

ESTRATÉGIAS PARA O ENSINO DA TEORIA DA RELATIVIDADE NO ENSINO MÉDIO: UMA ANÁLISE DA PRODUÇÃO ACADÊMICA

Strategies for teaching relativity theory in high school: an analysis of the academic production

Maria Derlandia de Araújo Januário [mderlandiaaajuanuario@gmail.com]

Neusa Teresinha Massoni [neusa.massoni.ufrgs.br]

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física

Instituto de Física – UFRGS– Caixa Postal, 15051.

Campus do Vale, 91501-970, Porto Alegre, RS – Brasil.

Recebido em: 02/05/2023

Aceito em: 06/12/2023

Resumo

Este artigo apresenta uma análise da produção acadêmica em nível de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física no intuito de responder à seguinte questão: *Quais são as estratégias mais utilizadas para o ensino da Teoria da Relatividade (Geral e Restrita) na Educação Básica?* A metodologia qualitativa permitiu interpretar as dissertações do mestrado profissional, que adotam características de um gênero textual mais descritivo, criativo e interdisciplinar para a prática didática no Ensino Médio. Encontramos que as principais estratégias colocam foco em sequências didáticas, inúmeras estão vinculadas às Unidades de Ensino Potencialmente Significativas e à Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel ou em metodologias ativas. Há ênfase para o uso de novas tecnologias, jogos, livros paradidáticos e literatura diversa. Em articulação com outras áreas, surge uma potencialidade com Artes, Cosmologia, Matemática, Física Quântica, Filosofia da Ciência e outros assuntos da física clássica. Chama a atenção que ainda é reduzido o número de produções que abordam a Relatividade no MPEF.

Palavras-chave: Estratégias Didáticas; Ensino Médio; Relatividade.

Abstract

This article presents an analysis of the academic production at the National Professional Masters level in Physics Teaching in order to answer the following question: *What are the most used strategies for teaching the Theory of Relativity (General and Special) in Basic Education?* The qualitative methodology allowed us to interpret the professional master's dissertations, which adopt characteristics of a more descriptive, creative and interdisciplinary textual genre for teaching practice in high school. We found that the main strategies focus on didactic sequences, numerous linked to Potentially Significant Teaching Units and Ausubel's Theory of Significant Learning, others use active methodologies. There is emphasis on the use of new technologies, games, textbooks, and diverse literature. In articulation with other areas, potentiality arises with Arts, Cosmology, Mathematics, Quantum Physics, Philosophy of Science, and other classical physics subjects. A noteworthy aspect is that the number of productions addressing Relativity in the National Professional Masters level in Physics Teaching is still limited.

Keywords: Didactic Strategies; High School; Relativity.

Introdução

Assumimos que há a necessidade de atualizar os currículos da Educação Básica, em todos os níveis, para inserir conteúdos da Física dos séculos XX e XXI, podendo articular com aspectos históricos, epistemológicos e filosóficos, visando uma educação científica mais contemporânea. O ensino de Física Moderna no nível básico pode oferecer várias vantagens: desenvolvimento de habilidades críticas e uma leitura mais reflexiva do mundo atual (Berland; Cruet, 2016; Loch; Garcia, 2009; Ostermann; Moreira, 2000; Raicik, 2020; Rocha; Ricardo, 2016); tornar o estudo mais interessante e relevante ao abordar os grandes desenvolvimentos do pensamento científico que marcaram o início do século XX (Ostermann; Moreira, 2000; Terrazzan, 1992), e que seguem influenciando aspectos diversificados da nossa cultura; compreender aplicações práticas, incluindo tecnologias (e.g. GPS, dispositivos eletrônicos e informática) que têm a Física Moderna como base e engajar estudantes para as carreiras científicas como engenharia, tecnologia e pesquisa científica.

Vale salientar que, apesar do extensivo uso da expressão “Física Moderna e Contemporânea (FMC)”, existem na literatura críticas que apontam certa impropriedade no uso dessa expressão; gramaticalmente na língua brasileira está correta, mas ela pode induzir a concepções e conceitos errôneos (Barcellos; Zanetic, 2005). Nesse sentido, os autores sugerem, no âmbito do Ensino da Física, o uso da expressão “Física Moderna (FM)” e “Física Contemporânea (FC)” quando for o caso; e quando se tratar das duas áreas, usar “Física Moderna e Física Contemporânea”. Observamos que, embora a literatura da área, principalmente os trabalhos mais antigos, continue usando a expressão FMC, alguns pesquisadores começaram a aderir à expressão FM (Caruso; Freitas, 2009; Melo; *et al.*, 2017; Rosa; Dickman, 2015). Contudo, isso não significa que não sejam apresentados aos alunos resultados da Física e da Tecnologia Contemporâneas, especialmente para contextualizar o grande desenvolvimento que marcou o final do século XIX, até meados do século XX. Dessa forma, neste texto adotaremos a expressão “Física Moderna” (FM).

É importante destacar que este estudo insere-se em uma pesquisa de doutorado na área de Ensino de Física, e que realizamos uma revisão de literatura sobre tendências atuais e quais tópicos de FM são mais urgentes de serem tratados no Ensino Médio (EM) (Januário et al., submetido). Obtivemos que, embora não haja uma clara indicação sobre qual tema abordar, uma grande quantidade de artigos apontam o potencial do tema da Relatividade Geral e Restrita para tratar da FM e promover no EM uma abordagem interdisciplinar, histórico-epistemológica, como é de nosso interesse.

A Teoria da Relatividade (TR) favorece uma abordagem interdisciplinar, especialmente com a Cosmologia, Astronomia e Astrofísica, campos de interesse e de estudos do nosso grupo voltados para o EM (e.g., Alves-Brito; Massoni, 2019), bem como a mudança de raciocínio e interpretação da realidade aliada à concepção de tempo, como uma quarta dimensão, e pela necessidade de abordar um tema tão presente na sociedade através da divulgação científica (Rodrigues, Pietrocola 2001). Para Rodrigues, et al., (2014), outra justificativa para se inserir FM em sala de aula, de modo especial a TR, se baseia na potencialidade que esses conteúdos têm em fornecer a explicação científica para utensílios tecnológicos do cotidiano dos estudantes, como, por exemplo, GPS, entre outros. Com tudo isso, optamos pela temática da TR para trabalharmos na pesquisa de doutorado.

Nessa linha, fizemos um estudo complementar analisando a produção acadêmica em

nível de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), a decisão de inserir este estudo na revisão foi em função de que o MNPEF compõe o “Programa de Mestrado Profissional para Qualificação de Professores da Rede Pública de Educação Básica (PROEB)” da Capes, sendo que os professores-mestrandos devem produzir uma dissertação envolvendo, obrigatoriamente, conteúdos de Física, além de um produto educacional aplicado em sala de aula, com potencial de ser utilizado por outros professores. Nesse sentido, entendemos que apresentam uma linguagem mais próxima da escola, da sala de aula e, possivelmente, dos alunos. Portanto, nosso intuito foi procurar responder à seguinte questão foco: *quais são as estratégias mais utilizadas para o ensino da Teoria da Relatividade (Geral e Restrita) na Educação Básica?*

Na sequência é apresentado o método utilizado para busca das dissertações, seguido das análises e considerações finais.

