



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

LIGIA AYUMI KIKUCHI

**O ENSINO DA FÍSICA DO PLASMA E A FORMAÇÃO DE
PROFESSORES**

Londrina
2016

LIGIA AYUMI KIKUCHI

**O ENSINO DA FÍSICA DO PLASMA E A FORMAÇÃO DE
PROFESSORES**

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

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

Londrina
2016

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

Kikuchi, Ligia Ayumi.

O ensino da física do plasma e a formação de professores / Ligia Ayumi Kikuchi. - Londrina, 2016.
118 f. : il.

Orientador: Irinéa de Lourdes Batista.

Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática, 2016.

Inclui bibliografia.

1. Física de Plasma - Teses. 2. Currículo - Teses. 3. História da Ciência - Teses. 4. Unidade Temática - Teses. I. Batista, Irinéa de Lourdes. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática. III. Título.

LIGIA AYUMI KIKUCHI

**O ENSINO DA FÍSICA DO PLASMA E A FORMAÇÃO DE
PROFESSORES**

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

BANCA EXAMINADORA

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

Prof. Dr. Agustín Adúriz-Bravo
Universidad de Buenos Aires - UBA

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

Londrina, 30 de Março de 2016.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer 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 Dr^a. Irinéa de Lourdes Batista, pela confiança, dedicação e espírito crítico na orientação desta pesquisa, e também pelas contribuições em minha formação profissional e pessoal.

Aos professores da banca, Dr. Agustín Adúriz-Bravo e Dr^a. Mariana A. B. Soares de Andrade, por terem contribuído gentilmente com inúmeras sugestões para a melhoria deste trabalho.

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

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

À CAPES, pelo auxílio financeiro no desenvolvimento deste trabalho.

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

RESUMO

Esta pesquisa faz uma discussão a respeito do ensino da temática Física de Plasmas e a formação de professores. Um dos objetivos foi investigar a situação do ensino da Física do Plasma nos currículos dos cursos de Licenciatura em Física, sua ocorrência ou ausência. Para tanto, foi realizada uma Análise Documental dos Projetos Pedagógicos de Cursos de Licenciatura em Física brasileiros. Além disso, para aprofundar esta investigação, foi elaborado um questionário para professores das Licenciaturas em Física. Um segundo objetivo desta pesquisa foi elaborar uma proposta de Unidade Temática para a formação de professores a respeito da Física do Plasma, com base na Aprendizagem Significativa e na História da Ciência, para depois, discutir como professores atuantes em cursos de Licenciatura em Física avaliam tal proposta. A partir de nossos resultados, evidenciou-se uma pouca atenção dada a essa temática na formação de professores, apesar de, segundo a literatura, ser um tema relevante por estar presente no cotidiano dos alunos e também por ser um assunto de Física Moderna e Contemporânea. Com base nos resultados obtidos, a Unidade Temática elaborada mostrou ser uma boa proposta para trabalhar o conteúdo de Física de Plasma nas Licenciaturas em Física, levando em consideração algumas ressalvas citadas pelos professores avaliadores.

Palavras-chave: Física de Plasma. Currículo. Ensino de Física. História da Ciência. Unidade Temática.

KIKUCHI, Ligia Ayumi. **The Teaching of Plasma Physics and the Teachers' Education**. 2016. 118f. Dissertation (Master Degree in Teaching of Science and Mathematics Education) – State University of Londrina, Londrina, 2016.

ABSTRACT

This research presents a discussion about the teaching of Plasma Physics topic and the teachers' education. One of the objectives was to investigate the situation of Plasma Physics' teaching in the curricula of Degree Courses in Physics Teacher Education, its occurrence or absence. For this purpose, a Documental Analysis of Brazilian's Pedagogical Projects of Courses was conducted. In addition, in order to deepen our research, a questionnaire for professors of Degree Courses in Physics Teacher Education was developed. A second objective of this research was to elaborate a proposal for a Thematic Unit for teachers' education about the Plasma Physics, based on Meaningful Learning and History of Science, and then, to discuss how acting professors from Degree Courses in Physics Teacher Education evaluate this proposal. From our results, it was observed the evidence that there is little attention to this issue in teacher education, although, according to the literature, it is a relevant topic because it is present in students' daily life, and also because it is a topic of Modern and Contemporary Physics. Based on the results, the elaborated Thematic Unit showed to be a good proposal to work about the Plasma Physics content in the Physics Teacher Education, considering some exceptions cited by the evaluator professors.

Keywords: Plasma Physics. Curriculum. Physics Teaching. History of Science. Thematic Unit.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	8
1 FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO E A FORMAÇÃO DE PROFESSORES	12
2 HISTÓRIA DA CIÊNCIA NO ENSINO DE CIÊNCIAS E NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES	18
3 FÍSICA DO PLASMA	23
3.1 PUBLICAÇÕES A RESPEITO DO ENSINO DA FÍSICA DO PLASMA	26
3.2 SÍNTESE HISTÓRICO-CONCEITUAL DA FÍSICA DO PLASMA.....	31
4 CURRÍCULO	39
5 UNIDADE TEMÁTICA	43
5.1 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA	47
5.1.1 Aprendizagem Significativa e História da Ciência	48
6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	51
6.1 ANÁLISE DOCUMENTAL EM CURRÍCULOS DE LICENCIATURA EM FÍSICA.....	52
6.2 ANÁLISE DE CONTEÚDO DOS QUESTIONÁRIOS.....	53
6.2.1 Investigação de Currículos de Licenciatura em Física.....	55
6.2.2 Unidades de Contexto e de Registro.....	56
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS DADOS	63
7.1 APRESENTAÇÃO DOS DADOS E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS COM RELAÇÃO À INVESTIGAÇÃO DE CURRÍCULOS DE LICENCIATURA EM FÍSICA	63
7.2 PROPOSTA DE UNIDADE TEMÁTICA.....	75
7.2.1 Unidade Temática: Física do Plasma	75
7.2.2 Uma Análise Docente da Unidade Temática	83
CONSIDERAÇÕES FINAIS	93

REFERÊNCIAS	95
APÊNDICES	101
APÊNDICE A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e Questionário 1	102
APÊNDICE B – Anexos à Unidade Temática	105
APÊNDICE C – Questionário 2	118

INTRODUÇÃO

Em nosso cotidiano, nos deparamos com aparelhos eletrônicos, dispositivos automáticos, sistemas de controle, usos do laser e telecomunicações. Nos jornais, nas rádios, na televisão e na Internet, são anunciados, diariamente, novos desenvolvimentos científicos e tecnológicos que serão incorporados ao nosso cotidiano.

Apesar de há mais de um século nossa sociedade estar repleta desses desenvolvimentos, cujos fenômenos estão relacionados com a Física Moderna e Contemporânea (FMC), o ensino de Física nas escolas ainda continua com ênfase na Física clássica (MONTEIRO; NARDI; BASTOS FILHO, 2009; OSTERMANN; FERREIRA; CAVALCANTI, 1998; OSTERMANN; MOREIRA, 2000; TERRAZAN, 1992), desmotivando a curiosidade científica dos alunos e mantendo-os afastados de ideias revolucionárias que mudaram a Física do século XX. Nesse sentido, faz-se necessária a introdução do ensino de tópicos de FMC nas aulas para o Ensino Médio.

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

A abordagem da Física Moderna e Contemporânea no Ensino de Física também é evidenciada nas Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+), uma vez que, neste documento, afirma-se que, para a formação de um cidadão, deve-se levar em consideração a sociedade em que ele está inserido.

Lederman (2007) também considera que, em uma sociedade científica e tecnologicamente avançada, o exercício da cidadania e da democracia será possível por meio da compreensão do empreendimento científico e de suas interações com a Tecnologia e a Sociedade, possibilitando que qualquer cidadão participe de discussões, debates e processos decisórios.

Em livros didáticos atuais, observa-se 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 (FIGUEIRA, 2014).

Um dos temas relacionados com a Física Moderna e Contemporânea que a professora Irinéa me apresentou durante a Iniciação Científica, foi a Física do Plasma. Logo me interessei por este tema ao perceber que, apesar de cotidianamente estar relacionado com fenômenos naturais como, por exemplo, as auroras, austral e boreal, fogo, relâmpago, a Física do Plasma não me foi ensinada nas aulas de Física, nem na Educação Básica, nem no Ensino Superior.

Além disso, o estado de plasma pode ser encontrado em tecnologias atuais como lâmpadas fluorescentes, bolas de plasma, escapamentos de foguetes, *tokamak* (engenho para obtenção de fusão termonuclear). A popularização da Física de Plasma, na sociedade, aconteceu por meio das telas de plasma em televisores.

Evidenciamos que, para que essa temática possa ser ensinada na Educação Básica, é preciso pensar na formação de professores, não somente em relação ao conteúdo de FMC. É necessária, também, a busca 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 sinta-se capaz de ensinar tópicos desse conteúdo em sala de aula.

Segundo Araman (2006), 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. Ainda de acordo com esta autora, inúmeras pesquisas abordam vantagens que a utilização da História da Ciência pode oferecer para o Ensino de Ciências, bem como seu caráter explicativo (ARAMAN, 2006).

Com base nos argumentos acima expostos, o presente trabalho discorre a respeito das seguintes questões: Os cursos de Licenciatura em Física estão formando futuros professores para o ensino da Física do Plasma? Se sim, de que modo? Se não, quais os motivos?

Dessa maneira, um dos objetivos do presente trabalho foi investigar a situação de ocorrência ou ausência do ensino da Física do Plasma nos currículos dos cursos de Licenciatura em Física.

Um segundo objetivo desta pesquisa foi elaborar uma proposta de Unidade Temática para cursos de Licenciatura em Física a respeito da Física do Plasma, com

base na Aprendizagem Significativa e na História da Ciência, para depois, discutir como professores de tais cursos avaliam tal proposta.

Para alcançar tais objetivos, elencamos como objetivos específicos: pesquisar a Física do Plasma em currículos de Licenciatura nas Instituições que tenham Programas *stricto sensu* em Física e/ou em Ensino de Física, em que as avaliações da CAPES sejam no mínimo nota 5; avaliar a estrutura curricular das instituições e sua relação com a temática de estudo por meio de um questionário para professores dos cursos citados; investigar o papel da participação desse assunto científico na construção do conhecimento na Física, a partir de uma fundamentação histórica.

No primeiro capítulo, é apresentada uma reflexão teórica a respeito da discussão de Física Moderna e Contemporânea na Educação Básica e sua relação com a formação de professores, com base na literatura acadêmica e também nos documentos educacionais oficiais brasileiros, bem como justificativas para trabalhar com esses assuntos.

No segundo capítulo, são discutidas contribuições da História da Ciência no Ensino de Ciências, em específico no Ensino de Física, e também suas contribuições na formação de professores. Além disso, apresentamos cuidados a serem tomados ao trabalhar com a História da Ciência.

Justificamos a escolha do tema Física do Plasma no terceiro capítulo e apresentamos uma revisão de literatura de publicações científicas a respeito de seu ensino, com o intuito de observar os resultados já existentes na área. Ainda neste capítulo, apresentamos uma síntese histórico-conceitual da Física do Plasma, elaborada para tomarmos como base na elaboração de uma proposta de Unidade Temática.

No quarto capítulo, são apresentadas discussões a respeito de currículo, tanto da Educação Básica, quanto dos cursos de Licenciatura em Física, uma vez que um dos nossos objetivos é pesquisar a Física do Plasma em currículos de cursos brasileiros de Licenciatura em Física.

Em seguida, no quinto capítulo, apresentamos a fundamentação utilizada para a elaboração da Unidade Temática, baseada nos princípios da Teoria da Aprendizagem Significativa e na História da Ciência.

No sexto capítulo, são apresentados os procedimentos metodológicos adotados nessa investigação. Trata-se de uma pesquisa qualitativa de cunho interpretativo, baseada na Análise Documental e na Análise de Conteúdo.

O sétimo capítulo é destinado à apresentação dos dados obtidos por meio das respostas de professores a um questionário e às inferências realizadas, a partir da fundamentação teórica adotada com relação aos resultados. É apresentada, também, uma proposta de Unidade Temática a respeito da Física do Plasma. Ainda nesse capítulo, são discutidas as análises realizadas por docentes de Licenciaturas em Física da Unidade Temática elaborada.

Por fim, nas considerações finais desta dissertação apresentamos nossas reflexões referentes a esta pesquisa, não considerando como um fim, mas como um começo para novas investigações.

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

Pelo menos nas últimas três décadas, na literatura da área, há várias justificativas apresentadas por pesquisadores no sentido de que a Física Moderna e Contemporânea (FMC) deva ser ensinada na Educação Básica.

Segundo pesquisas a respeito da temática como, por exemplo, de Terrazzan (1992), a influência crescente dos conteúdos de FMC 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.

Ostermann, Ferreira e Cavalcanti (1998) elencam como razões para a introdução de tópicos de Física Contemporânea na escola média: 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; atrair jovens para carreiras científicas, para serem futuros pesquisadores ou professores de Física.

Foi destacada, também, 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 Valadares e Moreira (1998),

É imprescindível que o estudante do ensino médio conheça os fundamentos da tecnologia atual, já que ela atua diretamente em sua vida e certamente definirá o seu futuro profissional. Daí a importância de se introduzir conceitos básicos de Física Moderna e, em especial, de se fazer uma ponte entre a física da sala de aula e a física do cotidiano (VALADARES; MOREIRA, 1998, p.359-360).

Segundo Carvalho e Zanetic (2004), a Física Moderna 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 visão 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).

Monteiro, Nardi e Bastos Filho (2009) mencionam ainda que a FMC pode possibilitar: 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 humanas; uma problematização a respeito dos propósitos e implicações das tecnologias elaboradas a partir da Física; entre outros benefícios.

Mesmo com um crescente número de pesquisas e iniciativas de elaboração de materiais didáticos que visa contribuir com a introdução da Física Moderna e Contemporânea na Educação Básica (ARRIASSECQ; GRECA, 2006; GRECA; MOREIRA, 2001; FISCHLER; LICHTFELDT, 1992; OSTERMANN; MOREIRA, 2000; OTERO; FANARO; ARLEGO, 2009), grande parte dos alunos de nível médio ainda tem 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 e ainda se “transmite” o conhecimento, desestimulando o questionamento.

A abordagem dessa temática no Ensino de Física também é considerada relevante nos documentos educacionais oficiais brasileiros, uma vez que eles são reflexos de pesquisas científicas da área. Por exemplo, 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).

Ainda de acordo com as PCN+, aspectos da Física Moderna serão indispensáveis para permitir aos jovens adquirir uma compreensão mais abrangente

a respeito da constituição da matéria, de maneira que tenham contato com diferentes e novos materiais, cristais líquidos e *lasers* presentes nos utensílios tecnológicos, ou com o desenvolvimento da eletrônica, dos circuitos integrados e dos microprocessadores. A compreensão dos modelos para a constituição da matéria deve incluir as interações no núcleo dos átomos e os modelos que a Ciência propõe para um mundo de partículas. Será também indispensável aprender a identificar, lidar e reconhecer as radiações e seus diferentes usos.

No mesmo sentido, 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, 2015), ainda em versão inicial preliminar, para amplo debate, também observamos a preocupação com o ensino de aspectos da Física Moderna, pois segundo tal documento,

O ensino de Ciências da Natureza tem compromisso com uma formação que prepare o sujeito para interagir e atuar em ambientes diversos, considerando uma dimensão planetária, uma formação que possa promover a compreensão sobre o conhecimento científico pertinente em diferentes tempos, espaços e sentidos; a alfabetização e o letramento científicos; a compreensão de questões culturais, sociais, éticas e ambientais, associadas ao uso dos recursos naturais e à utilização do conhecimento científico e das tecnologias (BRASIL, 2015, p.149).

Dessa maneira, a formação de um cidadão deve levar em consideração a sociedade em que ele está inserido. Essa sociedade está repleta de desenvolvimentos científicos e tecnológicos, cujos fenômenos estão relacionados com a Física Moderna e Contemporânea. Os alunos têm sua vida influenciada por esses desenvolvimentos e precisam compreender o mundo em que vivem.

Discussões de temas de Física Moderna e Contemporânea e sua relação com as tecnologias que nos rodeiam 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, 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 melhor qualidade de vida.

Além disso, o Ensino de Ciências também tem a função de transformar o cotidiano das pessoas, pois pensando em grupos que não estão inseridos nos meios tecnológicos, em pessoas que têm uma relação distante com as tecnologias, é relevante que essas pessoas as conheçam e as compreendam para que possam ser inseridas nessa realidade.

Para que temáticas de Física Moderna e Contemporânea sejam possibilitadas aos alunos da Educação Básica, é necessário que professores de Física também possuam formação de modo que possam cumprir essas necessidades, já que eles são os mediadores decisivos entre o currículo estabelecido e os alunos (GIMENO SACRISTÁN, 2000).

Oliveira, Vianna e Gerbassi (2007, p.448) ressaltam também que “a atualização do currículo não pode ser desvinculada da preocupação com a formação inicial e continuada de professores”. Segundo esses autores, 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), os professores são profissionais essenciais nos processos de mudança das sociedades. Por isso, é preciso investir na formação e no desenvolvimento profissional de professores.

Observando, então, as Diretrizes Nacionais Curriculares para os Cursos de Física (BRASIL, 2001), encontramos que o perfil esperado dos formandos em Física é de um profissional que, apoiado em conhecimentos sólidos e atualizados em Física, deve ser capaz de abordar e tratar problemas novos e tradicionais, além de estar preocupado em buscar novas maneiras do saber e do fazer científico e tecnológico.

Ainda de acordo com essas Diretrizes, a formação do Físico deve levar em conta tanto perspectivas tradicionais de atuação dessa profissão como novas demandas que vêm emergindo nas últimas décadas. Dessa maneira, deve-se propor 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 Diretrizes Nacionais Curriculares para os Cursos de Física apresentam como *competências essenciais* dos formandos em Física:

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 sócio-políticos, culturais e econômicos (BRASIL, 2001, p.4).

Além disso, uma das *habilidades gerais* que essas Diretrizes afirmam 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).

Assim, de acordo com as Diretrizes Nacionais Curriculares para os Cursos de Física, os futuros professores de Física deveriam estar preparados para o ensino da FMC na Educação Básica.

No entanto, de acordo com Monteiro, Nardi e Bastos Filho (2009), a introdução de assuntos de FMC no Nível Médio não está ocorrendo, apesar de os professores atribuírem papel relevante a essa introdução. Segundo esses autores, alguns dos impedimentos dessa introdução, citados pelos entrevistados, foram, além de 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 dos impedimentos já citados, para que essa temática possa ser ensinada na Educação Básica, é preciso, também, 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, conceituais e práticas de como introduzir na Educação Básica, tópicos de Física Moderna relacionados com o cotidiano dos alunos. 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 na Educação Básica pode ocorrer em articulação com a arte.

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

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

ii. A FMC deverá ser apresentada 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. Para o ensino de tópicos de FMC, deve-se buscar sustentação em tópicos da Física Clássica.

