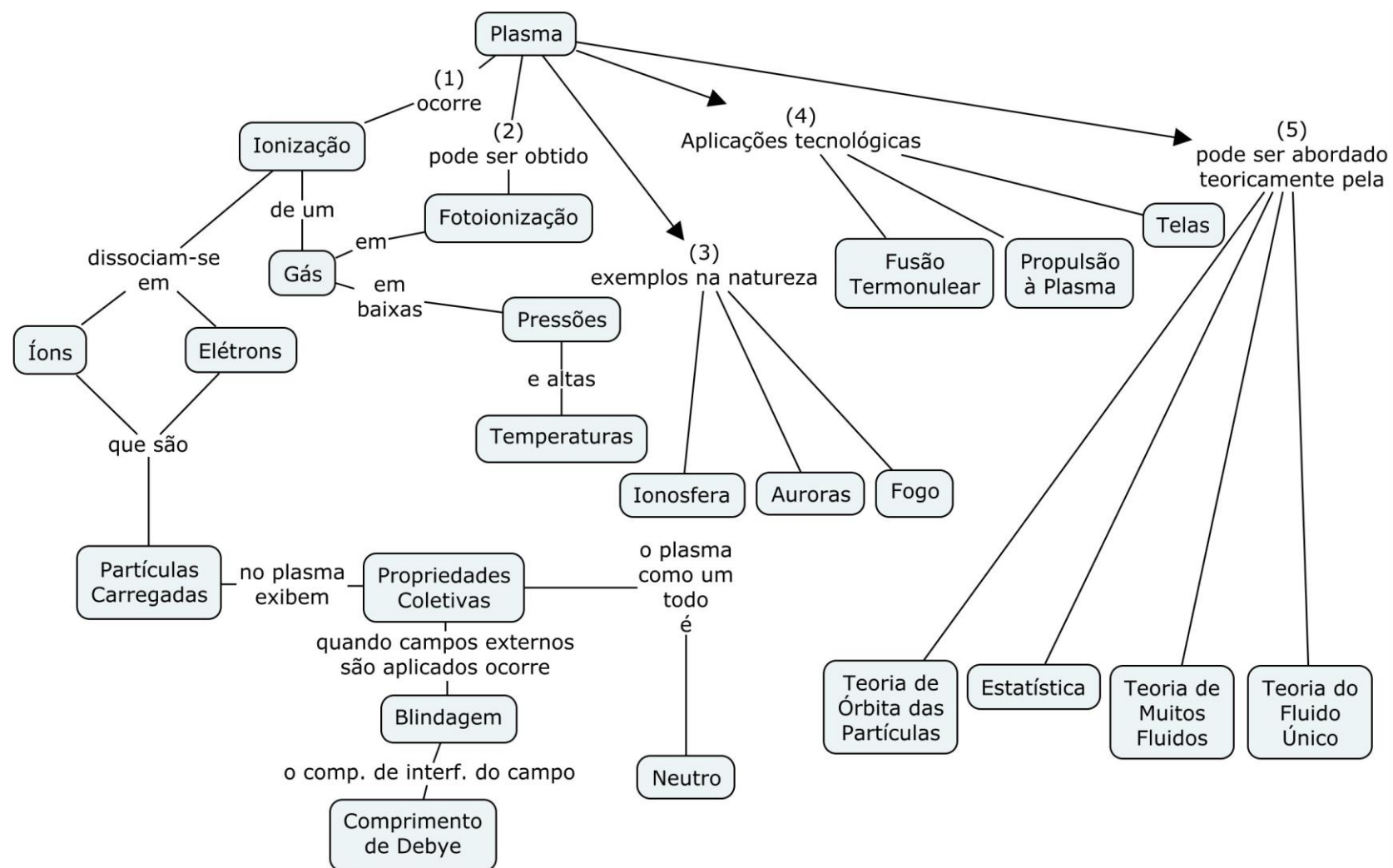
Foram obtidos dois registros prévios e quatro posteriores em que os estudantes participantes explicam pelo menos um modo de produção de plasma. Um exemplo deste caso, temos a resposta de E1: “*Se fornecermos energia para um gás, os átomos deste gás se ionizam produzindo o plasma.*” (E1 – prévio – UR4.1, grifos nossos).

Com relação aos mapas conceituais produzidos pelos estudantes, nove mapas (26,5 %) apresentam conceitos de ionização para relacionar os modos de produção de plasma. Evidenciamos que cinco destes mapas fizeram parte da última atividade da Unidade Didática (Mapa 4), cujo objetivo foi de apresentar nos mapas conceituais uma síntese geral dos conceitos de plasma. Assim, podemos inferir que estes cinco estudantes consideraram o conceito de ionização um dos conceitos relevantes para descrever e relacionar com o estado de plasma. Na Figura 9, apresentamos um exemplo de mapa conceitual que apresenta o conceito de ionização. Este mapa conceitual (E1M4) foi considerado uma construção parcialmente satisfatória uma vez que apresenta indícios de relações com diferenciação progressiva entre conceitos, no entanto, ainda faltam ligações cruzadas que possam representar reconciliações integrativas, ou seja, este mapa

conceitual pode ser considerado um híbrido com diagrama de fluxo, em que os níveis hierárquicos não estão bem delimitados.

Dessa maneira, podemos inferir, por meio dos questionários, dos mapas conceituais e dos indícios de Aprendizagem Significativa observados, que ocorreu uma alteração adequada em relação aos modos de produção de plasma a partir da aplicação da Unidade didática elaborada.

Figura 9 – Mapa conceitual que apresenta relações entre conceitos de ionização



Com relação à validação realizada pelos professores participantes, ressaltamos nas respostas de P2 e P5 suas preocupações com os saberes disciplinares dos futuros professores em relação à Física de Plasmas: “[...] *Física de Plasmas é um tópico de Física Moderna e Contemporânea e para que os professores possam trabalhar esses tópicos em sala de aula, antes é necessário que tenham formação para isso. Além disso, é um tema que possibilita a aproximação do conteúdo estudado com seu cotidiano quando são abordadas suas aplicações tecnológicas e ainda é um campo de atuação de pesquisadores em Física, o que justifica a presença desse tema na formação docente.*” (P2 – UCUD1).

Destacamos que três professores afirmaram que o conteúdo da Unidade Didática estava adequado (URUD2.1), enquanto que dois professores afirmaram em suas respostas um conteúdo parcialmente adequado, uma vez que, de acordo com P1 e P4, a composição histórico-conceitual seria insuficiente para abordar todo o conteúdo necessário.

Considerando as respostas destes professores, esclarecemos que, além da utilização da composição histórico-conceitual, a Unidade Didática tem como base outras atividades. Além do mais, a ênfase nas discussões históricas não exclui a explicação conceitual da Física de Plasmas, como parece pensar P1 e P4. Ao invés disso, uma abordagem histórico-conceitual, se elaborada de maneira adequada, permite contextualizar tais discussões conceituais, proporcionando uma melhor compreensão tanto do conteúdo em si quanto do processo de construção do conhecimento científico (ROBILOTTA, 1988; MARTINS, 1990; MATTHEWS, 1995; PEDUZZI, 2001; BATISTA, 2004).

Podemos inferir que estas respostas também foram devido a não explicitação do conteúdo programático separadamente, como foi destacado por P5: “*O conteúdo programático da unidade didática parece adequado, porém ele é apresentado de maneira muito sucinta, de forma integrada/misturada com a apresentação das atividades. [...]*” (URUD2.2). Dessa maneira, consideramos pertinente tal alteração para a versão final da Unidade Didática.

É interessante evidenciar também que tal explicitação do conteúdo programático não influenciou na aplicação da Unidade Didática realizada para os futuros professores de Física.

A respeito da organização da Unidade Didática três professores consideraram-na adequada (URUD3.3), sendo que P2 menciona explicitamente aspectos da Teoria da Aprendizagem Significativa. Tais respostas estão de acordo com o referencial teórico utilizado para a construção da Unidade Didática, como a Teoria da Aprendizagem Significativa (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980), os Momentos Pedagógicos (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2012), atividades com propostas de situações problemáticas (ZABALA, 1998), entre outros.