Metodologia

Para localizar a produção acadêmica do MNPEF, conduzimos uma busca no banco de Dissertações dos Mestrados Profissionais em Ensino de Física no Brasil, no período de 2013 (ano de sua criação) a 2021. Para acessar as produções, havia um site do MNPEF, ou da SBF, através do *link* <http://www1.fisica.org.br/mnpef/dissertacoes>. Contudo, a página não realizava mais as atualizações dos trabalhos defendidos, de forma que a busca teve que acontecer por meio de consulta em cada IES, o que fizemos em dez/2021. No entanto, os sites de algumas dessas IES apresentavam instabilidade, ou a plataforma estava em construção, ou ainda, os *links* estavam corrompidos ou haviam trabalhos incompletos, como foi o caso de sete instituições. Isso fez com que em fev/2022, refizéssemos as buscas nas plataformas com pendências, quando encontramos os trabalhos publicados em cinco dessas, ficando de fora apenas duas instituições.

A busca selecionou, inicialmente, as dissertações cujos títulos tivessem um dos seguintes descritores: “*Relatividade*”, “*Einstein*” ou “*Física Moderna*”. Este último descritor era adicionado se o título do trabalho não deixasse claro qual dos temas dentre tantos da FM foi trabalhado. Com esse filtro, chegamos a um total de 61 dissertações. Após a leitura dos resumos, a fim de ficarmos apenas com os trabalhos que tratassem da Teoria da Relatividade Restrita (TRR), Teoria da Relatividade Geral (TRG), ou ambas, resultou em 55 dissertações.

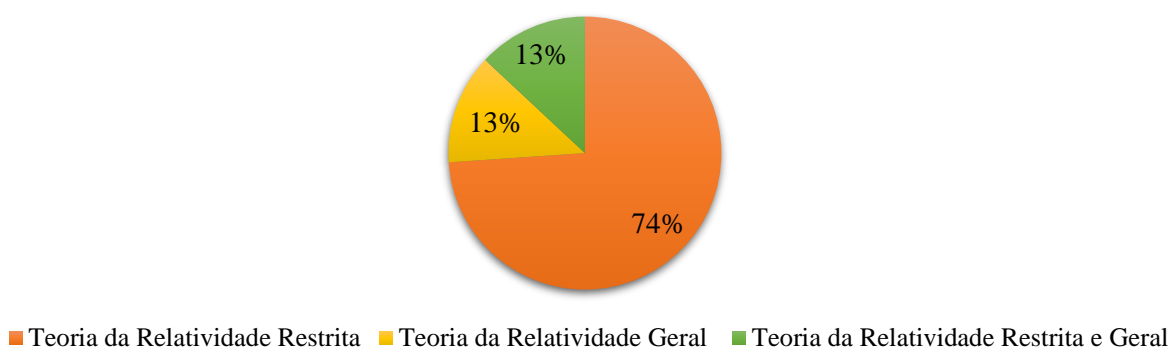
Com essa seleção, seguimos a “análise de conteúdo” proposto pela Bardin (2011, p. 15), que define essa técnica como um “conjunto de instrumentos metodológicos cada vez mais sutis em constante aperfeiçoamento, que se aplicam a “discursos” (quanto aos “conteúdos” – o que está sendo dito – e quanto os “continentes”- como isso está sendo dito) extremamente diversificados”. O método funciona a partir de ações de divisão de um texto em unidades, em categorias que seguem estratégias de reagrupamentos analógicos. Dentre as possibilidades de categorização ela aponta a busca de temas, análise temática, e considera esta técnica rápida e eficaz para apoiar a análise de conteúdos textuais. Quanto à organização da análise, apresenta três polos cronológicos que são: (1) a pré-análise; (2) a exploração do material; e (3) o tratamento dos resultados, a inferência e a interpretação.

Assim, feito a análise primária, ou pré-análise, que consiste em agrupar os trabalhos por assuntos (Bardin, 2011), de acordo com a leitura de título e resumo, prosseguimos com uma discussão em detalhe, com intuito de responder à questão de pesquisa proposta. Nessa etapa encontramos alguns trabalhos com acesso liberado apenas para o resumo e/ou produto

educacional¹. Sendo assim, estas foram excluídas dos nossos dados, o que resultou em 46 dissertações.

A etapa seguinte consistiu na leitura das 46 produções. Para a organização desses dados apresentamos a Gráfico 1, onde se pode visualizar os temas mais recorrentes: Teoria da Relatividade Restrita (TRR), com 34 produções; Teoria da Relatividade Restrita e Teoria da Relatividade Geral em conjunto foram trabalhadas em 6 dissertações; e a Teoria da Relatividade Geral (TRG) em 6 dissertações.

Gráfico 1 – Teoria da Relatividade como abordada nas dissertações examinadas do MNPEF



Fonte: elaborado pelas autoras (2022)

Com base no grupo de dissertações que conseguimos localizar, prosseguimos para a operacionalização da análise embasados na proposta metodológica de Bardin (2011), utilizando a técnica de agrupar os textos em categorias temáticas. Neste caso, optamos por olhar inicialmente para os produtos educacionais, que é um elemento comum obrigatório em todas as dissertações de mestrado profissional; além disso, apresentam uma narrativa e o delineamento das atividades desenvolvidas em sala de aula para ensinar Física, nesse caso, Teoria da Relatividade, em geral, baseadas em algum referencial teórico-metodológico de Ensino-Aprendizagem. Assim, identificando essas características foi possível criar categorias e construir alguns gráficos para melhor visualização dos resultados, como passamos a apresentar e comentar.

Análise das Categorias encontradas nas dissertações do MNPEF

Sob a lente metodológica de Bardin (2011), construímos cinco categorias que englobam o grupo de dissertações analisadas. Por se tratar de dissertações aplicadas em sala de aula, é necessário esclarecer que uma dissertação pode ter mais de uma estratégia didático-metodológica associadas ao produto educacional (e.g., apresentar uma sequência didática e um jogo de tabuleiro). Dessa forma, o número de produtos educacionais ultrapassa, em nossa interpretação, a quantidade de dissertações que foram analisadas, podendo aparecer em mais

¹ Pode ser, por exemplo, uma sequência didática, um aplicativo computacional, um jogo, um vídeo, um conjunto de videoaulas, um equipamento, uma sequência de experimentos, uma exposição etc. O mesmo deve ser produzido independente da dissertação e possuir identidade própria, para que seja compreendido e utilizado por outros professores de forma autônoma, sem consulta à dissertação ou ao autor.

de uma categoria, apesar de sua classificação principal.

(I) *Relatividade e Unidades Didáticas*

Nesta categoria agrupamos dissertações que trazem propostas didáticas que buscaram operacionalizar diferentes tipos de estratégias e/ou teorias de aprendizagem, sendo as mais frequentes: Teoria da Transposição Didática (TTD); Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS); Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS); Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica (TASC); Instrução pelos Colegas (IpC); os Três Momentos Pedagógicos (3MP); Ensino sob Medida (EsM); Sala de Aula Invertida (SAI). As UEPS, por exemplo, são sequências didáticas fundamentadas na Teoria da Aprendizagem Significativa.

Vale salientar que a busca por estratégias didáticas diversificadas no Ensino de Física, que possam ir além de aulas expositivas tradicionais e listas de exercícios, vem sendo debatida no Brasil há décadas, e tem envolvido esforços de pesquisadores e professores da área com intuito de promover inovação na prática didática, ressaltando aspectos epistemológicos como o contexto evolutivo e histórico da ciência, a abordagem crítica baseada no movimento Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), o ensino por argumentação, o emprego de tecnologias ativas, modelagens, entre outros, visando um maior engajamento dos estudantes. É preciso ensinar “os alunos a pensar, questionar, argumentar cientificamente ao invés de ficar decorando fórmulas e definições” (Moreira; Massoni, 2016, p. 8).