Assim, diante dos argumentos anteriores apresentados e considerando os argumentos da utilização da História da Ciência como um dispositivo didático útil para tornar o ensino da Ciência mais interessante e facilitar sua aprendizagem (MARTINS, 1998), assumimos aqui um ensino de FMC a partir de uma abordagem histórica. 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.

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

Neste capítulo, apresentaremos pesquisas que abordam o papel positivo que a utilização da História da Ciência pode desempenhar no Ensino de Ciências. Ela tem sido apontada como 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).

Segundo Martins (1990), o ensino de História da Ciência seria uma maneira de fornecer uma formação cultural mais ampla para estudantes de qualquer curso superior. 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, também, utilizada 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 (MARTINS, 1990).

Martins (1990) afirma, ainda, que sem a 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.

Matthews (1995) sistematiza contribuições da História da Ciência, conforme sua análise da literatura da época: 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 a ideologia cientificista; permite uma compreensão mais profícua do método científico e apresenta os padrões de mudança na metodologia vigente.

De acordo com Peduzzi (2001), pesquisas com a utilização de materiais históricos de qualidade em sala de aula poderão contribuir para propiciar 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.

Batista (2004) enfatiza o papel que a História e a Filosofia da Física podem desempenhar, como subsídio para a melhoria do ensino de Física,

[...] pela relação que esses domínios de conhecimento possuem e demonstram com as estruturas cognitivas de conhecimento e com as concepções prévias, como fonte de exemplares históricos analiticamente estudados que mostram a estrutura e a dinâmica da construção de uma teoria, como também fonte de concepções alternativas (que podem ser competidoras ou não) de explicações e conceitos (BATISTA, 2004, p.461).

Além disso, uma abordagem histórico-filosófica pode 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 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.

O desenvolvimento didático do conteúdo físico deve, então, 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. Ou seja,

[...] o processo de ensino e de aprendizagem na educação científica deve invocar o trabalho com uma abordagem pedagógica que envolva integradamente a História, a Filosofia e a Ciência (BATISTA, 2004, p.474).

Ademais, os estudos históricos podem fazer com que os professores percebam o caráter interdisciplinar da Ciência, ou seja, permitem que eles observem as relações existentes entre as diversas áreas do conhecimento científico e de como

o conhecimento científico de uma área colabora para o desenvolvimento científico de outra (BATISTA, 2009).

Ainda com relação à História da Ciência, Batista (2011) afirma que uma formação de professores que promove um entendimento de debates histórico-filosóficos e suas implicações para a cultura humana traz uma atitude de investigador para aqueles que ensinam. Os professores podem transformar sua sala de aula em um ambiente contemporâneo e explorador de novas possibilidades, de diferentes visões de ciência.

Esta autora sustenta a História e Filosofia da Ciência como um instrumento para formação de professores, com uma transformação de um senso comum (*doxa*) para uma justificação científica (*episteme*), a partir de debates a respeito de valores cognitivos da ciência. Além disso, a História e Filosofia da Ciência podem fornecer uma (re)contextualização também para uma prática profissional legitimada para a construção de uma identidade profissional dentro de uma comunidade científica (BATISTA, 2011).

Nessa mesma linha de raciocínio, segundo Ferreira e Ferreira (2010), a introdução da História da Ciência nos cursos de Licenciaturas 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.

Evidenciamos 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 entre vários autores 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 da História da Ciência.

De acordo com Martins (2005), duas possíveis abordagens da História da Ciência são a abordagem internalista e a abordagem externalista. Uma abordagem internalista (conceitual), discute fatores científicos (evidências, fatos de natureza científica) relacionados a determinado assunto ou problema. Esse tipo de

abordagem “procura responder a perguntas tais, como se determinada teoria estava bem fundamentada, considerando o contexto científico de sua época” (MARTINS, 2005, p.306). Uma abordagem externalista (não-conceitual) lida com fatores extracientíficos (influências sociais, políticas, econômicas, lutas pelo poder, propaganda, fatores psicológicos). Por exemplo, se uma teoria estava bem fundamentada para sua época e foi rejeitada, o motivo dessa rejeição diz respeito a fatores não-conceituais. Segundo Martins (2005), a distinção desses dois tipos de enfoques pode proporcionar maior clareza à análise de História da Ciência.

Portanto, 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.

Contudo, 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. Reduzir o conteúdo científico em uma cronologia: enumeração de datas, nomes de pessoas e seus feitos; ou a 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) a respeito dos cientistas. 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).

Assim, diante dos benefícios que a História da Ciência pode fornecer ao Ensino de Ciências, encontrados na literatura e, portanto, relevante também para a formação de professores, assumimos aqui um ensino de FMC a partir de uma abordagem histórica.

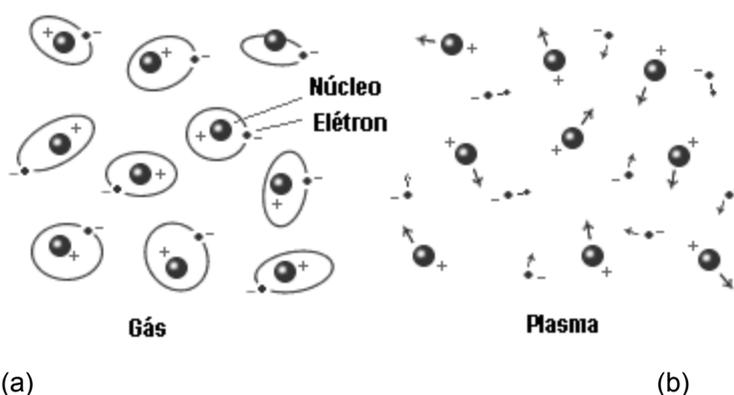
Desse modo, justificamos, no próximo capítulo, a escolha do tema Física do Plasma como um dos temas de Física Moderna e Contemporânea. Apresentamos uma revisão de literatura de publicações científicas a respeito de seu ensino, com o intuito de observar os resultados já existentes na área. Elaboramos, também, uma

síntese histórico-conceitual desse tema, em uma abordagem internalista, para tomarmos como base na elaboração de uma proposta de Unidade Temática.

3 FÍSICA DO PLASMA

O plasma, que também é chamado de “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 um número de partículas carregadas e neutras, íons, elétrons, campos elétricos e magnéticos que afetam as propriedades elétricas e o seu comportamento. Na Figura 1, é apresentada uma ilustração de partículas no estado gasoso e no estado de plasma. No estado gasoso, é perceptível a presença de átomos neutros. Já no estado de plasma, nota-se um gás de íons e elétrons livres.

Figura 1 – (a) Partículas no estado gasoso e (b) partículas no estado de plasma.



Fonte: Tavares, Silva Júnior, Hora (2009).

Apesar de o estado de plasma ser constituído por partículas carregadas eletricamente, ele conserva-se 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.

O plasma é o estado físico dominante da matéria visível das estrelas. Estima-se que cerca de 99% da matéria do universo esteja no estado de plasma, portanto, este é o estado físico mais abundante existente (CHEN, 1974).

Assim, uma justificativa epistemológica 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.

Além disso, evidenciamos 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 do Plasma possui um caráter interdisciplinar.

A Física do Plasma, além de se mostrar relevante para a educação científica por ser um assunto de FMC, também 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 Plasma, na sociedade, aconteceu por meio das telas de plasma de televisores.

Além disso, podemos justificar a relevância do conteúdo de Física do Plasma para a educação científica pela riqueza de sua “estrutura sintática” (métodos, linguagens, representações, modos de inferência, matemática associada, etc.). Podemos citar também 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 de o ensino da Física do Plasma se mostrar relevante, surpreendemos que, na Educação Básica, o tema praticamente não é discutido, ficando o ensino restrito a apenas três estados: sólido, líquido e gasoso. É ensinado aos alunos 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, por exemplo, 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, o mais interessante do ponto de vista da área educacional, da Educação Científica, é o fato do plasma ser um

fenômeno natural tão antigo, tão importante para a humanidade (fogo) e, mesmo assim, a natureza do fogo não é explicada aos alunos¹.

Pirovani, Erthal e Campos (2013), em um trabalho a respeito de noções de plasma dos alunos de Ensino Médio, obtiveram como resultado que estes desconhecem informações a respeito do tema. Esses autores afirmam que trabalhar com o tema em turmas do Ensino Médio, associando-o às tecnologias e fenômenos naturais presentes no cotidiano dos alunos, pode ser uma oportunidade para motivá-los a se interessarem pela Física e pela Ciência.

De acordo com Pirovani, Erthal e Campos (2013), o plasma pode ser relacionado a 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).

Pereira e Ostermann (2009) realizaram uma revisão da literatura relativa ao ensino de FMC e 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 temas encontrados se refere à Mecânica Quântica (26 artigos), depois Relatividade (11 artigos) e outros 13 trabalhos com temas: Radiação, Supercondutividade, Física de Partículas, Física Nuclear, Armas Nucleares, Física de Plasma, Teoria Quântica de Campos, entre outros.

¹ Não argumentaremos a respeito do fogo na síntese 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. Além disso, também não trataremos a respeito do fogo na Unidade Temática, pois o estudo a respeito do fogo é complexo por se tratar de uma manifestação do estado de plasma distinta das apresentadas neste trabalho.

A Física de Plasma é um dos temas que foi encontrado em apenas um desses trabalhos, no qual foi elaborado um curso introdutório do tema para nível universitário (SANTIAGO; TAVARES; CAVALCANTI, 2001). Evidenciamos, ainda, que nesse trabalho encontrado não está explícito se o curso elaborado foi voltado para a formação inicial de professores de Física.

Saviski (2014), em sua dissertação de mestrado, elaborou uma sequência didática, com pressupostos nas Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS), para ser aplicada em horário extracurricular e sem atribuição de notas, com a intenção de encontrar possíveis relações de uma síntese histórica da Física do Plasma com a Aprendizagem Significativa Crítica.

Na próxima seção, apresentamos uma revisão de publicações científicas em periódicos a respeito do ensino da Física do Plasma em específico.

3.1 PUBLICAÇÕES A RESPEITO DO ENSINO DA FÍSICA DO PLASMA

Com o objetivo de obter um panorama geral e atual a respeito das discussões da temática Física do Plasma em pesquisas em Ensino de Ciências, foi realizada uma revisão na literatura, porque consideramos que uma pesquisa bibliográfica possibilita que lacunas existentes na área investigada sejam evidenciadas para que se possam discutir possíveis encaminhamentos necessários para as pesquisas na área.

Foi desenvolvida uma Análise Documental, em que, de acordo com Lüdke e André (1986), os documentos não são apenas uma fonte de informação contextualizada, mas surgem em um determinado contexto e fornecem informações a respeito desse mesmo contexto. Logo, pode-se considerar documento “quaisquer materiais escritos que possam ser usados como fonte de informação sobre o comportamento humano” (PHILLIPS, 1974, p.187).

Dessa maneira, o levantamento bibliográfico foi realizado em periódicos das áreas de Ensino de Física e Ensino de Ciências, pesquisando em artigos científicos, publicados no período de 2007 a 2015, a temática “Ensino da Física do Plasma”. Foram analisados os periódicos pertencentes aos estratos A1, A2 e B1 da área de Ensino.

A pesquisa, realizada diretamente nas páginas eletrônicas dos periódicos, nos possibilitou encontrar três artigos relacionados à temática “Ensino da Física do

Plasma”, apresentados no Quadro 1. Dentre os artigos encontrados, todos estavam relacionados ao ensino da Física do Plasma no Ensino Médio.

Quadro 1 – Artigos encontrados no levantamento.

GEKELMAN, Walter; et al. Ion acoustic wave experiments in a high school plasma physics laboratory. <i>American Journal of Physics</i> , v.75, p.103, 2007.
HERNÁNDEZ, Fidel Benjamin Alarcón; ALBERÚ, María Del Pilar Segarra; WEBER, Jorge Barojas. Enseñanza de plasmas físicos en el nivel médio superior. <i>Latin-American Journal of Physics Education</i> , v.8, n.2, jun. 2014.
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. <i>Caderno Brasileiro de Ensino de Física</i> , v.31, n.3, p.666-676, dez. 2014.

Fonte: a própria autora.

Destacamos que os três artigos encontrados estão relacionados ao ensino da temática por meio de experimentações.

No artigo de Gekelman et al. (2007), os autores descrevem uma aliança entre uma Universidade e várias escolas de Ensino Médio. A aliança estava centrada em um experimento de laboratório construído por alunos e professores. O experimento a respeito da Física do Plasma envolveu conceitos e equipamentos sofisticados não disponíveis em escolas de Ensino Médio. Embora o número de alunos do Ensino Médio afetado tenha sido pequeno, o impacto foi na vida científica tanto desses alunos participantes quanto dos professores participantes. Os alunos participantes puderam interagir com cientistas e ter acesso e convivência com pesquisadores ativos. Já professores do Ensino Médio participantes obtiveram experiências para possíveis aplicações em projetos inovadores, feira de ciências e desenvolvimento de seu currículo.

No artigo de Hernández, Alberú e Weber (2014), foi apresentada uma experiência didática a respeito do tema, realizada com dois grupos diferentes de alunos de Ensino Médio do sistema da *Universidad Nacional Autónoma de México* (UNAM). A experiência consistiu na execução de uma sequência didática apresentada como um plano de classe, na qual se combinaram o trabalho em equipes, a realização de experimentos e a discussão de ideias. Tudo foi direcionado pelo esquema do modelo didático “Ensinar para a Compreensão”. Os resultados obtidos ao final da aplicação da proposta mostram aspectos positivos em relação

aos aspectos procedimentais, conceituais e atitudinais, mesmo quando o tema apresentado (plasmas físicos) é totalmente novo nesse nível.

Erthal, Pirovani e Campos (2014) apresentaram e explicitaram a confecção e montagem de um globo de plasma alternativo, 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.

Observamos que, apesar de todos os artigos encontrados relacionarem o ensino da Física do Plasma com experimentos, cada um deles apresenta uma maneira diferente de abordagem. Uma das abordagens está baseada em experimentos com equipamentos sofisticados (GEKELMAN et al., 2007), já em outro trabalho, sua confecção e montagem podem ser realizadas tanto por professores quanto por alunos (ERTHAL; PIROVANI; CAMPOS, 2014).

De acordo com Gekelman et al. (2007), a necessidade da educação científica do Ensino Médio é enorme. O aluno do Ensino Médio está entediado e não vê razão de prosseguir o estudo em Ciências. Segundo esses autores, um tema relevante, tal como o estudo de ciência de plasmas, pode ser um forte motivador. Além disso, a Física de Plasma é um ramo da Ciência que os alunos não veem em sala de aula. Gekelman et al. (2007) apresentam como motivos para estudar tal tema que muitos dos empregos emergentes na sociedade atual estão dirigidos à tecnologia. No entanto, poucos alunos têm visto os instrumentos utilizados nas experiências. Logo, trabalhando com um dispositivo de Física de Plasma em um laboratório ativo seria uma motivação para os alunos das escolas secundárias e poderia ajudar a resolver a lacuna tecnológica (GEKELMAN et al., 2007). Essas justificativas estão de acordo com as apresentadas por Ostermann, Ferreira e Cavalcanti (1998) para a introdução de tópicos de Física Contemporânea na escola média: 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, segundo Erthal, Pirovani e Campos (2014), o globo de plasma apresentado por eles tem sido utilizado em salas de aula do Ensino Médio e em mostras e feiras de ciências, despertando bastante 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).

Outro motivo apresentado nos artigos para a abordagem do tema Física de Plasma na Educação Básica é que, segundo Hernández, Alberú e Weber (2014), cada vez são mais as novas tecnologias e, portanto, também são mais os conteúdos acadêmicos que dão explicação à forma de operação dos aparelhos com essas tecnologias 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, seus valores e ideologias (CAVALCANTE; TAVOLARO, 2001; CORRALLO, 2009; FERREIRA; DAMASIO; RODRIGUES, 2014; OLIVEIRA; VIANNA; GERBASSI, 2007; PINTO; ZANETIC, 1999; VICENTINI et al., 2010).

Hernández, Alberú e Weber (2014) elaboraram uma proposta relacionada ao tema de plasmas em que são ressaltados os aspectos físicos e qualitativos dos plasmas, retomando direta ou indiretamente vários dos temas de um curso intermediário de física. Como apresentado anteriormente, de acordo com 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.

Além disso, Pirovani, Erthal e Campos (2014) afirmam que o crescimento da tecnologia dos plasmas pode 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 afirma 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.

Evidenciamos que, apesar desses artigos servirem de consulta para professores, notamos que o artigo de Gekelman et al. (2007) se caracteriza mais como um artigo de divulgação de um trabalho que eles realizaram, aliando estudantes e professores de Ensino Médio às 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. Assim, 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. Apenas em um dos artigos, o de Hernández, Alberú e Weber (2014), é apresentada uma proposta real de trabalho com esses experimentos em sala de aula.

Como evidenciado por Monteiro, Nardi e Bastos Filho (2009), o perfil de formação inicial de professores está distante do planejamento de estratégias de ensino de FMC. Observamos, da mesma maneira, que não há, nos trabalhos de nosso levantamento, discussões referentes à formação de professores com respeito à Física do Plasma. Isso pode indicar uma necessidade de se discutir o tema na formação docente.

É relevante relatar, também, que dos três artigos encontrados, apenas um deles é produção brasileira, o que evidencia a carência de discussões a respeito da temática em âmbito nacional, pelo menos em relação ao período recente do levantamento.

Um dos motivos da inserção da FMC no Ensino Médio se mostrar relevante é poder 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.

Por meio do levantamento realizado, foram encontrados poucos trabalhos a

respeito do tema Física do Plasma, e os que foram encontrados estavam relacionados com a parte experimental da temática. Assim, evidencia-se a pouca existência de pesquisas na área de Educação em Ciências a respeito do ensino da Física do Plasma, 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.

De acordo com nosso levantamento, existe também uma ausência de investigações na área de Formação de Professores. 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.

Observamos, então, que diante de poucas pesquisas acadêmicas a respeito da Física de Plasma, tanto com relação à Educação Básica quanto no Ensino Superior, para formação de professores de Física, justifica-se a relevância de nossa pesquisa.

Como apresentado anteriormente, uma das maneiras de abordar um conteúdo de Física Moderna e Contemporânea seria por meio da História da Ciência. Elaboramos, então, uma síntese histórico-conceitual da Física do Plasma, apresentada a seguir para, depois, tomarmos como base para a elaboração da Unidade Temática.

3.2 SÍNTESE HISTÓRICO-CONCEITUAL DA FÍSICA DO PLASMA

Uma pesquisa em História da Ciência deve utilizar fontes primárias e secundárias (MARTINS, 2005). Por isso, destarte, realizamos um levantamento bibliográfico de fontes históricas tanto primárias quanto secundárias, bem como de livros-textos científicos que tratassem do tema. Foi realizado, então, o trabalho de leitura e análise para a elaboração da síntese histórico-conceitual da Física do Plasma, enfocando esse fenômeno e nos orientando nos seguintes aspectos: sua explicação, conceitos físicos envolvidos, metodologias utilizadas, conhecimento resultante e suas aplicações empíricas.