Classificamos uma resposta na URUD3.4 “**Organização parcialmente adequada**”, na qual o professor apenas comenta a respeito de aumentar um pouco do tempo do 2º momento. E, por fim, um professor afirmou dificuldade em avaliar tal organização: “*Como disse anteriormente não consigo enxergar a aula apenas com os tópicos da unidade didática. Eu gostaria de ver algum exemplo, como se construiria o mapa conceitual em questão... parece-me um pouco vago para saber se está adequado ou não, acho que dependeria mais dos saberes acumulados pelo professor do que propriamente pelo material apresentado...*” (P1 – URUDE3.6). Estamos de acordo com a afirmação de P1 de que o resultado final das aulas da Unidade Didática também dependerá dos saberes que cada professor possui no momento de sua aplicação. No entanto, destacamos que o objetivo da Unidade Didática não é oferecer um material único de base para o professor. É necessário que este tenha, em seu repertório de conhecimentos tanto saberes disciplinares (relacionados ao conteúdo de Física de Plasmas) como saberes da formação profissional (saberes pedagógicos). Consideramos que a formação de professores deve ser categórica na formação e na materialidade de que esses dois saberes são fundamentais e emaranhados, não podendo haver espaço privilegiado de um em detrimento de outro. Levando em consideração tal resposta de P1, ressaltamos que, para a versão final da Unidade Didática, acrescentaremos um material de apoio para os professores (slides com conteúdo das aulas, material com explicação e exemplificação de mapas conceituais, etc.).

Ao considerar o tempo das atividades da Unidade Didática, obtivemos três registros de tempo adequado (URUD4.1), um registro de tempo parcialmente adequado (URUD4.2) e um registro de tempo inadequado (URUD4.3).

P5 comenta que alguns momentos da Unidade Didática possuem compatibilidade do tempo com a complexidade das atividades e outros momentos

não: “[...] *A situação inicial e o 2º momento são os que me parecem ter o tempo compatível com o número e complexidade das atividades.*” (P5 – URUD4.2).

É relevante destacar que já está previsto na proposta da Unidade Didática que as turmas podem ser diferentes umas das outras. Nesse sentido, o professor possui a liberdade de adaptá-la dependendo de sua realidade de sala de aula. Essa preocupação foi evidenciada por P2 e P5: “*O tempo de realização das atividades é sempre uma incógnita, pois vai depender do número de alunos e do desenvolvimento deles, como indicado no início de sua unidade [...]*” (P2 – URUD4.1). De acordo com Zabala (1998), no processo de aplicação, em aula, será necessário adequar às necessidades de cada estudante as diferentes variáveis educativas: tarefas e atividades, conteúdo, tempo, etc.

O registro com a afirmação de tempo inadequado foi de P1, no qual este relata: “*Pareceu-me que 16 horas no total é muito tempo caso nenhuma matematização seja feita.*” (P1 – URUD4.3). Podemos observar na resposta de P1 uma visão de ensino tradicional conteudista, baseada na matematização dos conceitos físicos, considerando menos relevante a discussão teórico-conceitual. Podemos inferir que tal resposta de P1 se deve à uma falta de formação na área de Didática das Ciências por parte deste professor.

Ainda com relação ao tempo total planejado para a Unidade Didática, todos os professores participantes afirmaram que o tempo está adequado (URUD5.1). Apenas P5 fez algumas ressalvas, dentre elas: “[...] *Pela minha experiência, a distribuição dos encontros interfere na maneira como as atividades são distribuídas e, deste modo, apesar do tempo total parecer adequado, a distribuição dos momentos propostos em cada encontro deve ser melhor pensada...*”. Apesar de termos remodelado o tempo planejado, levando em consideração a resposta de P5 e do teste empírico, destacamos que uma formação adequada do professor de Física lhe conferirá autonomia e segurança para adequar tais procedimentos didáticos de acordo com sua realidade de sala de aula, uma vez que as sugestões acadêmicas presentes na Unidade Didática não devem ser encaradas como prescrições.

É interessante observar que P2 e P3 citaram em suas respostas a adequação do tempo relacionando com aspectos da Teoria da Aprendizagem Significativa (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980): “*Sim, o tempo proposto de aplicação da unidade parece estar adequado, a característica das atividades ajuda bastante: miniaulas, elaboração de mapas conceituais, leitura da composição*

histórico-conceitual e apresentações pelos estudantes, são atividades que tem potencial mobilizador de aprendizagens significativas.” (P3 – URUD4.1).

Com respeito às atividades e avaliações, todos os professores afirmaram estarem adequadas com a proposta da Unidade Didática. Destacamos que um professor cita a adequação das atividades de acordo com a perspectiva da Teoria da Aprendizagem Significativa: “[...] *A avaliação, como foi sucintamente descrita, parece ser processual e formativa, ao longo de todas as atividades realizadas, sendo assim compatível com um processo de aprendizagem significativa [...]*” (P5 – URUD6.1).

De acordo com as respostas de P2 e P3, podemos inferir dedutivamente que a Unidade Didática elaborada permite aos estudantes momentos para aprimorar seus saberes da formação profissional e saberes experienciais: “*É interessante que os estudantes se familiarizem com atividades diversificadas, pois podem ser multiplicadores dessas ações em suas futuras práticas docentes.*” (P2 – URUD6.2). Além do mais, segundo P3: “[...] *Outro aspecto interessante da unidade é o momento de preparação metodológica que eu acho de suma importância para formação de professores, pois é um elemento que vai além da dimensão conceitual e chega à dimensão procedimental, ou seja, ao como fazer.*” (P3 – URUD6.2). Podemos inferir que este professor destaca, na Unidade Didática, a relevância tanto de saberes disciplinares (dimensão conceitual) quanto de saberes da formação profissional e saberes experienciais (dimensão procedimental).

Destacamos aqui uma ressalva citada por P2 e P5 de explicitar as atividades que seriam em sala de aula e quais seriam extraclases: “[...] *Uma sugestão é deixar mais claro quais atividades serão realizadas em classe e quais serão extraclases (a maioria está explícita, mas algumas geram dúvidas para quem lê a unidade didática) [...]*” (P5 – URUD6.1). Ressaltamos que para um melhor entendimento, explicitamos tais atividades na versão final da Unidade Didática.

Por fim, obtivemos três registros que apresentaram aspectos positivos relacionados à Unidade Didática (URUD7.1). Foram apresentados aspectos positivos com relação à fundamentação metodológica e às atividades propostas, como por exemplo; “*Acredito que a unidade didática está bem elaborada, metodologicamente fundamentada, tanto o tema conceitual: plasma, quanto as atividades propostas são adequadas a licenciatura em física. [...]*” (P3). A professora

P2 também apresenta como aspectos positivos: “[...] a inserção de HFC e dos Mapas Conceituais, pois se caracterizam como estratégias diferenciadas para o Ensino de Física e possibilitar o contato dos futuros professores com essas estratégias é necessário para que eles saibam utilizá-las em sala de aula. [...]” Esses registros, além de estarem de acordo com as ideias de Zabala (1998) a respeito do notável grau de participação necessário para se oferecer aos estudantes, com uma variedade de atividades com multiplicidades de interações para que ocorra sua aprendizagem, podemos observar o valor pedagógico da contextualização histórica citada por P2, o que possibilita a compreensão do processo de construção do conhecimento científico (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2012; MATTHEWS, 1995; ROBILOTTA, 1988). Além disso, podemos inferir que a Unidade Didática elaborada tem o potencial de oferecer aos estudantes saberes disciplinares com relação à Física de Plasmas para sua futura prática docente, assim como momentos para aprimorar seus saberes da formação profissional e saberes curriculares, uma vez que estes correspondem aos discursos, objetivos, conteúdos e métodos relacionados ao ensino (TARDIF, 2007).

Com relação às críticas e sugestões para a Unidade Didática, destacamos a resposta de P1: “*Acho que a produção de plasma por diferentes fontes de excitação deve ser melhor explorada, exemplo da excitação com partículas aceleradas num campo elétrico, a qual é a base das válvulas retificadoras que revolucionaram a eletrônica do século XX, cuja origem é o próprio tubo de Crookes...etc...*”. Observamos por meio dos resultados obtidos na UC4 que alguns estudantes ainda após a aplicação do curso de extensão não citaram o conceito de ionização. Dessa maneira, consideramos pertinente tal sugestão de P1, e destacamos a necessidade de uma exploração e explicitação da relevância da ionização/fotoionização na produção do plasma.

Com relação aos saberes disciplinares relacionados à Física de Plasmas, por meio dos resultados obtidos da aplicação da Unidade Didática, pudemos observar indícios de Aprendizagem Significativa, uma vez que os novos conceitos adquiriram maiores significados à medida que os estudantes realizavam novas relações. Ou seja, a Unidade Didática permitiu um enriquecimento desses conceitos à medida que foram sendo diferenciados progressivamente e depois reorganizados pela reconciliação integrativa. Esse enriquecimento demonstra indícios de alteração

de subsunção dos estudantes, ou seja, podemos afirmar que ocorreu um processo de assimilação, em que o novo conhecimento adquire significado e o conhecimento prévio adquire novos significados. Além disso, de acordo com a validação realizada pelos professores participantes, a Unidade Didática permite oferecer aos estudantes saberes disciplinares relacionados à Física de Plasmas para sua futura prática docente.