O desenvolvimento de UEPS para trabalhar conceitos relativísticos revelou-se eficaz, segundo as dissertações de MPNEF, proporcionando uma aprendizagem significativa aos alunos. A análise qualitativa dos dados coletados por Cordeiro (2018) e Silva (2020) indicaram a presença de evidências de aprendizagem, destacando a importância dessa estratégia. Segundo os autores, é importante levar à sala de aula estratégias didáticas diferentes das do ensino tradicional, mostrando que a Física não se resume à atividades de resolução repetitiva de problemas matemáticos, mas que sua validade se encontra no entendimento da fenomenologia. Nessa mesma linha vão os trabalhos de Siqueira (2017), Riboldi (2015), Mendonça (2018); Lima (2018); Santos (2019) e Reinert (2020), que reafirmam que as UEPS são focadas e facilitam o ensino de conteúdos da FM no EM.

Na aplicação de Sequências Didáticas (SD), Duda (2020) ministrou aulas dinâmicas com atividades em duplas para propiciar discussão e aprendizado pela mediação aluno-aluno e aluno-professor, articulando a TAS em prol de um estudo significativo e mais atrativo. Souza (2019) utilizou instrumentos multimodais (slides, animações, ilustrações, fotos, imagens e textos), que serviram como norteadores para promover o diálogo e a compreensão dos aspectos teóricos, histórico e visuais da Teoria da Relatividade Restrita. Ambos obtiveram como resultado uma participação ativa dos estudantes nas discussões, estimulando suas habilidades de pensamento crítico e de análise, indicando um desenvolvimento positivo da SD proposta.

Campos (2020) também aplicou uma SD junto a uma turma do 1º ano do EM, trabalhando o paradoxo dos gêmeos com uso dos 3 MP² e obteve que, por meio de *software*

² Momento 1: Problematização Inicial - apresentam-se questões ou situações reais que os alunos conhecem e debatam sobre os temas. Momento 2 - Organização do Conhecimento, ocorre pela mediação do professor, que apresenta os conhecimentos necessários para entender o tema abordado na Problematização Inicial. Momento 3 –Aplicação do Conhecimento, o aprendizado é abordado sistematicamente, a fim do estudante compreender os

Adobe Captivate, foi possível criar hipervídeos e elaborar atividades interativas integradas a vídeos e a outros recursos digitais. O autor destaca que os recursos digitais e a Sequência Didática formaram uma dinâmica fluida durante todo o processo de aplicação. Semelhantemente, Silva Junior (2016), ao utilizar objetos digitais de aprendizagem, sob a lente teórica a TAS para o ensino de TRR, notou um indicador significativo para a construção de conhecimentos e apropriação das principais ideias do tema da Relatividade, destacando que os alunos não se opõem à utilização desse material no ambiente escolar. Nesse caso, percebemos que as experiências expostas pelos autores corroboram que o uso de recursos digitais, aliados a uma abordagem não tradicional, pode potencializar e favorecer um maior interesse pelo conteúdo.

Ainda sobre a utilização de SD para ensinar TR, Sobral (2019) construiu uma tabela tátil que exprime a relação entre o tempo para o observador em repouso e para um viajante com velocidade próxima à da luz, e um simulador que permitiu uma melhor inferência sobre a dilatação do tempo para participantes do Atendimento Especial Especializado (AEE) e estudantes do 3º ano. O autor destaca que a inclusão é um desafio de todos – família, escola e Estado, e que pensou e produziu quatro recursos didáticos (Tela Cinética, Quadro Relativístico, Fita Relativística e Caixa Conceitual), e com esse conjunto de recursos proporcionou uma sequência proveitosa ao ensino da dilatação temporal. O trabalho de Sobral ressalta a importância de não apenas trabalhar para uma melhor compreensão dos conceitos físicos, mas, sobretudo, promover um ambiente educacional mais inclusivo, mais equitativo e acessível possível, a ser adaptado às diversas formas de aprendizado.

Freire Júnior (2018), por sua vez, fez uso da Instrução pelos Colegas (IpC), técnica desenvolvida pelo professor Eric Mazur (USA), na década de 1990, que propõe, entre outras coisas, promover a compreensão conceitual e que os alunos deixem de lado passividade e tomem-se proativos na consolidação do seu conhecimento. O autor fez uma abordagem da TRR também para uma turma do 1º Ano do EM, usando a IpC em uma SD; utilizou recursos midiáticos, como textos e aplicativos, e construiu, com isso, um material de referência para outros professores.

IpC pode ser trabalhada com outros métodos e juntos podem constituir uma SD. Fiasca (2018), por exemplo, combinou Ensino sob Medida, Sala de Aula Invertida e IpC a partir da utilização da Aprendizagem Móvel (*m-learning*) aliada aos métodos ativos, fundamentados nas Teorias de Ausubel-Novak e Mazur. Dessa forma, fez uso de ferramentas *online* (*Google Drive e Forms*) e aplicativos móveis (*WhatsApp*) para comunicação com os alunos; preparou e aplicou tarefas prévias à aula, com uso de artigos de divulgação científica e vídeos, objetivando obter um “retorno” antecipado sobre o tema a ser ministrado em aula e, com isso, tornar a aprendizagem mais significativa.

Observamos que essa preocupação de Fiasca (2018) em seu estudo, com relação à escuta ao aluno e sua importância para construção do conhecimento, se alinha à visão de Sacristán (que nos serve de referencial teórico nos estudos de doutoramento), ao destacar que “o mundo mudou, os alunos também. Teremos de alterar nossas representações do mundo e dos alunos” (Sacristán, 2005, p. 17). Assumimos, assim, que é importante estarmos atentos aos anseios e necessidades dos alunos para se fazer as modificações pertinentes em sala de aula. Outro ponto que o autor destaca, com o qual nos alinhamos, é a importância que ele imprime aos aspectos

conteúdos na prática, expondo suas ideias e retomando a problematização inicial agora embasada teoricamente. (Delizoicov *apud* Silva; Januário; Alan-Brito, 2021, p.51-53)

histórico-filosóficos na abordagem dos fenômenos e seus efeitos, assumindo que este é um caminho viável (não o único) para o ensino de Relatividade.

Corroboram nesse aspecto Souza (2019) e Sá (2015), que defendem um ensino da TR no EM mais conceitual, histórico e menos matematizado. Dessa forma, o primeiro elaborou um material didático através de uma *WebQuest*, que aborda temas de TRR articulados à História e Filosofia da Ciência, fundamentado na TTD de Yves Chevallard e nos princípios de Jean-Pierre Astolfi e Michel Develay. Para a implementação, utilizou uma sequência de ensino guiada pelo modelo do ensino híbrido e alfabetização científica. Já o segundo, elaborou um material didático incluindo dois textos autorais e sugestões de implementação, que contemplasse de maneira menos complexa o assunto da TR. Para dar maior legitimidade ao material, baseou-se em elementos da TTD, considerando as diversas abordagens sugeridas na literatura e nos livros didáticos do Programa Nacional do Livro Didático, nos quais identificou certa carência de material voltado à TR e a essa abordagem.

Percebemos que um diferencial das produções do MNPEF é que o material instrucional e as SD são pensados para facilitar o domínio pelos alunos dos conteúdos de Física, com técnicas de ensino atuais, ou seja, existe esse olhar do professor-mestrando com respeito à aprendizagem na Educação Básica. Identificamos uma grande presença das UEPS, da TAS de Ausubel e da TASC de Moreira (2010), sendo estas utilizadas como lentes para embasar teoricamente as sequências propostas, variando os recursos para a implementação das mesmas, e fazendo com que alguns trabalhos pudessem ser encaixados em mais de uma categoria temática, como já comentado. O enfoque mais comum foi criar maneiras metodológicas capazes de envolver conceitos, aspectos epistemológicos e um formalismo matemático mínimo sobre TRR e/ou TRG para o Ensino Médio.