William Crookes, químico e físico inglês, em 1880, afirmou a existência de um quarto estado da matéria, ou, como caracterizou na época, um estado da matéria ultragasoso. Ele fundamentou sua posição a respeito da existência da

matéria em 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 descontínuas, separadas por um espaço que é grande em comparação com o diâmetro da molécula. Essas moléculas são 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 se torna 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 livre caminho médio das moléculas é muito pequeno comparado com as dimensões do recipiente que as contém.

Então, o que Crookes se perguntou, na época, foi: “What, then, are these molecules? Take a single lone molecule in space. Is it solid, liquid, or gas?”² (CROOKES, 1880, p.471). Ele afirma que:

² Tradução livre: “O que, então, são essas moléculas? Tome uma única molécula solitária no espaço. Ela é sólida, líquida ou gasosa?”

Solid it cannot be, because the idea of solidity involves certain properties which are absent in the isolated molecule. In fact, an isolated molecule is an inconceivable entity [...]. But if the individual molecule is not solid, *à fortiori* it cannot be regarded as a liquid or gas [...]. The individual molecules, therefore, must be classed by themselves in a distinct state or category³ (CROOKES, 1880, p.471).

Dessa maneira, em 1880, Crookes identificou a matéria no quarto estado como o resultado final da expansão gasosa. Por grande rarefação, aumenta-se o livre caminho 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 afirma 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 tem tornado tal movimento visível em suas pesquisas a respeito da descarga negativa em tubos de vácuo (CROOKES, 1879). Nesse caso, Crookes (1880) afirma que o movimento para frente tem substituído os movimentos irregulares que constituem a essência da condição gasosa. Assim, ele considera que as moléculas têm assumido a condição de matéria radiante (CROOKES, 1880), hoje conhecida como estado de plasma.

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 (HENRIQUE; UEDA, 2004).

Em 1900, o aperfeiçoamento das técnicas de vácuo permitiu estudos de descargas elétricas em ambiente controlado. Assim, 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.

³ Tradução livre: “Sólida ela não pode ser, porque a ideia de solidez envolve certas propriedades que estão ausentes na molécula isolada. De fato, uma molécula isolada é uma entidade incompreensível [...]. Mas se a molécula individual não é sólida, *à fortiori* ela não pode ser considerada como um líquido ou gás [...]. As moléculas individuais, portanto, devem ser classificadas em um estado ou categoria distinta.”

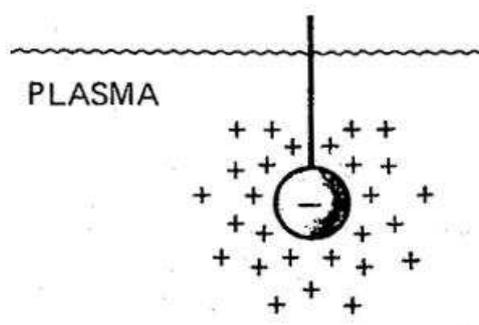
Por volta de 1926, Irving Langmuir e Harold M. Mott-Smith Jr. estudavam descargas elétricas em gases a baixas pressões. Nesse estudo, eles utilizaram um método já anteriormente usado, por eles mesmos, na investigação do arco de vapor de mercúrio e, por Compton, Turner e McCurdy, nos estudos de descargas estriadas. Esse método consiste na determinação das características de corrente e tensão obtidas por um pequeno eletrodo auxiliar, ou coletor (sonda), localizado no caminho da descarga. Assim, Mott-Smith e Langmuir (1926) realizaram a interpretação dessas características.

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 ou “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 assim se torna rodeado por uma “bainha” positiva ou região de carga espacial positiva. Desse modo, apenas a densidade de corrente de íons positivos será coletada.

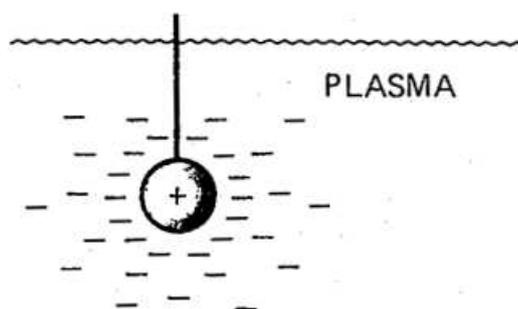
Figura 2 – “Bainha” positiva.



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. Nessa condição, os íons positivos se repeliriam e os elétrons seriam atraídos, assim, seria 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 de íons aleatórios, porém, como elétrons têm velocidades médias maiores do que íons, a corrente de elétrons aleatórios é maior que a 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).

Assim, Mott-Smith e Langmuir mostraram que é possível utilizar um pequeno eletrodo de metal, ou “sonda” para determinar experimentalmente temperaturas das partículas, densidades das partículas e densidades de corrente aleatória nas descargas por meio da aplicação de vários potenciais e da medida das correntes coletadas. Eles também mostraram que é possível calcular a distribuição de velocidade das partículas, a partir das características de corrente e tensão obtidas pelos coletores nas descargas.

Somente em 1928, 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).

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 aleatória 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).

Em 1938, 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, mas no qual o fluido é um condutor elétrico e, portanto, também se devem considerar as equações de Maxwell.

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

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. Essa motivação desencadeou, a partir da década de 1960, uma série de trabalhos associados ao aquecimento de plasmas por meio da incidência de um campo de radiação.

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.

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 toroidal⁴, 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 hamiltoniana⁵ 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, pode consideravelmente mudar as propriedades de blindagem de tal plasma (MIRANDA et al., 2005).

⁴ Um toróide tem formato de um pneu de carro.

⁵ Uma hamiltoniana é uma função que descreve o comportamento de um sistema que coincide com a energia total desse sistema.

Essa síntese histórica será tomada como base para a elaboração de uma proposta de Unidade Temática.

No próximo capítulo, serão apresentadas discussões a respeito de currículo, tanto da Educação Básica, quanto dos cursos de Licenciatura em Física, uma vez que um dos objetivos de nosso trabalho é pesquisar a Física do Plasma em currículos de cursos brasileiros de Licenciatura em Física.

4 CURRÍCULO

De acordo com nossa fundamentação teórica, é possível afirmar que há uma ausência de discussões a respeito da Física de Plasmas na Educação Básica. Segundo Gimeno Sacristán (2000), qualquer mudança que seja necessária no currículo, suscita problemas de reestruturação de professores. Essa mudança pode necessitar da disponibilidade do docente para sua possível reconversão ou uma polivalência em sua formação. Esse autor também afirma que o professor é um agente decisivo para que o currículo real seja o projeto cultural desenvolvido nas condições objetivas. Portanto, apesar de constar nos documentos educacionais oficiais brasileiros a presença de temas de Física Moderna e Contemporânea na Educação Básica, para que esses assuntos sejam discutidos no Ensino Médio, é preciso que os professores estejam preparados no assunto.

Dessa maneira, ao pensarmos em currículo da Educação Básica, precisamos pensar também na formação inicial de professores. Podemos afirmar que existe também uma lacuna nessa formação de professores de Física com relação ao ensino de assuntos de FMC (MONTEIRO; NARDI; BASTOS FILHO, 2009).

Para Gimeno Sacristán (2000, p.29), “nos momentos em que se toma consciência da falta de qualidade no sistema educativo, a atenção se dirige para a renovação curricular como um dos instrumentos para sua melhora”. Para isso, pode-se pensar em dois aspectos básicos: os conteúdos do currículo e a metodologia das aulas.

A qualidade do ensino está estreitamente relacionada com seus conteúdos e formas, pois não será fácil melhorar a qualidade do ensino sem a mudança dos conteúdos, dos procedimentos e dos contextos de realização dos currículos (GIMENO SACRISTÁN, 2000). Por essa razão, os estudos a respeito de currículo e novas propostas curriculares visam aprimorar a qualidade do ensino.

O currículo é a expressão da função social da instituição escolar, com consequências tanto para o comportamento de alunos como para o de professores. Essas consequências são:

- a) Como prática e expressão de metateorias e opções pedagógicas e sociais, o currículo é um esquema diretor ou referencial para o

comportamento profissional de docentes, condicionando as coordenadas do cargo e inclusive a estrita prática pedagógica. b) Sob outro ponto de vista, o currículo, como seleção de conteúdos culturais e habilidades de diferentes ordens, elaborados pedagogicamente e apresentados ao professor por meio de regulações, guias, livros-texto, materiais diversos, etc., é um determinante decisivo na prática profissional; [...]

O currículo é muitas coisas ao mesmo tempo: ideias pedagógicas, estruturação de conteúdos de uma forma particular, detalhamento dos mesmos, reflexo de aspirações educativas mais difíceis de moldar em termos concretos, estímulo de habilidades nos alunos, etc. (GIMENO SACRISTÁN, 2000, p.170-173).

A condição dinâmica da cultura e do conhecimento na atualidade e a preocupação com o aumento da qualidade da educação exigem mudanças qualitativas dos conteúdos e das formas de ensinar. É por essa razão que reformas de currículos deveriam ser cada vez mais frequentes (GIMENO SACRISTÁN, 2013a).

No entanto, é preciso explicitar, explicar e justificar as opções que são tomadas e o que é imposto; ou seja, deve-se avaliar o sentido do que se faz e para que o fazemos, e não apenas impor um determinado currículo (GIMENO SACRISTÁN, 2013b). Ainda de acordo com este autor, a escolha de conteúdos é feita com relação ao papel dado à escolarização nas sociedades atuais.

Os currículos expressam o equilíbrio de interesses e forças que gravitam no sistema educativo em um dado momento, enquanto que por meio deles se realizam os fins da educação no ensino escolarizado. O currículo, em seu conteúdo e nas formas pelas quais se apresenta, se sedimentou dentro de uma trama cultural, política, social e escolar; logo, está carregado de valores e pressupostos (GIMENO SACRISTÁN, 2000).

Para esse autor, de alguma maneira, o currículo reflete o conflito entre interesses dentro de uma sociedade e os valores dominantes que regem os processos educativos. Por isso, a análise do currículo, tanto de seus conteúdos como de suas formas, é relevante para entender as funções da instituição escolar em seus diferentes níveis e modalidade.

O autor acrescenta ainda que

Hoje, lamentavelmente, vemos como os “direitos adquiridos” ou a antiguidade têm um eficaz predomínio em muitas ocasiões sobre qualquer outro critério de racionalidade coletiva, onde (sic) esses valores individualistas limitam suas primazias em favor da coerência coletiva a favor dos alunos (GIMENO SACRISTÁN, 2000, p.199).

Para Gimeno Sacristán (2000), as reformas curriculares nos sistemas educativos desenvolvidos obedecem à lógica de que por meio delas se realiza uma melhor adequação entre os currículos e as finalidades da instituição escolar, ou a de que com elas é possível dar uma resposta mais adequada à melhora das oportunidades dos alunos e dos grupos sociais. As reformas curriculares são empreendidas para melhor ajustar o sistema escolar às necessidades sociais. Entendemos, assim, que a Física do Plasma se encaixa em uma dessas necessidades, uma vez que é uma temática da Física Moderna e Contemporânea que está presente no cotidiano dos alunos, mas não é abordado nem no Ensino Superior nem na Educação Básica.

Além disso, em uma visita à página eletrônica⁶ do Laboratório Associado de Plasma (LAP) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), um relevante instituto brasileiro, observamos que metade de seus pesquisadores são formados em Física. Ou seja, um dos campos de atuação do profissional em Física é a Física de Plasmas. Essa é uma informação ilustrativa consistente que também justifica a abordagem de tal temática nos cursos de Graduação em Física.

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

Para o autor, não tem sentido renovações de conteúdos sem mudanças de procedimentos e metodologias das aulas (GIMENO SACRISTÁN, 2000). Por isso, além de apenas propor a introdução do conteúdo de Física de Plasma na estrutura curricular das Licenciaturas em Física, elaboramos uma proposta de Unidade Temática.

Desse modo, no próximo capítulo, apresentamos a fundamentação utilizada para a elaboração dessa Unidade, baseada em uma abordagem histórica, levando

⁶ http://www.plasma.inpe.br/LAP_Portal/LAP_Sitio/Texto/Pagina_Inicial_do_LAP.htm. Acesso em: 02 de fev. 2016.

em consideração os princípios da Teoria da Aprendizagem Significativa (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980).

5 UNIDADE TEMÁTICA

Segundo Zabala (1998), o termo unidade didática é utilizado 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 diversas 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).

No contexto do Ensino de Ciências, a Abordagem Temática consiste em uma perspectiva curricular, na qual o conteúdo programático é organizado com base em um tema gerador, a partir do qual são selecionados os conteúdos científicos necessários para compreendê-lo. De acordo com Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2012, p.165),

Os temas geradores foram idealizados como um objeto de estudo que compreende o fazer e o pensar, o agir e o refletir, a teoria e a prática, pressupondo um estudo da realidade em que emerge uma rede de relações entre situações significativas individual, social e histórica, assim como uma rede de relações que orienta a discussão, interpretação e representação dessa realidade.

Assim sendo, chamaremos a unidade didática de Unidade Temática. Segundo Zabala (1998), para que as 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.

É o educador quem dispõe as condições para que a construção que o estudante faz seja mais ampla ou mais restrita, 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).

De acordo com esse autor, as atividades iniciais 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.

Segundo Zabala (1998), uma atividade que propõe uma situação problemática 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).

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 (ZABALA, 1998).

Para Zabala (1998), é relevante aceitar as contribuições dos estudantes, mesmo que se expressem de maneira pouco clara ou parcialmente incorreta, e estimular a participação dos estudantes 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.

Uma vez que as finalidades do ensino estão voltadas para o conhecimento e à atuação para a vida, parece lógico que o objeto de estudo estruturador das aprendizagens seja a própria realidade. Por isso, o ensino de todos os conhecimentos, estratégias, valores, normas e atitudes que permitem conhecer, interpretar e agir nesta realidade deveria partir de problemas concretos, situações verossímeis, questões específicas de uma realidade global próxima dos interesses e necessidades dos futuros cidadãos, membros ativos de uma sociedade (ZABALA, 1998).

Nesse mesmo sentido, os temas geradores, de acordo com Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2012, p.166), têm como princípios básicos: uma visão de totalidade e abrangência da realidade; ruptura com o conhecimento no nível de senso comum; adotar o diálogo como sua essência; exigir do educador uma postura de crítica, de problematização constante de distanciamento, de estar na ação e de se observar e se criticar nessa ação; apontar para a participação, discutindo no coletivo e exigindo disponibilidade dos educadores.

Ao partir de uma situação real, o número de relações que pode estabelecer entre as experiências anteriores e os novos conteúdos pode ser maior, já que ao incrementar o número de vínculos, a significância 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).

De acordo com o autor, quando introduzimos o ensino e a aprendizagem construtivista como referencial, 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 finalidade da avaliação é ser um instrumento educativo que informa e faz uma valoração do processo de aprendizagem seguido pelo estudante, com o objetivo de lhe oportunizar as propostas educacionais mais adequadas (ZABALA, 1998).

Segundo o autor, a avaliação é um processo constituído por três fases: avaliação inicial, avaliação reguladora e avaliação final (ZABALA, 1998).

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 tem que favorecer a aprendizagem de cada estudante (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. Dessa maneira, 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).

Para avaliar a aprendizagem de conceitos, é necessário propor atividades em que os estudantes possam demonstrar que entenderam, assim como sua capacidade para utilizar os conceitos aprendidos. As atividades que podem garantir um melhor 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. Assim, a observação do uso dos conceitos em trabalhos de equipe, debates, exposições e diálogos será a melhor 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).

Conforme 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.

Entende-se, portanto, que é necessária uma teoria de aprendizagem que dê suporte para a elaboração da Unidade Temática. Por isso, para trabalharmos com uma ideia explícita de como são produzidas as aprendizagens, tomamos como base a Teoria da Aprendizagem Significativa (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980), para que fundamente as organizações e o processo, como um todo, da Unidade

Temática. Apresentamos, logo mais, como a História da Ciência pode estar relacionada com a Teoria da Aprendizagem Significativa.

5.1 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

A teoria que guiou a elaboração da proposta de Unidade Temática como uma situação de aprendizagem é a Teoria da Aprendizagem Significativa (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980).

Segundo Ausubel, Novak e Hanesian (1980), a essência do processo de aprendizagem significativa é que ideias são relacionadas às informações previamente adquiridas pelo estudante, ou seja, ideias são relacionadas a algum aspecto relevante existente na estrutura cognitiva do estudante. Essas informações já presentes em sua estrutura cognitiva, com as quais a nova informação vai ser relacionada, lhe servindo de apoio para sua aprendizagem, são chamadas de subsunçores.

A aprendizagem significativa pressupõe que o estudante manifeste uma disposição para a aprendizagem significativa – por outras palavras, uma disposição para relacionar o novo material à sua estrutura cognitiva – e que o material aprendido seja potencialmente significativo.

O novo conhecimento é 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).

De acordo com esses autores, a relação não arbitrária implica que 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).

Ausubel, Novak e Hanesian (1980) defendem que, na aprendizagem significativa, 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.

Na diferenciação progressiva, as ideias mais gerais e inclusivas da matéria de ensino devem ser apresentadas desde o 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 programação do conteúdo também deve explorar relações entre conceitos e proposições, chamar atenção para diferenças e semelhanças e reconciliar inconsistências reais e aparentes. É nisso que consiste a reconciliação integradora.

Ausubel, Novak e Hanesian (1980) afirmam que embora os estudantes devam assumir a responsabilidade por sua própria aprendizagem, a escola (ou universidade, neste caso) não pode abdicar da responsabilidade de orientar a aprendizagem. A instituição de ensino deve se encarregar de fornecer aos estudantes disciplinas válidas e pedagogicamente apropriadas, planejar o currículo escolar e os métodos de ensino localizados adequadamente.

A escola se volta para o desenvolvimento da capacidade dos estudantes 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.

5.1.1 Aprendizagem Significativa e História da Ciência

Neste tópico, apresentaremos algumas relações possíveis entre a Teoria da Aprendizagem Significativa e a História da Ciência.

Ausubel, Novak e Hanesian (1980) defendem que a aprendizagem de novos conhecimentos de maneira significativa ocorre a partir do que o aluno já sabe. Olhando para a História da Ciência, para o desenvolvimento da Ciência, a incorporação de novos conhecimentos também ocorre a partir dos conhecimentos já existentes, validados por uma comunidade científica. Isto é, o conhecimento é uma produção coletiva. Da mesma maneira que o ser humano precisa de subsunções (conhecimentos prévios) para compreender coisas novas, o pesquisador que está produzindo novos conhecimentos não começa do zero, ele tem âncoras no conhecimento da comunidade científica.

