

Uma análise das práticas para o ensino de Física Moderna e Contemporânea em cursos de Licenciatura em Física

An analysis of the teaching practices of Modern and Contemporary Physics in degree in physics

Karen Magno Gonçalves ^{1*}, João dos Santos Cabral Neto ²

¹ Secretaria de Estado de Educação e Qualidade do Ensino do Amazonas (SEDUC-AM), Rua Waldomiro Lustoza 350, Japiim II - CEP 69076-830 - Manaus, AM, Brasil.

² Programa de Pós-Graduação em Ensino Tecnológico, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM), Av. Sete de Setembro 1975, Centro - CEP 69020-120 - Manaus, AM, Brasil.

*E-mail: goncalveskren@gmail.com

Recibido el 25 de enero de 2024 | Aceptado el 9 de abril de 2024

Resumen

As experiências vivenciadas por licenciandos em Física ganham destaque na medida em que se compreende que estes retroalimentarão a educação básica. No entanto, pesquisas têm mostrado pouca ênfase em discussões sobre as aprendizagens de conceitos e fenômenos abordados pela Física Moderna e Contemporânea (FMC). Por isso, implementamos a técnica da Revisão Sistemática de Literatura (RSL) de Kitchenham e Charters (2007), cujo corpus é constituído de teses disponibilizadas no período de 1987 a 2021 no contexto do ensino de Física em cursos de licenciatura, a fim de analisar os caminhos tomados pelos pesquisadores: teorias e avaliação da aprendizagem, recursos didáticos, estratégias de ensino e conteúdos abordados. A partir da leitura das 6 teses selecionadas, concluímos que apesar das práticas apresentarem propostas para melhorias do ensino de FMC nos cursos de licenciatura, suas possibilidades educacionais não foram significativamente exploradas, principalmente nas discussões de transposição didática e dificuldades de aprendizagem.

Palavras chave: Ensino de Física; Práticas de ensino; Física Moderna e Contemporânea.

Abstract

The diverse experiences of the degree in physics students gain prominence insofar as understand that these providing feedback high school. However, research has shown few emphases about learning fundamental concepts and phenomena discussed in Modern and Contemporary Physics (MCP). In view of this, view to finding a possible solution, we have implemented systematic literature review (SLR) of the Kitchenham and Charters (2007) whose corpus consisting of theses written in the period from 1987 to 2021 in the context teaching physics in the training of teachers of physics, in order to analyze the ways taken researchers: theories and assessment of learning, teaching resources, teaching strategies and topics covered. The results obtained from reading the 6 doctoral theses show that despite practices proposals for teaching improvement MCP in the training of teachers of physics, their educational possibilities weren't significantly explored, mainly about didactic transpositions and learning difficulties.

Keywords: Physics Teaching; Teaching Practices; Modern and Contemporary Physics.

I. INTRODUÇÃO

A Física é uma ciência que há muito vem chamando atenção da sociedade para a sua natureza, para o seu fascínio. Temos na história da ciência vários momentos em que ela, a Física, mostrou-se fundamental tanto em relação ao desenvolvimento da sociedade, quanto ao avanço tecnológico. Fenômenos observados na Terra e outros vistos no céu foram tratados com elegância e notável grau de precisão. No século XVII, Isaac Newton (1642-1727) formulou as leis da mecânica clássica, possibilitando explicar desde a queda de um objeto ao chão até a contínua “queda” da Lua e a órbita dos planetas. Outro exemplo, James Clerk Maxwell (1831-1879), portanto século XIX, formalizou a teoria do eletromagnetismo, permitindo o desenvolvimento de aparelhos como telefone, rádio e televisão, que proporcionaram significativa mudança na forma de comunicação da sociedade. A Física tinha alcançado tal grau de evolução que levou alguns a pensarem que nada mais havia a descobrir, mas Max Planck (1858-1947) mudou essa realidade quando, em 1900, mostrou ao mundo que essa área ainda tinha perguntas sem resposta, o caso da radiação de corpo negro. Outras questões também estavam em aberto: o efeito fotoelétrico e a relatividade. A partir desse momento, sucederam vários encontros com o propósito de discutir quais bases teóricas poderiam sustentar a nova Física. O primeiro deles aconteceu em 1911 e o quinto em 1927, eventos patrocinados pelo químico industrial belga Ernest Solvay (1838-1992), ocorridos na cidade de Bruxelas, e que ficaram conhecidos como Conferências de Solvay. O ano de 1927 marca o fim desse ciclo de encontros e o início da Física Moderna e Contemporânea (FMC) com suas bases teóricas, que contou com as contribuições de Einstein, Marie Curie, Planck, Bohr, Heisenberg, Dirac, Pauli, de Broglie, Schrödinger, dentre outros (Pereira, 2015).

No Brasil a FMC chega por meio do paulista Theodoro Augusto Ramos (1895-1935), ao apresentar o trabalho “A Teoria da Relatividade e as Raias Espectrais do Hidrogênio” para a Acadêmica Brasileira de Ciências, em novembro de 1923 (Studart, Costa e Moreira, 2004). Já em 1934, com a criação da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo (FFCL-USP), Theodoro Ramos integrou comitiva que prospectou e convidou pesquisadores para trabalhar no país. Dentre aqueles que aceitaram o convite estava Gleb Wataghin (1899-1986), físico russo que implementou curso de graduação em Física, nesse mesmo ano, Seção de Ciências, na Subseção de Ciências Físicas da FFCL-USP, cuja matriz curricular contemplava tópicos de FMC. O curso estava organizado em três anos e era no terceiro ano que os alunos tinham contato com a Física Moderna e Contemporânea, na disciplina Teorias Físicas e História da Física (Tabacniks, 2020). Na página *web* da FFCL-USP, Departamento de Física, é possível encontrar acervo com o programa elaborado por Wataghin no ano 1936 para o Curso de Física. Os concludentes recebiam o grau de Bacharel, além de haver para esses o Curso Complementar de Didática, que conferia o diploma de Licenciatura, habilitando para ministrar aulas no que hoje conhecemos como Ensino Médio (Araújo e Vianna, 2010). Atualmente, a formação de licenciados em Física observa as diretrizes pertinentes do Art. 62º da Lei 9394, de 20 de dezembro de 1996, Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional.

De certo modo consolidada na formação de bacharéis, abre-se discussão, em meados dos anos de 1980, sobre a necessidade de inserir a FMC no Ensino Médio. Nesse sentido, foram necessários estudos para encontrar formas de transpor as teorias numa linguagem e nível de complexidade acessíveis aos alunos. Consequentemente a isso, debate-se sobre a formação de licenciados em Física para atender essa demanda. Na cidade de São Paulo, por exemplo, a FMC integrou oficialmente a matriz curricular do Ensino Médio em 2010 (Silva, Arenghi e Lino, 2013) e no Amazonas em 2012 com a Proposta Curricular de Física para o Ensino Médio (Seduc-AM, 2012). Esse processo ressalta a importância da transposição didática, que consiste na adaptação do conhecimento acadêmico em conteúdo ensinável, para garantir a compreensão efetiva dos conceitos de FMC pelos estudantes, conforme discutido por Yves Chevillard (2013).

Assim, o ensino da FMC tornou-se alvo de estudo de vários pesquisadores porque tratava-se de um objeto de conhecimento indispensável à formação básica. Tais pesquisadores têm utilizado da técnica de revisão da literatura acerca do tema e consideram haver necessidade de mais investigações que possam subsidiar tomadas de decisão sobre como trabalhar a inserção da FMC no Ensino Médio e como trabalhar na formação de professores (Ostermann e Moreira, 2000; Greca e Moreira, 2001; Pereira e Ostermann, 2009) porque configura-se num movimento complexo e interdependente entre quem ensina e quem aprende.

Na revisão feita por Ostermann e Moreira (2000), observou-se vários aspectos envolvidos com o tema: (1) estratégias de ensino e currículos; (2) concepções alternativas; (3) temas de FMC apresentados como divulgação ou como bibliografia de consulta para professores de nível médio; (4) propostas testadas em sala de aula e (5) livros didáticos de nível médio. Disso concluíram que, apesar da existência de um movimento para a inserção da FMC, havia escassez de trabalhos que tratem de estratégias para o ensino e sobre a transposição de conceitos e teorias da FMC. Greca e Moreira (2001), com a temática sobre o ensino de conteúdos introdutórios de Mecânica Quântica, também realizaram revisão da literatura e, ao considerarem que iniciativas desenvolvidas para o ensino da FMC ainda necessitam de mais fundamentos didático-pedagógicos, corroboram com vários aspectos apontados por aqueles autores. Pereira e Ostermann (2009) também estudaram o tema e as evidências mostraram que havia, voltadas para a didática dos

professores, muitas sugestões de textos, recursos (simulações computacionais e experimentos de baixo custo) e propostas de estratégias (modelos didáticos e analogias), mas poucas testadas em sala de aula.