Identificamos também que existe certa dificuldade em inserir SD para o 3º ano do Ensino Médio, pois os professores-pesquisadores parecem perceber a ansiedade dos alunos em relação ao Exame Nacional do Ensino Médio – ENEM e outros exames. Contudo, a mudança na abordagem, mesmo que não diretamente cobrada em vestibulares tradicionais, recebeu reconhecimento positivo, destacando a necessidade de repensar o ensino mecanizado, voltado apenas para provas, exames e avaliações externas (Moreira, 2018). Foi notório também, nesse contexto, a preocupação dos professores-pesquisadores com a contextualização dos temas de FM, sugerindo aulas expositivas dialogadas, debates articulados ao uso de recursos audiovisuais, produção e análise de textos diversos, resolução de exercícios, uso de mapas conceituais, emprego de IpC e EsM, e recursos como slides, animações, ilustrações, fotos, imagens etc. Apontam que a utilização de ferramentas *online* (*Google Drive* e *Forms* e *WhatsApp*) é viável e pode auxiliar na comunicação com vistas a uma melhoria do processo ensino-aprendizagem, especialmente de tópicos de Física Moderna.

(II) *Relatividade e o uso de Literaturas Diversas*

Esta categoria engloba as dissertações que oferecem estratégias didáticas que fazem uso de diferentes literaturas como História em Quadrinhos (HQ), mangás, guias ilustrativos, literatura de cordel e tirinhas como recursos para o ensino de TR. Apontamos que o termo “literatura de cordel” é bastante usado no nordeste brasileiro; acredita-se ter sua origem nos cantadores que apresentavam suas histórias em forma de versos: histórias do cotidiano, da política, da realidade nordestina, das notícias e da experiência humana. Em Portugal, o termo era usado para se referir à produção literária de baixo custo, a ser consumida por pessoas de

“poucas posses” e vendida em feiras populares, onde se dependuravam os folhetos em cordões (Nobre, 2017).

A utilização das histórias em quadrinhos, segundo os autores investigados, é um recurso didático que permite ao professor diversas abordagens, desde a utilização de quadrinhos prontos para aproximar teorias científicas até temas que envolvem contextos históricos, políticos e sociais (Ribeiro, 2018; Januário, 2020; Freire, 2015). Para Osório (2019) a finalidade das HQs é motivar os alunos para o primeiro contato com o tema. Desse modo, abrangem dois pontos importantes: fornecer ao aluno um instrumento atrativo, pela sua própria configuração, e motivar o aluno a se envolver no conteúdo proposto.

Rosa (2020) introduziu a evolução da TRR enfocando a História e Filosofia da Ciência e usando um “guia ilustrado” para turmas do 2º e 3º anos do EM. A autora elaborou o guia ilustrado com uma linguagem acessível, criando personagens do cotidiano para facilitar a explicação dos fenômenos físicos sem perder o rigor científico, trabalhando também aspectos epistemológico na abordagem do assunto, engajando os estudantes a participarem, diferentemente do que propõe o livro didático, que foca em textos e exercícios para serem desenvolvidos.

Januário (2020) produziu um folheto de cordel em formato de HQ e aplicou para uma turma do 9º ano do Ensino Fundamental, através de uma SD à luz da Neurociência Educacional. O conteúdo sobre TRR teve como base o livro *Física Conceitual* de Hewitt (2015), em que o tema foi transformado em cordel e posto nos balões da HQ com ilustrações. Obteve que os alunos se mostraram motivados durante todo o processo de intervenção, tendo sido considerado um bom material para o ensino de TRR, pois, segundo os elementos da Neurociência Educacional, quanto mais sentidos humanos (audição, tato, visão, olfato e paladar) é aguçado em uma atividade educacional, mais o cérebro tende a reter aquela informação.

Osório (2019) também utilizou como recurso a HQ para abordar a TR junto a uma turma do 1º ano do EM. Optou por fazer uma combinação de estratégias, EsM e IpC, se baseando na TAS e na teoria sociointeracionista de Vygotsky. A combinação dessas metodologias procurou instigar uma postura ativa dos alunos no processo de ensino-aprendizagem, além de motivá-los com a HQ. É de destacar que não desconhecemos que existem críticas aos mestros profissionais (seja em física ou em educação) quanto essa articulação teórica, como apontam Nascimento, Ostermann e Cavalcanti (2017, p. 337-338).

Quando analisamos os referenciais teóricos que embasam os trabalhos de conclusão do MPE em questão, percebemos que este é o ponto de maior fragilidade do curso. Talvez essa seja a maior influência do modelo racionalista técnico sobre os produtos desenvolvidos. Verificamos, (...) que o papel do referencial teórico está muito distante da concepção de que deve fundamentar metodologias de ensino e orientar a escolha dos conteúdos, além de estabelecer novas formas de avaliação (...). Poucas vezes identificamos uma articulação entre o aporte teórico, as questões-foco, desenvolvimento, aplicação e avaliação do produto(...). Por exemplo, se a aplicação do produto educacional desenvolvido prevê uma interação entre os estudantes, o autor do trabalho utiliza Vygotsky. Se o objetivo é buscar uma aprendizagem mais significativa, citam Ausubel como aporte teórico.

Possivelmente uma reflexão crítica seja necessária quanto à articulação de referenciais tão distintos como a teoria cognitivista de Ausubel e o sociointeracionismo de Vygotsky, para

não recair no viés tecnicista, como apontam os autores, também com vistas a uma maior consistência desses trabalhos acadêmicos. Contudo, entendemos que a existência de mestrados profissionais em Ensino de Física, em particular do MNPEF, é relevante para o nosso País porque esses cursos têm capilaridade, e atingem uma grande quantidade de professores da Educação Básica, que são levados de volta aos bancos universitários em dezenas de Polos espalhados pelo Brasil. Cumprem, assim, um importante papel de atualização e busca contínua de modernização das práticas docentes na/para a Educação Básica, na busca da tão sonhada educação científica para a cidadania. Cabe aos pesquisadores, pensamos, contribuir com críticas construtivas à sua melhoria.

Percebemos que existem alternativas mais fluidas para abordar a Relatividade em sala de aula, que não sejam apenas focadas em livros didáticos. As literaturas diversas (Mangá, corde, HQ, dentre outras) mostram ser uma boa alternativa para isso. Além de apresentarem uma leitura dinâmica do conteúdo, podem despertar o interesse do aluno pela disciplina e pelo tema da Relatividade, conforme Ribeiro (2019), o uso desse material serve como pano de fundo para que temas da FM sejam debatidos em sala de aula com os alunos que estarão em posse do material impresso ou digitalizado no celular.

(III) Estratégias lúdicas

Estão incluídas nesta categoria produções acadêmicas que exploraram a TR utilizando como ferramenta metodológica jogos pedagógicos, experiências com material de baixo custo, teatro e fantoches, no intuito de tornar o processo de ensino-aprendizagem mais prazeroso. Para Celestino (2020, p.9) é possível aprender jogando, mas alerta que aprender pode ser uma brincadeira, mas prender brincando não pode ser a mesma coisa que “brincar de aprender”. Segundo Kishimoto (1998), a natureza lúdica está associada à ideia de diversão e prazer, enquanto o jogo na função educativa se refere à aquisição de conhecimentos, habilidades e saberes em um processo em que um jogo é empregado para facilitar a aprendizagem, e desenvolver habilidades cognitivas essenciais no processo de ensino-aprendizagem.