Outro paralelo que podemos fazer, entre a Teoria da Aprendizagem Significativa e a História da Ciência, diz respeito aos conhecimentos prévios dos estudantes que podem ser relacionados com noções científicas antigas. Dessa maneira, o processo pelo qual o estudante precisa passar é semelhante ao processo de desenvolvimento histórico da própria ciência (PIAGET; GARCIA, 1987). De acordo com Piaget e Garcia (1987), existe um paralelismo entre as resistências dos estudantes com as dos próprios cientistas do passado e esse paralelismo pode tornar o conhecimento da história da ciência um aliado no trabalho de transformação conceitual do educando, contribuindo para o processo de criação de conflito cognitivo entre o fenômeno estudado e os conhecimentos prévios dos aprendizes.

Nesse mesmo sentido, segundo nossa fundamentação, a História da Ciência pode mostrar, por meio de episódios históricos, que ocorreu um processo lento de desenvolvimento de conceitos até se chegar às noções aceitas atualmente. Isso pode facilitar o aprendizado do conteúdo científico do educando ao perceber que suas dúvidas são cabíveis em relação a conceitos que levaram tanto tempo para serem estabelecidos e que foram difíceis de atingir. Portanto, deve-se trabalhar com a experiência do estudante, procurando mostrar que muitas vezes suas ideias podem ser semelhantes às de algumas etapas históricas da construção de determinado conceito científico.

Por meio da História da Ciência, mostra-se que o conhecimento é construído com ensaios, erros e questionamentos. O erro do estudante, análogo ao erro do cientista, deve servir de base para revisões constantes do processo de construção do conhecimento, e não ser tratado como algo a ser reprimido ou castigado (GOULART, 2005). Ou seja, é na tentativa de correção de seus erros que eles

também poderão crescer e aprender novos conhecimentos (HÜLSENDEGER, 2007).

Entende-se, portanto, com as relações apresentadas entre a Teoria da Aprendizagem Significativa e a História da Ciência, que existe uma compatibilidade entre ambas as estratégias utilizadas, e sua união mostra um equilíbrio para a elaboração da Unidade Temática.

6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Desenvolvemos uma pesquisa qualitativa de cunho interpretativo, na qual a análise de dados é o processo de busca e de organização sistemática de materiais que foram acumulados, com o objetivo de aumentar a compreensão desses materiais e de lhes permitir apresentar aquilo que foi encontrado. De acordo com Bardin (2004), 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.

Para Alves-Mazzotti e Gewandszajder (2002), o pesquisador escolhe o contexto de sua pesquisa, em função das questões de interesse do estudo e das condições de acesso e permanência no campo. Com o objetivo de investigar de que maneira os cursos de Licenciatura em Física estão preparando futuros professores para o ensino de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, em especial a Física do Plasma, realizamos uma análise documental nos Projetos Pedagógicos dos Cursos de Licenciatura em Física, de Instituições brasileiras.

Em uma análise documental, segundo Lüdke e André (1986), os documentos não são apenas uma fonte de informação contextualizada, mas surgem em um determinado contexto e fornecem informações a respeito desse mesmo contexto.

Além disso, elaboramos um questionário (Questionário 1 – Apêndice A) com cinco questões abertas a respeito da temática (relevância para o currículo das Licenciaturas em Física, presença ou ausência do tema na estrutura curricular do curso, dificuldades para a inclusão da temática, disciplinas pertinentes para abordar o assunto). Para a análise dos dados obtidos a partir dos questionários, utilizamos a Análise de Conteúdo (BARDIN, 2004).

Por fim, elaboramos uma proposta de Unidade Temática para abordar a Física do Plasma na formação de professores de Física, com base na síntese histórico-conceitual apresentada. Para a elaboração da Unidade Temática, tomamos como base os referenciais teóricos de Zabala (1998), Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2012) e a Teoria da Aprendizagem Significativa (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980), como mencionado anteriormente.

Essa Unidade Temática elaborada foi enviada para professores de cursos de Licenciatura em Física para que fizessem uma análise desta por meio de um questionário (Questionário 2 – Apêndice C) com sete questões abertas a respeito da organização da Unidade (assuntos abordados, atividades propostas, abordagem didática, tempo de realização, entre outras coisas). Nossa intenção consistiu em expor a Unidade Temática elaborada para docentes da área, a fim de que estes emitissem pareceres que apresentassem a efetividade e os benefícios do material, bem como indicassem falhas e sugestões. Este questionário foi respondido após a leitura da proposta de Unidade Temática.

6.1 ANÁLISE DOCUMENTAL EM CURRÍCULOS DE LICENCIATURA EM FÍSICA

Analisar currículos concretos significa estudá-los no contexto em que se configuram e por meio do qual se expressam em práticas educativas e em resultados. A análise do currículo é uma condição para conhecer e analisar o que é a escola como instituição cultural e de socialização em termos reais e concretos (GIMENO SACRISTÁN, 2000).

Os critérios para a seleção dos cursos a serem analisados foram:

- a) Cursos de Instituições cujos Programas de Mestrado e Doutorado, em Física e/ou em Ensino de Física, obtiveram nota mínima de 5 na avaliação trienal da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), em 2013.
- b) Foram analisados os currículos dos cursos de instituições que constam, em suas páginas eletrônicas, o Projeto Pedagógico do respectivo curso.

Destarte, analisamos os currículos de 16 Instituições, apresentadas no Quadro 2. Ressaltamos que as ementas das disciplinas estavam inclusas na maior parte dos Projetos Pedagógicos analisados (11 Projetos). Aqueles Projetos que não possuíam as ementas, analisamos separadamente aquelas disponíveis nas páginas eletrônicas das Instituições.

Quadro 2 – Lista de Instituições pesquisadas.

Fundação Universidade Federal do ABC (UFABC)
Universidade Estadual de Maringá (UEM)
Universidade Federal de Alagoas (UFAL)

Universidade Federal de Campinas (UNICAMP)
Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR)
Universidade Federal de Uberlândia (UFU)
Universidade Federal do Ceará (UFC)
Universidade Federal do Paraná (UFPR)
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)
Universidade de São Paulo (USP)
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
Universidade Estadual de Londrina (UEL)
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP) / Bauru

Fonte: a própria autora.

6.2 ANÁLISE DE CONTEÚDO DOS QUESTIONÁRIOS

Para complementar a investigação dos Currículos das Licenciaturas em Física com relação à temática Física do Plasma, elaboramos um questionário com cinco questões abertas temáticas – 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. As questões abordavam a relevância do tema para o currículo das Licenciaturas em Física, a presença ou ausência do tema na estrutura curricular do curso, dificuldades para a inclusão do tema, disciplinas pertinentes para abordar o tema, entre outros assuntos.

Para a análise desses dados, utilizamos a Análise de Conteúdo (BARDIN, 2004). De acordo com Bardin (2004, p.37), pode-se resumir a análise de conteúdo como

um conjunto de técnicas de análise das comunicações visando obter, por procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens, indicadores (quantitativos ou não) que permitam a inferência de

conhecimentos relativos às condições de produção/recepção (variáveis inferidas) destas mensagens.

A função ou o objetivo da análise de conteúdo é a inferência. Essa inferência pode ser realizada com base em indicadores de frequência ou com a ajuda de indicadores combinados. A partir dos resultados da análise, é possível regressar às causas (BARDIN, 2004).

Bardin (2004) afirma que respostas a questionários 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.

A análise categorial pretende tomar em consideração a totalidade de um “texto”, passando-o pelo crivo da classificação, segundo a frequência de presença (ou de ausência) de itens de sentido (BARDIN, 2004).

O analista tira partido do tratamento das mensagens que manipula 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 (2004), 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 a fase de organização. Corresponde a um período de intuições, com objetivo de tornar operacionais e sistematizar as ideias iniciais, de maneira a conduzir a um esquema do desenvolvimento das operações sucessivas. A autora ainda afirma que nessa primeira fase está: 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, 2004).

A unidade de registro é a unidade de significação a codificar e corresponde ao segmento de conteúdo a considerar como unidade de base. De acordo com Bardin (2004), 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 são frequentemente analisadas tendo o tema por base.

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, 2004).

Para Bardin (2004), na abordagem qualitativa, a presença (ou a ausência) pode constituir um índice tanto (ou mais) frutuoso do que a frequência de aparição. A abordagem qualitativa corresponde a um procedimento mais intuitivo, 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, 2004).

6.2.1 Investigação de Currículos de Licenciatura em Física

Elaboramos um questionário (Questionário 1 - Apêndice A) com cinco questões abertas a respeito da temática (relevância para o currículo das Licenciaturas em Física, presença ou ausência do tema na estrutura curricular do curso, dificuldades para a inclusão da temática, disciplinas pertinentes para abordar o assunto). Os enunciados das questões foram decodificados intersubjetivamente nos seus significados por integrantes do grupo de pesquisa IFHIECEM (Investigações em Filosofia e História da Ciência, e Educação em Ciências e Matemática).

O questionário foi enviado, por correio eletrônico (e-mail), para os membros do colegiado dos Cursos de Licenciatura em Física, chefes de Departamentos e diretores de Institutos de Física, das 16 Instituições listadas no Quadro 1. No entanto, apenas um total de quatro professores respondeu ao questionário, dentre eles membros de colegiados de Curso e chefe de Departamentos de Física, de três Universidades diferentes. Devido ao pouco retorno que tivemos, realizamos ligações telefônicas somente para Coordenadores de Cursos, a fim de convidá-los a participar da pesquisa. No entanto, não conseguimos entrar em contato com nenhum professor/a pessoalmente, apenas com secretários/as. Logo, continuamos apenas com quatro participantes da pesquisa.

Destacamos aqui o desinteresse de docentes em se disponibilizarem para participar desta pesquisa. Esse fato nos leva a inferir que esses professores não

estão interessados na temática, a fim de contribuir para uma melhora nos currículos dos cursos de Licenciatura em Física.

6.2.2 Unidades de Contexto e de Registro

Com base no referencial teórico, elaboramos Unidades de Contexto e de Registro prévias. A partir dessas unidades, classificamos e agrupamos fragmentos textuais das respostas obtidas por meio do Questionário 1. As Unidades de análise também foram decodificadas intersubjetivamente nos seus significados por integrantes do grupo de pesquisa IFHIECEM.

A seguir, apresentaremos e explicaremos as questões elaboradas e as Unidades de Contexto (UC), Unidades de Registro (UR) prévias e, caso surjam, Unidades de Registro Emergentes (URE).

Questão 1: Você considera o tema Física do Plasma relevante para o currículo das Licenciaturas em Física? Por favor, explique.

Essa questão foi proposta com o intuito de investigar se professores participantes consideram relevante (ou não) o tema Física do Plasma para o currículo dos cursos de Licenciatura em Física.

A Unidade Temática de Contexto 1 (UC1) “**Relevância da Física do Plasma**” foi elaborada com o intuito de reunir fragmentos textuais a respeito da relevância ou irrelevância do tema Física do Plasma no currículo das Licenciaturas em Física, citada por professores.

- UR1.1 “**Tema/assunto de Física Moderna e Contemporânea**”: para agrupar os registros em que os participantes da pesquisa citaram a Física do Plasma como relevante, uma vez que esse tema faz parte da Física Moderna e Contemporânea;

- UR1.2 “**Tema/assunto presente no cotidiano**”: para agrupar fragmentos textuais em que os participantes citaram a relevância da Física do Plasma uma vez que esse tema faz parte do cotidiano das pessoas;

- UR1.3 “**Tema/assunto irrelevante**”: para agrupar as respostas nas quais os participantes não consideraram a temática relevante para o currículo dos cursos de Licenciatura em Física.

- URE1.4 “**Relevante**”: para agrupar os registros em que os participantes da pesquisa apenas citaram a relevância, mas não citaram os motivos da relevância;

- URE1.5 “**Tema complexo**”: para agrupar as respostas em que os professores citaram a Física do Plasma como relevante uma vez que este é um tema complexo que utiliza vários conceitos da Física.

Questão 2: A Física do Plasma está contemplada na estrutura curricular do curso de Licenciatura em Física de sua instituição?

a) Se sim, foi observado que não está explícito no Projeto Pedagógico do Curso. Poderia indicar em que documento está contemplado? A presença da Física do Plasma nos currículos dos cursos é de caráter optativo ou obrigatório? É apresentada como uma disciplina ou como um tópico dentro de outra disciplina (qual)? Qual a carga horária destinada a esse assunto?

b) Se não, que motivos você poderia apresentar para explicar a ausência dessa temática na estrutura curricular?

Propusemos essa questão com o intuito de saber se a temática Física do Plasma está realmente contemplada e de que maneira está contemplada na estrutura curricular dos cursos de Licenciatura em Física das instituições pesquisadas.

Para essa questão, elaboramos duas Unidades Temáticas de Contexto, UC2a e UC2b, uma vez que na mesma questão, temos duas perguntas distintas.

A Unidade Temática de Contexto 2a (UC2a) “**Presença da Física do Plasma na estrutura curricular**” foi elaborada a fim de reunir fragmentos textuais a respeito das características da temática na estrutura curricular dos cursos de Licenciatura em Física.

- UR2.1a “**Documentos**”: para agrupar as respostas em que os participantes da pesquisa apresentaram os documentos onde o tema está contemplado;

- UR2.2a “**Caráter optativo ou obrigatório**”: para agrupar as respostas em que os professores descreveram o caráter optativo ou obrigatório da temática nos currículos dos cursos, se esta estivesse presente;

- UR2.3a “**Disciplina própria ou tópico dentro de disciplina**”: para agrupar as respostas em que os participantes citaram a presença da temática em uma disciplina específica ou como um tópico dentro de uma disciplina mais abrangente;

- UR2.4a “**Carga horária**”: para agrupar as respostas em que os professores apresentaram a carga horária destinada para a temática, se esta estivesse presente na estrutura curricular.

A Unidade Temática de Contexto 2b (UC2b) “**Ausência da Física do Plasma na estrutura curricular**” foi elaborada com o objetivo de reunir fragmentos textuais a respeito dos possíveis motivos da ausência da temática na estrutura curricular do curso de Licenciatura em Física, apresentados pelos professores participantes da pesquisa.

- UR2.1b “**Falta de professores capacitados como justificativa para a ausência**”: para agrupar as respostas em que os participantes citaram a falta de professores capacitados para lecionar o assunto como motivo da ausência da temática na estrutura curricular;

- UR2.2b “**Falta de material como justificativa para a ausência**”: para agrupar as respostas em que os participantes citaram a falta de material específico a respeito do assunto como motivo da ausência da temática na estrutura curricular;

- UR2.3b “**Outros assuntos são priorizados no currículo**”: para agrupar os fragmentos textuais em que os participantes citaram outros conteúdos prioritários como motivos para a ausência da temática na estrutura curricular do curso, gerando assim, a falta de tempo para abordar a temática;

- UR2.4b “**Nunca houve uma proposta para inclusão dessa temática**”: para agrupar os registros em que os participantes afirmaram que nunca houve uma proposta de inclusão da temática no currículo do curso de Licenciatura em Física.

- URE2.5b “**Não compete ao curso de Física**”: para agrupar fragmentos textuais em que os participantes afirmaram que não compete ao curso de Física tratar o tema em uma disciplina específica;

- URE2.6b “**Não apresentou motivos**”: para agrupar as respostas em que os professores citaram a ausência da Física do Plasma na estrutura curricular, mas não apresentaram seus motivos.

Questão 3: Já houve anteriormente alguma tentativa de inclusão da Física do Plasma na estrutura curricular do curso de Licenciatura em Física da sua instituição? Que motivos você poderia citar para o seu insucesso ou exclusão? Se não houve nenhuma tentativa ainda, que dificuldades você destacaria que pudessem existir se houvesse uma proposta didática de ensino da temática na estrutura curricular do curso?

Essa questão foi proposta com o intuito de saber que dificuldades já ocorreram na tentativa de inclusão da Física do Plasma na estrutura curricular do

curso de Licenciatura em Física ou dificuldades que poderiam existir se houvesse uma proposta didática de ensino da temática.

A Unidade Temática de Contexto 3 (UC3) “**Dificuldades para inclusão da Física do Plasma na estrutura curricular da Licenciatura em Física**” foi elaborada a fim de reunir fragmentos textuais em que os participantes da pesquisa identificaram obstáculos para a inclusão da temática na estrutura curricular do curso de Licenciatura em Física, que já ocorreram ou que poderiam ocorrer se houvesse uma proposta didática para o seu ensino.

- UR3.1 “**Houve tentativa de inclusão da temática**”: para agrupar os registros em que os participantes afirmaram que houve uma tentativa de inclusão da temática no currículo do curso de Licenciatura em Física;

- UR3.2 “**Nunca houve tentativa de inclusão da temática**”: para agrupar os registros em que os participantes afirmaram que nunca houve uma tentativa de inclusão da temática no currículo do curso de Licenciatura em Física.

- UR3.3 “**Falta de tempo**”: para agrupar as respostas em que os participantes citaram a falta de tempo como dificuldades para a inclusão da temática na estrutura curricular;

- UR3.4 “**Falta de professores capacitados e interessados**”: para agrupar as respostas em que os participantes citaram a falta de professores capacitados e/ou interessados para o ensino desse assunto como dificuldade para a inclusão da temática na estrutura curricular;

- UR3.5 “**Falta de material**”: para agrupar as respostas em que os participantes citaram a falta de material específico a respeito do assunto como dificuldade para a inclusão da temática na estrutura curricular;

- UR3.6 “**Outras prioridades**”: para agrupar os fragmentos textuais em que os participantes citaram que existem outros conteúdos prioritários a serem ensinados como dificuldade para a inclusão da temática na estrutura curricular do curso;

- UR3.7 “**Nenhuma dificuldade**”: para agrupar as respostas em que os participantes da pesquisa não citaram dificuldades para a inclusão da temática na estrutura curricular.

- URE3.8 “**Desconhecimento**”: para agrupar as respostas nas quais os participantes afirmaram desconhecer se houve uma proposta de inclusão da Física

do Plasma na estrutura curricular do curso de Licenciatura em Física de sua instituição;

- URE3.9 “**Não responde a pergunta**”: para agrupar as respostas que não se aplicam ao caso.

Questão 4: Para uma proposta didática de inclusão da Física do Plasma como um tópico dentro de uma disciplina já existente, em que disciplinas você consideraria pertinente abordar a temática? (Por exemplo, Termodinâmica, Eletromagnetismo, Física Moderna, ou outras). Por favor, explique.

Partindo da premissa que seria relevante a abordagem da temática Física do Plasma no currículo dos cursos de Licenciatura em Física, elaboramos essa questão com o intuito de saber em que disciplinas os professores participantes da pesquisa considerariam pertinente abordar a temática.

A Unidade Temática de Contexto 4 (UC4) “**Disciplinas pertinentes para abordar a Física do Plasma**” foi elaborada com o objetivo de reunir fragmentos textuais em que os participantes da pesquisa identificaram em quais disciplinas considerariam pertinentes a abordagem da temática Física do Plasma no currículo dos cursos de Licenciatura em Física.