Podemos afirmar também, por meio das respostas dos professores, que a Unidade Didática permite proporcionar aos estudantes momentos para aprimorar seus saberes da formação profissional, saberes experienciais e saberes curriculares, servindo, portanto, como uma maneira de preparar metodologicamente futuros professores para o ensino da Física de Plasmas para a Educação Básica.

Logo, a Unidade Didática de Física de Plasmas elaborada com base na História da Ciência e na Aprendizagem Significativa tem o potencial de proporcionar momentos de aprendizagem para a construção de saberes docentes de maneira a contribuir para o repertório de saberes de futuros professores de Física.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presença do tema Física de Plasmas é relevante nos currículos dos cursos de Licenciatura em Física, uma vez que este é um assunto de Física Moderna e Contemporânea que está presente no cotidiano dos estudantes de Ensino Médio para os quais os futuros professores lecionarão.

Por meio dos estudos teóricos realizados, pudemos observar poucas pesquisas acadêmicas a respeito da Física de Plasmas, tanto com relação à Educação Básica quanto no Ensino Superior. Esses resultados mostram a relevância da discussão da inserção desse conteúdo na formação de professores de Física, para que estes o levem às salas de aula de Ensino Médio.

Portanto, o objetivo do presente trabalho foi realizar uma investigação teórico-metodológica para elaboração e aplicação de uma proposta de Unidade Didática da Física de Plasmas com base na História da Ciência, na Teoria da Aprendizagem Significativa e nos Momentos Pedagógicos, articulada a uma investigação de construção de Saberes Docentes, de maneira a contribuir para o repertório de saberes de professores de Física.

Para testar a efetividade desta Unidade Didática, aplicamos tal proposta para estudantes de Licenciatura em Física. Além disso, a Unidade Didática também foi avaliada por professores de Física do Ensino Superior.

Para analisar a possibilidade de uma ampliação de noções dos estudantes a respeito do assunto e identificar indícios de Aprendizagem Significativa, utilizamos como instrumentos de coleta de dados questionários, prévio e posterior, e mapas conceituais elaborados pelos estudantes participantes.

Em um episódio de ensino, é preciso oportunizar aos estudantes uma diversidade de experiências que os permitam ressignificar os conceitos no processo de aprendizagem. Mesmo proporcionando diversas experiências de aprendizagem, a aprendizagem memorística é predominante. Percebemos isto pela dificuldade de elaboração dos mapas conceituais.

De acordo com os resultados da aplicação da Unidade Didática, podemos afirmar que a ela possibilitou aos estudantes participantes momentos para uma Aprendizagem Significativa das principais características do estado de plasma, dos modos de produção de plasma, bem como de exemplos de fenômenos naturais e tecnologias relacionados ao estado de plasma. Além disso, de acordo com as

análises realizadas, foi possível inferir que a Unidade Didática baseada na História da Ciência permitiu discussões que ampliaram algumas visões de Natureza da Ciência como, por exemplo, a noção de Ciência como uma produção humana e coletiva.

Além disso, foi possível observar indícios de Aprendizagem Significativa, uma vez que novos conceitos adquiriram maiores significados à medida que os estudantes realizavam novas relações. Podemos afirmar, então, que a Unidade Didática permitiu um enriquecimento dos conceitos quando os estudantes realizavam a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa, demonstrando indícios de assimilação dos novos conceitos. Além do mais, segundo a validação realizada pelos professores, a Unidade Didática permite oferecer aos estudantes saberes disciplinares relacionados à Física de Plasmas para sua futura prática docente.

É possível afirmar também, por meio das respostas dos professores participantes, que a Unidade Didática proporciona aos estudantes momentos para aprimorar seus saberes da formação profissional, saberes experienciais e saberes curriculares, de modo que sirva como uma maneira de preparar metodologicamente futuros professores para o ensino de Física de Plasmas para a Educação Básica.

Podemos afirmar que a Unidade Didática se mostrou uma proposta efetiva para trabalhar o conteúdo de Física de Plasmas nos cursos de Licenciatura em Física, levando em consideração algumas ressalvas citadas pelos docentes avaliadores, as quais serão consideradas para uma versão final da Unidade Didática.

Dessa maneira, é possível inferir que a Unidade Didática de Física de Plasmas elaborada tem o potencial de fornecer momentos de Aprendizagem Significativa para a construção de saberes docentes de modo a contribuir para o repertório de saberes de futuros professores de Física. Isso se deve a uma articulação dos referenciais tanto teóricos da área de Ensino de Física quanto da Didática, de uma teoria de aprendizagem, neste caso a Teoria da Aprendizagem Significativa, e de pesquisas relacionadas aos Saberes Docentes, levando em consideração aspectos históricos e epistemológicos. Destacamos a relevância tanto dos saberes disciplinares quanto dos saberes relacionados à formação em ensino (saberes da formação profissional, saberes experienciais e saberes curriculares) como premissas para a formação do professor de Física.

Logo, esta pesquisa vem a contribuir nessa perspectiva de Formação de Professores de Física, uma vez que a discussão metodológica da Unidade Didática realizada demonstra que com os devidos cuidados teóricos, metodológicos, epistemológicos e testes didáticos, é plenamente cabível a inserção tanto na formação inicial de professores quanto na formação em serviço para uma efetiva inserção desse tema de Física de Plasmas no Ensino Médio, que continua ainda muito defasado em termos de conteúdos contemporâneos da Física.

Além disso, este trabalho abre caminho para outras possibilidades de propostas de pesquisas de cunho teórico e metodológico para a área de Ensino de Física, em especial, para o ensino da Física de Plasma e outros conteúdos de Física Moderna e Contemporânea.

Finalizamos nossas considerações com a sensação de ter realizado uma pesquisa que vai ao encontro da preocupação que compartilhamos com outros pesquisadores no sentido de que para que assuntos de Física Moderna e Contemporânea sejam abordados em sala de aula de maneira contextualizada, é imprescindível uma formação adequada de professores.

REFERÊNCIAS

- AIRES, Regina Wundrack do Amaral; MOREIRA, Fernanda Kempner; FREIRE, Patricia de Sá. Indústria 4.0: desafios e tendências para a gestão do conhecimento. In: SUCEG - Seminário de Universidade Corporativa e Escolas de Governo, [s.l.], v. 1, n. 1, p. 224-247, dez. 2017. Disponível em: <<http://anais.suceg.ufsc.br/index.php/suceg/article/view/49>>. Acesso em: 22 out. 2019.
- ARAMAN, Eliane Maria de Oliveira. **Uma proposta para o uso da História da Ciência para a aprendizagem de conceitos físicos nas séries iniciais do Ensino Fundamental**. 2006. Dissertação (Mestrado em Ensino e Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2006.
- ARAMAN, Eliane Maria de Oliveira. **Contribuições da história da matemática para a construção dos saberes do professor de matemática**. 2011. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, 2011.
- ARRIASSECQ, Irene; GRECA, Ileana M. Introducción de la teoría de la Relatividad Especial em el nivel medio / polimodal de enseñanza: identificación de teoremas-em-acto y determinación de objetivos-obstáculo. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 11, p. 189-218, 2006.
- AUSUBEL, David P.; NOVAK, Joseph D.; HANESIAN, Helen. **Psicologia Educacional**. Trad. Eva Nick, Heliana de Barros Conde Rodrigues, Luciana Peotta, Maria Ângela Fontes, Maria da Glória Rocha Maron. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.
- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Trad. Luís Antero Reto e Augusto Pinheiro. São Paulo: Edições 70, 2011.
- BATISTA, Irinéa de Lourdes. O Ensino de Teorias Físicas mediante uma estrutura Histórico-Filosófica. **Ciência & Educação**, v. 10, n. 3, p. 461-476, 2004.
- _____. Reconstruções histórico-filosóficas e a pesquisa interdisciplinar em educação científica e matemática. In: BATISTA, Irinéa de Lourdes; SALVI, Rosana Figueiredo (Org.). **Pós-graduação em ensino de ciências e educação matemática: um perfil de pesquisas**. Londrina: EDUEL, 2009. p. 35-50.
- BATISTA, Irinéa de Lourdes. Uma adoção da História e Filosofia da Ciência no desenvolvimento dos Saberes Docentes Interdisciplinares. In: BATISTA, Irinéa de Lourdes (Org.). **Conhecimentos e Saberes na Educação em Ciências e Matemática**. Londrina: EDUEL, 2016. p. 157-167.
- BATISTA, Irinéa de Lourdes; ARAMAN, Eliane Maria de Oliveira. Uma abordagem histórico-pedagógica para o ensino de Ciências nas séries iniciais do Ensino Fundamental. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 8, n. 2, p. 466-489, 2009.