Desta forma, a fim de analisar os caminhos tomados pelos pesquisadores nas práticas de ensino de FMC nos cursos de Licenciatura em Física (teorias e avaliação da aprendizagem, recursos didáticos, estratégias de ensino, conteúdos abordados e taxonomias) implementamos a técnica da Revisão Sistemática de Literatura (RSL) cujo corpus é constituído de teses disponibilizadas no período de 1987 a 2021 e artigos publicados entre 2018 e 2023, no contexto do ensino de Física.

II. DETALHES DA REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

Para o desenvolvimento da RSL, utilizamos a proposta metodológica de Kietchenham e Charters (2007), a qual propõe três etapas principais: (1) planejamento, (2) condução e (3) relato da revisão. Dessa forma, no planejamento, foram definidas as questões de pesquisa, a construção da estratégia de busca e a definição dos critérios de inclusão, exclusão e avaliação dos materiais. O período de busca foi definido de acordo com os arquivos disponibilizados na plataforma escolhida, entre 1987 e 2021.

A. Questões de pesquisa

Para nortear a RSL definimos a seguinte questão de pesquisa: “de que maneira o ensino da Física Moderna e Contemporânea tem sido abordado em cursos de licenciatura em Física, em artigos e em teses de doutorado no Brasil?”. Como forma de responder, elaboramos as questões norteadoras: (1) quais são os objetivos adotados para a abordagem da FMC nas pesquisas relatadas? (2) quais conteúdos, que compõem a FMC, foram abordados? (3) quais são os recursos didáticos utilizados para promover o ensino e aprendizagem da FMC? (4) quais são as abordagens metodológicas destacadas nestes estudos? (5) quais são as estratégias de avaliação? (6) quais os resultados relatados?

B. Estratégia para a recuperação de trabalhos

O processo de busca dos trabalhos foi organizado em 4 etapas:

1) Seleção das teses na base de dados

A base de dados é constituída do Catálogo de Teses e Dissertação da CAPES e o Portal Brasileiro de Dados Abertos (PBDA), para as teses de doutorado e os indexadores *Scielo*, *Scopus* e Periódicos CAPES, para os artigos. Foi elaborada a seguinte expressão de busca (*string*): “Física Moderna”. Optamos por restringir o termo de busca ao âmbito da “Física Moderna” devido à sua abrangência, que naturalmente engloba a “Física Moderna e Contemporânea”, sendo assim, a não inclusão do termo “e contemporânea” foi uma decisão estratégica para evitar redundância. Quanto à não delimitação por “ensino” e/ou “licenciaturas”, foi uma escolha para não excluir trabalhos relevantes, já que a aplicação desses filtros resultou na exclusão de teses importantes para nossa pesquisa. Desta forma, os dados recuperados do Catálogo CAPES totalizaram 466 documentos, mas, após a utilização de parâmetro para o tipo de documento (tese de doutorado acadêmico e profissional), reduziu para 43 trabalhos. A decisão por excluir dissertações de mestrado de nossa pesquisa teve o intuito de focar em trabalhos que apresentassem uma abordagem mais original, inédita ou inovadora no contexto do ensino de Física Moderna nos cursos de licenciatura. Essa decisão foi tomada para garantir uma análise mais específica das práticas e pesquisas potencialmente mais impactantes nesse campo.

O espectro temporal compreendeu os anos de 1987 a 2021. Dessas havia 06 duplicações, que foram excluídas, restando 37 trabalhos. Concomitante à busca no Catálogo, recuperamos dados também do PBDA. Esses dados são disponibilizados em planilhas anuais no formato Excel, que contêm o título do trabalho, resumo, orientador, autor, instituição e programa de pós-graduação. Para efetuar a recuperação aplicamos o filtro “doutorado” nas planilhas de 1987 a 2013, e nas planilhas de 2014 a 2021 o filtro “tese” porque houve mudança de categoria: “doutorado” → “tese”. A partir dessa seleção, extraímos aquelas de interesse usando as expressões “Física Moderna” e “Física Moderna” porque o processo de filtragem da planilha Excel faz distinção de palavras com e sem acento. Disso temos 51 trabalhos recuperados. Cruzando os dados do Catálogo com o da Plataforma observamos que esse já continha os 37 trabalhos daquele e, portanto, ficamos com 51 trabalhos de tese recuperados. Buscando por artigos, Qualis A1 e A2, entre os anos de 2018 e 2022, obtivemos 31 artigos. Decidimos utilizar períodos de busca diferentes para artigos e teses devido às peculiaridades das fontes de informação. Para os artigos, nos concentramos nos anos de 2018 a 2022, com o objetivo de incluir publicações recentes em revistas de alto impacto (Qualis A1 e A2). Por outro lado, para as teses, decidimos ampliar o período de busca, considerando que esses documentos podem levar mais tempo para serem concluídos, revisados e disponibilizados publicamente, garantindo assim uma análise abrangente das pesquisas mais recentes e consolidadas no tema do ensino de Física Moderna em cursos de licenciatura.

2) Critérios de exclusão e inclusão

Para a composição do corpus documental foram estabelecidos critérios de inclusão e exclusão sobre as 51 teses e os 31 artigos recuperados, que são mostrados na Tabela 1.

TABELA I. Critérios de exclusão e inclusão utilizados na RSL. Fonte: adaptado de Junior e Rivera (2022).

Critérios de exclusão	Teses e artigos que não abordam aplicações práticas com vista ao ensino e aprendizagem da Física Moderna e Contemporânea em cursos de Licenciatura em Física
	Teses e artigos que relatam intervenções práticas exclusivamente na Educação Básica e/ou formação continuada de professores
	Teses e artigos indisponíveis para a consulta
Critérios de inclusão	Teses e artigos publicados no Brasil durante o período delimitado
	Teses e artigos que abordam aplicações práticas com vista ao processo de ensino e aprendizagem da Física Moderna e Contemporânea em cursos de Licenciatura em Física

Os elementos dos trabalhos lidos nos quais se aplicou esses critérios foram: resumo, objetivos e a seção correspondente à metodologia de ensino (ou equivalente). Dos 51 trabalhos de tese recuperados foram descartados 26 pelo primeiro e 19 pelo segundo critérios de exclusão. Portanto, atendendo aos critérios de inclusão, retornaram apenas 6 teses. Quanto aos artigos, observamos baixo quantitativo de trabalhos que abordam práticas de ensino e aprendizagem da FMC nos cursos de licenciatura em Física. Aplicados os critérios, foram selecionados apenas 2: Neves e Pierson (2022) e Rocha (2021), sendo o primeiro oriundo de uma tese de doutorado.

3) Critérios de qualidade do estudo

Os critérios de qualidade do estudo foram elaborados com a finalidade de verificar fatores específicos que são considerados essenciais dentro de um trabalho de pesquisa no campo de práticas na formação inicial de professores de Física, tendo em vista as necessidades atuais para o ensino de Ciências e para preparação de futuros professores. Sendo assim, baseamo-nos nas sugestões apontadas por: Kietchenham e Charters (2007) para estudos qualitativos, Creswell e Creswell (2021) para os elementos de projetos de pesquisa e Darling-Hammond e Bransford (2019) para aspectos na formação inicial de professores.

Para avaliar a qualidade do estudo foram aplicados os critérios mostrados na Tabela 2, nos seguintes elementos das 6 teses e 2 artigos selecionados: objetivos, fundamentação teórica, metodologia e resultados alcançados de cada trabalho, que se correlacionam às questões de pesquisa.

TABELA II. Critérios de qualidade.

Critérios de qualidade
A. Qual o objetivo proposto na pesquisa relatada?
B. Quais conteúdos foram abordados?
C. Em que disciplina do currículo a experiência foi realizada?
D. Qual a média de duração das atividades?
E. Em qual período se encontravam os sujeitos/participantes da experiência no curso?
F. Qual o tamanho do público-alvo?
G. Em que ambiente as atividades foram desenvolvidas?
H. Qual desenho metodológico (pesquisa-ação, estudo de caso, fenomenologia etc.) foi adotado na pesquisa?
I. Existe discussão acerca da importância do planejamento e como elaboram o planejamento da prática?
J. Os sujeitos/participantes realizaram algum tipo de planejamento educacional ou elaboração de atividades para a aplicação em futuras turmas de Ensino Médio?
K. Qual estratégia educacional de organização das atividades e recurso para o ensino foram utilizados?
L. Existe a indicação explícita de uma teoria da aprendizagem no desenvolvimento das atividades da pesquisa?
M. Qual(i)s o(s) método(s)/estratégia(s) de avaliação utilizado(s) na(s) experiência(s)?
N. Utiliza-se rubrica ou taxonomia para avaliar o desempenho dos participantes na aprendizagem?
O. Quais os principais resultados e dificuldades encontrados nas pesquisas?
P. Que processo ou produto educacional é gerado com vistas ao ensino de FMC?