Almeida (2016) optou por um jogo virtual do tipo *Role-Playing Game (RPG)*, utilizado como atividade extraclasse através da metodologia da Sala de Aula Invertida (*Flipped Classroom*), que consiste na obtenção prévia do conteúdo por parte do estudante, para posterior trabalho de aprofundamento pelo professor em sala de aula. Foi desenvolvido um manual para professores que queiram usar esse *game* como atividade pré-instrucional para o estudo de Relatividade. Para o autor, os jogos do tipo RPG são prioritariamente em primeira pessoa, o que estimula o protagonismo do jogador, e são baseados em uma estrutura de missões ou enigmas, que geralmente apresentam-se em forma de questões. Assim, essas características direcionam-se e estimulam atividades investigativas que podem ser aplicadas nas aulas de Ciências/Física. Na mesma linha, Riboldi (2015) fez uso do *game* educativo *A slower speed of light* e animações. Obteve evidências de uma evolução conceitual por parte dos alunos. Seus resultados apontaram que ao trabalhar TR com jogos os alunos se motivaram e demonstraram interesse pelo conteúdo.

Celestino (2020) utilizou um jogo de tabuleiro com alunos do 1º ano do EM, buscando através da ludicidade possibilitar, de maneira motivadora, reflexiva e problematizadora, a aprendizagem significativa de vários conceitos da TR, visando o letramento científico. O jogo chamado “Teste Einstein” é um jogo de tabuleiro com perguntas e respostas, onde cada jogador deve percorrer as casas do circuito devido a cada jogada, cumprindo também determinações que algumas casas espalhadas no tabuleiro exigem, ao passo que são respondidas algumas perguntas propostas quando as jogadas são realizadas.

Pensando em ludicidade, Aringhieri (2017) trabalhou com teatro de fantoches, montando um cenário caracterizado em cima de três conteúdos de FM, um deles era a Relatividade. Para o desenvolvimento dos conteúdos, foram elaborados roteiros teatrais com quatro bonecos através de “historinhas”, com seu teor adaptado para melhor assimilação dos conteúdos e associado com experimentos que se relacionavam com o tema da apresentação e que contemplassem a interação constante e direta com o público-alvo. Com essa proposta, o desenvolver das habilidades inerentes aos processos de ensino/aprendizagem o professor é o verdadeiro protagonista na condução de histórias com fantoches na vida de seus alunos.

Pettersen (2017) fez algo semelhante com uma turma do 1º ano do EM, trabalhando a TR e a ludicidade. Para isso, escolheu duas expressões artística, um filme de ficção científica e um esquete teatral³, para abordar conceitos básicos da Relatividade aliados à abordagem histórica da Ciência. O intuito foi o de buscar envolver o aluno no seu processo de aprendizagem. O autor destaca que, embora não tenha sido feito uma avaliação individual, houve empenho dos alunos protagonistas e o aprendizado que eles obtiveram, relacionado à Relatividade, durante as aulas, demonstrou que dominavam o conteúdo com mais facilidade, comparativamente aos semestres anteriores. Cavalcante (2017) também notou uma melhor assimilação do conteúdo pelos alunos através de uma abordagem experimental sobre TRR e TRG, utilizando aspectos da TAS ressaltando a importância do diálogo com os conhecimentos prévios dos alunos, obtendo um retorno positivo da proposta escolhida.

É importante observar a criatividade e a diversidade de maneiras encontradas pelos professores-mestrandos para tornar a aula mais atrativa, fugindo da metodologia tradicional onde o professor é o transmissor do conhecimento e o aluno é elemento passivo no processo de aprendizagem. Encontramos nestas propostas que é possível lançar mão da ludicidade, sem perder o caráter e o necessário rigor para discutir assuntos científicos, em particular, da Física Moderna.

(IV) Relatividade por meio das Tecnologias Digitais da Informação e da Comunicação (TDIC)

Agrupamos nesta categoria dissertações que abordaram a TR com recursos interativos e dinâmicos para enriquecer o processo educacional, tendo em vista que a TR envolve conceitos não intuitivos. Em geral, obtiveram que o uso desses recursos como simulações, vídeos, filmes e animações pode ajudar os alunos a visualizar e compreender melhor fenômenos como a dilatação do tempo e a contração do espaço.

Vilar (2020) elaborou estratégias pedagógicas e tecnológicas diversificadas como a apresentação de vídeos, construção de mapas conceituais, leitura e discussão de textos, *software* aplicativo de celular, realização de experimentos didáticos, tendo como foco principal a utilização de simulações interativas no computador. Os resultados mostraram mais interesse dos alunos pela Física e suas aplicações, com entendimento do significado dos problemas e equações, constituindo elementos capazes de aproximar o conhecimento

³ Esquete é um tipo de peça de curta duração, geralmente de caráter cômico, produzida para teatro, cinema, rádio ou televisão. Cada esquete tem cerca de 10 minutos de duração. **Fonte:** <https://www.spescoladeteatro.org.br/noticia/o-que-e-esquete>

científico da realidade do educando e melhorar o diálogo entre professor e o aluno.

Ribeiro (2018) elaborou na plataforma *Unity*, disponível gratuitamente para estudantes na internet, quatro aplicativos computacionais com o objetivo de simular fenômenos físicos ligados à Relatividade Galileana, Relatividade Restrita e Relatividade da Simultaneidade. Em paralelo com a construção dos aplicativos, elaborou uma SD com a estratégia Previsão, Observação e Explicação - POE, para ajudar no ensino da TRR no EM, que serviu também como teste da aplicabilidade dos simuladores. POE é uma estratégia de aprendizado proposta por White e Gunstone (White, 1992) que tem como objetivo investigar ou aprofundar a compreensão de determinado conteúdo, solicitando ao aprendiz executar tarefas.

Lima (2018) utilizou o aplicativo “TRE Einstein” com dupla finalidade. A primeira, foi dar aos estudantes a possibilidade de conhecerem a TRR por uma perspectiva mais teórica e menos focada nos cálculos matemáticos. A segunda, foi proporcionar aos alunos que ainda não tinham estudado esse conteúdo que, ao fazê-lo, tornariam-se aptos a usufruir de todos os jogos. A aplicação do jogo teve como base a TAS, e, além de ser atrativo e lúdico, permitiu uma abordagem gradativa dos conteúdos da TRR.

As possibilidades tecnológicas na educação científica surgiram como uma oportunidade de aprendizado autodirigido, permitindo que os alunos explorassem os princípios da TR por meio de plataformas online, simulações etc. Os trabalhos de Pontes (2020), Yamashita (2020), Bendia Filho (2018), Oliveira (2020), Bendia Filho (2018) e Linhares Gatti (2018), ao fazerem uso de tais recursos tecnológicos, demonstraram um maior engajamento dos alunos na execução das atividades propostas. É válido pontuar que além de ser uma alternativa para melhor compreensão do assunto (tornando menos abstratos os conceitos da TR), levar novas tecnologias para sala de aula pode contribuir para inclusão digital no ambiente escolar, aperfeiçoando o uso da tecnologia pelos alunos, permite o acesso crítico às informações, e a realização de múltiplas atividades. Permitem também ao professor aperfeiçoar sua capacitação em busca de novas e valiosas ferramentas para tornar o ensino da Relatividade mais acessível, compreensível e envolvente para os alunos. Como advertem Gomes, Carvalho e Maciel (2019), a formação continuada de professores deve ser concebida como um processo contínuo, equipando os professores com informações, estratégias e conhecimentos que os ajudem no exercício de sua profissão, fundamentada no ciclo de ação, reflexão e ação.