BERNARDELLI, Marlice Spagolla. **A interdisciplinaridade educativa na contextualização do conceito de transformação química em um curso de ciências biológicas**. 2014. 218 fls. Tese (Doutorado em Ensino de Química) – Centro de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2014.

BOGDAN, Robert; BIKLEN, Sari. **Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos**. Portugal: Porto, 1994.

BRASIL, Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: ensino médio**. Brasília: MEC, 1999.

BRASIL. **Parecer CNE/CNS nº 1.304/2001**, aprovado em 6 de novembro de 2001. Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Física. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES1304.pdf>>. Acesso em: 16 ago. 2019.

BRASIL, Ministério da Educação e Cultura – Secretaria de Educação Básica, **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCN+)**, 2002.

BRASIL, Ministério da Educação e Cultura – Secretaria de Educação Básica, **Diretrizes Curriculares Nacionais Gerais da Educação Básica**, 2013.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**, Brasília, DF: MEC, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_-versaofinal_site.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2019.

CARVALHO, Sílvia Helena Mariano de; ZANETIC, João. Ciência e arte, razão e imaginação: complementos necessários à compreensão da física moderna. In: XI ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 2004, Jaboticatubas. **Anais...** São Paulo: SBF, 2004.

CAVALVANTE, Marisa Almeida; TAVOLARO, Cristiane R. C. Uma oficina de Física Moderna que vise a sua inserção no Ensino Médio. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.18, n.3, p.372-389, dez. 2001.

CHEN, Francis F. **Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion**. Plenum Press, 1974.

CHICÓRA, Tatiele; CAMARGO, Sérgio; TOPPEL, Andressa. História e Filosofia da Ciência no Ensino de Física Moderna. In: XII Congresso Nacional de Educação, 2015, Curitiba – Paraná. **Anais...** PUCPR, 2015.

CORRALLO, Marcio Vinicius. Uma experiência de inserção de FMC no Ensino Médio. In: XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2009, Vitória – Espírito Santo. **Anais...** SBF, 2009.

COUTINHO, Clara Pereira; BOTTENTIUT JUNIOR, João Batista. Utilização da técnica do Brainstorming na introdução de um modelo de E/B-Learning numa escola Profissional Portuguesa: a perspectiva de professores e alunos. In: Encontro Internacional Discurso Metodologia e Tecnologia, 2007, Miranda do Douro, Portugal.

Atas... Miranda do Douro: Centro de Estudos António Maria Mourinho, 2007. p. 102-118.

DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José André. **Metodologia do Ensino de Ciências**. 1990.

DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José André; PERNAMBUCO, Marta Maria. **Ensino de Ciências: fundamentos e métodos**. 4. ed. São Paulo: Cortez, 2012.

DOMINGUINI, Lucas. Física moderna no Ensino Médio: com a palavra os autores dos livros didáticos do PNLEM. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 2, 2502, 2012.

ERTHAL, João Paulo Casaro; PIROVANI, Filipe Eduardo da Silva; CAMPOS, Ramón Giostri. Globo de Plasma: uma montagem simples com amplo potencial para discussões em sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [s. l.], v. 31, n. 3, p. 666-676, dez. 2014.

FERREIRA, Alexandre Mattos Pires; FERREIRA, Maria Elisa de Mattos Pires. A História da Ciência na formação de professores. **História da Ciência e Ensino**, v.2, 2010, p.1-13.

FERREIRA, Érika Gomes Betetti; DAMASIO, Felipe; RODRIGUES, Adriano Antunes. Física Moderna e Contemporânea no Ensino Fundamental articulada com conceitos de Física Clássica por meio de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS). **Aprendizagem Significativa em Revista / Meaningful Learning Review**, v4, n.1, p.29-40, 2014.

FIGUEIRA, Rafael. **Abordagem Temática e a Introdução de Conteúdos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: uma primeira aproximação**. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e Matemática) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014.

FISCHLER, Helmut; LICHTFELDT, Michael. Modern physics and students' conceptions. **International Journal of Science Education**, v.14, n.2, p.181-190, 1992.

FÜHR, Regina Candida. Educação 4.0 e seus impactos no século XXI. *In*: Congresso Nacional de Educação, 5., Olinda. **Anais [...]**. Olinda, PE, 2018.

GARCÍA, Carlos Marcelo. **Formação de Professores: Para uma mudança educativa**. Barcelona: Porto Editora, 1999.

GAUTHIER, Clermont; MARTINEAU, Stéphane; DESBIENS, Jean-François; MALO, Annie; SIMARD, Denis. **Por uma teoria da Pedagogia: Pesquisas Contemporâneas sobre o Saber Docente**. Ijuí: Ed. UNIJUÍ, 1998.

GEKELMAN, Walter; et al. Ion acoustic wave experiments in a high school plasma physics laboratory. **American Journal of Physics**, [s. l.], v. 75, p. 103-110, 2007.

GEKELMAN, Walter; PRIBYL, Patrick; BIRGE-LEE, Henry; WISE, Joe; KATZ, Cami; WOLMAN, Ben; BAKER, Bob; MARMIE, Ken; PATANKAR, Vedang; BRIDGES,

Gabriel; BUCKLEY-BONANNO, Samuel; BUCKLEY, Susan; GE, Andrew; THOMAS, Sam. Drift waves and chaos in a LAPTAG plasma physics experiment. **American Journal of Physics**, [s. l.], v. 84, n. 2, 2016.

GIL PEREZ, D.; SENENT, F.; SOLBES, J. Analisis critico de la introduccion de la Fisica Moderna en la enseñanza media. **Enseñanza de las Ciencias**, numero extra, 1985, p. 73.

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

GIMENO SACRISTÁN, José. **O currículo**: uma reflexão sobre a prática. Trad. Ernani F. da Fonseca Rosa. Porto Alegre: Artmed, 2000.

GRECA, Ileana Maria; MOREIRA, Marco Antonio. Uma revisão da literatura sobre estudos relativos ao ensino da Mecânica Quântica introdutória. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.6, n.1, p.29-56, 2001.

HEERDT, Bettina. **Saberes docentes**: Gênero, Natureza da Ciência e Educação Científica. 2014. 239 f. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.

HERNÁNDEZ, Fidel Benjamin Alarcón; ALBERÚ, María Del Pilar Segarra; WEBER, Jorge Barojas. Enseñanza de plasmas físicos em El nível médio superior. **Latin-American Journal of Physics Education**, [s. l.], v. 8, n. 2, jun. 2014.

KIKUCHI, Ligia Ayumi. **O Ensino da Física do Plasma e a Formação de Professores**. 2016. 118 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

LACEY, Hugh. **Valores e atividade científica 1**. 2. ed. São Paulo: Associação Filosófica Scientiae Studia/Editora 34, 2008.

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

LIBÂNIO, José Carlos. **Didática**. 2. ed. São Paulo: Cortez, 2013.

LINCOLN, James. Plasma globe revisited. **The Physics Teacher**, [s. l.], v. 56, 2018.

LÜDKE, Menga; ANDRÉ, Marli Eliza Dalmazo Afonso de. **Pesquisa em educação**: abordagens qualitativas. São Paulo: EPU, 1986.

MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. A História da Ciência e o Ensino da Biologia. **Ciência & Ensino**, n.5, p.18-21, dez. 1998.

MARTINS, Roberto de Andrade. Sobre o papel da história da ciência no ensino. **Boletim da Sociedade Brasileira de História da Ciência**, n.9, p.3-5, 1990.

MATTHEWS, Michael R. *HISTÓRIA, FILOSOFIA E ENSINO DE CIÊNCIAS: A TENDÊNCIA ATUAL DE REAPROXIMAÇÃO*. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.12, n.3, p.164-214, dez. 1995.

MIRANDA, Elisangela Matias; FREITAS, Denise de. A compreensão dos professores sobre as interações CTS evidenciadas pelo questionário VOSTS e entrevista. **Alexandria Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 1, n. 3, p. 79-99, nov. 2008.

MIRANDA, Heitor de Sousa. **Desenvolvimento de um módulo de brainstorm baseado em mapas conceituais para uma rede social educacional web**. 2011. 110 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Sistemas de Informação) – Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas, 2011.

MONTEIRO, Maria Amélia; NARDI, Roberto; BASTOS FILHO, Jenner Barreto. A sistemática incompreensão da teoria quântica e as dificuldades dos professores na introdução da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. **Ciência & Educação**, v.15, n.3, p.557-580, 2009.

MOREIRA, Marco Antonio. **A Teoria da Aprendizagem Significativa e sua implementação em sala de aula**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2006a.

MOREIRA, Marco Antonio. **Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa**. São Paulo: Centauro, 2010.