As respostas para as perguntas que norteiam o critério de qualidade do trabalho foram enquadradas como: “sim” - apresenta as informações necessárias para responder à pergunta; “parcial” - apresenta apenas parte das informações necessárias; e “não” - onde não há indícios de tais informações. Para representar numericamente o resultado, atribuímos valor 3 para resposta “sim”, 2 para “parcial” e 1 para “não”, assim permitindo estimar o grau de qualidade do trabalho. Então, a soma “sim” em todas as questões corresponderá a 48 (ou 100%), que servirá como parâmetro de comparação. Aplicados os critérios de qualidade obtivemos um resultado de 65% e 69% nos artigos selecionados.

Quando comparamos esses dados com o percentual da tese de Neves (2020), a qual gerou um dos artigos avaliados, 88%, nota-se que as teses possuem um quantitativo maior de informações relevantes para o desenvolvimento da RSL proposta. Embora tenhamos observado que uma das teses apresentou uma pontuação de qualidade inferior à do único artigo avaliado que não é resultante de uma pesquisa de doutorado, é importante destacar que a escolha de focar nas teses de doutorado como material de busca foi baseada não apenas na pontuação individual de cada documento, mas também na análise geral do conteúdo e na relevância para os objetivos da pesquisa. Apesar de uma única tese ter obtido uma pontuação mais baixa, nossa avaliação considerou o conjunto de teses como um todo, observando a tendência geral de apresentar uma quantidade maior de informações relevantes para o desenvolvimento da RSL proposta. Portanto, a decisão de prosseguir apenas com as teses de doutorado como material de busca foi sustentada pela percepção de que esses documentos oferecem uma contribuição mais abrangente e substancial para nossa análise.

A fim de ampliar a qualidade do estudo, implementamos ainda o *Checklist SRQR (Standards for Reporting Qualitative Research)* para estudos qualitativos (O'Brien *et al.*, 2014), de forma que pudéssemos garantir que os trabalhos selecionados apresentariam, para além das especificidades da Tabela 2, os requisitos que definem uma pesquisa enquadrada como qualitativa (abordagem qualitativa e modelo de pesquisa, características do pesquisador e reflexividade, contexto, estratégia de amostragem, conexão a dados empíricos, questões éticas a respeito dos participantes, unidades de estudo, limitações e conflitos de interesse). A soma “sim” nos 21 itens do *checklist* corresponderá a 63 (ou 100%).

4) Leitura das teses selecionadas

Por fim, realizamos a leitura das teses selecionadas para investigar em profundidade os critérios de qualidade do estudo apresentados na Tabela 2.

C. Ameaças à validade da pesquisa

As principais ameaças à validade desta RSL estão relacionadas ao percurso de seleção das teses analisadas. As buscas foram baseadas em procedimentos manuais/mecânicos, o que poderia resultar na não identificação de teses por falha humana. Além disso, destaca-se ainda que a aplicação dos critérios de inclusão, exclusão e qualidade tem caráter interpretativo, o que poderia ocasionar erros na extração de dados e na análise dos resultados. Para atenuar esses fatores, as análises foram realizadas de forma colaborativa entre os autores desta RSL.

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Do processo de seleção das teses, pode-se observar o crescimento do quantitativo de trabalhos envolvendo estudos sobre FMC no período de 1987 a 2021. Esse resultado corrobora com a ideia de a FMC tornar-se objeto de estudo de vários pesquisadores para encontrar modos e recursos de ensiná-la e aprendê-la devido a sua importância na formação básica.

Aplicados os critérios de exclusão e inclusão restaram 06 teses que compuseram o corpus documental, apresentadas na Tabela 3.

TABELA III. Teses que compuseram o corpus documental.

Código	Título	Autor	Ano	Instituição
T1	Implementação de uma proposta de ensino para a disciplina de Estrutura da Matéria baseada na Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud	Krey	2009	UFRGS
T2	Complementaridade onda-partícula e emaranhamento quântico na formação de professores de Física segundo a perspectiva sociocultural	Netto	2015	UFRGS
T3	O documentário de divulgação científica e a discussão de aspectos da física moderna e contemporânea na formação inicial de professores de Física	Pereira	2017	UNICAMP
T4	Experimentos Históricos em Ambiente Virtual: uma abordagem Histórico-didática a respeito da Teoria Eletrofraca para o estudo de Física de Partículas no ensino superior	Costa	2019	UEL
T5	Física Moderna e Contemporânea na Formação Inicial de Professores de Física: Sentidos Produzidos e Saberes Mobilizados	Bicalho	2020	UNESP
T6	Interações discursivas, práticas e movimentos epistêmicos no ensino de relatividade restrita	Neves	2020	UFSCar

Da leitura das teses gerou-se um panorama sobre a qualidade do estudo que apresentamos na Figura 1 (b): T1 alcançou 90%, T6 88%, T4 83%, T2 83%, T3 73% e T5 63% [Figura 1 (b)].

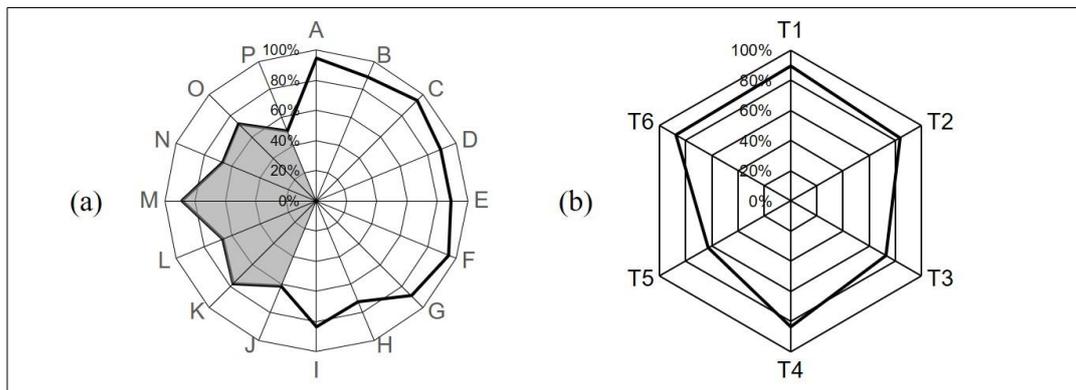


FIGURA 1. Visão geral da qualidade do estudo e detalhamento dos critérios. A Figura 1 (a) ilustra a distribuição percentual de pontos alcançados para cada critério de qualidade, destacando os itens J a P na área hachurada. Os percentuais correspondem a J (61%), K (78%), L (67%), M (89%), N (67%), O (72%) e P (50%). A Figura 1 (b) fornece uma visão geral da qualidade do estudo, indicando as porcentagens alcançadas por cada tese: T1 (90%), T6 (88%), T4 (83%), T2 (83%), T3 (73%) e T5 (63%).

Na Figura 1 (a) temos a distribuição de pontos alcançados em cada critério de qualidade e como desejamos identificar avanços no processo de ensino e aprendizagem de FMC. Iniciamos nossas discussões pelos itens J até P: J (61%), K (78%), L (67%), M (89%), N (67%), O (72%) e P (50%). [Correspondendo à área hachurada na Figura 1 (a).]

Para tanto, aplicadas as especificidades para as práticas de ensino de FMC nos cursos de licenciatura em Física, o checklist SRQR permite avaliar de uma forma mais ampla as pesquisas qualitativas. Apesar de haver aspectos ausentes e/ou pouco abordados nas teses analisadas, de acordo com os critérios apresentados na Tabela 2 e discutidos ao longo deste trabalho, estas apresentaram um percentual de qualidade significativo quando a questões éticas a respeito dos participantes (100%), estratégias de amostragem (100%), formulação do problema (94%) e propósito do estudo (94%). De maneira geral, aplicados os 21 itens do checklist, obtivemos: T1 – 89%; T2 – 84%; T3 – 81%; T4 – 97%; T5 – 75%; T6 – 89%. Tais resultados evidenciam que as pesquisas de doutorado analisadas desenvolveram de fato uma abordagem qualitativa.

A. Critério A: Objetivo

Na Tabela 4, a seguir, apresentamos os objetivos declarados nos estudos. Nestes vemos a ideia central da pesquisa desenvolvida e os verbos utilizados são: investigar (66,7% das teses), entender (16,65%) e analisar (16,65%). Assim, demonstram o modo como agiram diante de um problema de pesquisa cuja solução é evidenciada por meio da ação de investigar, entender e analisar.