Pensando no tempo exíguo que o professor da Educação Básica dispõe e considerando sua realidade, Silva (2019) construiu um site com recursos e ideias (curiosidades; vídeos; Projeto Educacional; Relatividade para Professores; ideias para criar *Google sites* e exercícios comentados), em que os professores podem levar para sala de aula conceitos e elementos da TRR com enfoque no processo cognitivo e preocupado com a aprendizagem; a proposta combina a Aprendizagem Significativa de David Ausubel o auxílio dos verbos da Taxonomia de Bloom.

A análise das dissertações que compõem esta categoria permitiu perceber o papel relevante que as TDICs tiveram, e ainda têm, desde o período em que se instalou a pandemia da COVID-19 (*Coronavirus Disease 2019*) no país e no mundo. Professores tiveram que ressignificar sua forma de lecionar, fazendo as adaptações dos seus planos de aula presencial para um modelo de ERE (Ensino Remoto Emergencial), criar salas de aulas virtuais, utilizar novas plataformas para que o ensino continuasse, além de estudar e buscar novas maneiras de avaliar e tentar trazer o aluno para o centro da aprendizagem dos saberes científicos.

Em vista do cenário pandêmico, mudanças não só nas estratégias didáticas, mas na própria área de Ensino de Ciências se fazem necessárias, segundo Catarino e Reis (2021), endereçando o ensino para uma perspectiva mais interdisciplinar e pautada na natureza da ciência (...) a pandemia vem mostrar que a maior parte de nossos problemas só pode ser resolvida se formos capazes de transitar em diversas áreas de conhecimento (Catarino & Reis, 2021, p. 2). Os autores apontam a quase inexistência de espaços para se refletir questões referentes à produção de conhecimento na área da Educação em Ciências, pois nem sempre os resultados dessa pesquisa estão presentes nas práticas de ensino; e há muitos fatores dentro e fora da escola que levam os professores a não encontrarem tempo e energia para essa discussão (Massoni; Carvalho, 2022). Isto foi ainda mais fácil de ser percebido na pandemia, pois nem todos os profissionais da educação tinham conhecimentos e habilidades para usar as tecnologias a seu favor, nem havia, em muitas escolas, boas ferramentas para seu uso emergencial, descortinando uma importante desigualdade entre, por exemplo, educação científica pública e privada.

Na linha de uma necessária mudança, as dissertações aqui analisadas, mesmo focando a sala de aula, como já comentado, apontaram que é frutífero o uso de estratégias tecnológicas diversificadas (vídeos, construção de mapas conceituais, emprego de *softwares* e aplicativos de celular, simulações computacionais), o que também pode viabilizar momentos de discussão da natureza da ciência, chamando a necessária atenção do aluno a que fatos e fenômenos virtuais não podem ser confundidas com a realidade, especialmente quando tratamos de temas de FM.

(V) Relatividade em articulação com outras áreas e temáticas

Entre as produções selecionadas em nossa revisão, foi possível identificar dissertações que buscam inserir a Relatividade em sala de aula em articulação com outros temas da Física, ou outras áreas do conhecimento. Assim, abordar a Relatividade de maneira interdisciplinar pode enriquecer a compreensão dos alunos, estimular o pensamento crítico e mostrar como os conceitos científicos estão presentes em várias áreas do conhecimento. Silva (2015), por exemplo, propôs relacionar a Relatividade com a Mecânica Quântica fundamentado na epistemologia de Kuhn e na aprendizagem significativa de Ausubel. Couto (2020) articulou Filosofia ao ensino de tópicos de Astronomia ligados a quatro módulos: 1) gravitação universal e sistema solar; 2) relatividade geral; 3) buracos negros; e 4) lentes gravitacionais.

Silva (2020) pontua que não precisa haver a separação entre as mecânicas newtoniana e a relativística, por exemplo, visto que tais conceitos são afastados completamente no EM. O autor desenvolveu uma sequência didática apresentando inicialmente conceitos ligados à visualização dos corpos em relação ao movimento, ou não, do observador. O processo de interação foi potencializado pela utilização dos instrumentos da Realidade Virtual, o que possibilitou aos alunos conhecerem os efeitos relativísticos, e expor as suas suposições e conceitos adquiridos durante a utilização do equipamento. À medida em que os conceitos eram explanados, os alunos trocavam ideias, podiam receber outros conhecimentos externos, permitindo relacionar o conhecimentos da mecânica newtoniana com a Teoria da Relatividade.

Gomes Neto (2020) construiu uma caixa relativística para facilitar a visualização da deformação do espaço e a geodésica percorrida pela luz ao atravessá-lo. O objetivo foi tornar mais concretos alguns aspectos da TRG, por exemplo, a gravidade como geometria do espaço-tempo, desvio da luz no campo gravitacional gerado por um objeto massivo. Foi possível mostrar a diferença entre posição real e aparente de uma fonte luminosa, permitindo uma

ligação com a ideia de lentes gravitacionais; e discutir o fenômeno do eclipse solar, em especial o eclipse que ocorreu na cidade de Sobral em 1919, que comemorou seu centenário em 2019.

Ainda em uma abordagem interdisciplinar, Reis (2016) e Ramos (2017) trabalharam a TRR em articulação com a Arte, especificamente com o movimento artístico do Cubismo, como fator motivacional para compreensão dos conceitos de tempo e espaço, uma vez que esse redesenho conceitual é pré-requisito para o estudo da Física Relativística. Os autores defendem essa articulação e dizem que os paradigmas dialogam entre si, começando que eles surgiram na mesma época, início do século XX, e provocaram mudanças científicas e culturais profundas. A TRR provocou mudanças no conceito de espaço físico, na Arte, o Cubismo revolucionou o espaço pictórico. Nesse sentido, os alunos podem compreender as novas noções de espaço-tempo trazidas pela TRR, bem como o modo pelo qual a pintura cubista causou uma modificação do vocabulário plástico, aprendendo ao mesmo tempo conceitos de Física e de Arte. Para Silva (2020, p. 22), aproximar “Arte com a Física maximiza e facilita a interação por conta das várias concepções produzidas subjetivamente pelos leitores”. Reis (2016) pontua ainda que os professores de Física, ao trabalharem em colaboração com professores de Arte e História, criam um ambiente favorável para discutir acerca do contexto histórico de desenvolvimento da TRR e do cubismo.

Carageorge (2020) apresentou uma proposta de SD para explicar a TRG usando uma abordagem da geometria Riemanniana em conjunto com os conceitos físicos como o princípio de equivalência. Devido o nível de complexidade dos temas, a sequência foi aplicada para uma turma específica do EM, com alto desempenho em Matemática e Física, que considerou as noções básicas de TRG e a importânciado princípio de equivalência como óbvios. Assim, o autor sugere que o professor pode falar da massa inercial da 2ª Lei de Newton, depois da força elétrica como resultante e, por último, tratar das massas gravitacionais e que, dessa forma, pode causar uma surpresa, pois a carga elétrica não é proporcional à massa inercial, mas a gravitacional sim.

Fuchs (2016), embora seja uma dissertação do Mestrado Profissional de Ensino de Física- MPEF da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, foi incluído por ser considerado relevante e por valorizar a perspectiva do aluno. O autor, inicialmente, percebeu as possibilidades da TRR de dialogar com a Matemática, através dos conceitos como vetores, quadrivetores, matrizes etc., que são, presumivelmente, aprendidos com pouco significado e alto nível de abstração pelo alunos do EM. No entanto, procurou ressaltar aspectos da História da Física na perspectiva da Epistemologia de Kuhn, associando a TRR a uma mudança de paradigma, para que os alunos pudessem construir uma visão de Ciência mais dinâmica e contextual.