- UR4.1 “**Termodinâmica**”: para agrupar fragmentos textuais que apresentaram a disciplina Termodinâmica como pertinente para abordar a temática no currículo dos cursos de Licenciatura em Física e seus motivos para tal escolha;

- UR4.2 “**Eletromagnetismo**”: para agrupar fragmentos textuais que apresentaram a disciplina Eletromagnetismo como pertinente para abordar a temática no currículo dos cursos de Licenciatura em Física e seus motivos para tal escolha;

- UR4.3 “**Física Moderna**”: para agrupar fragmentos textuais que apresentaram a disciplina Física Moderna como pertinente para abordar a temática no currículo dos cursos de Licenciatura em Física e seus motivos para tal escolha;

- UR4.4 “**Disciplina específica**”: para agrupar respostas em que os participantes da pesquisa afirmaram que o ideal seria abordar a temática em uma disciplina específica, e apresentaram seus motivos para tal escolha.

- URE4.5 “**Diversas disciplinas**”: para agrupar as respostas em que os participantes da pesquisa afirmaram que a Física do Plasma pode ser abordada em várias disciplinas, no entanto, não as específicas;

- URE4.6 “**Não responde a pergunta**”: para agrupar os registros em que as respostas dos participantes não se aplicaram ao caso.

Questão 5: Uma proposta didática do tema, baseada na História da Ciência, seria bem aceita? Por favor, explique.

Partindo dos benefícios de uma abordagem com base na História da Ciência, o objetivo dessa questão é saber se uma proposta didática baseada em tal abordagem seria bem aceita, tanto pelos professores coordenadores participantes da pesquisa, quanto por outros professores do curso de Licenciatura em Física.

A Unidade Temática de Contexto 5 (UC5) “**Abordagem Histórico-Conceitual para a Física do Plasma**” foi elaborada a fim de reunir fragmentos textuais que apresentaram a aceitação ou não de uma proposta didática do tema Física do Plasma baseada na História da Ciência.

- UR5.1 “**Compreensão do processo de construção do conhecimento**”: para agrupar os registros referentes à aceitação de uma proposta didática do tema, baseada na História da Ciência, uma vez que esta pode possibilitar a compreensão do processo de construção do conhecimento;

- UR5.2 “**Metodologia para o ensino de Ciências**”: para agrupar os fragmentos textuais em que os professores indicaram aceitação da abordagem histórico-conceitual, uma vez que esta pode proporcionar uma metodologia diferenciada para o ensino de Ciências;

- UR5.3 “**Desenvolvimentos científicos tecnológicos**”: para agrupar as respostas nas quais os participantes citaram que a História da Ciência pode contribuir para relacionar o desenvolvimento científico com os desenvolvimentos tecnológicos da sociedade (seus benefícios e seus problemas);

- UR5.4 “**Descrição de fatos**”: para agrupar as respostas em que os professores apresentaram não aceitação de uma proposta didática baseada na História da Ciência, uma vez que a História é uma mera descrição de fatos, dados e sujeitos envolvidos, repleta de datas e informações que não têm relevância para o assunto a ser estudado;

- UR5.5 “**Não sabe**”: para agrupar os registros em que os participantes afirmaram não ter conhecimento a respeito da aceitação ou não da abordagem pelos docentes.

- URE5.6 “**Aceitação**”: para agrupar as respostas referentes à aceitação de uma proposta didática baseada na História da Ciência, mas os professores não citaram seus motivos;

- URE5.7 “**Não responde a pergunta**”: para agrupar as respostas dos participantes que não se aplicam ao caso.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS DADOS

Neste capítulo, apresentamos, primeiramente, os dados coletados para a investigação de currículos de Licenciatura a partir dos Projetos Pedagógicos e da aplicação do Questionário 1. Depois, descrevemos passo a passo a proposta de Unidade Temática. E, por fim, apresentamos uma análise desta Unidade Temática realizada por docentes atuantes nos cursos de Licenciatura em Física.

7.1 APRESENTAÇÃO DOS DADOS E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS COM RELAÇÃO À INVESTIGAÇÃO DE CURRÍCULOS DE LICENCIATURA EM FÍSICA

Alguns itens de conteúdos que permitiriam a inclusão de elementos da Física de Plasma poderiam ser, por exemplo, descargas em tubos de vácuo, Física atmosférica. Além disso, a Física de Plasma também poderia estar relacionada com outros conteúdos da Física, como já apresentamos anteriormente, por exemplo, na fluidodinâmica, na mudança de estados físicos da matéria, em conteúdos relacionados ao eletromagnetismo, matéria e radiação, existência do plasma no ambiente interplanetário, no campo magnético do planeta Terra, nas estrelas, no interior do Sol, entre outros conteúdos de Física.

No entanto, dos 16 Projetos Pedagógicos de Curso de Licenciatura em Física analisados, encontramos apenas uma disciplina optativa “Física de Plasmas”. A ementa dessa disciplina é constituída pelos seguintes conteúdos: “Ocorrência de plasmas na natureza e em laboratório; Termodinâmica e estatística de plasmas; Movimento de partículas carregadas em um plasma; Ondas em plasmas; Equilíbrio MHD; Teoria cinética”.

Nos 15 Projetos Pedagógicos restantes, não encontramos menção explícita relacionada ao assunto de Física de Plasma, nem como um tema a ser abordado dentro de uma disciplina mais ampla, nem como uma disciplina específica. A análise do currículo, tanto de seus conteúdos como de suas formas, é relevante para entender a missão da instituição escolar em seus diferentes níveis e modalidades (GIMENO SACRISTÁN, 2000). Logo, com a análise dos currículos dos cursos de Licenciatura em Física, podemos inferir que tais instituições pesquisadas não priorizaram o ensino da temática Física de Plasma. A partir disso, então, é possível também inferir que os futuros professores não estão sendo preparados para abordar

tal temática na Educação Básica. Apesar desse resultado, não podemos afirmar os motivos dessa não prioridade na temática, uma vez que o currículo, em seu conteúdo e nas formas pelas quais se apresenta, se sedimenta dentro de uma trama cultural, política, social e escolar; logo, está carregado de valores e pressupostos (GIMENO SACRISTÁN, 2000).

Podemos afirmar também, que apesar de ser cada vez mais frequentes a necessidade de reformas de currículos, devido à condição dinâmica da cultura e do conhecimento na atualidade exigirem mudanças qualitativas dos conteúdos e das formas de ensinar (GIMENO SACRISTÁN, 2013a), ainda encontramos um currículo congelado em alguns aspectos, não se adaptando com relação às necessidades de formação de professores para a atuação na Educação Básica. Apesar dessa necessidade de atualização de currículos, muitos cursos pesquisados possuem Projetos Pedagógicos em versões muito antigas. Mas, notamos também que mesmo aqueles Projetos Pedagógicos atualizados recentemente não abordam a temática de Física de Plasma. Apresentamos no Quadro 3, o ano do último Projeto Pedagógico de Cursos de Licenciatura em Física disponível nas páginas eletrônicas de cada Instituição pesquisada.

Quadro 3 – Anos da última atualização dos Projetos Pedagógicos dos Cursos de Licenciatura em Física, disponíveis nas páginas eletrônicas das Instituições pesquisadas.

Instituições	Ano da última atualização disponível
Fundação Universidade Federal do ABC (UFABC)	2015
Universidade Estadual de Maringá (UEM)	2005
Universidade Federal de Alagoas (UFAL)	2010
Universidade Federal de Campinas (UNICAMP)	2006
Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)	2007
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)	2011
Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR)	2013
Universidade Federal de Uberlândia (UFU)	2007
Universidade Federal do Ceará (UFC)	2004
Universidade Federal do Paraná (UFPR)	2010

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)	2010
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)	2005
Universidade de São Paulo (USP)	2009
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)	2009
Universidade Estadual de Londrina (UEL)	2014
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP) / Bauru	2014

Fonte: a própria autora.

A seguir, apresentamos as respostas ao Questionário 1, devidamente unitarizadas em suas Unidades de Contexto e de Registro, em forma de quadros. Após cada quadro de unitarização, apresentamos uma discussão entre os resultados obtidos e os referenciais teóricos adotados para o presente trabalho. As unitarizações foram decodificadas intersubjetivamente por integrantes do grupo de pesquisa IFHIECEM⁷.

De acordo com 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. Portanto, para a discussão dos dados empíricos, os professores foram identificados por letras e números: P1, P2, P3 e P4. Além disso, destacamos que os dados aqui utilizados foram oriundos de respostas formalmente esclarecidas e consentidas. Quando necessário, algumas respostas foram fragmentadas em mais de uma Unidade de Registro, de maneira que contamos o número de fragmentos e não o número de respostas.

Quadro 4 – Dados referentes à Questão 1.

UC1 “Relevância da Física do Plasma”	
UR1.1 “Tema/assunto de Física Moderna e Contemporânea”	Nenhum registro
UR1.2 “Tema/assunto presente no	Nenhum registro

⁷Grupo de pesquisa Investigações em Filosofia e História da Ciência, e Educação em Ciências e Matemática (<http://www.uel.br/grupo-pesquisa/ifhiecem/>).

cotidiano”	
UR1.3 “Tema/assunto irrelevante”	01 registro
	“Não. O futuro professor de física não precisa se aprofundar nesse assunto, da mesma forma que não precisa de uma disciplina de relatividade, estado sólido, mecânica quântica, etc. Os conceitos vistos na disciplina de Física Moderna já são suficientes.” P2
URE1.4 “Relevante”	02 registros
	<p>“Sim, acho relevante, mas com a ressalva que existem vários tipos de plasma tanto na natureza como produzidos artificialmente, portanto há que se cuidar com a linguagem e nível, que em minha opinião deve ser mais fenomenológico do que matemático.” P1</p> <p>“Sim. Mas não como uma disciplina específica para ela. Acho que o tema poderia ser abordado em cursos de Eletromagnetismo e Física Moderna.” P4</p>
URE1.5 “Tema complexo”	01 registro
	“É uma disciplina estruturante, na qual o estudante utiliza conceitos de física clássica (mecânica clássica, eletromagnetismo, física estatística, física moderna) de forma integrada, permitindo ao aluno ver como as várias áreas da física são necessárias para a descrição de um sistema físico complexo, como um plasma.” P3

Fonte: a própria autora.

A maior parte das respostas à Questão 1 afirmaram que a Física do Plasma é relevante para o currículo dos cursos de Licenciatura em Física. No entanto, apenas um professor (P3) explica um motivo para tal relevância, que, para ele, seria um tema estruturante, que engloba vários conceitos de física de maneira integrada. Essa afirmação vai ao encontro dos artigos apresentados no levantamento, uma vez que estes afirmam que o tema de plasmas pode retomar vários dos temas de um curso de física relacionando com os conteúdos que os alunos estavam aprendendo nas aulas do Ensino Médio (GEKELMAN et al., 2007; HERNÁNDEZ; ALBERÚ; WEBER, 2014). Os outros dois professores que afirmaram relevância do tema (P1 e P4) não explicaram seus motivos para tal, apesar de, segundo nossa

fundamentação, um dos motivos que eles poderiam ter apresentado seria que a Física do Plasma é um tema que faz parte do cotidiano das pessoas, tanto em tecnologias, quanto em fenômenos naturais, apesar de poucos saberem a respeito do assunto (PIROVANI; ERTHAL; CAMPOS, 2013). Outro motivo que poderia ser elencado seria que este é um assunto de Física Moderna e Contemporânea, por isso relevante tanto para a formação em Física, quanto para formação de professores (PEREIRA; OSTERMANN, 2009; SAVISKI, 2014).

Além dessas respostas, ainda obtivemos uma na qual o professor (P2) afirma que a Física do Plasma não é relevante para o currículo das Licenciaturas em Física. Apesar da resposta deste professor, é interessante ressaltar que o curso de Licenciatura em Física de sua Instituição oferta a disciplina optativa “Física de Plasma”. Além disso, essa afirmação de P2 está em contradição com as discussões da relevância de ensino de temas de FMC na Educação Básica, tanto apresentados na literatura acadêmica (TERRAZZAN, 1992; OSTERMANN; PEREIRA; CAVALCANTI, 1998; VALADARES; MOREIRA, 1998; CARVALHO; ZANETIC, 2004, MONTEIRO; NARDI; BASTOS FILHO, 2009), quanto apresentados nos documentos educacionais oficiais brasileiros para a Educação Básica (BRASIL, 2002, 2013) e também para o Ensino Superior (BRASIL, 2001).

Quadro 5 – Dados referentes à Questão 2a.

UC2a “Presença da Física do Plasma na estrutura curricular”	
UR2.1a “Documentos”	Nenhum registro
UR2.2a “Caráter optativo ou obrigatório”	<p>02 registros</p> <p>“[...] Estrutura da Matéria (2FIS016-1ª série); LABORATÓRIO DE FÍSICA MODERNA (2FIS027-3ª série); Ciência e tecnologia do Vácuo (2FIS903-Optativa) (fragmentado com UR2.3a)” P1</p> <p>“Sim. No currículo do curso de Lic. e Bac. em Física da XXXX há uma disciplina optativa chamada “Introdução à Física de Plasma”. Eu lecionei essa disciplina 3 vezes nos últimos anos.” P3</p>
UR2.3a “Disciplina própria ou tópico	01 registro

dentro de disciplina”	“Não há disciplina específica sobre plasma. O tema plasma está dentro de disciplinas como: [...] (fragmentado com UR2.2a)” P1
UR2.4a “Carga horária”	Nenhum registro

Fonte: a própria autora.

Com relação à presença da Física do Plasma na estrutura curricular dos cursos de Licenciatura em Física, obtivemos duas respostas positivas, que foram unitarizadas na UC2a.

De acordo com P1, não existe uma disciplina específica para o tema. A Física de Plasma é abordada em três diferentes disciplinas, sendo duas obrigatórias, e uma optativa. Essa seria uma maneira possível de apresentar a temática, uma vez que segundo 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. No entanto, como já apresentamos anteriormente, não encontramos referência desse assunto no Projeto Pedagógico do Curso de Licenciatura em Física desta Instituição. Logo, inferimos que essa temática será abordada ou não, dependendo dos professores que lecionarão essas disciplinas citadas por P1.

Já P3 afirmou que existe uma disciplina optativa ofertada tanto para a Licenciatura em Física quanto para o Bacharelado. No entanto, essa disciplina não está presente no Projeto Pedagógico do Curso desta Instituição, uma vez que este Projeto Pedagógico não apresenta as ementas das disciplinas ofertadas no curso de Licenciatura em Física. Assim, em uma pesquisa na página desta Instituição, encontramos uma disciplina chamada “Física de Plasmas”, com carga horária de 60 horas teóricas.

Quadro 6 – Dados referentes à Questão 2b.

UC2b “Ausência da Física do Plasma na estrutura curricular”	
UR2.1b “Falta de professores capacitados como justificativa para a ausência”	01 registro
	“[...] Como disciplina optativa o fato de não haver disciplina específica sobre o tema talvez se deva à falta de profissionais com formação abrangente

	sobre o tema.” (fragmentado com URE2.5b) P1
UR2.2b “Falta de material como justificativa para a ausência”	Nenhum registro
UR2.3b “Outros assuntos são priorizados no currículo”	Nenhum registro
UR2.4b “Nunca houve uma proposta para inclusão dessa temática”	Nenhum registro
URE2.5b “Não compete ao curso de Física”	01 registro “Como disciplina que trate exclusivamente sobre esse tema minha opinião é que não compete ao curso de física e seria mais apropriado a alguns cursos de engenharia. [...] (fragmentado com UR2.1b)” P1
URE2.6b “Não apresentou motivos”	02 registros “Não e nem deverá.” P2 “Não.” P4

Fonte: a própria autora.

Com relação à ausência da Física do Plasma na estrutura curricular dos cursos de Licenciatura em Física, apenas um professor (P1) apresentou motivos para tal ausência. Este professor afirma que não compete ao curso de física oferecer uma disciplina específica obrigatória a respeito do tema, que seria mais apropriado a cursos de engenharia. Essa afirmação está em contradição com nossa fundamentação teórica, uma vez que o plasma, como sendo um dos estados da matéria, ou seja, um fenômeno natural, não deveria ser um tema restrito às engenharias, ele deveria ser um tema presente nos cursos de Física. Podemos observar também um desconhecimento por parte desse professor das Diretrizes Curriculares para os Cursos de Física, uma vez que estas citam como uma das competências essenciais dos profissionais em Física seria “descrever e explicar fenômenos naturais, processos e equipamentos tecnológicos em termos de conceitos, teorias e princípios físicos gerais” (BRASIL, 2001, p.4).

Já com relação à oferta de uma disciplina optativa, P1 justifica sua ausência devido à falta de profissionais com formação abrangente a respeito do tema. No

entanto, acreditamos que a falta de professores capacitados não é uma justificativa aceitável para a ausência da discussão da Física de Plasmas na formação de professores, uma vez que, como em todas as áreas, os profissionais devem estar sempre atualizados com relação às necessidades da área, no nosso caso, para formação de professores.

Isso também está em contradição com o que Gimeno Sacristán (2000) afirma a respeito do currículo universitário, no qual se deve adequar “ao progresso da ciência, de diversos âmbitos do conhecimento e da cultura, e à exigência do mundo profissional” (GIMENO SACRISTÁN, 2000, p.37). Logo, a presença do tema Física do Plasma é relevante nos currículos dos cursos de Licenciatura em Física, uma vez que este é um assunto de Física Moderna e Contemporânea e também presente no cotidiano dos alunos para os quais os futuros professores lecionarão. Ou seja, é um tema que está relacionado com o progresso da ciência, e também faz parte da cultura atual.

Os outros dois professores (P2 e P4) não apresentaram motivos para a ausência da Física do Plasma na estrutura curricular, apenas afirmaram que a temática não está presente nos cursos de Licenciatura em Física.

Quadro 7 – Dados referentes à Questão 3.

UC3 “Dificuldades para inclusão da Física do Plasma na estrutura curricular da Licenciatura em Física”	
UR3.1 “Houve tentativa de inclusão da temática”	01 registro
	“Já, e foi rechaçada, por entendermos que a inclusão de uma disciplina notadamente dirigida para a formação de um bacharel, e como optativa, serviria única e exclusivamente para atender aos interesses de um professor pesquisador daquela área. Qualquer proposta nesse sentido seria prontamente rechaçada em nosso departamento.” P2
UR3.2 “Nunca houve tentativa de inclusão da temática”	01 registro
	“Não houve uma tentativa. [...]” (fragmentado com UR3.7) P4
UR3.3 “Falta de tempo”	Nenhum registro
UR3.4 “Falta de professores	01 registro

capacitados e interessados”	“[...] Como disciplina optativa não há impedimento algum, o que é necessário é que algum professor se disponibilize a criar uma ementa, cadastrá-la e ofertá-la aos alunos.” (fragmentado com URE3.8) P1
UR3.5 “ Falta de material ”	Nenhum registro
UR3.6 “ Outras prioridades ”	Nenhum registro
UR3.7 “ Nenhuma dificuldade ”	01 registro “[...] Em princípio, não haveria nenhuma barreira.” (fragmentado com UR3.2) P4
URE3.8 “ Desconhecimento ”	01 registro “Não tenho conhecimento se uma disciplina específica para plasma já foi proposta no nosso curso de graduação. [...]” (fragmentado com UR3.4) P1
URE3.9 “ Não responde a pergunta ”	01 registro “Não é o caso.” P3

Fonte: a própria autora.