TABELA IV. Objetivos declarados nas teses analisadas.

Tese	Objetivo
T1	“Investigar como conduzir a disciplina de Estrutura da Matéria em um curso de licenciatura para que a aprendizagem significativa dos temas de Física Moderna e Contemporânea estudados seja favorecida e, desta forma, os futuros professores sejam capazes de fazer a transposição didática necessária para abordá-los no Ensino Médio” (Krey, 2009, p. 55, grifo nosso)
T2	“Investigar, no contexto do curso de Licenciatura em Física do IFRS-BG, como os conceitos de complementaridade e emaranhamento quântico são apropriados pelos professores em formação” (Netto, 2015, p. 7, grifo nosso)
T3	“Investigar que sentidos são produzidos por quatro estudantes de um curso de Licenciatura em Física sobre a inserção de tópicos de FMC no EM usando como principal recurso DDC” (Pereira, 2017, p. 21, grifo nosso)
T4	“Investigar a inserção de História e Filosofia da Ciência (HFC), no Ensino Superior, por meio de experimentos históricos em um ambiente virtual” (Costa, 2019, p. 18, grifo nosso)
T5	“Entender os saberes mobilizados durante esse período de estágio e de como os sentidos são produzidos durante a regência de um curso de Física Moderna e Contemporânea” (Bicalho, 2020, p. 61, grifo nosso)
T6	“Analisar e compreender que emergem em sala de aula durante a realização de uma sequência de ensino sobre os conceitos de espaço e tempo de acordo com a Teoria da Relatividade Restrita, e identificar as práticas epistêmicas mobilizadas pelos estudantes e o papel do professor nesse processo” (Neves, 2020, p. 25, grifo nosso)

Há também elementos nos objetivos declarados que remetem ao público envolvido, ao componente curricular e ao objeto de conhecimento da FMC. Mas há outros elementos significativos que geraram expectativas de possíveis avanços no enfrentamento de dificuldades no ensino e aprendizagem de FMC quando: (1) preocupa-se com a transposição didática, (2) como o conhecimento é apropriado, (3) os sentidos dados aos conhecimentos adquiridos, (4) o papel da história e filosofia para a aprendizagem, (5) mobilização de saberes e (6) como propõem-se, justificam e legitimam o conhecimento.

Segundo Flick (2009), as pesquisas qualitativas diferenciam-se pela diversidade de abordagens empregadas no seu desenvolvimento, devido ao modo como os sujeitos interpretam os objetos e os outros indivíduos, conduzindo seus comportamentos. Ademais, por causa da forma como esses indivíduos empregam métodos para dar sentido às suas ações, bem como para realizá-las, e a busca para identificar as estruturas que sustentam um fenômeno, além das inter-relações existentes. Contudo, o objeto de estudo e o método empregado são os que se destacam na diferenciação: (1) há as que destacam o ponto de vista do sujeito, (2) outras que descrevem processos em seus contextos e (3) aquelas que se aprofundam na interpretação e concepções de significados. E ao observar os objetivos declarados nos estudos, evidenciamos elementos que alinham as teses T1, T4 e T6 na descrição de processo na produção de situações e de ambientes, T2 e T3 focam no ponto de vista do sujeito e T5 na reconstrução hermenêutica de estruturas que geram ação e significado. (Observe os grifos na Tabela 4.)

Portanto, os possíveis avanços devem estar alinhados a essas perspectivas, que discutiremos após análises dos outros critérios de qualidade da Tabela 3, na subseção resultados (critério O).

B. Critérios B ao F: Conteúdo, disciplina, carga horária, período e participantes

As pesquisas foram realizadas em diversas disciplinas, cada uma com suas características específicas:

T1 (Estrutura da matéria): Desenvolvida no 8º período com cerca de 30 estudantes, abordou temas como Radiação, Física Nuclear e Partículas Elementares, ao longo de 16 encontros, totalizando 4 horas de aula por semana.

T2 (Física Moderna e Contemporânea I): Realizada no 6º período com aproximadamente 5 estudantes, explorou tópicos de Física Quântica como a complementaridade onda-partícula e o emaranhamento quântico. Foram realizadas duas aplicações, uma com 11 horas/aula e outra com 16 horas/aula.

T3 (Prática do Ensino de Física II): Também no 6º período com 4 estudantes, abordou temas como Energia Nuclear, Big Bang e efeito fotoelétrico a partir dos planos de aula dos alunos, sem especificação da carga horária.

T4 (Oficina de Pesquisa): Tratou da Teoria Eletrofraca (Física de Partículas) em 3 encontros, totalizando 16 horas.

T5 (Estágio Supervisionado): O conteúdo não foi identificado, mas ocorreu dos 5º ao 8º período com 11 estudantes, com duração de 4 semestres.

T6 (Introdução à Física A): Desenvolvida no 1º período com 27 estudantes, abordou a Teoria da Relatividade Restrita, especialmente espaço e tempo, durante 12 horas/aula.

Essa variedade de disciplinas reflete a diversidade de abordagens e o envolvimento dos alunos em explorar diferentes aspectos da FMC, desde conceitos fundamentais até práticas de ensino e estágio supervisionado.

C. Critério G: Ambiente

Os espaços utilizados foram sala de aula (T1, T2, T3 e T6), laboratório de informática (T3) e ambiente virtual (T4), a T5 não explicitou o espaço.

D. Critério H: Desenho metodológico

O caráter das pesquisas não é claramente explicitado, mas pode-se observar que são do tipo qualitativa porque emprega-se a compreensão de fatos/fenômenos específicos e delimitáveis mais pelo seu grau de complexidade do que pela sua expressão quantitativa. As teses T3 e T5 apresentaram referências e elementos do estudo de caso, contudo, não há evidências claras de sua implementação.

E. Critérios I e J: Planejamento e exercício do planejamento

O planejamento de aula e a elaboração de atividades para o ensino de determinado conceito são fundamentais para atingir os resultados pretendidos na aprendizagem. O planejamento tem por princípio a ação docente, que reflete sobre sua prática, podendo conduzir ao estudo de sua própria ação e produzir ações inovadoras (Fusari, 1990). Libâneo (1990) também aborda a importância do planejamento e considera tratar-se de um processo de racionalização, organização, coordenação das ações docentes com implicações sociais. Agora somando a isso o fato dos sujeitos envolvidos

no ensino e aprendizagem serem licenciandos, a experiência com as aulas pode refletir na sua atuação na condição futura de docente. Mas como os estudos compreendem o planejamento?

Observando as teses notamos que: T1 - os docentes não se preocupam com o “ensinar a planejar” e com o fato de que esta é uma ação fundamental para os futuros professores; o planejamento das aulas requer objetivo, as ideias-chave, os conceitos-chave e estratégias; T2 - as situações de ensino devem ser planejadas, mas não explicita o planejamento da intervenção implementada; T3 - é importante o planejamento, organização e gestão das aulas, para que assim possa o professor estruturar cognitivamente seu modo de agir e refletir sobre sua ação; T4 - princípios e estratégias relacionados à aprendizagem devem ser levados em consideração durante o planejamento e execução de uma abordagem didática; T5 - o planejamento do processo de formação de licenciandos deve levar em consideração os saberes da experiência daquele que planeja; T6 - é importante planejar para a promoção da aprendizagem.

A compreensão da necessidade de planejar as ações no processo de ensino e aprendizagem é evidente nas teses. Nelas o plano de ensino apresenta características que o configuram como plano de aula, que segundo Piletti (2004) é aquele em que o professor planeja o que fará num determinado dia letivo. Contudo, considerando que o objeto de conhecimento pertence à FMC, a complexidade das teorias, a interdisciplinaridade e a sua relevância na formação de professores (com vistas à docência no Ensino Médio), o planejamento pode ser conduzido observando que competências serão desenvolvidas e estabelecendo inter-relação entre o conteúdo de cada aula. A clareza do planejamento e a experiência vivida pelo licenciando pode ser tomada como referência para a futura prática educativa. Apesar de haver menção ao planejamento e em alguns casos uma descrição de etapas desenvolvidas pelos professores, as teses analisadas não o explicitam, e isso pode evidenciar uma tímida compreensão do seu papel e talvez a revele como o cumprimento de mera formalidade. O ocorrido reflete diretamente numa possível inviabilidade de reaplicações das práticas por outros professores que aspiram melhorias no processo de ensino e aprendizagem de FMC.