MOREIRA, Marco Antonio. **Mapas Conceituais e Diagramas V**. Porto Alegre: 2006b. Disponível em:
<http://www.mettodo.com.br/ebooks/Mapas_Conceituais_e_Diagramas_V.pdf>. Acesso em: 29 de mar. de 2019.

MOREIRA, Marco Antonio; SOARES, Sabrina; PAULO, Iramaia Cabral de. Mapas conceituais como instrumento de avaliação em um curso introdutório de mecânica quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 1, n. 3, 2008.

NOVAK, Joseph D.; CAÑAS, Alberto J. A teoria subjacente aos mapas conceituais e como elaborá-los e usá-los. **Práxis Educativa**, v. 5, n. 1, p. 9-29, 2010.

NOVAK, J.; GOWIN, D. **Aprender a aprender**. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 1984.

OLIVEIRA, Fabio Ferreira de; VIANNA, Deise Miranda; GERBASSI, Reuber Scofano. Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.29, n.3, p.447-454, 2007.

OSTERMANN, Fernanda; FERREIRA, Letícia Mendonça; CAVALCANTI, Cláudio J. Holanda. Tópicos de Física Contemporânea no Ensino Médio: um Texto para Professores sobre Supercondutividade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 20, n. 3, 1998.

OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Marco Antonio. Física Contemporânea en la escuela secundaria: una experiencia en el aula involucrando formación de profesores. **Enseñanza de las Ciencias**. v. 18, n. 3, p. 391-404, 2000a.

OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Marco Antônio. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”. **Investigações em Ensino de Ciências**. Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 23-48, jan. 2000b.

OTERO, María Rita; FANARO, María de los Ángeles; ARLEGO, Marcelo. Investigación y desarrollo de propuestas didácticas para la enseñanza de la Física em la Escuela Secundaria: Nociones Cuánticas. **Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias**, v.4, n.1, 2009.

PEDUZZI, L. O. Q. Sobre a utilização didática da história da ciência. In: PIETROCOLA, M. (Org.). **Ensino de física**: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora. Florianópolis: Editora UFSC, 2001.

PEREIRA, A. P; OSTERMANN, F. Sobre o ensino de Física Moderna e Contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 14, n. 3, p. 393-420, 2009.

PHILLIPS, Bernard S. **Pesquisa social**: estratégias e táticas. Trad. Vanilda Paiva. Rio de Janeiro: Agir, 1974.

PINTO, A. Custódio; ZANETIC, J. É possível levar a Física Quântica para o Ensino Médio? **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.16, n.1, p.7-34, abr. 1999.

PIROVANI, Filipe Eduardo da Silva; ERTHAL, João Paulo Casaro; CAMPOS, Ramón Giostri. Investigação sobre a compreensão de estudantes do ensino médio sobre o quarto estado da matéria. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 9., Águas de Lindóia. **Anais [...]**. Águas de Lindóia, SP, 2013.

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

SANTIAGO, M. A. M.; TAVARES, M.; CAVALCANTI, G. H. Elaboração de um Curso Introdutório de Física de Plasma. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 104-107, 2001.

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.

SHULMAN, Lee S. Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. **Educational Researcher**, v. 15, n. 2, p. 4-14, 1986.

SHULMAN, Lee S. Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform. **Harvard Educational Review**, v. 57, n. 1, p. 1-22, 1987.

SHULMAN, Lee S. Conhecimento e ensino: fundamentos para a nova reforma. **Cadernos Cenpec**, v. 4, n. 2, p. 196-229, 2014.

SILVA, Ingrid Ribeiro da Rocha. **Explorando as diferentes telas de TV: uma proposta de inserção da física moderna e contemporânea no ensino médio**. 2011. 134f. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática. Belo Horizonte, 2011.

SILVA, Igo Paulino da; MEDEIROS, Amauri Fragoso de; COSTA, Ricardo Arlen Buriti da; PAULINO, Ana Roberta da Silva; SALES, Fernanda de Sousa. A abordagem das bolhas de plasma no ensino médio e a aplicação de conceitos de física básica. *In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA*, 16., Rio de Janeiro. **Anais** [...]. Rio de Janeiro, RJ, 2005.

SILVA, Sani de Carvalho; SZESZ JUNIOR, Albino. Internet das Coisas na Educação: uma visão geral. **Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista**, v.2, n. 1, 2018.

SOUZA, Sandro Fonseca de; SILVA, Cláudio Elias da. Uma Abordagem sobre Fusão Termonuclear para Ensino Médio. *In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA*, 15., Curitiba, Anais [...]. Curitiba, PR, 2003.

TARDIF, Maurice. **Saberes docentes e formação profissional**. Petrópolis: Vozes. 2007.

TAVARES, Márcio Rennan Santos; SILVA JÚNIOR, Umberto Gomes; HORA, Paulo Henrique Almeida da. Proposta Para Inserção Do Estudo Do Plasma No Ensino Médio: Ensino, Avaliação E Opinião De Alunos E Professores. *In: 3º CONGRESSO NORTE-NORDESTE de QUÍMICA*, 2009, São Luis. **Anais...** Natal: ANNQ, 2009.

TEIXEIRA, Elder Sales; GRECA, Ileana Maria; FREIRE JR., Olival. Uma revisão sistemática das pesquisas publicadas no Brasil sobre o uso didático de História e Filosofia da Ciência no Ensino de Física. *In: PEDUZZI, Luiz O. Q.; MARTINS, André Ferrer P.; FERREIRA, Juliana Mesquita Hidalgo (Org.). Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino*. Natal: EDUFRN, 2012a.

TEIXEIRA, Elder Sales; GRECA, Ileana Maria; FREIRE JR., Olival. The History and Philosophy of Science in Physics Teaching: A Research Synthesis of Didactic Interventions. **Science and Education**, v. 21, p. 771-796, 2012b.

TERRAZZAN, Eduardo Adolfo. A inserção da Física moderna e contemporânea no ensino de Física na escola de 2º grau. **Cadernos Catarinenses de Ensino de Física**, v. 9, n. 3, p. 209-214, dez. 1992.

THOMA, M. H.; KRETSCHMER, M.; ROTHERMEL, H; THOMAS, H. M.; MORFILL, G. E. The plasma crystal. **American Journal of Physics**, [s. l.], v. 73, n. 5, 2005.

TONELLI, Luís Galileu G. **Uma proposta para a introdução dos plasmas no estudo dos estados físicos da matéria no Ensino Médio**. 2014. 99f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

VALADARES, Eduardo de Campos; MOREIRA, Alysso Magalhães. Ensinando Física Moderna no Ensino Médio: Efeito Fotoelétrico, Laser e Emissão de Corpo

Negro. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 15, n. 2, p. 259-372, ago. 1998.

VENCESLAU, Gustavo Mulim. **Física de plasma no ensino médio**. 2015. 97 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília – Brasília/DF, 2015.

VICENTINI, Eduardo; SANTOS, Vagner dos; MELQUIADES, Fábio Luiz; VICENTINI, Alexandre. Instrumentação para o Ensino de Física Moderna e sua Inserção em Escolas de Ensino Médio: a Teoria do Big Bang. In: 3º Salão de Extensão e Cultura da UNICENTRO, 2010. **Anais...**

WISSEL, Stephanie A.; ZWICKER, Andrew; ROSS, Jerry; GERSHMAN, Sophia. The use of dc glow discharges as undergraduate educational tools. **American Journal of Physics**, [s. l.], v. 81, 2013.

ZABALA, Antoni. **A Prática Educativa**: como ensinar. Porto Alegre: ArtMed, 1998.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Composição Histórico-Conceitual da Física de Plasmas

Composição Histórico-Conceitual da Física de Plasmas (Parte 1)

William Crookes, químico e físico inglês, em 1879, afirmou a existência de um quarto estado da matéria, ou, como chamou na época, uma matéria radiante, baseando-se em ideias de Faraday, que desde 1816 comentava em suas palestras a respeito de propriedades gerais da matéria. Crookes fundamentou sua posição a respeito da existência de um estado além do gás, explicando o que lhe parecia ser a constituição da matéria em seus três estados: sólido, líquido e gasoso (CROOKES, 1880).

Na discussão a seguir, usaremos todas as definições utilizadas por Crookes em sua carta à Stokes intitulada “A Respeito de um Quarto Estado da Matéria” (CROOKES, 1880).

Os sólidos são compostos de moléculas regidas por determinadas forças. A aderência é a força que mantém as moléculas, em sólidos, em torno de seus centros de oscilação e a coesão é a força contrabalanceada pelos movimentos das moléculas individuais. Nos corpos sólidos a coesão varia de acordo com a constituição química; portanto, cada tipo de matéria sólida requer uma temperatura diferente para que as moléculas percam sua posição fixa uma em relação às outras. Ao aquecermos suficientemente um sólido, suas moléculas adquirem energia térmica necessária para superar a força de coesão. Assim, o sólido pode se transformar em um líquido.