Com relação às tentativas de inclusão da Física do Plasma na estrutura curricular da Licenciatura em Física, um professor (P4) afirma que não houve tentativa de inclusão da temática, e outro professor (P1) afirma não ter conhecimento de uma proposta de inclusão no curso de sua Instituição.

Apenas um dos professores (P2) afirmou que já houve anteriormente uma tentativa de inclusão da temática na estrutura curricular de sua Instituição, no entanto, ele afirma que a disciplina ofertada para o bacharelado em Física serviria exclusivamente para atender aos interesses de um professor pesquisador daquela área. Isto é, P2 e seus colegas não consideraram o assunto relevante nem para a formação do pesquisador em Física, nem para o futuro professor de Física, e por isso foi rechaçada.

Essa resposta vai ao encontro do que Gimeno Sacristán (2000) afirma a respeito do predomínio de valores individualistas no lugar da racionalidade coletiva

em favor dos futuros professores de Física e, conseqüentemente, dos alunos da Educação Básica.

Uma das dificuldades citadas para a inclusão da temática na estrutura curricular foi a falta de interesse por parte dos professores para criar uma ementa, cadastrá-la e ofertar uma disciplina optativa para os estudantes.

P4 afirmou não haver, em princípio, nenhuma dificuldade para a inclusão da temática na estrutura curricular.

Quadro 8 – Dados referentes à Questão 4.

UC4 “Disciplinas pertinentes para abordar a Física do Plasma”	
UR4.1 “Termodinâmica”	Nenhum registro
UR4.2 “Eletromagnetismo”	01 registro “Eletromagnetismo, por oferecer as equações fundamentais para o tratamento matemático [...]” (fragmentado com UR4.3) P4
UR4.3 “Física Moderna”	02 registros “Física Moderna é a disciplina correta para apresentar brevemente este tópico.” P2 “[...] e Física Moderna por permitir abordar o uso e o estudo de plasmas em diferentes situações.” (fragmentado com UR4.2) P4
UR4.4 “Disciplina específica”	Nenhum registro
URE4.5 “Diversas disciplinas”	01 registro “Algumas disciplinas já contemplam o tema, apesar de que qualquer disciplina os temas abordados e sua profundidade dependem do professor responsável. A física do plasma já é contemplada indiretamente em diversas disciplinas.” P1
URE4.6 “Não responde a pergunta”	01 registro “Não é o caso.” P3

Fonte: a própria autora.

Para uma proposta didática de inclusão da Física do Plasma como um tópico dentro de uma disciplina já existente, a disciplina de Eletromagnetismo foi citada uma vez, por P4, para abordar a temática. Segundo Pirovani, Erthal e Campos (2013, p.3), o plasma pode ser relacionado a diferentes temas estruturadores para o Ensino de Física, e entre eles a sua relação com a disciplina de Eletromagnetismo seria por meio de equipamentos eletromagnéticos e telecomunicações, uma vez que

[...] vários equipamentos eletrônicos modernos utilizam tecnologias provindas 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.

A disciplina de Física Moderna foi citada por dois professores (P2 e P4), o que vai ao encontro de discussões em que a Física de Plasma é considerada um assunto de Física Moderna e Contemporânea (PEREIRA; OSTERMANN, 2009; SAVISKI, 2014).

Por fim, um professor (P1) citou que a Física do Plasma pode ser abordada em várias disciplinas, no entanto, não as especifica. Mesmo assim, podemos encontrar relação com os artigos encontrados no levantamento, uma vez que estes afirmam que a temática de plasmas está relacionada a vários dos temas de física (GEKELMAN et al., 2007; HERNÁNDEZ; ALBERÚ; WEBER, 2014).

Quadro 9 – Dados referentes à Questão 5.

UC5 “Abordagem Histórico-Conceitual para a Física do Plasma”	
UR5.1 “Compreensão do processo de construção do conhecimento”	01 registro
	<p>“Na disciplina de Estrutura da Matéria, dependendo do professor, esse tema é abordado exatamente com contexto histórico pelo desenvolvimento dos tubos de raios catódicos que derivam do estudo de descarga em gases desde Michael Faraday.</p> <p>Acredito que uma proposta com esse enfoque seria além de aceita bastante adequada para a licenciatura, mas acredito que a melhor posição seria como disciplina optativa caso todo o curso fosse voltado para a física de plasma que tem um caráter de especificidade.” P1</p>
UR5.2 “Metodologia para o ensino de Ciências”	Nenhum registro
UR5.3 “Desenvolvimentos científicos	Nenhum registro

e tecnológicos”	
UR5.4 “ Descrição de fatos ”	Nenhum registro
UR5.5 “ Não sabe ”	Nenhum registro
URE5.6 “ Aceitação ”	02 registros “Claro que a física do plasma deve estar incluída em uma discussão da história da ciência, mas muito brevemente.” P2 “Seria, mas sem muita "enrolação". Acho que uma proposta mais pragmática é mais recomendável.” P4
URE5.7 “ Não responde a pergunta ”	01 registro “Já existe uma disciplina chamada História e Epistemologia da Física no currículo do curso de Lic. e Bach., em Física.” P3

Fonte: a própria autora.

A maior parte dos professores (três) apresentou aceitação de uma abordagem histórico-conceitual para a Física do Plasma. P1 afirmou que esse enfoque seria bem aceito, uma vez que com ele é possível compreender o tema por meio de seu desenvolvimento histórico, assim como apresentado por Robilotta (1988), Martins (1990), Matthews (1995), Batista (2004), entre outros.

Dois professores (P2 e P4) afirmaram aceitação da abordagem histórico-conceitual, no entanto, não citaram motivos para tal aceitação. De acordo com P2, “[...] a física do plasma deve estar incluída em uma discussão da história da ciência, mas muito brevemente.” No mesmo sentido, P4 comentou que uma proposta didática do tema, baseada na História da Ciência, seria bem aceita, “[...] mas sem muita ‘enrolação’. Acho que uma proposta mais pragmática é mais recomendável.” Podemos inferir que tal apreensão mostrada pelos professores P2 e P4 se deve ao fato de pensar que a utilização da história no ensino é aquela reduzida a nomes, datas e anedotas, afastando os estudantes da complexidade real. Martins (2006) rechaça essa maneira de utilização da história das ciências, pois pode prejudicar o ensino de ciências ao invés de facilitar. Quando utilizada de maneira inadequada, a

história das ciências pode ser um empecilho ao bom ensino de ciências (BATISTA, 2004, 2009; MARTINS, 2006).

Além disso, é comum professores pensarem que a aula de Física se tornará uma aula de História da Física. Podemos inferir que foi nesse sentido que P3 respondeu à Questão 5: “Já existe uma disciplina chamada História e Epistemologia da Física no currículo do curso de Lic. e Bach. em Física”. No entanto, segundo Martins (2006), a história das ciências não pode substituir o ensino comum das ciências, mas pode complementá-lo.

Portanto, a proposta de Unidade Temática elaborada está baseada na História da Ciência a respeito da Física do Plasma sem, no entanto, transformar as aulas de Física em aulas de História da Física.

7.2 PROPOSTA DE UNIDADE TEMÁTICA

Diante dos nossos estudos e dos resultados obtidos, elaboramos uma proposta de Unidade Temática para abordar a Física do Plasma na formação de professores de Física, com base na síntese histórico-conceitual apresentada. Salientamos que a proposta de Unidade Temática é uma das possibilidades de trabalho com o tema Física de Plasmas, entre várias alternativas.

Para a elaboração da Unidade Temática, tomamos como base os referenciais teóricos de Zabala (1998), Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2012) e a Teoria da Aprendizagem Significativa (AUSUBEL, NOVAK, HANESIAN, 1980).

Dessa maneira, a Unidade Temática elaborada está fundamentada na teoria da Aprendizagem Significativa, com objetivo de desenvolver uma unidade de ensino facilitadora da Aprendizagem Significativa da Física do Plasma. A proposta foi desenvolver o tema de maneira qualitativa e conceitual, evitando um tratamento matemático extenso, o que consideramos que deva ser feito em disciplina específica para o assunto. Essa unidade de ensino é pensada por uma sequência de situações e cada uma dessas situações tem seu tempo de aula estimado.

7.2.1 Unidade Temática: Física do Plasma

Objetivos: após a conclusão da Unidade Temática, espera-se que o estudante seja capaz de diferenciar o estado de plasma de outros estados da

matéria; identificar exemplos do estado de plasma em fenômenos e tecnologias do cotidiano; relacionar a Física do Plasma com Ciência, Tecnologia e Sociedade.

A Unidade Temática apresentada a seguir tem duração total prevista de 8 aulas (400 minutos). No entanto, ela pode ser adaptada conforme a necessidade de cada professor, baseando-se em seu tempo disponível e/ou conhecimento prévio dos estudantes. Esta Unidade Temática poderá ser aplicada tanto para estudantes de cursos de Licenciatura, quanto para de Bacharelado em Física. Propomos que ela seja aplicada na disciplina de Física Moderna, uma vez que a Física do Plasma é um tema relacionado à Física Moderna e Contemporânea. A Unidade tem com 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.

Para que seja possível desenvolver a Unidade Temática, citamos como pré-requisitos teórico-conceituais: conhecer os estados sólido, líquido e gasoso e as transições entre eles; ionização; quantização de energia, $E = hv$; conhecimentos da teoria corpuscular da luz.

Recursos: quadro-de-giz, cartazes, projetor multimídia e computador.

A seguir apresentaremos os momentos de atividades a serem realizados durante a Unidade Temática. Primeiramente, será apresentada a descrição das atividades, depois as justificativas de sua organização.

a) ***Situação inicial (50 minutos)***: aplicar um questionário prévio (em anexo - Apêndice B) para os estudantes a respeito de conceitos relacionados à Física de Plasma, para registrar seus conhecimentos prévios da temática. Depois, sugere-se antes da apresentação do tema, promover uma atividade indutora a respeito dos estados da matéria e fazer um debate, aplicando a técnica de *brainstorming*, 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. Às vezes é conveniente ajudar nas respostas com comentários como: “Explique melhor”; “Está indo bem, continue”. Essa etapa deve ser realizada sem que os estudantes recorram a fontes de consulta, e o professor deve ir escrevendo no quadro as explicações que eles forem dizendo ao longo da atividade. Em seguida, o professor faz a seleção do que for relevante para

uma discussão oral e coletiva, tendo como hipótese que deverá ocorrer menção das características dos estados sólido, líquido e gasoso, e suas transições. Em seguida, sugere-se a seguinte pergunta aos estudantes: O que aconteceria se fornecêssemos energia, por aquecimento, a uma substância no estado gasoso, em um recipiente fechado? Nesse momento, sensibilizar que pode existir essa questão. Utilizar um extrato da síntese histórica (Texto 1, em anexo – Apêndice B) contando que Crookes passou por esse mesmo tipo de pergunta, fazendo uma exposição verbal com suas primeiras ideias a respeito da existência da matéria em um estado além do gasoso e o que o levou a propor um quarto estado da matéria, descrevendo aspectos que caracterizam o modo como um processo físico se desenvolve. Pedir a cada estudante que explique, por escrito, com suas próprias palavras, o que foi discutido nesta etapa, com a entrega do material escrito para o docente. No final desta etapa, o professor irá perguntar aos estudantes se eles têm hipóteses ou sugestões de como poderia ser investigada essa situação de aquecimento de uma substância no estado gasoso.

Justificativas:

Os estudantes, por não serem sujeitos neutros, trazem para a sala de aula seus conhecimentos prévios ou sua cultura. Por isso, de acordo com a teoria da Aprendizagem Significativa, precisamos 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.

Nesta etapa, a palavra do professor serve como força estimuladora para o assunto em questão. O professor estimula interesses, instiga a curiosidade, relata de maneira sugestiva um acontecimento, descreve com vivacidade uma situação real (LIBÂNEO, 2013). A conversa 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 conversa 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.

Uma maneira usual de organizar a conversação didática é a *pergunta*. “A pergunta é um estímulo para o raciocínio, incita os estudantes a observarem, pensarem, duvidarem, tomarem partido” (LIBÂNEO, 2013, p.185). É, também, um indício de que os estudantes estão compreendendo a matéria, 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 este conversa com a classe toda.

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 melhor as dificuldades dos estudantes (LIBÂNEO, 2013).

Desse modo, na situação inicial, utilizamos a técnica do *brainstorming*, 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. Afirmam, também, que no *brainstorming*, o que importa não é responder de maneira certa ou lógica, mas de modo espontâneo e criativo (COUTINHO; BOTTENTUIT JUNIOR, 2007).

b) **Situações-problema iniciais (50 minutos)**: sugere-se apresentar aos estudantes as seguintes questões problematizadoras: i) Como é caracterizado o estado de plasma? ii) Como o plasma é produzido? iii) É possível calcular (estimar) a quantidade de energia necessária para a transformação de uma substância no estado sólido para o estado de plasma? Quantos Joules seriam necessários para chegar a um estado diferenciado do estado gasoso? iv) Teria outro caminho para a obtenção do estado de plasma além do aquecimento?

Primeiramente, sugere-se que as questões/situações sejam discutidas em grupos pequenos (3 ou 4 estudantes). Depois, elas deverão ser discutidas em grande grupo, com a classe toda. Um estudante de cada grupo informa para a classe os resultados de seus grupos e passa-se a uma conversação dirigida pelo professor, que coordenará as discussões desafiando os estudantes a expor suas ideias, com a intenção de ouvir a opinião do grupo e estimular a curiosidade a respeito do assunto. O docente explora posições contraditórias, sempre perguntando e solicitando aos estudantes que se pronunciem. O professor deve chegar até a

discussão da obtenção do estado de plasma por meio da ionização do gás por descargas elétricas e de quando surgiu a ideia de ionização. Fazer uma atividade para explicar o processo de ionização. Discutir os conceitos de ânion, cátion, gás ionizante. Em seguida, apresentar o momento histórico das contribuições de Langmuir (Texto 2, em anexo – Apêndice B). Discutir a motivação dos estudos de Langmuir com descargas em gases ionizados (Langmuir estava estudando espalhamento de elétrons e oscilações em gases ionizados) e as bases que eles tinham para montar o experimento que acaba produzindo a interpretação de um novo estado da matéria.

O professor deve finalizar esta etapa discutindo as condições necessárias para transformar uma substância no estado gasoso em estado de plasma. Para isso, ele precisa discutir características de temperatura, agitação molecular do gás, diferença de potencial na qual o gás deve ser submetido, para se definir o estado de plasma.

Justificativas:

Na problematização inicial, apresentam-se situações envolvidas no tema que exijam a introdução dos conhecimentos científicos para interpretá-las. Organiza-se esse momento de maneira que os estudantes possam ser desafiados a expor o que estão pensando a respeito das situações. Inicialmente, a descrição feita por eles prevalece, para que o professor possa conhecer o que eles pensam. A função coordenadora do professor deve se concentrar mais em questionar posicionamentos e lançar dúvidas a respeito do assunto do que em responder ou fornecer explicações. 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.

Nesta segunda etapa, 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 expressar-se e a defender seus pontos de vista (LIBÂNEO, 2013; ZABALA, 1998).

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.

c) **Aprofundando conhecimentos (50 minutos)**: os estudantes realizarão uma pesquisa a respeito da Física do Plasma presente no dia a dia, isto é, relacionando-a com a Física no cotidiano. Sugere-se propor questões problematizadoras que orientem tanto a pesquisa bibliográfica como a escrita de textos. Por exemplo: qual a relação do plasma (lâmpada fluorescente; Sol; auroras - Aurora Boreal, no hemisfério norte, e Aurora Austral, no hemisfério sul; bola de plasma; televisores) com a sociedade? Cada grupo de estudantes ficará responsável por um assunto diferente. A escolha deste assunto deverá ser decidida na aula anterior, bem como o professor deve apresentar a explicação da atividade. Depois, sugere-se a confecção de um pequeno jornal da turma contendo breves artigos, charges, quadrinhos ou figuras, jogos (caça-palavras, palavras-cruzadas) a respeito de cada assunto pesquisado, com mediação do docente. Pedir para que os estudantes façam como trabalho para casa e durante a aula cada grupo apresentará sua parte do jornal. Após pronto, sugere-se expor o jornal publicamente na Unidade universitária de vínculo para a leitura de toda comunidade acadêmica, como divulgação das atividades realizadas pelos estudantes durante o processo de aprendizagem da temática.

Justificativas:

A meta pretendida no momento de aprofundamento 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

aprofundamento de conhecimentos, se propõe a participação ativa do estudante em atividades colaborativas.

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 criador. 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).

d) **Nova situação-problema, em nível mais alto de complexidade (150 minutos)**: sugere-se realizar uma mini-aula expositiva, em slides, utilizando apresentação em PowerPoint, abrindo espaço para perguntas dos estudantes e estimulando discussões na sala. O professor deve apresentar a existência de dois enfoques de estudo de plasma com explicação conceitual do que é um estudo via teoria cinética dos gases e um estudo via fluidos. Depois, ele pode discutir por que utilizar um ou outro enfoque e qual a solução obtida por um e por outro. Após a apresentação, deverá ser entregue aos estudantes uma síntese histórico-conceitual da Física do Plasma (Texto 3, em anexo – Apêndice B).

Em seguida, solicitar-lhes que façam, em pequenos grupos, um mapa conceitual da Física do Plasma. Para isso, em uma preparação metodológica, sugere-se a realização de uma exposição inicial a respeito de como construir um mapa conceitual. Serão apresentados exemplos de assuntos diversos, e os estudantes exercitarão a construção de mapas conceituais com outros temas de Física. Após a construção dos mapas para a Física do Plasma, eles serão trocados entre os grupos para que sejam realizadas comparações e sugestões. Esses mapas conceituais deverão ser apresentados ao grande grupo (em datashow, no quadro ou em cartazes). Após a apresentação e discussão dos mapas, os estudantes terão a oportunidade de corrigir eventuais noções imprecisas antes que sejam entregues ao docente.

Justificativas:

No momento de nova situação-problema, 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 ou acontecimentos. 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, 1999).

e) **Aula integradora final e avaliação da Unidade Temática em sala de aula (100 minutos)**: retomar o conteúdo abordado. Sugere-se propor, na aula anterior, que os estudantes realizem, em grupo, uma pesquisa a respeito das contribuições que o conhecimento da Física de Plasma trouxe para a sociedade; que utilidades; se esse conhecimento trouxe consequências negativas; quando a tecnologia das lâmpadas fluorescentes e das TVs de plasma foram criadas; quando esse conhecimento da Física do Plasma se tornou tecnologia. Os estudantes apresentarão seminários curtos de 10 minutos cada grupo, para apresentar suas pesquisas. O professor, então, discutirá com os estudantes como a Ciência gera tecnologia na sociedade e vice-versa; o papel e a origem das tecnologias; aproximação da Ciência com a escola; autonomia para viver na Sociedade.