Aqueles que formam professores têm papel fundamental no desenvolvimento de conhecimento, competência e atitudes, o desenvolvimento de metodologias de ensino que permitam refletir sobre o processo de ensino e aprendizagem. Não obstante, a planificação organizada do trabalho a ser realizado, o estabelecimento de estratégias e métodos convenientes para o atingimento do resultado esperado de aprendizagem, seguido de socialização, mostra a importância e o papel do plano de ensino e do plano de aula. García (1999) considera que no processo de formação de professores deve-se desenvolver vários tipos de conhecimento: do conteúdo, dos princípios que norteiam o processo de ensino e aprendizagem e o didático-pedagógico. Então, o momento do planejamento não deve ser, segundo Vasconcellos (2014), uma mera formalidade porque, como afirma Libâneo (1990), trata-se de um “processo de racionalização, organização coordenação da ação docente” (p. 222). Tudo o que acontece ou poderá acontecer em sala de aula está sob a influência desses elementos, sistematizando os conhecimentos da FMC ao longo do processo de ensino e aprendizagem.

Assim, além de descrevermos o planejamento conduzido nas pesquisas, exploramos também como os licenciandos exercitam o planejamento (critério J). Nos cursos de formação de professores há um componente curricular destinado ao desenvolvimento do planejamento de ensino e de aula, que, geralmente, recebe o nome de Didática ou Didática Geral. Assim, o licenciando é conduzido a refletir a realidade da sala de aula, as condições da escola e a propor um processo de intervenção para alcançar um objetivo de aprendizagem. Fonseca e Fonseca (2016, p.54) afirmam que “Desenvolver o currículo e promover a aprendizagem envolve obrigatoriamente o planejamento”, e para isso são necessárias várias etapas no seu processo de construção: (1) diagnóstico, (2) definição de objetivos, (3) definição do objeto de conhecimento a ser difundido, (4) procedimentos a serem adotados (cabendo em alguns casos o improviso), (5) seleção de recursos para o ensino e (6) avaliação da aprendizagem.

Na disciplina Didática Geral o licenciando tem a oportunidade de conhecer e aprender sobre processos para a construção do conhecimento no campo da metodologia de ensino. Nela o licenciando pode aprender a estabelecer relação entre teoria e prática a partir de um quadro situacional da escola, da sala de aula, e das vivências dos sujeitos envolvidos no processo de ensino e aprendizagem. Então, quando se oportuniza ao licenciando o exercício do planejamento no contexto da área de conhecimento, aqui FMC, pode-se favorecer melhores prescrições de ensino, de recursos e de estratégias que esse conhecimento requer, além, é claro, de promover a reflexão sobre a ação. Corroborando com tal visão, Carvalho e Sasseron (2018, p. 43) apontam que o cenário atual de sala de aula tem tornado “a profissão do professor [...] muito mais difícil”, pois este deve estar preparado para levar seus alunos a construir seu próprio conhecimento e, para isso, o licenciando deve experimentar o planejamento, a implementação e a avaliação de ações para o ensino e aprendizagem.

Das teses analisadas, T1, T3 e T5 dão evidências dos licenciandos terem experienciado a construção de um planejamento: T1 - menção de apresentação de um esboço do planejamento de microaula pelos licenciandos; T3 - a evidência é observada quando se menciona que os licenciandos elaboraram planos de aula com vistas a um minicurso; T5 - os licenciandos elaboraram, organizaram e implementaram uma proposta para o ensino de FMC.

Apesar dessas evidências, não está claro como o processo de construção do planejamento se deu em observância das etapas supracitadas. As teses T2, T4 e T6 não mencionam a construção de planejamento. Assim, perde-se a

oportunidade de preparar melhor o professor de Física para atuar de forma racionalizada, organizada e coordenada no processo de ensino e aprendizagem. Deixa-se de exercitar a relação teoria e prática; teoria vista da didática e a prática que considera o contexto e a especificidade de determinado objeto de conhecimento. O fato de não ser explicitado o processo de construção de um planejamento pode evidenciar a pouca importância dada a esse instrumento e/ou a compreensão do seu papel no ensino e aprendizagem. Dessa forma, ainda que metade das teses mencione a elaboração de planejamentos pelos licenciandos, poucas são as evidências de discussão de transposição didática, definição de objetivos e procedimentos a serem adotados para o ensino de FMC.

F. Critério K: Estratégia e recurso

Tornou-se comum argumentar que o ensino de Física tem características próprias e que sua aprendizagem depende fortemente de conhecimentos matemáticos e, caso esse não esteja adequadamente presente na estrutura cognitiva do aluno, haverá dificuldade no aprendizado da Física. Por exemplo, para resolver um determinado problema, o aluno precisa, na maioria das vezes, realizar cálculos matemáticos no processo de resolução. Além disso, Pozo e Crespo (2006, p.193) acrescentam outras dificuldades enfrentadas pelos alunos: “a forma como o aluno vê o mundo, necessidade de representar o que não é observável”. Portanto, é fundamental que o professor analise qual estratégia utilizar para favorecer a aprendizagem: que atividades combinadas as dele os alunos devem realizar para diferenciar progressivamente conceitos da FMC¹? E ao responder essa pergunta o professor define métodos de ensino e procedimentos didáticos que atendam as características da FMC.

Quando analisamos os critérios I e J vimos que o planejamento não está explícito. Isso pode dificultar a identificação das estratégias adotadas, que a partir do planejamento são implementadas. As evidências de estratégias adotadas que levantamos são: T1 - utiliza situações de aprendizagem, fundamentada na Teoria dos Campos Conceituais, em que os alunos alcançaram os conceitos através de argumentação, tarefas, exemplos de situações, analogias e questionamentos; T2 - utiliza roteiros exploratórios, com eventos na sua forma natural, em que se realiza a mediação e organização das ações dos alunos fundamentados na análise das interações discursivas entre indivíduos; T6 - utiliza a Aprendizagem Baseada em Design associada a Sequências de Ensino e Aprendizagem, com a finalidade de criar um ambiente inovador que relaciona teoria e práticas educacionais.

A utilização de uma estratégia de ensino, planejada e adequada ao contexto em que está inserida, tende a refletir nos resultados de aprendizagem alcançados pelos alunos (Carvalho e Sasseron, 2018). Apesar disso, as teses T3, T4 e T5 não explicitam seu uso. As teses T3 e T5 dividem momentos de coleta de dados e não expõem a estratégia para condução das aulas que geraram tais dados. Já a tese T4, mesmo apresentando indícios de uso de uma estratégia a fim de atender determinadas dimensões de ensino, denomina a “Abordagem Didática” como um instrumento metodológico. O fato impacta também nas experiências dos licenciandos, pois sem a nítida fundamentação em estratégias de ensino adequadas, produz-se uma lacuna na construção do planejamento, na implementação das aulas e na avaliação da aprendizagem dos alunos de ensino médio quanto à FMC.

Em relação ao recurso utilizado no ensino, que segundo observado nos trabalhos de Oliveira e Calejon (2016) e da Silva e Dantas Filho (2023), são os materiais utilizados por professores e alunos visando auxiliar no processo de ensino-aprendizagem, as teses apresentam os seguintes: T1 - mapas conceituais, textos e situações problema; T2 - *software* para simulação Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder e roteiros exploratórios; T3 - documentários de divulgação científica; T4 - simulações e situações problema; T5 - não apresenta evidência da utilização de recurso; T6 - situações problema.

Tais recursos didáticos são os principais materiais citados nas teses, mas não podemos afirmar que foram os únicos utilizados. Além disso, é possível notar uma presença significativa de situações problema e simulações computacionais. Importante ressaltar o posicionamento do autor da tese T2, o qual enfatiza que o *software* de simulação utilizado foi visto como “[...] uma ferramenta mediadora em potencial, visto que o caráter mediador está no uso que se faz e não na ferramenta em si.” (Netto, 2015, p. 202), porém, assim como mencionado quanto ao uso de uma estratégia de ensino, o uso de recursos didáticos por si só, sem um planejamento adequado e explicitamente detalhado, tende a inviabilizar reaplicações por outros professores e pode trazer consequências para os resultados pretendidos na aprendizagem dos alunos. Tal comprometimento pode ser percebido na própria tese T2 em que o autor relata que alunos encararam “o roteiro exploratório mais como um jogo de perguntas e respostas do que como um guia” e outros “pouco interagiram entre si e com a simulação” (Netto, 2015, p. 255).

¹ No contexto deste trabalho fazemos uso do termo “diferenciar progressivamente” seguindo o entendimento de Ausubel, Novak e Hanesian (1980) no qual trata-se de aumentar gradualmente o nível de compreensão acerca de um determinado conceito, a fim de se atingir uma aprendizagem mais significativa.