Em líquidos, a força de coesão é muito mais reduzida, e a fixidez da posição de oscilação das moléculas é destruída. O estado líquido, portanto, é devido a movimentos intermoleculares de um caráter mais amplo e mais turbulento do que no estado sólido. Quando líquidos são aquecidos, os movimentos intermoleculares aumentam à medida que a temperatura aumenta, até que a coesão é quebrada. Ocorre, então, a transição do estado líquido para o gasoso.

Em gases, as moléculas se movimentam em todas as direções possíveis, com colisões constantes. Livres para se moverem, elas exercem pressão em todas as direções. O estado gasoso permanece à medida que as colisões continuam. Um determinado espaço contém milhões de moléculas em movimento rápido em todas as direções, cada molécula com milhões de colisões em um segundo. Em tal caso, o

comprimento do caminho livre médio⁹ das moléculas é muito pequeno comparado com as dimensões do recipiente que as contém.

Então, o que Crookes se perguntou, na época, foi: o que são essas moléculas solitárias? Uma única molécula solitária no espaço é sólida, líquida ou gasosa? Ele afirma que sólida ela não pode ser, porque a ideia de solidez envolve determinadas propriedades que não estão presentes na molécula isolada. De fato, uma molécula isolada seria uma entidade incompreensível. Mas se a molécula individual não é sólida, ela também não pode ser considerada líquida ou gasosa. As moléculas individuais, portanto, deveriam ser classificadas em um estado ou categoria distinta. Dessa maneira, em 1880, Crookes identificou a matéria no quarto estado como o resultado final da expansão gasosa. Por grande rarefação, aumenta-se o caminho livre médio das moléculas, de modo que podem ser desconsideradas as colisões entre elas. Dessa maneira, as propriedades que constituem o estado gasoso são reduzidas a um mínimo, e a matéria se torna elevada até um estado ultragasoso.

No entanto, Crookes ainda afirmou que essa mesma condição pode ser produzida se fosse possível tomar uma porção de gás, e por alguma força estranha infundir ordem na colisão aparentemente desordenada das moléculas em todas as direções, coagindo-as em um movimento retilíneo metódico. Ele tornou tal movimento visível em suas pesquisas a respeito da descarga negativa em tubos de vácuo (CROOKES, 1879). Nesse caso, Crookes (1880) afirmou que o movimento ordenado tem substituído os movimentos irregulares que constituem a essência da condição gasosa. Desse modo, ele considera que as moléculas têm assumido a condição de matéria radiante (CROOKES, 1880), hoje conhecida como estado de plasma.

⁹ Considerando o deslocamento de uma determinada molécula se movendo dentro de uma nuvem de moléculas de um gás, o segmento de caminho da molécula entre duas colisões sucessivas denomina-se "caminho livre". O comprimento médio desses caminhos é chamado de "caminho livre médio".

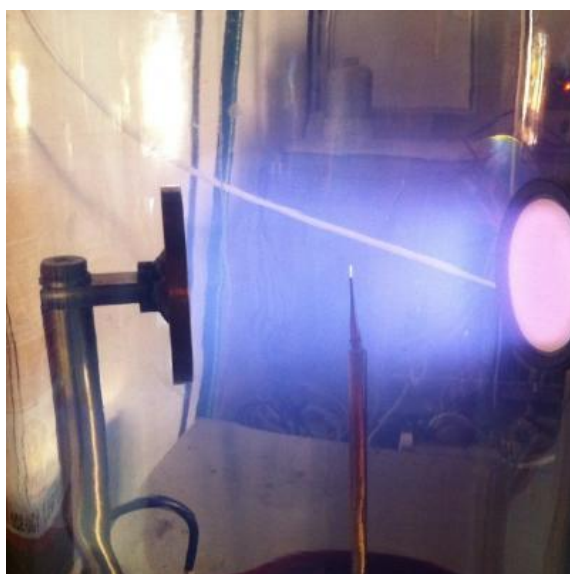
Composição Histórico-Conceitual da Física de Plasma (Parte 2)

O interesse inicial em plasmas estava em conexão com a eletrônica gasosa (descargas elétricas em gases, arcos, chamas). Em meados de 1830, Michael Faraday realizava estudos com descargas elétricas na atmosfera, para reações químicas induzidas por correntes elétricas. Durante suas pesquisas, Faraday observou estruturas gasosas luminosas que indicavam um novo estado da matéria.

Em 1900, o aperfeiçoamento das técnicas de vácuo possibilitou estudos de descargas elétricas em ambiente controlado. Dessa maneira, estudos em tubos de descarga com gases à baixa pressão puderam ser conduzidos por Langmuir e Crookes, em 1903, permitindo a elaboração dos primeiros modelos teóricos para ionização, recombinação, difusão, colisões elétron-íon e a formação de íons negativos.

Por volta de 1926, Irving Langmuir e Harold M. Mott-Smith Jr. estudavam descargas elétricas em gases a baixas pressões. Nesse estudo, eles utilizaram um método já anteriormente usado, por eles mesmos e outros pesquisadores, que consiste na determinação das características de corrente e tensão obtidas por um pequeno eletrodo auxiliar, ou coletor (sonda), localizado no caminho da descarga, e realizaram a interpretação dessas características (MOTT-SMITH; LANGMUIR, 1926).

Figura 1 – Descarga de plasma de Argônio.



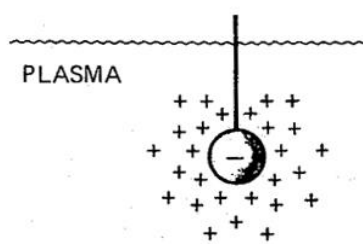
Fonte: <https://www.uco.es/organiza/departamentos/fisica/es/investigacion/contacto-plasma-superficie-tep-230>

O problema de Mott-Smith e Langmuir consistia em calcular a contribuição da corrente para o eletrodo por cada tipo de íon e pelos elétrons, como uma função do potencial aplicado, em termos das funções de distribuição de velocidades.

Quando um eletrodo imerso em um gás ionizado está a um potencial apropriado, ele se torna rodeado por uma região de carga espacial simétrica, chamada de “bainha”, de íons positivos ou de íons negativos (ou elétrons).

Se o potencial da sonda for negativo, com respeito à região próxima a ele, a sonda repele os íons negativos e os elétrons, mas atrai os íons positivos, e desse modo se torna rodeado por uma “bainha” positiva ou região de carga espacial positiva. Assim, apenas a densidade de corrente de íons positivos será coletada.

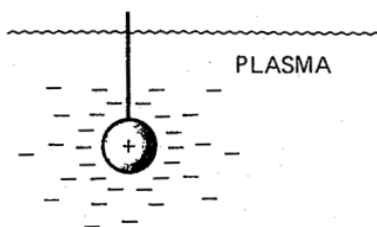
Figura 2 – “Bainha” positiva.



Fonte: Adaptado de Chen (1974)

Se a sonda estiver em um potencial positivo em relação ao gás ionizado, será formada uma bainha de íons negativos e elétrons se moveriam em direção à sonda. Desse modo, os íons positivos se repeliriam e os elétrons seriam atraídos, de maneira que seria, então, coletada a densidade de corrente eletrônica.

Figura 3 – “Bainha” negativa.



Fonte: Adaptado de Chen (1974)

Quando a sonda estivesse no potencial do plasma, o plasma não perceberia nenhuma diferença de potencial em relação à sonda, portanto, como nem elétrons e

nem íons seriam repelidos ou atraídos, então, não seria formada uma bainha na sonda. Por conseguinte, a sonda recolheria tanto correntes de elétrons aleatórios, como correntes de íons aleatórios, porém, como elétrons têm velocidades médias maiores do que íons, a corrente de elétrons aleatórios é maior que a corrente de íons, assim, a corrente de elétrons aleatórios é dominante. Ou seja, apenas os elétrons com movimento térmico aleatório seriam coletados, uma vez que os íons aleatórios que saem da sonda não contribuem para a corrente, devido à pequena velocidade média (MOTT-SMITH; LANGMUIR, 1926).

Foi somente em 1928, após essas observações, que Langmuir introduziu a palavra plasma para designar uma região do gás ionizado nas descargas em gases que apresentava altas densidades de íons positivos e de elétrons ou íons negativos. E essas densidades eram aproximadamente da mesma ordem, de maneira que a carga espacial resultante é muito pequena (LANGMUIR, 1928). Langmuir notou que as características do gás ionizado nessas descargas eram razoavelmente uniformes em todo o seu volume e que ele se moldava à forma do tubo onde era produzido. Por isso, especula-se que Langmuir escolheu o termo plasma devido ao seu significado em grego, “modelar”.