Realizar uma avaliação oral por parte dos estudantes a respeito das estratégias de ensino utilizadas e de seu aprendizado. No final, realizar uma atividade de reflexão com os estudantes a respeito da organização da Unidade Temática. Sugere-se explicar para eles que ela tem uma organização que não é apenas histórica, mas também tem objetivos de ser um ambiente interativo, focado na aprendizagem e não na transmissão de conteúdos.

Avaliação da aprendizagem: durante o desenvolvimento da Unidade, acompanha-se o rendimento dos estudantes por meio dos trabalhos escritos, realizados por eles, trabalhos em grupo e nas observações de seus comportamentos em sala de aula, feitas pelo docente. Observar se os estudantes alcançaram as respostas parciais de cada etapa. Um elemento que mostra que a pessoa está acompanhando é a capacidade de elaborar, enunciar, novas perguntas por si mesmo, portanto, observar se os estudantes conseguiram elaborar por si mesmo novas perguntas, ou foram conduzidos pelos outros.

Para a avaliação da aprendizagem, levaremos em consideração Zabala (1998), que afirma 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 concretos 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.

7.2.2 Uma Análise Docente da Unidade Temática

A Unidade Temática elaborada foi enviada aos professores participantes da pesquisa (P1 a P4) e também a outros professores atuantes nas Licenciaturas em Física, por correio eletrônico (e-mail), para fazer uma análise geral da Unidade.

Para essa análise, elaboramos um questionário (Questionário 2 - Apêndice C) com sete questões abertas a respeito da organização da Unidade (assuntos abordados, atividades propostas, abordagem didática, tempo de realização, entre outras coisas). Os enunciados das questões foram decodificados intersubjetivamente nos seus significados por integrantes do grupo de pesquisa IFHIECEM.

Destacamos novamente a dificuldade em conseguir docentes que se disponibilizassem a analisar a Unidade Temática e responder ao questionário. Dentre os professores participantes, um deles (P3) também participou da primeira etapa deste trabalho, e os outros dois (P5 e P6) participaram apenas dessa segunda etapa da pesquisa. Os dados desses novos professores também foram oriundos de respostas formalmente esclarecidas e consentidas.

Apresentaremos as respostas aos questionários no Quadro 10.

Quadro 10 – Dados referentes ao Questionário 2.

Questões	Respostas de P3	Respostas de P5	Respostas de P6
1. O tema escolhido é pertinente para ser ensinado nos cursos de Licenciatura em	Sim, a compreensão da natureza e das propriedades básicas de um plasma é	Sim, pois trata de conceitos físicos que não são discutidos em plenitude em alguns cursos de	Sim, é um tema adequado e relevante, principalmente quando levamos em

<p>Física? Por favor, explique sua resposta.</p>	<p>fundamental para o entendimento de fenômenos naturais envolvendo plasmas, a nível espacial (constituição das estrelas e da matéria interestelar), em nível de fusão (produção de energia por fusão nuclear controlada), e a nível tecnológico (funcionamento de lâmpadas, descargas elétricas em gases, a bomba de hidrogênio, etc.).</p>	<p>licenciatura (por exemplo, os estados da matéria) e além do mais se trata de um tema com aplicações tecnológicas que podem ser discutidas durante a abordagem do tema ou em casos específicos.</p>	<p>consideração o desequilíbrio ainda existente em algumas licenciaturas entre a carga horária e a quantidade de temas referentes à Física Moderna e Contemporânea em relação à Física Clássica.</p>
<p>2. A Unidade Temática contém o conteúdo básico essencial para oferecer condições de aprendizagem aos estudantes? Por favor, comente sua resposta.</p>	<p>Mais ou menos. A abordagem proposta é correta, porém um pouco superficial para o objetivo a que se propõe. Sugiro um aprofundamento dos conceitos usando literatura técnica mais apropriada.</p>	<p>Sim. Pois aborda desde as origens históricas do conceito até suas implicações tecnológicas seguindo uma ordem histórica bem esclarecida.</p>	<p>Em partes. Considerando tratar-se de uma proposta voltada ao Ensino Superior, a ser aplicada em um momento já avançado da graduação (se considerarmos as grades atuais, bem como os pré-requisitos propostos), percebo uma ausência de alguma abordagem matemática. Isso me preocupa um pouco, pois considero que a matemática é uma das linguagens da Física, e ela será relevante para uma compreensão mais sólida dos conceitos.</p>
<p>3. A maneira como o conteúdo está organizado e apresentado nas etapas da Unidade Temática está adequado para oferecer condições de aprendizagem aos estudantes?</p>	<p>O conteúdo apresentado está bem organizado, mas falta um pouco de aprofundamento (vide minha observação anterior).</p>	<p>Sim. Pois da maneira como foi planejada pode proporcionar momentos de interação, discussão, resolução de problemáticas, troca de significados, e de</p>	<p>Diria que sim, porém em partes. A etapa b) Situações problema iniciais está um pouco confusa e deixa alguns questionamentos como: nos grupos, será autorizado o</p>

<p>Sim ou não? Por favor, especifique.</p>		<p>contextualização histórica da construção desse conhecimento científico. Fatores que, aliados, podem gerar indícios de aprendizagem. Além do mais, com os questionamentos sugeridos na unidade o interesse dos sujeitos pode aumentar o que potencializa o processo de aprendizagem.</p>	<p>uso de materiais de apoio? Ou esse momento é uma continuação do levantamento das noções prévias dos estudantes?</p> <p>Ainda há alguns momentos em que o conteúdo é proposto de forma muito genérica. Por exemplo, nessa mesma etapa, a autora sugere “fazer uma atividade para explicar o processo de ionização”. Porém qualquer atividade será válida? Imagino que a sequência tenha sido estruturada a partir de uma teoria de aprendizagem. E se o docente adotar uma atividade que fuja da proposta dessa teoria, ela será adequada à sequência? Acredito ser uma reflexão interessante.</p>
<p>4. O tempo planejado para que os estudantes de Licenciatura em Física possam realizar cada uma das atividades está adequado? Por favor, comente.</p>	<p>Está adequado. Mas, dependendo das questões que possam ser colocadas pelos estudantes, haverá a necessidade de um aprofundamento teórico no assunto.</p>	<p>Sim. Pois as atividades de pesquisa, que demandam mais tempo, são, em sua maioria, recomendadas como atividade extraclasse.</p>	<p>Em partes. Tenho a impressão que o item d) ocuparia um tempo maior que o proposto, para que a explicação conceitual, bem como a participação dos estudantes na discussão não se tornasse muito superficial.</p>
<p>5. De acordo com sua experiência, o tempo total provável de realização da Unidade Temática sugerido para sua</p>	<p>Depende do que entendemos por maneira significativa. Se for apenas para ter uma noção do que são plasmas, o tempo total é</p>	<p>Nunca trabalhei com essa disciplina em um curso de licenciatura em Física, nem em minha formação esse tema foi</p>	<p>Não plenamente. Provavelmente esta proposta estimularia uma aprendizagem significativa, porém algumas atividades, como apresentação</p>

<p>aplicação é apropriado para que os estudantes possam aprender o conteúdo de maneira significativa? Por favor, comente.</p>	<p>apropriado. No entanto, questões apresentadas pelos estudantes podem tornar o aprofundamento necessário e, conseqüentemente, maior tempo será preciso.</p>	<p>abordado para que pudesse responder essa questão com propriedade, entretanto, com base na descrição das atividades e avaliações, considero o tempo previsto apropriado.</p>	<p>de seminários e debates tomam mais tempo do que esperamos, e isso exigiria um tempo um pouco maior para os alunos amadurecerem seus argumentos e solidificarem suas interpretações.</p> <p>Nesse sentido, especifico que as etapas d) e e) dificilmente conseguiriam ser cumpridas de forma satisfatória no tempo proposto.</p>
<p>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.</p>	<p>São adequadas e viáveis, se o objetivo for apenas dar uma ideia básica. Para maior aprofundamento será necessário usar material adicional.</p>	<p>Sim, com uma pequena ressalva ou dúvida quanto à atividade com cartazes. Em relação à elaboração e apresentação do jornal, as ideias são ótimas. Porém, embora a iniciativa de divulgação das atividades da Unidade Temática seja válida, não sei se a melhor maneira seria expor os cartazes na universidade. Quanto às demais atividades e avaliações, a meu critério, estão todas coerentes.</p>	<p>Sim. As avaliações se mostram adequadas à proposta da sequência, bem como à perspectiva da Aprendizagem Significativa. É extremamente interessante as diferentes formas de avaliação e atividades propostas, que evidenciam a participação do aluno de várias formas diferentes, escrevendo, debatendo, apresentando.</p>
<p>7. Por gentileza, deixe seus comentários (aspectos positivos e críticas) a respeito da Unidade Temática elaborada para a formação de professores de</p>	<p>O aspecto positivo é o interesse pelo assunto, pois a física de plasmas é frequentemente negligenciada no tratamento de assuntos aplicados da física, enquanto</p>	<p>A abordagem dessa temática trata-se de uma iniciativa relevante, uma vez que contribui para a explicitação da construção desse conhecimento científico, fragiliza</p>	<p>Aspectos positivos: a sequência apresenta materiais interessantes de apoio, como o recorte histórico; o uso de atividades que centralizem o processo de</p>

<p>Física, e sugestões de possíveis alterações.</p>	<p>ela aparece de forma bastante significativa tanto na física, como na astronomia e na tecnologia moderna.</p>	<p>noções equivocadas em relação aos estados da matéria e relaciona a Física com o cotidiano, proporcionando reflexões a respeito de Ciência, Tecnologia e Sociedade. A Unidade Temática está bem organizada em termos de conteúdo, atividades e avaliações.</p>	<p>aprendizagem no aluno também é admirável, além do uso de várias propostas que estimulam o aluno a expor seus posicionamentos e interpretações.</p> <p>Críticas e sugestões: senti falta do uso da linguagem matemática na proposta, e acredito que ela seja importante para auxiliar na aprendizagem significativa da temática. Também em alguns momentos seria interessante apresentar maiores detalhes, considerando que nem todos os professores conhecerão a Aprendizagem Significativa. Por exemplo, na sugestão de atividade do item b), bem como na mini-aula expositiva do item d), pode ser interessante que a autora ofereça materiais complementares como exemplos de atividades potencialmente significativas.</p>
--	---	--	---

Fonte: a própria autora.

Todas as respostas à Questão 1 apresentam a pertinência do tema Física de Plasmas nos cursos de Licenciatura em Física. Os motivos citados pelos participantes foram diversos. Entre eles está o entendimento de fenômenos naturais

e de aplicações tecnológicas, e também por ser um tema referente à Física Moderna e Contemporânea. As justificativas apresentadas estão em consonância com aquelas presentes na literatura da área, em que afirmam que a Física do Plasma é um tema que faz parte do cotidiano das pessoas, tanto em tecnologias, quanto em fenômenos naturais (PIROVANI; ERTHAL; CAMPOS, 2013). A Física do Plasma como um assunto de Física Moderna e Contemporânea também é citada em trabalhos como, por exemplo, de Pereira e Ostermann (2009) e Saviski (2014).

Com relação às respostas à Questão 2, P5 afirma que o conteúdo está adequado para oferecer condições de aprendizagem aos estudantes em relação ao tema, uma vez que a Unidade Temática *“aborda desde as origens históricas do conceito até suas implicações tecnológicas seguindo uma ordem histórica bem esclarecida”*. Já P3 e P6 afirmam que falta conteúdo tanto técnico (P3) quanto matemático (P6). Evidenciamos aqui que a utilização da linguagem matemática pode ser introduzida na etapa d), durante a mini-aula expositiva, uma vez que a proposta desta etapa foi abordar uma nova situação-problema a respeito do tema, em um nível mais alto de complexidade.

A respeito da Questão 3, P5 afirma que a *“maneira como foi planejada pode proporcionar momentos de interação, discussão, resolução de problemáticas, troca de significados, e de contextualização histórica desse conhecimento científico. Fatores que, aliados, podem gerar indícios de aprendizagem [...]”*. Inferimos que essa afirmação pôde ser feita uma vez que a Unidade Temática elaborada possui 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. No entanto, somente a atividade não é suficiente, é preciso também estimular o envolvimento dos estudantes nesse processo. Por isso, como evidenciado por P5, é preciso aliar essas situações com momentos de interação, discussão e troca de significados. Com relação à contextualização histórica, pode-se afirmar com base na literatura que ela pode possibilitar 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).

P5 ainda complementa sua resposta: “[...] *com os questionamentos sugeridos na unidade o interesse dos sujeitos pode aumentar o que potencializa o processo de aprendizagem*”. Podemos relacionar esta afirmação também com pressupostos da Teoria da Aprendizagem Significativa (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980), em que o estudante deve manifestar uma disposição para a aprendizagem significativa e esse interesse gerado pelos questionamentos pode assumir este papel.

Com relação à organização do conteúdo, P3 também afirma que está bem organizado, no entanto, em sua opinião faltou aprofundamento técnico, de acordo com sua resposta à Questão 2. Já P6 comenta que algumas partes da Unidade Temática estão confusas e deixam alguns questionamentos com relação à etapa b: “*nos grupos, será autorizado o uso de materiais de apoio? Ou esse momento é uma continuação do levantamento das noções prévias dos estudantes?*”. Com relação ao seu primeiro questionamento, admitimos que realmente não estivesse claro, mas a intenção era que a atividade fosse realizada com uso de materiais de apoio, mas que este momento não era continuação do levantamento das noções prévias, isso está claro, pois este momento já foi caracterizado como “Situações-problemas iniciais”. Acreditamos que talvez, como não explicitamos que a atividade seria realizada com apoio de materiais didáticos, isso não ficou claro para este professor.

Ainda na Questão 3, P6 afirma que “[...] *há alguns momentos em que o conteúdo é proposto de forma muito genérica. Por exemplo, nessa mesma etapa [b], a autora sugere ‘fazer uma atividade para explicar o processo de ionização’. Porém qualquer atividade seria válida?...*”. Em resposta ao questionamento de P6, acreditamos que qualquer atividade seria válida, uma vez que essa explicação seria apenas uma revisão de um conteúdo já estudado anteriormente, e por isso este conceito foi colocado como um dos pré-requisitos para o entendimento da Física de Plasmas. Além disso, deixamos essa atividade em aberto, como uma maneira de tornar a Unidade Temática flexível, para que cada professor possa adaptá-la conforme suas necessidades e circunstâncias. Segundo Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2012), essa flexibilidade é necessária uma vez que o planejamento se torna dependente das interações, das respostas que surgem ao longo do caminho, no entanto, não se pode perder de vista os objetivos a ser alcançados. Apesar disso, destacamos que, em uma revisão posterior, apresentaremos uma sugestão de atividade para os professores.

Com relação ao tempo planejado, P5 afirma estar adequado tanto para que os estudantes Licenciatura em Física possam realizar as atividades, quanto para que os estudantes possam aprender o conteúdo de maneira significativa, levando em consideração toda a Unidade Temática, apesar de deixar claro que não possui experiência com a disciplina de Física Moderna.

P3 também comenta que o tempo planejado para as atividades está adequado, apresentando uma ressalva, que *“dependendo das questões que possam ser colocadas pelos estudantes, haverá a necessidade de um aprofundamento teórico no assunto”*. O mesmo argumento é utilizado por P3 para responder à Questão 5. P3 afirma que o tempo total provável de realização da Unidade Temática sugerido para sua aplicação é apropriado se o objetivo for apenas para que os estudantes tenham uma noção do que são plasmas. De acordo com P3, se for necessário um aprofundamento, será preciso de maior tempo.

Ainda com relação às respostas para as Questões 4 e 5, o outro professor (P6) comentou que um dos momentos (item d) poderia ocupar *“um tempo maior do que o proposto, para que a explicação conceitual, bem como a participação dos estudantes na discussão não se tornasse muito superficial”*. Segundo P6, *“atividades, como apresentação de seminários e debates tomam mais tempo do que esperamos, e isso exigiria um tempo um pouco maior para os alunos amadurecerem seus argumentos e solidificarem suas interpretações. Nesse sentido, especifico que as etapas d) e e) dificilmente conseguiriam ser cumpridas de forma satisfatória no tempo proposto”*.

Com relação às respostas de P3 e P6, já está previsto na proposta de Unidade Temática que as turmas são diferentes uma das outras. Logo, se em uma turma houver a necessidade de um tempo maior para aprofundamento dos conceitos, o professor tem a liberdade de adaptar a Unidade Temática 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.

De acordo com as respostas de P3, P5 e P6, as atividades e avaliações sugeridas (em classe e extraclasse) se mostram adequadas e viáveis para serem trabalhadas nos cursos de Licenciatura em Física. Apenas um professor e uma professora apresentaram uma ressalva cada um. P3 afirma que as atividades e

avaliações sugeridas “São adequadas e viáveis, se o objetivo for apenas dar uma ideia básica. Para maior aprofundamento será necessário usar material adicional”. Já P5 comenta que “embora a iniciativa de divulgação das atividades da Unidade Temática seja válida, não sei se a melhor maneira seria expor os cartazes na universidade”. No entanto, a professora não dá sugestão de como fazer tal divulgação de outra maneira.

Com relação à Questão 7, P3 apresenta como aspecto positivo “o interesse pelo assunto, pois a física de plasmas é frequentemente negligenciada no tratamento de assuntos aplicados da física, enquanto ela aparece de forma bastante significativa tanto na física, como na astronomia e na tecnologia moderna”. P5 afirma que a “abordagem dessa temática trata-se de uma iniciativa relevante, uma vez que contribui para a explicitação da construção desse conhecimento científico, fragiliza noções equivocadas em relação aos estados da matéria e relaciona a Física com o cotidiano, proporcionando reflexões a respeito de Ciência, Tecnologia e Sociedade. A Unidade Temática está bem organizada em termos de conteúdo, atividades e avaliações”. As respostas desses dois professores estão de acordo com Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2012), que afirmam 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.

P6 apresenta como aspectos positivos: “a sequência apresenta materiais interessantes de apoio, como o recorte histórico; o uso de atividades que centralizem o processo de aprendizagem no aluno também é admirável, além do uso de várias propostas que estimulam o aluno a expor seus posicionamentos e interpretações”. Essa resposta de P6 vai ao encontro das ideias de Zabala (1998), uma vez que este afirma 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 a possibilidades de errar e realizar as modificações oportunas.

Além disso, P6 apresenta como críticas e sugestões: “senti falta do uso da linguagem matemática na proposta, e acredito que ela seja importante para auxiliar na aprendizagem significativa da temática. Também em alguns momentos seria interessante apresentar maiores detalhes, considerando que nem todos os professores conhecerão a Aprendizagem Significativa. Por exemplo, na sugestão de

atividade do item b), bem como na mini-aula expositiva do item d), pode ser que a autora ofereça materiais complementares como exemplos de atividades potencialmente significativas". Com relação à linguagem matemática, ressaltamos além do que já discutimos anteriormente, que não há um consenso entre os professores participantes da pesquisa a respeito disso, uma vez que P1, ao falar a respeito da relevância da Física do Plasma nos currículos dos cursos de Licenciatura em Física, no Questionário 1, comenta que "[...] existem vários tipos de plasma tanto na natureza como produzidos artificialmente, portanto há que se cuidar com a linguagem e nível, que em minha opinião deve ser mais fenomenológico do que matemático."