G. Critério L: Teoria de aprendizagem

O modo como os alunos aprendem e que condições são necessárias para que ocorra a aprendizagem são fatores significativos no processo de ensino e aprendizagem. Considerando a presença do professor nesse processo, o resultado esperado depende da dinâmica que envolve os atos de aprender (aluno) e ensinar (professor) e da situação de aprendizagem. Por sua vez, a dinâmica é estabelecida quando sabemos quais variáveis estão envolvidas (dependentes, independentes ou mediadoras), que podem explicar como funciona e porque funciona um determinado processo de ensino e aprendizagem. Segundo Moreira (1999), subjacente a isso há uma teoria de aprendizagem que orienta o processo e fundamenta sua análise: aprendizagem é uma área de conhecimento que contém várias teorias que possibilitam interpretá-la sistematicamente. Então, as teorias de aprendizagem utilizadas nas teses foram: T1 - Teoria da Aprendizagem Significativa e Teoria dos Campos Conceituais; T2 - Teoria da mediação de Vygotsky articulada com a filosofia translingüística de Bakhtin; T4 - Teoria da Aprendizagem Significativa.

As práticas adotadas nas teses refletiram uma busca por alinhamento com as teorias de aprendizagem escolhidas pelos autores. Na tese T1, houve uma clara tentativa de incorporar os princípios da Aprendizagem Significativa de Ausubel e dos Campos Conceituais, evidenciada pela utilização de estratégias como situações potencialmente significativas e mapas conceituais, visando conectar os conceitos aos conhecimentos prévios dos alunos. Entretanto, a ausência de análise das intervenções dos alunos pode limitar a compreensão da eficácia dessas práticas na promoção da aprendizagem desejada. Por outro lado, a tese T2 demonstrou coesão com a Teoria da Mediação de Vygotsky e a filosofia translingüística de Bakhtin, ao enfatizar a interação social e o diálogo como elementos centrais no processo de construção do conhecimento. Apesar disso, seria benéfico um maior enfoque na análise do papel do professor como mediador dessas interações, bem como na identificação de estratégias específicas para promover uma aprendizagem mais eficaz. Já na tese T4, que se fundamentou na Teoria da Aprendizagem Significativa, destacou-se a importância de elementos como organizadores prévios e subsunçores na construção de um aprendizado significativo, além da busca por uma compreensão profunda e contextualizada dos conceitos. No entanto, a falta de abordagem direta sobre materiais potencialmente significativos poderia enriquecer ainda mais a experiência de aprendizagem dos alunos. (Ausubel, Novak e Hanesian, 1980; Vygotsky, 2007)

Apesar dos autores das teses proporem práticas para o ensino de FMC a alunos de cursos de Licenciatura em Física, as teses T3, T5 e T6 não apresentam indícios de uso de uma teoria de aprendizagem. Tal fato nos remete a um aspecto acerca da importância dessas teorias nos processos de ensino e aprendizagem de conteúdos na preparação dos licenciandos: “[...] os futuros professores precisam experienciar o que é aprender em ambientes que sejam consistentes com os princípios de aprendizagem.” (Darling-Hammond e Bransford, 2019, p. 65). Ou seja, se suas experiências enquanto licenciandos definirão as experiências propiciadas aos seus futuros alunos do Ensino Médio, logo faz-se necessário que aprendam da maneira que se espera que ensinem. Deste modo, a construção do planejamento, o exercitar pelos licenciandos e as estratégias e recursos didáticos utilizados devem ser fundamentados e articulados a uma teoria de aprendizagem que busque o alcance dos resultados pretendidos no processo de ensino e aprendizagem da FMC.

H. Critério M: Avaliação da aprendizagem

Decorre da teoria de aprendizagem a avaliação da aprendizagem. Essa está a serviço daquela. Segundo Luckesi (2011, p. 264), é “[...] uma atribuição de qualidade, com base em dados relevantes da aprendizagem dos estudantes de atribuir qualidade, para uma tomada de decisão”. A avaliação não é um ato isolado, mas faz parte do percurso pedagógico auxiliador do aluno no seu desenvolvimento, para o exercício da cidadania e para a produção de conhecimento. Por outro lado, a avaliação auxilia o professor na sua atividade de gestão do ensino, a eficácia do processo de ensino, da metodologia, dos recursos e do tempo.

Para avaliar, o professor deve seguir uma teoria de aprendizagem de modo consciente, porque a partir dos fundamentos teóricos ele pode observar e interpretar a realidade, os contornos de sua ação: quais dados coletar, como coletar e qualificar os dados. Portanto, as ações do professor devem ser coerentes com a teoria de aprendizagem adotada para o atingimento do resultado pretendido de aprendizagem (Luckesi, 2011).

A tese T1 apresenta instrumentos utilizados para coletar dados que foram usados na avaliação da aprendizagem: prova escrita, construção de textos, mapa conceitual e aula expositiva, e para a qualidade dos dados usa-se rubrica de aprendizagem. Pelo contrário, as teses T2, T3 e T5 realizaram as avaliações por meio da análise do discurso, mas não apresentaram critérios de avaliação da aprendizagem. Nas teses T2 e T3 identificamos, nas discussões dos resultados, análises referentes à aprendizagem dos conteúdos da FMC abordados, fato que não fica evidente na tese T5. Já a tese T4 utilizou como instrumento o V de Gowin, qualificou e classificou os dados por meio de categorias, denominadas “Unidades de Análise”. Na T6 os dados foram coletados por meio das discussões produzidas durante a atividade intitulada “solução das situações-problema” e faz uso de níveis de complexidade do produto argumentativo para analisar os argumentos construídos pelos licenciandos. Tais informações produzem questionamentos do tipo: como pode-se

verificar se os resultados pretendidos da aprendizagem foram alcançados sem o uso de avaliações planejadas para tal propósito?

Com base nas informações fornecidas sobre as teorias de aprendizagem selecionadas e as práticas de avaliação utilizadas em cada tese, é evidente a diversidade de abordagens adotadas pelos autores. No entanto, observa-se a necessidade de uma análise mais aprofundada sobre a coerência entre as teorias escolhidas e as formas de avaliação empregadas. Embora algumas teses demonstrem uma tentativa de alinhamento com as teorias de aprendizagem selecionadas, como evidenciado nas práticas de avaliação da tese T1, outras carecem de uma exploração mais robusta da relação entre teoria e prática. Portanto, é crucial que futuras pesquisas investiguem não apenas a eficácia das práticas de ensino propostas, mas também a consistência entre as teorias de aprendizagem escolhidas e as estratégias de avaliação implementadas.

I. Critério N: Taxonomia

Os dados coletados a partir dos instrumentos devem ser organizados e qualificados, porque para a avaliação da aprendizagem precisa-se, segundo Luckesi (2011, p. 277), de uma descrição da realidade que por meio dos dados coletados qualifica-se “[...] pela comparação da realidade descrita com um critério, assumindo como qualidade desejada”. A descrição da realidade funciona como um diagnóstico ou um levantamento dos conhecimentos prévios relevantes para a aprendizagem de determinado objeto de conhecimento. O critério de qualidade assumido como desejável serve tanto para o diagnóstico quanto para a avaliação da aprendizagem. A partir do diagnóstico, decide-se sobre a intervenção e como implementá-la, e, assim, retroalimenta-se o plano de ensino. Dessa forma, a taxonomia adotada pelas teses foram: T1 - fez uso de níveis (superior, médio e inferior), detalha cada um dos níveis de acordo com os critérios estabelecidos, mas não expõe teórico utilizado; T4 - fez uso de Unidades de Registro (UR 1, UR2, UR 3, etc.) em que expõe um detalhamento que permite definir a qualidade da aprendizagem e mostra diversos teóricos para fundamentar o uso de tais unidades; T6 - apesar de apresentar um instrumento de avaliação, não faz uma discriminação de quais aspectos definem a qualidade da aprendizagem dos licenciandos.

A implementação de uma prática para o ensino de FMC sem o uso de uma taxonomia que permita aferir a qualidade da aprendizagem dos alunos, resulta em dúvidas acerca do alcance dos resultados pretendidos de tal aprendizagem. As teses T2, T3 e T5, por não proporem explicitamente uma avaliação de aprendizagem dos alunos quanto à FMC, conseqüentemente não fazem uso de uma taxonomia. Já a tese T6, mesmo utilizando níveis de complexidade do produto argumentativo, não detalha quais critérios foram estabelecidos para definir a qualidade da aprendizagem.

J. Critério O: Resultados

Realizando-se articulação dos critérios apresentados anteriormente (planejamento, exercício do planejamento, estratégia e recursos, teoria de aprendizagem, avaliação da aprendizagem e taxonomia) com os resultados relatados nas teses, torna-se possível averiguarmos se os objetivos propostos foram alcançados.