A análise mostrou a notável potencialidade da Relatividade em promover a integração de conteúdo com diferentes disciplinas, especialmente a Arte, a Matemática, a Astronomia e a Física Quântica e a Filosofia da Ciência. Explorar estes aspectos pode ajudar os alunos a perceberem que não existem disciplinas isoladas, e um mesmo tema pode ser estudado a partir de diferentes pontos de vista.

Por outro lado, é fácil articular a Relatividade com a Epistemologia de Thomas Kuhn, que se sobressaiu nesta categoria, dado que a TR foi um dos pilares, junto com a Física Quântica, que impulsionou a Física no início do século XX, e Kuhn explora esse momento histórico como um exemplo de mudança de paradigma em seu livro mais conhecido, *A Estrutura das Revoluções Científicas* (Kuhn, 1997). Contudo, seria inadequado assumir que a Ciência avança através de “revoluções científicas”; elas podem existir, mas são esporádicas

porque pressupõem uma mudança radical de visão de mundo, capaz de provocar o abandono de um conjunto de práticas, crenças, métodos, e especialmente, de teorias em favor de outro.

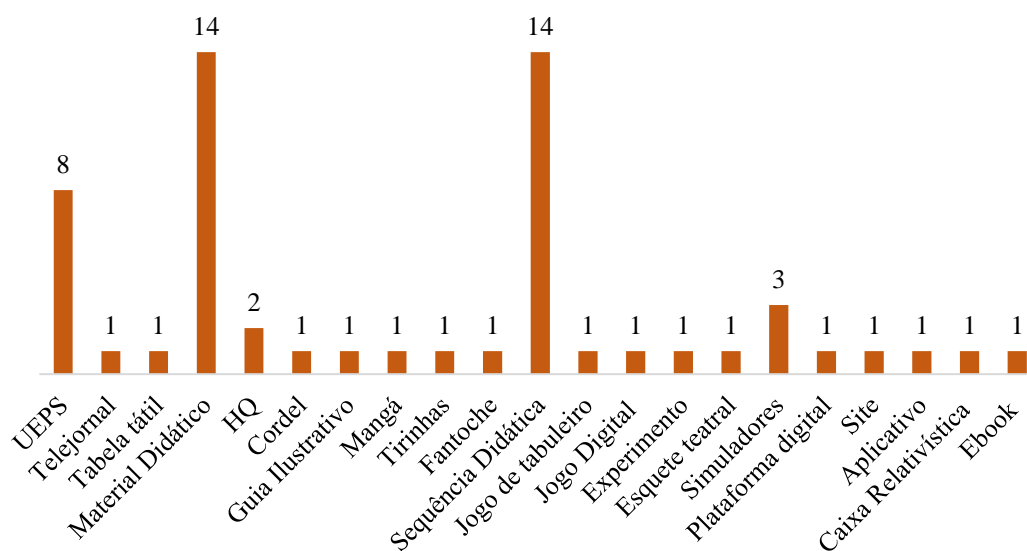
Entendemos que um olhar retrospectivo para o desenvolvimento histórico da Ciência aponta um padrão evolutivo dos conceitos e teorias, com inclinação para a “epistemologia evolutiva” de Toulmin, que nos serve de referencial epistemológico. Alinhamo-nos também à noção de que a base científica não deve ser compreendida pelos estudantes apenas com referência aos conhecimentos que fundamentam as tecnologias modernas, mas que deve ser uma construção significativa e abrangente, com reflexos no cotidiano dos jovens, da sociedade, objetivando também uma compreensão epistemológica que garanta um sólido letramento científico (Brasil, 2013).

Aspectos gerais das dissertações do MNPEF sobre Teoria da Relatividade

Para uma melhor visualização dos nossos resultados, organizamos, com base na estatística descritiva de Barbetta (2003), que apresenta um elemento importante para entendermos o comportamento de uma variável, a construção da “distribuição de frequências”. A distribuição de frequências permite organizar os dados de acordo com as ocorrências dos diferentes resultados observados. Para variáveis discretas, como é em nossa pesquisa, a distribuição de frequências pode ser apresentada na forma tabular (tabelas), ou gráfica. As representações gráficas fornecem, segundo o autor, uma visualização mais sugestiva do que as tabelas, e constituem, portanto, uma forma alternativa de apresentação de distribuições de frequências. (Barbetta, 2003, p. 69)

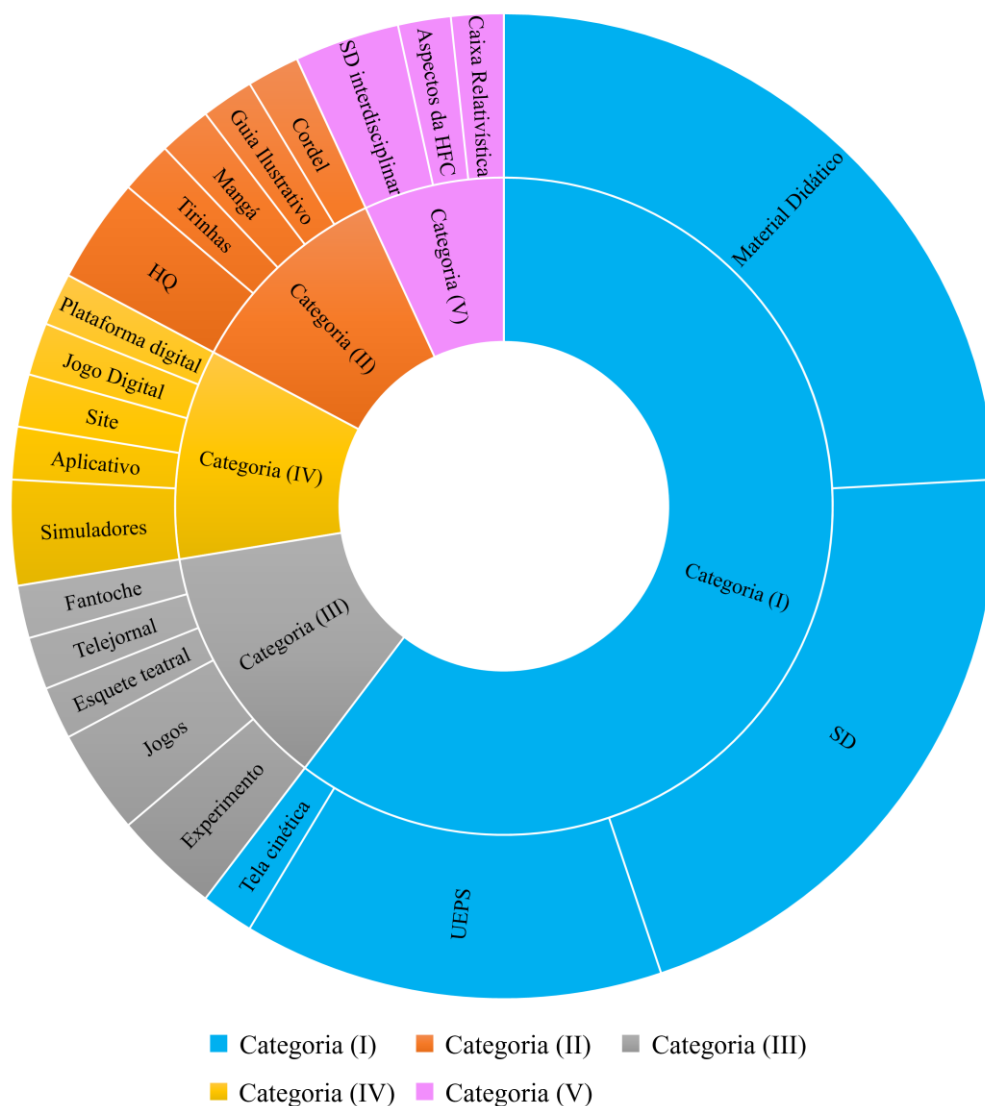
No Gráfico 2 está a relação de todos os produtos educacionais utilizados para o ensino da TR. Ressaltando que algumas dissertações apresentam mais de um produto/estratégia, o que torna este número total superior ao número de dissertações analisadas (46).