Diante dos resultados obtidos, podemos inferir que a Unidade Temática elaborada com base na História da Ciência mostrou ser uma proposta efetiva para trabalhar o conteúdo de Física de Plasma nos cursos de Licenciatura em Física, levando em consideração algumas ressalvas citadas pelos professores avaliadores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa tinha como objetivos investigar a situação de ocorrência ou ausência do ensino da Física do Plasma nos currículos dos cursos de Licenciatura em Física e elaborar uma proposta de Unidade Temática para cursos de Licenciatura em Física a respeito da Física do Plasma, a ser avaliada por docentes de Física.

Para alcançar tais objetivos, iniciamos a investigação com estudos teóricos a respeito da Física Moderna e Contemporânea e da História da Ciência relacionadas à Formação de Professores, Currículo e Aprendizagem Significativa. Esses estudos forneceram aportes teóricos e metodológicos que nortearam a estruturação desta pesquisa.

Com relação ao ensino da Física do Plasma nos currículos das Licenciaturas em Física, não encontramos nenhuma menção explícita relacionada ao assunto de Física de Plasma nos 16 Projetos Pedagógicos de Cursos investigados, nem como um tema a ser abordado dentro de uma disciplina mais ampla, nem como uma disciplina específica obrigatória. Dessa maneira, podemos afirmar também que apesar de ser cada vez mais frequentes a necessidade de reformas de currículos, devido à condição dinâmica da cultura e do conhecimento na atualidade exigirem mudanças qualitativas dos conteúdos e das formas de ensinar, ainda encontramos um currículo congelado em alguns aspectos, que não vem se adaptando com relação às necessidades de formação de professores para a atuação na Educação Básica.

Diante dos resultados obtidos com a análise dos currículos e com o primeiro questionário, podemos inferir que tais instituições pesquisadas não estão priorizando o ensino da temática, tanto em âmbito de graduação, quanto no âmbito da Educação Básica.

Apesar da maior parte das respostas ao Questionário 1 afirmarem que a Física do Plasma é relevante para o currículo dos cursos de Licenciatura em Física, em apenas uma das Instituições pesquisadas existe uma disciplina optativa a respeito da temática ofertada para a Licenciatura em Física. A falta de profissionais interessados e com formação abrangente a respeito do tema foi citada como motivo para ausência e dificuldade de inclusão da Física do Plasma na estrutura curricular

dos cursos de Licenciatura em Física. No entanto, acreditamos que a falta de professores previamente capacitados não é uma justificativa aceitável para a ausência da discussão da Física de Plasmas na formação de professores, uma vez que, como em todas as áreas, os profissionais devem estar sempre atualizados com relação às necessidades da área, no nosso caso, para formação de professores.

Além disso, o fato de termos apenas pouco retorno dos professores de 16 Instituições pesquisadas, também pode denotar a falta de interesse por melhoras na formação de professores de Física e no ensino como um todo.

Acreditamos ter demonstrado que a presença do tema Física do Plasma é relevante nos currículos dos cursos de Licenciatura em Física, pois, este é um assunto de Física Moderna e Contemporânea e está presente no cotidiano dos alunos para os quais os futuros professores lecionarão. Podemos inferir, segundo a literatura, que as respostas dos professores mostraram um predomínio de valores individualistas no lugar da racionalidade coletiva em favor dos futuros professores de Física e, conseqüentemente, dos alunos da Educação Básica. Para uma proposta didática de inclusão da Física do Plasma como um tópico dentro de uma disciplina já existente, a disciplina de Eletromagnetismo foi citada uma vez, a disciplina de Física Moderna foi mencionada por dois professores e um professor citou que a Física do Plasma pode ser abordada em várias disciplinas. A maior parte dos docentes apresentou aceitação de uma abordagem histórico-conceitual para a Física do Plasma.

Com relação à Unidade Temática elaborada com base na História da Ciência, nossa síntese avaliativa mostrou que ela é uma proposta efetiva para trabalhar o conteúdo de Física de Plasma nos cursos de Licenciatura em Física, levando em consideração algumas ressalvas citadas pelos professores avaliadores.

Para finalizar as considerações, relata-se a satisfação de realizar uma pesquisa que visa contribuir com investigações no sentido de proporcionar resultados de pesquisa que evidenciem potencialidades e limitações de uma proposta de Unidade Temática, com base na História da Ciência, para a Formação de Professores. Destacamos que os próximos desafios para a pesquisa a respeito dessa temática são os de readequar a proposta de Unidade Temática, de acordo com as sugestões citadas pelos professores avaliadores, e de realizar sua aplicação em uma investigação metodológica com base empírica.

REFERÊNCIAS

ALFVÉN, H. Existence of electromagnetic-hydrodynamic waves. **Nature**, v.150, p.405, 1942.

ALVES-MAZZOTTI, A. J.; GEWANDSZNAJDER, F. **O método nas ciências naturais e sociais**: pesquisa quantitativa e qualitativa. 2ª edição. São Paulo: Pioneira Thompson Learning, 2002.

AMATO, M. A. Instability of plasma waves in an electromagnetic field. **IL NUOVO CIMENTO**, v.7, p.767-770, 1986.

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.

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.

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. 3. ed. Lisboa: Edições 70, 2004.

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.

_____. History and Philosophy of Science Improving Interdisciplinary Teacher Knowledge. In: 11th International History, Philosophy and Science Teaching Conference, 2011, Thessaloniki. **Anais...** IHPST Group, 2011.

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.

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: 13 set. 2015.

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 – Secretaria de Educação Básica, **Base Nacional Comum Curricular**, 2015. Disponível em: <<http://basenacionalcomum.mec.gov.br/documentos/BNCC-APRESENTACAO.pdf>>. Acesso em: 18 fev. 2016.

CARVALHO, Silvia 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.

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.

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

CROOKES, W. On a Fourth State of Matter. p.469-472, 1880.

DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José André; PERNAMBUCO, Marta Maria. **Ensino de Ciências**: fundamentos e métodos. 4. ed. São Paulo: Cortez, 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**, v.31, n.3, dez. 2014, p.666-676.

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.

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

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

GIMENO SACRISTÁN, José. Introdução: A função aberta da obra e seu conteúdo. In: _____ (Org.). **Saberes e incertezas sobre o currículo**. Porto Alegre: Penso, 2013a. p.16-35.

GIMENO SACRISTÁN, José. O que significa o currículo? In: _____ (Org.). **Saberes e incertezas sobre o currículo**. Porto Alegre: Penso, 2013b. p.9-14.

GOULART, Silvia Moreira. História da Ciência: elo da dimensão transdisciplinar no processo de formação de professores de Ciências. In: LIBANEO, J. C.; SANTOS, Akiko (Orgs.). **Educação na era do conhecimento em rede e transdisciplinaridade**. Campinas, SP: Alínea, 2005.

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.

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.

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**, v.8, n.2, jun. 2014.

HÜLSENDEGER, Margarete J. V. C. A História da Ciência no ensino da Termodinâmica: um outro olhar sobre o ensino de Física. **Ensaio**, v.9, n.2, 2007

LANGMUIR, I. Scattering of electrons in ionized gases. **Physics Review**, v.26, p.585-613, 1925.

_____. Oscillations in Ionized Gases. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.14, p.627-637, 1928.

LEDERMAN, N. G. Nature of Science: part, present, and future. In: ABELL, S. K.; LEDERMAN, N. G. (Ed.). *Handbook of research on science education*. Mahwah – NJ: Lawrence Erlbaum Associates Publishers. 2007. p.831-880.

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

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

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.

MARTINS, Roberto de Andrade. Introdução: a história das ciências e seus usos na educação. p.XXI-XXXIV. In: SILVA, Cibelle Celestino (Ed.). *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo: Livraria da Física, 2006.

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, 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.

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.

MOTT-SMITH, H. M.; LANGMUIR, I. The theory of collectors in gaseous discharges. **Physical Review**, v.28, 1926.

NOVAK, J.; GOWIN, D. **Aprender a aprender**. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 1999.

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, Letície 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 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. 2000.

OTERO, María Rita; FANARO, María de lós 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.

PIAGET, Jean; GARCIA, R. **Psicogeneses e historia de la ciencia**. Mexico: Siglo Veintiuno, 1989.

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.

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.

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: IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2013, Águas de Lindóia. **Atas...** Águas de Lindóia: ABRAPEC, 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.

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.

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.

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.

TONKS, L.; LANGMUIR, I. Oscillations in ionized gases. **Physics Review**, v.33, p.195-613, 1929.

VALADARES, Eduardo de Campos; MOREIRA, Alysson 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.

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...**

VLASOV, A. A. On vibrations properties of electron gas. **Journal of Experimental and Theoretical Physics**, v.8, p.291, 1938.

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

APÊNDICES

APÊNDICE A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e Questionário 1**TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**

Gostaria de convidá-lo/a para participar do projeto de pesquisa intitulado provisoriamente “O Ensino da Física do Plasma e a Formação de Professores” de responsabilidade da pesquisadora Ligia Ayumi Kikuchi. Para participar, é necessária a leitura deste documento com atenção.

Gostaria de contar com sua colaboração no preenchimento do questionário a seguir, cujo intuito é coletar dados para a minha Dissertação de Mestrado para o Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática da Universidade Estadual de Londrina/PR, sob orientação da Prof^a Dr^a Irinéa de Lourdes Batista. O objetivo da pesquisa é investigar a estrutura curricular dos Cursos de Licenciatura em Física de Instituições brasileiras.

Sua decisão de participar é voluntária, podendo se recusar ou mesmo desistir da participação a qualquer momento, sem que isso acarrete qualquer prejuízo à sua pessoa. Esclarecemos que os dados pessoais coletados, assim como as Instituições onde lecionam, serão utilizados somente para fins desta pesquisa e serão tratados com sigilo e confidencialidade, de modo a preservar sua identidade. Você declara ter sido informado/a e concorda em participar, como voluntário/a, do projeto de pesquisa acima descrito?

Eu, (nome completo) _____, declaro ter sido informado/a e concordo em participar, como voluntário/a, do projeto de pesquisa acima descrito.

Assinatura

Dados Pessoais

Nome Completo: _____

Graduação

Curso: _____

Instituição: _____

Pós Graduação

Especialização

Curso: _____

Instituição: _____

Mestrado

Área: _____

Instituição: _____

Doutorado

Área: _____

Instituição: _____

Tempo de docência:

 Ensino Médio: _____ Ensino Superior: _____

Questionário 1:

1. Você considera o tema Física do Plasma relevante para o currículo das Licenciaturas em Física? Por favor, explique.
2. A Física do Plasma está contemplada na estrutura curricular do curso de Licenciatura em Física de sua instituição?
 - a. Se sim, foi observado que isso não está explícito no Projeto Pedagógico do Curso. Poderia indicar em que documento isso está contemplado? A presença da Física do Plasma nos currículos dos cursos é de caráter optativo ou obrigatório? É apresentada como uma disciplina ou como um tópico dentro de outra disciplina (por favor, especifique-a)? Qual a carga horária destinada a esse assunto?
 - b. Se não, que motivos você poderia apresentar para explicar a ausência dessa temática na estrutura curricular?
3. Já houve anteriormente alguma tentativa de inclusão da Física do Plasma na estrutura curricular do curso de Licenciatura em Física da sua instituição? Que motivos você poderia citar para o seu não sucesso ou exclusão? Se não houve nenhuma tentativa ainda, que dificuldades você destacaria que pudessem existir se houvesse uma proposta didática de ensino da temática na estrutura curricular do curso?
4. Para uma proposta didática de inclusão da Física do Plasma como um tópico dentro de uma disciplina já existente, em que disciplinas você consideraria pertinente abordar a temática? (Por exemplo, Termodinâmica, Eletromagnetismo, Física Moderna, ou outras). Por favor, explique.
5. Uma proposta didática do tema, baseada na História da Ciência, seria bem aceita? Por favor, explique.

Muito obrigada pela sua participação!
Ligia Ayumi Kikuchi

APÊNDICE B – Anexos à Unidade Temática

Questionário para investigar conhecimentos prévios de estudantes de Licenciatura em Física

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

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

2) Dê exemplos de fenômenos naturais e/ou tecnologias presentes no cotidiano, relacionados ao plasma.

3) Como o plasma pode ser produzido?

4) Diferencie o estado de plasma de outros estados da matéria.

Texto 1

William Crookes, químico e físico inglês, em 1880, afirmou a existência de um quarto estado da matéria, ou, como caracterizou na época, um estado da matéria ultragasoso. Ele fundamentou sua posição a respeito da existência da matéria em 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 descontínuas, separadas por um espaço que é grande em comparação com o diâmetro da molécula. Essas moléculas são 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 aquecer suficientemente um sólido, suas moléculas adquirem energia térmica necessária para superar a força de coesão. Assim, o sólido se torna 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 livre caminho médio 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 livre caminho 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 afirma 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) afirma que o movimento para frente tem substituído os movimentos irregulares que constituem a essência da condição gasosa. Assim, ele considera que as moléculas têm assumido a condição de matéria radiante (CROOKES, 1880), hoje conhecida como estado de plasma.

REFERÊNCIAS

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

CROOKES, William. On a Fourth State of Matter. p.469-472, 1880.

Texto 2

Em 1900, o aperfeiçoamento das técnicas de vácuo permitiu estudos de descargas elétricas em ambiente controlado. Assim, 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.

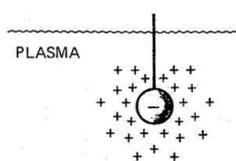
Por volta de 1926, Irving Langmuir e Harold M. Mott-Smith Jr. estudavam descargas elétricas em gases a baixas pressões. Nesse estudo, eles utilizaram um método já anteriormente usado, por eles mesmos, na investigação do arco de vapor de mercúrio e, por Compton, Turner e McCurdy, nos estudos de descargas estriadas. Esse método 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).

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 ou “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 assim 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 1 – “Bainha” positiva.

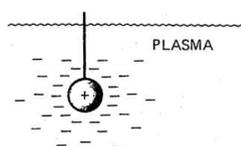


Fonte: Adaptado de Chen (1974).

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, assim, seria coletada a densidade de corrente eletrônica.

Figura 2 – “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).

Assim, Mott-Smith e Langmuir mostraram que é possível utilizar um pequeno eletrodo de metal, ou “sonda” para determinar experimentalmente temperaturas das partículas, densidades das partículas e densidades de corrente aleatórias nas descargas por meio da aplicação de vários potenciais e da medida das correntes coletadas. Também mostraram que é possível calcular a distribuição de velocidade das partículas, a partir das características de corrente e tensão obtidas pelos coletores nas descargas.

Somente em 1928, 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).

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).

REFERÊNCIAS

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

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.

MOTT-SMITH, H. M.; LANGMUIR, I. The theory of collectors in gaseous discharges. **Physical Review**, v.28, 1926.

TONKS, L.; LANGMUIR, I. Oscillations in ionized gases. **Physics Review**, v.33, p.195-613, 1929.

Texto 3 - Síntese Histórico-Conceitual da Física do Plasma

William Crookes, químico e físico inglês, em 1880, afirmou a existência de um quarto estado da matéria, ou, como caracterizou na época, um estado da matéria ultragasoso. Ele fundamentou sua posição a respeito da existência da matéria em 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 descontínuas, separadas por um espaço que é grande em comparação com o diâmetro da molécula. Essas moléculas são 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 se torna 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 livre caminho médio 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, aumentava-se o livre caminho 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 afirma 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) afirma que o movimento para frente tem substituído os movimentos irregulares que constituem a essência da condição gasosa. Assim, ele considera que as moléculas têm assumido a condição de matéria radiante (CROOKES, 1880), hoje conhecida como estado de plasma.

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 permitiu estudos de descargas elétricas em ambiente controlado. Assim, 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

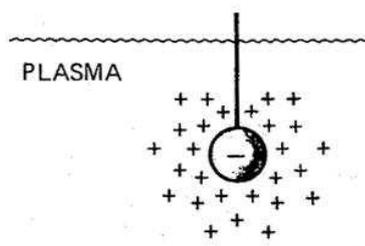
método já anteriormente usado, por eles mesmos, na investigação do arco de vapor de mercúrio e, por Compton, Turner e McCurdy, nos estudos de descargas estriadas. Esse método consiste na determinação das características de corrente e tensão obtidas por um pequeno eletrodo auxiliar, ou coletor (sonda), localizado no caminho da descarga, e realizaram a interpretação dessas características (MOTT-SMITH; LANGMUIR, 1926).

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 ou “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 assim se torna rodeado por uma “bainha” positiva ou região de carga espacial positiva. Assim, apenas a densidade de corrente de íons positivos será coletada.

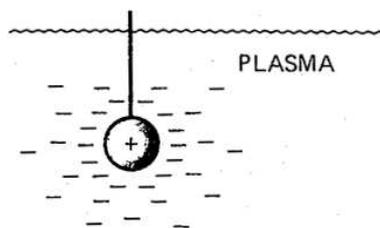
Figura 1 – “Bainha” positiva.



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, assim, seria coletada a densidade de corrente eletrônica.

Figura 2 – “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).

Assim, Mott-Smith e Langmuir mostraram que é possível utilizar um pequeno eletrodo de metal, ou “sonda” para determinar experimentalmente temperaturas das partículas, densidades das partículas e densidades de corrente aleatórias nas descargas por meio da aplicação de vários potenciais e da medida das correntes coletadas. Também mostraram que é possível calcular a distribuição de velocidade das partículas, a partir das características de corrente e tensão obtidas pelos coletores nas descargas.

Somente em 1928, 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).

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).

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, mas no qual o fluido é um condutor elétrico e, portanto, também 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 atualmente chamados cinturões de Van Allen são compostos de partículas carregadas confinadas pelo campo magnético da Terra.

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. Essa motivação desencadeou, a partir da década de 1960, uma série de trabalhos associados ao aquecimento de plasmas por meio da incidência de um campo de radiação.

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.

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 toroidal⁸, 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 hamiltoniana⁹ 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, pode consideravelmente mudar as propriedades de blindagem de tal plasma (MIRANDA et al., 2005).

⁸ Um toróide tem formato de um pneu de carro.

⁹ 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.

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 C – Questionário 2

Questionário para análise da Unidade Temática

1. O tema escolhido é pertinente para ser ensinado nos cursos de Licenciatura em Física? Por favor, explique sua resposta.
2. A Unidade Temática 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 Temática 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 Temática 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 Temática elaborada para a formação de professores de Física, e sugestões de possíveis alterações.

Muito obrigada pela sua participação!

Ligia Ayumi Kikuchi