A tese T1, apesar de realizar uma discussão acerca da importância de ensinar a planejar, de propor a elaboração do planejamento e apresentação de uma microaula pelos licenciandos, fazer uso de situações de aprendizagem e mapas conceituais, fundamentar-se em teorias de aprendizagem e avaliar tais aprendizagens seguindo critérios e níveis de desempenho, pouco discute acerca da transposição didática da FMC; aspecto destacado no objetivo da pesquisa. O termo referido é citado ao longo do texto apenas 4 vezes e não é realizada referência ao expoente nesse campo de estudo, Yves Chevallard.

A tese T2, por meio do uso de roteiros exploratórios e de um *software* de simulação, discute como os conceitos da complementariedade e emaranhamento quântico são apropriados pelos futuros professores, mas, por não apresentar critérios e níveis de desempenho, não qualifica a apropriação objetivada.

A tese T3 mesmo não apresentando critérios para mensurar a produção de sentidos dos licenciandos e não adotando uma teoria de aprendizagem, possibilita a investigação de como os futuros professores realizariam a inserção da FMC por meio de documentários de divulgação científica, ao propor a elaboração de um plano de minicurso.

As teses T4 e T6 desenvolvem o proposto no objetivo da pesquisa utilizando estratégias e recursos, teoria de aprendizagem, critérios e níveis de desempenho, podendo então discutir, respectivamente, como a História e a Filosofia das Ciências pode ser inserida no ensino superior, e como as práticas epistêmicas são mobilizadas pelos estudantes durante a realização de uma sequência de ensino. A discussão de como os licenciandos poderiam planejar práticas para seus futuros alunos do Ensino Médio não é explicitada nas teses.

Já a tese T5 ao propor o entendimento dos saberes mobilizados durante o estágio e como os sentidos são produzidos durante a regência de um curso de Física Moderna e Contemporânea, adentra em discussões mais aprofundadas no campo da formação de professores e não discute as aprendizagens dos licenciandos, por isso não atende aos critérios de estratégia e recurso, teoria de aprendizagem, avaliação da aprendizagem e taxonomia.

As dificuldades enfrentadas no desenvolvimento das pesquisas foram relatadas apenas em duas teses: T1 – demanda considerável de tempo para preparação das aulas e quantidade extensiva de informações em um curto tempo prejudicou a assimilação dos conteúdos, e T2 – alguns alunos encararam os roteiros exploratórios como um jogo de perguntas e respostas e não como um guia para a produção de interações discursivas, outros com pouca interação com a simulação.

A declaração das dificuldades enfrentadas no decorrer das práticas do ensino de FMC em cursos de licenciatura é primordial para auxiliar na compreensão dos resultados obtidos nas teses porque pode possibilitar o desenvolvimento de novas pesquisas visando solucionar problemas no campo de estudo. O fato de não registrarem as dificuldades, pode estar diretamente relacionado a ausência de preocupação com a replicabilidade dos processos. No decorrer de implementação, talvez nem mesmo tenham se atentado para perceber e registrar essas dificuldades. Portanto, apesar de identificarmos a existência de resultados favoráveis no que diz respeito à temática discutida, não podemos descontinuar os estudos já desenvolvidos, é necessário prosseguir com: (1) definição de novos objetivos, (2) investigação da aprendizagem de outros conteúdos, (3) adoção de diferentes recursos didáticos, (4) definição do desenho da pesquisa articulado com objetivo proposto e contexto, (5) utilização de variados critérios de avaliação, (6) relação entre teoria e prática para os licenciandos, (7) fundamentação nas teorias de aprendizagem e (8) ampliação dos contextos de desenvolvimento das pesquisas.

K. Critério P: Processo ou produto educacional

Um Processo/Produto Educacional, de acordo com Rizzatti *et al.* (2020), trata-se do resultado concreto de uma atividade de pesquisa que busca resolver problemas do campo da prática profissional. Pode ser materializado em diferentes formatos e precisa ser aplicado em um contexto real, mas não pode ser visto como algo pronto e impassível de mudanças e adaptações. Pelo contrário, o Processo/Produto Educacional pode ser reutilizado, remixado, revisado, redistribuído e retido de acordo com a necessidade de cada professor e/ou pesquisador. O processo de construção desse material é realizado em etapas, são elas: (1) concepção do produto, (2) pesquisa, (3) análise e síntese, (4) prototipação do produto, (5) avaliação do produto, (6) análise dos resultados da aplicação, (7) revisão do produto e (8) replicabilidade.

Apesar de compreendermos tais resultados como possibilidades de melhorias para o ensino, as teses analisadas não explicitaram a construção de um Processo/Produto Educacional como resultado da pesquisa, mas é possível identificar a prototipação de um produto: T2 – Roteiros exploratórios e o *Software* de simulação: Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder (versão melhorada de outro *software*), T4 – Simulações computacionais e oficina fundamentada na Abordagem Didática e T6 – Sequência de ensino para o ensino de Relatividade Restrita.

Ainda que as teses listadas apresentem tais possibilidades de Processos/Produtos Educacionais como frutos das pesquisas, não há explicitamente a preocupação com divulgação como possibilidade de reaplicação por outros professores e não há um planejamento detalhado suficientemente para tal. A tese T4 chega a afirmar que as simulações computacionais seriam disponibilizadas no link do grupo de pesquisa (Costa *et al.*, 2021), mas não foram encontradas evidências de sua divulgação.

III. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados da RSL demonstram que o ensino de Física Moderna e Contemporânea (FMC) tem sido um campo de estudo explorado entre os anos de 1987 e 2021, com um quantitativo de 51 teses de doutorado e 31 artigos, como observado na busca inicial de trabalhos. Entretanto, quando restringimos para o enfoque em práticas nos cursos de Licenciatura em Física, esse quantitativo reduz drasticamente. E isso pode revelar a necessidade de mais estudos, bem como demonstrar baixa densidade de trabalhos para um campo carente de pesquisas, que devem ultrapassar a fronteira da discussão sobre sua inserção no Ensino Médio.

Respondendo à questão norteadora desta revisão, nota-se que são notáveis as tentativas de transposição didática por meio de estratégias e recursos no ensino da FMC. Entretanto a discussão de como essa transposição e promoção da aprendizagem é realizada na prática necessita de maiores aprofundamentos: discussão da transposição didática com os licenciandos, avaliação das estratégias e recursos tendo em vista tal transposição, implementação de rubricas e taxonomias para qualificar as aprendizagens e a articulação com as teorias de aprendizagem.

Ao analisar os dados em relação às questões norteadoras propostas, é possível identificar uma série de reflexões pertinentes sobre o ensino da FMC nas pesquisas relatadas. Em relação aos objetivos adotados para a abordagem da FMC, destaca-se a preocupação com a transposição didática, ou seja, como o conhecimento acadêmico é transformado em práticas de ensino significativas. Além disso, as pesquisas buscam compreender os sentidos atribuídos aos conhecimentos adquiridos e explorar o papel da História e Filosofia da Ciência para a aprendizagem dos alunos, bem

como mobilizar saberes e justificar o conhecimento. Quanto aos conteúdos abordados, foram identificados temas variados, desde estrutura da matéria até teoria da relatividade restrita, evidenciando uma ampla gama de conceitos da FMC explorados nas diferentes disciplinas. No que diz respeito aos recursos didáticos utilizados, observa-se uma diversidade de estratégias, como mapas conceituais, textos, situações-problema, software de simulação e documentos de divulgação científica, que visam promover a aprendizagem dos alunos de forma mais interativa e significativa. Quanto às abordagens metodológicas, destacam-se a utilização de situações de aprendizagem fundamentadas em teorias específicas, como a dos campos conceituais, e a adoção de abordagens inovadoras, como a Aprendizagem Baseada em Design. No que se refere às estratégias de avaliação, embora algumas pesquisas tenham adotado instrumentos e critérios para avaliar a aprendizagem dos alunos, outras carecem de uma abordagem mais sistemática nesse sentido, o que pode comprometer a qualidade da avaliação. Por fim, em relação aos resultados relatados, as pesquisas evidenciam tanto aspectos positivos quanto desafios a serem enfrentados no ensino da FMC, destacando a importância de aprofundar essas discussões e práticas para avançar no entendimento e na prática do ensino da FMC em cursos de licenciatura em Física.

Além disso, os resultados evidenciados convergem para os apontamentos trazidos por autores de outras revisões (Ostermann e Moreira, 2000; Pereira e Ostermann, 2009), pois tratam-se de propostas didáticas testadas em sala de aula que, com exceção da tese T5, propõem estratégias para abordagem do tema nos cursos de Licenciatura em Física. Corroboram também no que diz respeito a pouca ênfase às concepções dos estudantes sobre conceitos da FMC e dificuldades de aprendizagem desses (Greca e Moreira, 2001), com a adoção de avaliações de aprendizagem adequadas e o uso de taxonomias para aferir a qualidade das aprendizagens, nas teses T2 e T3 captamos poucas evidências nesse sentido, e na tese T5 não houve indícios de tal iniciativa.