Os primeiros estudos com sondas eletrostáticas em descargas elétricas foram realizados por Mott-Smith e Langmuir. Por meio dos seus estudos, foi possível obter informações a respeito da natureza, temperatura, velocidade e densidade espacial das partículas, e densidades de corrente aleatórias no plasma, a partir das características de corrente e tensão obtidas por coletores.

Langmuir (1925), em seus experimentos a respeito de espalhamento de elétrons em gases ionizados, detectou a presença de elétrons com energias abaixo da esperada. Para explicar esse fenômeno, ele sugeriu a existência de oscilações elétricas responsáveis por provocar esse espalhamento, causando rápidas mudanças de campo elétrico e flutuações no potencial dos eletrodos. Durante o ano de 1929, Tonks e Langmuir obtiveram evidências experimentais da existência dessas oscilações (TONKS; LANGMUIR, 1929).

Composição Histórico-Conceitual da Física de Plasma (Parte 3)

Após os estudos iniciais de Langmuir, as investigações científicas a respeito de plasmas ficaram limitadas, por algum tempo, principalmente a laboratórios industriais, por grupos envolvidos no desenvolvimento de válvulas eletrônicas e de micro-ondas. A partir do início de 1940, aproximadamente, houve um avanço na investigação da Física de Plasma na comunidade de astrofísica, porque se observou que muitos processos físicos relevantes em estrelas, galáxias e no meio interestelar envolviam processos de plasma (GALVÃO, 2006).

Em 1938, A. Vlasov (1938) tratou o problema da propagação de ondas em plasmas sob o ponto de vista da teoria cinética. No início da década de 1940, Hannes Olof Gösta Alfvén desenvolveu uma teoria para estudar determinadas ondas eletromagnéticas que se propagam em plasmas (ALFVÉN, 1942). Em seu estudo, Alfvén tratou o plasma como um fluido condutor elétrico e denominou as ondas que se propagavam ao longo do campo magnético do plasma de ondas hidromagnéticas (ou ondas de Alfvén, atualmente). Na formulação hidromagnética da física de plasmas, um gás ionizado é considerado como um fluido clássico que obedece às equações convencionais da hidrodinâmica, e também como um condutor elétrico e, portanto, é preciso considerar as equações de Maxwell.

Em 1958, Van Allen observa os cinturões de radiação no plasma confinado na magnetosfera terrestre (HENRIQUE; UEDA, 2004). Os hoje chamados cinturões de Van Allen são regiões do espaço ao redor da Terra compostos de partículas carregadas eletricamente confinadas pelo campo magnético da Terra.

Outra motivação para o desenvolvimento da Física de Plasmas veio da investigação do processo de fusão termonuclear para produção de energia. Para que núcleos leves se fundam, produzindo energia a partir do processo de fusão nuclear, é necessário que colidam com energia suficiente para vencer a repulsão coulombiana, ou seja, que tenham energia suficiente para se aproximarem a uma distância da ordem do raio nuclear, apesar da repulsão eletrostática entre eles. Os estudos iniciais demonstraram que não era viável utilizar aceleradores de partículas para este fim, porque a energia gasta para acelerar os núcleos reagentes é superior à energia obtida com o processo de fusão, de maneira que não existe ganho energético no processo completo. No entanto, é possível obter ganho se o processo de fusão ocorrer em um gás altamente aquecido porque, devido à distribuição

Maxwelliana de energia entre as partículas, em uma temperatura suficientemente alta, sempre haverá partículas com energia suficiente para vencer a barreira coulombiana e se fundirem. Portanto, a temperatura do gás deve ser alta o suficiente para que a energia térmica seja da ordem da energia de repulsão coulombiana e a energia produzida pelas reações de fusão seja maior que a perda por radiação, em particular a radiação de bremsstrahlung¹⁰. Essa condição é satisfeita somente para temperaturas acima de 100×10^6 K para reações de fusão em uma mistura de deutério e trítio, que são isótopos de hidrogênio (GALVÃO, 2006). Naturalmente, a energia térmica associada a esta temperatura, da ordem de 10 keV, é muito superior à energia de ionização do hidrogênio (13,6 eV) e, portanto, nas temperaturas necessárias para reatores de fusão termonuclear o gás reagente estará totalmente ionizado, formando um plasma.

A moderna Física do Plasma teve seu início por volta dos anos de 1952, quando foi proposto que a reação de fusão na bomba de hidrogênio poderia ser controlada para fazer um reator (CHEN, 1974). Porém, havia um problema associado ao aquecimento do plasma até altas temperaturas, para a obtenção de reações de fusão nuclear dentro de uma máquina de confinamento. Esse problema desencadeou, a partir da década de 1960, motivações para uma série de trabalhos associados ao aquecimento de plasmas por meio da incidência de um campo de radiação.

A pesquisa em fusão nuclear resultou em várias aplicações tecnológicas de plasma gradualmente incorporadas em processos industriais a partir dos anos sessenta, em particular na indústria eletrônica. Além disso, a utilização de plasmas permitiu o desenvolvimento de novos materiais, como filmes finos de diamantes, fulerenos e nanotubos, materiais resistentes à corrosão e muitos outros (GALVÃO, 2006).

Paralelamente aos estudos de propagação de ondas em plasmas utilizando teorias cinéticas e de fluidos, no início dos anos 1960, a aplicação da Mecânica Quântica como instrumento para descrever plasmas macroscópicos despertou o interesse da comunidade dos físicos de plasma. Embora esse tipo de sistema seja clássico, várias equações surgem como casos limites de sistemas quânticos.

¹⁰ Raios X de freamento.

A descrição quântica explicava esse aquecimento como um processo de absorção de fótons do campo de radiação pelos elétrons durante suas colisões com os núcleos. As ondas no plasma são compostas por quase-partículas (plasmons), que interagem entre si e com as partículas do plasma.

Em 1961, surgiu o primeiro conceito bem-sucedido de confinamento magnético de plasmas (HENRIQUE; UEDA, 2004). Pouco tempo depois, a União Soviética construiu a primeira máquina capaz de confinar o plasma e obter energia oriunda de fusão nuclear, batizando esse invento de TOKAMAK (que consiste em uma câmara toroidal¹¹, na qual um plasma é aquecido e confinado por campos magnéticos), que é pesquisado até hoje e se acredita ser a nova fonte de energia desse século.

Pines e Schrieffer (1962) desenvolveram um trabalho em que obtiveram uma hamiltoniana¹² de interação para as partículas e os plasmons (os quanta das ondas de Langmuir) e para as partículas e os fônons.

A interação de um campo de radiação eletromagnética, por exemplo, laser, com plasmas foi alvo de estudos de trabalhos a partir do fim da década de 1970. O comportamento de ondas eletromagnéticas no plasma, sob a ação de uma radiação externa, foi estudado utilizando o formalismo da Mecânica Quântica para obter os estados dos elétrons que compunham o plasma (AMATO; MIRANDA, 1977; AMATO, 1986).

Estudos recentes obtiveram sucesso em aplicar o formalismo quântico ao estudo dos processos de interação radiação-plasma. Shvets, Fisch e Rax (2002) demonstraram que a interação entre radiação circularmente polarizada e partículas carregadas pode conduzir à geração de campo magnético por meio de um efeito Faraday inverso. Eles consideraram dois mecanismos de absorção de momento angular relevante para interações laser-plasma: colisões elétron-íon e ionização. A iluminação de um plasma com dois campos de laser, simultaneamente na presença de um campo magnético DC (Direct Current ou corrente contínua), pode consideravelmente mudar as propriedades de blindagem de tal plasma (MIRANDA *et al.*, 2005).

¹¹ Um toróide tem formato de um pneu de carro.

¹² Uma hamiltoniana é uma função que descreve o comportamento de um sistema que coincide com a energia total desse sistema.