As discussões também permitem averiguar onde as pesquisas de doutorado foram desenvolvidas, mostrando que não há, no Catálogo de Dissertações e Teses da CAPES, teses nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste que discutam o ensino de FMC nos cursos de Licenciatura em Física. Pensando que as pesquisas de cunho qualitativo se justificam por considerar os contextos e o público em que estão se desenvolvendo, entendemos que são necessários maiores estudos envolvendo o público das regiões citadas.

Além disso, torna-se primordial que sejam realizadas novas intervenções nos cursos de Licenciatura em Física tendo em vista as exigências trazidas com a implementação da Base Nacional Comum Curricular (Brasil, 2018) para o Ensino Médio e da Base Nacional Comum para a Formação Inicial de Professores da Educação Básica (Brasil, 2019) para as licenciaturas. Maiores investigações acerca das competências e habilidades necessárias aos futuros professores podem possibilitar uma melhoria do ensino de FMC aos alunos da educação básica.

Atentando para trabalhos futuros, pretendemos utilizar as reflexões resultantes desta RSL como ponto de partida para uma investigação mais profunda, de modo a planejar, aplicar e avaliar intervenções mais significativas para o ensino de FMC em cursos de Licenciatura em Física.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM).

REFERÊNCIAS

Araújo, R. S., e Vianna, D. M. (2010). A história da legislação dos cursos de Licenciatura em Física no Brasil: do colonial presencial ao digital a distância. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 32(4), 4403.

Ausubel, D. P., Novak, J. D., e Hanesian, H. (1980). *Psicologia educacional*. Interamericana.

Bicalho, F. D. S. (2020). Física moderna e contemporânea na formação inicial de professores de Física: sentidos produzidos e saberes mobilizados.

Brasil (2018). Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília.

Brasil. (2019). Parecer CNE/CP n. 22, de 7 de novembro de 2019. Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação Inicial de Professores para a Educação Básica e Base Nacional Comum para a Formação Inicial de Professores da Educação Básica (BNC-Formação).

- Carvalho, A., e Sasseron, L. H. (2018). Ensino e aprendizagem de Física no Ensino Médio e a formação de professores. *Estudos Avançados*, 32, 43-55.
- Chevallard, Y. (2013). Sobre a teoria da transposição didática: algumas considerações introdutórias. *Revista de educação, ciências e Matemática*, 3(2).
- Costa, M. (2019). Experimentos históricos em ambiente virtual: uma abordagem histórico-didática a respeito da teoria eletrofraca para o estudo de física de partículas no ensino superior (Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Londrina, Londrina).
- Costa, M., Camargo, M. C., Pereira, Y. H., de Lourdes Batista, I., e Brancher, J. D. (2021). Simulações virtuais de experimentos históricos para o ensino da Teoria Eletrofraca. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 38(1), 376-404.
- Creswell, J. W., e Creswell, J. D. (2021). *Projeto de pesquisa: Métodos qualitativo, quantitativo e misto*. Penso Editora.
- Darling-Hammond, L., e Bransford, J. (2019). *Preparando os professores para um mundo em transformação: o que devem aprender e estar aptos a fazer*. Penso Editora.
- da Silva, V. M., e Dantas Filho, F. F. (2023). Música no ensino de Química: uma proposta para a construção de aprendizagens. *Revista de Ensino de Ciências e Matemática*, 14(2), 1-25.
- Flick, U. (2009). *Introdução à Pesquisa Qualitativa*. Tradução Joice Elias Costa. 3ª edição. Porto Alegre: Artmed. Rio Grande do Sul.
- Fonseca, J. J. S., e Fonseca, S. (2016). *Didática Geral*. Sobral: Instituto Superior de Teologia Aplicada. 1ª edição.
- Fusari, J. C. O. (1990). Planejamento do trabalho pedagógico: algumas indagações e tentativas de respostas. *Ideias*, (8), 44-58.
- García, C. M. (1999). *Formação de professores para uma mudança educativa*. Porto Editora Ltda. Portugal.
- Greca, I. M., e Moreira, M. A. (2001). Uma revisão da literatura sobre estudos relativos ao ensino da mecânica quântica introdutória. *Investigações em ensino de ciências*, 6(1), 29-56.
- Junior, A. D. O. C., e Rivera, J. A. (2022). O pensamento computacional como objeto de estudo na Formação Inicial de professores em pesquisas de doutorado: uma Revisão Sistemática. *Revista Brasileira da Educação Profissional e Tecnológica*, 2(22), e13692-e13692.
- Kitchenham, B., e Charters, S. (2007). Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering version 2.3. *Engineering*, 45(4), 1051.
- Krey, I. (2009). Implementação de uma proposta de ensino para a disciplina de estrutura da matéria baseada na teoria dos campos conceituais de Vergnaud.
- Libâneo, J. C. (1990). *Didática*. Cortez Editora.
- Luckesi, C. C. (2011). *Avaliação da aprendizagem: um componente do ato pedagógico*. São Paulo: Cortez. 1ª edição.
- Moreira, M. A. (1999). *Teorias de Aprendizagem*. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária Ltda.
- Netto, J. D. S. (2015). Complementaridade onda-partícula e emaranhamento quântico na formação de professores de Física segundo a perspectiva sociocultural.
- Neves, J. A. (2020). Interações discursivas, práticas e movimentos epistêmicos no ensino de relatividade restrita.
- Neves, J. A., e Pierson, A. H. C. (2022). Interações Discursivas, Práticas Epistêmicas e o Ensino de Relatividade Restrita. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, e33345-31.

O'Brien, B. C., Harris, I. B., Beckman, T. J., Reed, D. A., e Cook, D. A. (2014). Standards for reporting qualitative research: a synthesis of recommendations. *Academic medicine*, 89(9), 1245-1251.

Oliveira, S., e Calejon, L. M. (2016). O jogo Torre de Hanói para o ensino de conceitos matemáticos. *REnCiMa. Revista de Ensino de Ciências e Matemática*, 7(4), 149-158.

Ostermann, F., e Moreira, M. A. (2000). Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa " Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio". *Investigações em ensino de ciências*, 5(1), 23-48.

Pereira, A. A. G. (2017). O documentário de divulgação científica e a discussão de aspectos da física moderna e contemporânea na formação inicial de professores de Física.

Pereira, A. P. D., e Ostermann, F. (2009). Sobre o ensino de Física Moderna e Contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente. *Investigações em ensino de ciências*, 14(3), 393-420.

Pereira, F. C. (2015). Uma Breve História da Física Moderna e Contemporânea. *Professare*, 4(3), 177-188. Recuperado de <https://periodicos.uniarp.edu.br/index.php/professare/article/view/734/410>.

Piletti, C. (2004). *Didática Geral*. Editora Ática. 23ª edição.

Pozo, J. I., e Crespo, M. Á. G. (2006). *A Aprendizagem e o Ensino de Ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico*. Porto Alegre: ARTMED. 5ª edição.

Rizzatti, I. M., Mendonça, A. P., Mattos, F., Rôças, G., da Silva, M. A. B. V., de S Cavalcanti, R. J., e de Oliveira, R. R. (2020). Os produtos e processos educacionais dos programas de pós-graduação profissionais: proposições de um grupo de colaboradores. *Actio: Docência em Ciências*, 5(2), 1-17.

Rocha, J. F. M. (2021). História de uma experiência de ensino: o caso da disciplina Conceitos de Física D da UFBA. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 38(1), 658-698.

Seduc-AM. (2012). *Proposta Curricular de Física para o Ensino Médio*. Manaus: Secretaria de Estado de Educação e Qualidade do Ensino.

Silva, J. R. N., Arenghi, L. E. B. e Lino, A. (2013). Por que inserir física moderna e contemporânea no ensino médio? Uma revisão das justificativas dos trabalhos acadêmicos. *Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Tecnologia*, 6(1), 69-83.

Studart, N., Costa, R. C. T., e Moreira, I. C. (2004). Notas da História da Física no Brasil: Theodoro Ramos e a Física Moderna no Brasil. *Física na Escola*, 5(2), 34-36. Recuperado de <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol5/Num2/v5n1a10.pdf>

Tabacniks, M. H. (org.) (2020). *Origens e Formação do Instituto de Física da Universidade de São Paulo*. São Paulo: Instituto de Física.

Vasconcellos, C. S. (2014). *Desafio da Qualidade da Educação: Gestão da Sala de Aula*. São Paulo: Libertad.

Vygotsky L. S. (2007). *A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores*. São Paulo: Martins Fontes. 7ª edição.