REFERÊNCIAS

- ALFVÉN, H. Existence of electromagnetic-hydrodynamic waves. **Nature**, v. 150, p. 405, 1942.
- AMATO, M. A.; MIRANDA, L. C. M. Plasma wave instability in the field of an intense electromagnetic wave. **The Phys. of Fluids**, v.20, p.1031-1032, 1977.
- AMATO, M. A. Instability of plasma waves in an electromagnetic field. **IL NUOVO CIMENTO**, v.7, p.767-770, 1986.
- CHEN, Francis F. **Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion**. Plenum Press, 1974.
- CROOKES, William. On radiant matter. **Electric Spacecraft, Inc.**, 1879.
- CROOKES, W. On a Fourth State of Matter. p. 469-472, 1880.
- GALVÃO, Ricardo M. O. Introdução à Física de Plasmas e suas Aplicações Tecnológicas, 2006. Disponível em: <http://mesonpi.cat.cbpf.br/e2006/graduacao/pdf_g1/G1-EscolaCBPF.pdf>. Acesso em: 13 maio 2019.
- HENRIQUE, Talyta da Silva; UEDA, Mário. **Projeto de uma fonte DC para produção de plasma aplicado em tratamento de materiais**. São José dos Campos: INPE, 2004.
- LANGMUIR, I. Scattering of electrons in ionized gases. **Physics Review**, v. 26, p. 585-613, 1925.
- LANGMUIR, I. Oscillations in Ionized Gases. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 14, p. 627-637, 1928.
- MIRANDA, D. F. *et al.* Screening breakdown in a plasma by two laser fields and strong dc magnetic field. **Contrib. Plasma Physics**, v.45, n.1, p.22-31, 2005.
- MOTT-SMITH, H. M.; LANGMUIR, I. The theory of collectors in gaseous discharges. **Physical Review**, v.28, 1926.
- PINES, D.; SCHRIEFFER, J. R. Approach to equilibrium of electrons, plasmons and phonons in quantum and classical plasmas. **Physics Review**, v.125, p.804-812, 1962.
- SHVETS, G.; FISCH, N. J.; RAX, J. M. Magnetic field generation through momentum exchange between circularly polarized radiation and charged particles. **Physical Review E**, v.65, 2002.
- TONKS, L.; LANGMUIR, I. Oscillations in ionized gases. **Physics Review**, v. 33, p. 195-613, 1929.
- VLASOV, A. A. On vibrations properties of electron gas. **Journal of Experimental and Theoretical Physics**, v. 8, p. 291, 1938.

APÊNDICE B – Questionário para investigar conhecimentos de estudantes de
Licenciatura em Física

Nome: _____ **Data:** __/__/__

1) Na sua compreensão, o que é Ciência?

2) No contexto da disciplina de Física, o que é plasma?

3) Dê exemplos de fenômenos naturais e/ou tecnologias, relacionados ao plasma.

4) Como o plasma pode ser produzido?

5) Apresente, por gentileza, as propriedades físicas que caracterizam o plasma.

APÊNDICE C – Questionário para análise da Unidade Didática

1. O tema escolhido é pertinente para ser ensinado nos cursos de Licenciatura em Física? Por favor, explique sua resposta.

2. A Unidade Didática contém o conteúdo básico essencial para oferecer condições de aprendizagem aos estudantes? Por favor, comente sua resposta.

3. A maneira como o conteúdo está organizado e apresentado nas etapas da Unidade Didática está adequado para oferecer condições de aprendizagem aos estudantes? Sim ou não? Por favor, especifique.

4. O tempo planejado para que os estudantes de Licenciatura em Física possam realizar cada uma das atividades está adequado? Por favor, comente.

5. De acordo com sua experiência, o tempo total provável de realização da Unidade Didática sugerido para sua aplicação é apropriado para que os estudantes possam aprender o conteúdo de maneira significativa? Por favor, comente.

6. As atividades e avaliações sugeridas (em classe e extraclasse) se mostram adequadas e viáveis para serem trabalhadas nos cursos de Licenciatura em Física? Por favor, comente sua resposta.

7. Por gentileza, deixe seus comentários (aspectos positivos e críticas) a respeito da Unidade Didática elaborada para a formação de professores de Física, e sugestões de possíveis alterações.

Muito obrigada pela sua participação!

Ligia Ayumi Kikuchi

APÊNDICE D – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido para estudantes
participantes

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

“Uma Proposta de Abordagem para o Ensino da Física de Plasma na Formação de Professores”

Prezado(a) Senhor(a):

Gostaríamos de convidá-lo (a) para participar da pesquisa **“UMA PROPOSTA DE ABORDAGEM DIDÁTICA PARA O ENSINO DA FÍSICA DE PLASMA NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES”**, a ser realizada em **“Londrina - PR”**. O objetivo da pesquisa é “investigar a aplicação de uma Unidade Didática da Física de Plasma para estudantes de Licenciatura em Física”. Sua participação é muito importante e ela se daria da seguinte forma: questionário, gravação e filmagem durante a participação no curso.

Esclarecemos que sua participação é totalmente voluntária, podendo o(a) senhor(a): recusar-se a participar, ou mesmo desistir a qualquer momento, sem que isto acarrete qualquer ônus ou prejuízo à sua pessoa. Esclarecemos, também, que suas informações serão utilizadas somente para os fins desta e de futuras pesquisas e serão tratadas com o mais absoluto sigilo e confidencialidade, de modo a preservar a sua identidade (todas as gravações e filmagens ficarão arquivadas com a pesquisadora).

Esclarecemos ainda, que o(a) senhor(a) não pagará e nem será remunerado(a) por sua participação. Garantimos, no entanto, que todas as despesas decorrentes da pesquisa serão ressarcidas, quando devidas e decorrentes especificamente de sua participação.

Os benefícios esperados são contribuir com a Formação Inicial de Professores de Física, fornecendo assim, também, uma contribuição para o ensino de Física na Educação Básica.

Caso o(a) senhor(a) tenha dúvidas ou necessite de maiores esclarecimentos poderá nos contatar (**Ligia Ayumi Kikuchi, Av. Odilon Borges de Carvalho, 79, Jardim**

Shangri-lá B, CEP 86070-090, Londrina – PR, (43) 3348-3676, (43) 99814-9984, ligia.akikuchi@gmail.com).

Este termo deverá ser preenchido em duas vias de igual teor, sendo uma delas devidamente preenchida, assinada e entregue ao(à) senhor(a).

Londrina, ____ de _____ de 2019.

Pesquisadora Responsável

Ligia Ayumi Kikuchi

RG: 10.216.118-1 PR

_____ (**NOME POR EXTENSO DO SUJEITO DE PESQUISA**), tendo sido devidamente esclarecido sobre os procedimentos da pesquisa, concordo em participar **voluntariamente** da pesquisa descrita acima.

Assinatura (ou impressão dactiloscópica): _____

Data: _____

APÊNDICE E – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido para professores participantes

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

“Uma Proposta de Abordagem para o Ensino da Física de Plasma na Formação de Professores”

Prezado(a) Senhor(a):

Gostaríamos de convidá-lo (a) para participar da pesquisa **“UMA PROPOSTA DE ABORDAGEM DIDÁTICA PARA O ENSINO DA FÍSICA DE PLASMA NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES”**, a ser realizada em **“Londrina - PR”**. O objetivo da pesquisa é “investigar a aplicação de uma Unidade Didática da Física de Plasma para estudantes de Licenciatura em Física”. Sua participação é muito importante e ela se daria por meio de um questionário.

Esclarecemos que sua participação é totalmente voluntária, podendo o(a) senhor(a): recusar-se a participar, ou mesmo desistir a qualquer momento, sem que isto acarrete qualquer ônus ou prejuízo à sua pessoa. Esclarecemos, também, que suas informações serão utilizadas somente para os fins desta e de futuras pesquisas e serão tratadas com o mais absoluto sigilo e confidencialidade, de modo a preservar a sua identidade (todos os documentos ficarão arquivados com a pesquisadora).

Esclarecemos ainda, que o(a) senhor(a) não pagará e nem será remunerado(a) por sua participação. Garantimos, no entanto, que todas as despesas decorrentes da pesquisa serão ressarcidas, quando devidas e decorrentes especificamente de sua participação.

Os benefícios esperados são contribuir com a Formação Inicial de Professores de Física, fornecendo assim, também, uma contribuição para o ensino de Física na Educação Básica.

Caso o(a) senhor(a) tenha dúvidas ou necessite de maiores esclarecimentos poderá nos contatar (**Ligia Ayumi Kikuchi, Av. Odilon Borges de Carvalho, 79, Jardim Shangri-lá B, CEP 86070-090, Londrina – PR, (43) 3348-3676, (43) 99814-9984, ligia.akikuchi@gmail.com**).

Este termo deverá ser preenchido em duas vias de igual teor, sendo uma delas devidamente preenchida, assinada e entregue ao(à) senhor(a).

Londrina, ____ de _____ de 2019.

Pesquisadora Responsável

Ligia Ayumi Kikuchi

RG: 10.216.118-1 PR

_____ (**NOME POR EXTENSO DO SUJEITO DE PESQUISA**), tendo sido devidamente esclarecido sobre os procedimentos da pesquisa, concordo em participar **voluntariamente** da pesquisa descrita acima.

Assinatura (ou impressão dactiloscópica): _____

Data: _____

ANEXOS

ANEXO A – Mapas Conceituais elaborados pelos estudantes participantes

Para ter acesso aos dados deste anexo, entrar em contato com a autora da tese por meio do e-mail: ligia.akikuchi@gmail.com.