Gráfico 2: Produtos Educacionais presentes nas categorias analisadas.



Fonte: elaborado pela autoras (2023).

O Gráfico 3 mostra como os esses produtos se distribuem dentre as categorias analisadas.

Gráfico 3: Distribuição dos produtos educacionais nas categorias analisadas.

Fonte: elaborado pela a sutoras (2023)

Os produtos educacionais que mais se destacam no Gráfico 2, são Sequências Didáticas, Material Didático e as UEPS que faz jus ao maior número de trabalho presente na Categoria (I) *Reatividade e Unidades Didáticas*, presentes no Gráfico 3. Isso pode ser justificado, talvez, pelas próprias as orientações⁴ do MNPEF sobre o texto didático como produto educacional – esse material se configura como um texto científico porque se trata de uma narrativa escrita com base no conhecimento científico estruturado a partir de conceitos, leis, teorias, e evidências experimentais; porém, escrito em linguagem simples, precisa e correta, sem dar margem para duplo sentido, de maneira tal, que os alunos possam chegar a mesma conclusão que àquela compartilhada pela comunidade científica, se constituindo assim um desafio para o professor-autor. Por esta definição, interpretamos que muitos autores chamam tal texto didático de “material de apoio ao estudante”, “planos de aulas”, ou ainda

⁴ Disponível em: <https://www1.fisica.org.br/mnpef/sites/default/files/anexospagina/Orientacoes-Texto-Didatico-MNPEF.pdf>

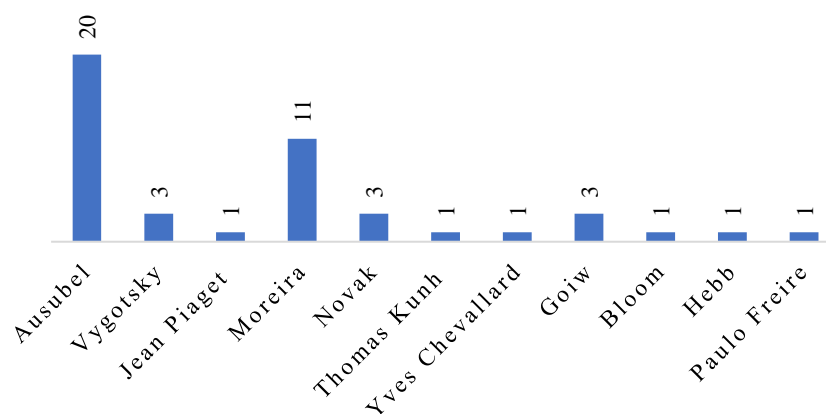
“material de apoio ao professor”.

A estratégia de desenvolver UEPS como produto educacional ou SD para trabalhar conceitos relativísticos aparece associada ao uso de estratégias didáticas diferenciadas em sala de aula, que estimulam momentos de reflexão, diálogos e a construção de concepções atuais dos fenômenos físicos. Já o uso de literaturas diversas, jogos, experimentos e telejornal, visa despertar a curiosidade dos alunos. No entanto, os autores mostram que a receptividade pode se modificar entre turmas, recomendando a importância de adaptar essas estratégias conforme o público e tempo de aula. Destacam que quase sempre obtiveram uma boa aceitação, e um bom envolvimento por parte dos estudantes. As dificuldades para ensinar especificamente a TRG residem na complexidade dos fenômenos e na descrição matemática avançada. Por isso, defendemos a importância de estratégias que adotem um olhar histórico e epistemológico da ciência, ou ainda, uma articulação com outras áreas do conhecimento na busca da assimilação dos fenômenos físicos relativísticos.

Quanto ao uso das tecnologias em sala de aula, o uso de recursos como: formulários, *quiz*, grupos em *whatsapp*, filmes de ficção científica até a elaboração de simuladores e jogos, se faz bastante presente. A principal dificuldade encontrada pelos autores para aplicação desse recurso nas escolas públicas brasileiras se deve ao fato de que muitas instituições ainda não possuem materiais e infraestrutura capaz de dar suporte ao professor na execução das atividades; apontam também que muitos alunos/famílias não têm acesso a um bom *smartphone* ou *internet banda larga* para suprir suas necessidades acadêmicas, ou ainda, a falta de domínio por parte de alguns professores dos recursos tecnológicos. Tudo isso foi bastante perceptível no período das aulas remotas, durante a pandemia da COVID-19, onde as dificuldades exigiram adaptações em todo o instante.

Quanto aos referenciais teóricos e epistemológicos, identificamos que os autores demonstram certa preferência para o uso das ideias de David Ausubel, em muitos casos associando a outros referências, como Kuhn, Vygotsky, Moreira, como podemos observar no Gráfico 4.

Gráfico 4: Referenciais teóricos e metodologias presentes nas dissertações do MNPEF sobre Teoria Relatividade



Fonte: elaborado pela autoras (2023)

A Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, enquanto umas teorias mais utilizadas por esses autores, se justifica pela valorização dos conhecimentos prévios dos

alunos, como se baseia também o Moreira. Identificamos também a Teoria da Transposição Didática de Yves Chevallard, que ajuda a adaptar os conhecimentos da TR para um formato mais acessível e compreensível para os estudantes da Educação Básica; por fim, destacamos também a Teoria de Hebb, envolvida na plasticidade neural, indicando que é importante despertarmos os nossos sentidos em sala de aula, usarmos da emoção para a consolidação do aprendizado.

De tal modo, recai para o professor essa responsabilidade de planejar e elaborar algo que engaje e envolva cotidiano e ciência, para que a física faça sentido para a vida do estudante, não apenas para alcançar uma nota ou aprovação de vestibular.

Entendemos que para isso é necessário esforço de pesquisa, apoio governamental, infraestrutura na administração das intuições de ensino, apoio ao professor, sobretudo valorização profissional e tempo adequado para uma elaboração diferenciada e aplicação nas aulas de física.

Considerações Finais

Esta revisão da produção acadêmica no âmbito do MNPEF faz parte de um estudo de doutoramento, em que construímos um Módulo Didático sobre TRR e TRG, bastante direcionado pelos achados da revisão de literatura, que também incluiu trabalhos publicados em periódicos e em eventos da área. Em nossa aplicação, tivemos um olhar histórico e epistemológico, e direcionamos para alunos do 3º ano do Ensino Médio de uma escola pública da região metropolitana de Porto Alegre. Assim, ao examinarmos as dissertações do MNPEF (compreendidas no período de 2013 – 2021), elas nos serviram de inspiração na construção e aplicação do nosso módulo. Por esta razão, tivemos como objetivo desta etapa da revisão responder à questão de pesquisa: *Quais são as estratégias mais utilizadas para o ensino da Teoria da Relatividade (Geral e Restrita) na Educação Básica?*

Identificamos, na revisão, que as Metodologia de Ensino mais presentes foram: UEPS, IpC, discussões em sala, leituras dialogadas; as chamadas Metodologias Ativas; e as metodologias interativas como jogos, HQs, uso de literaturas diversas, buscando estimular a curiosidade dos alunos, os envolvendo em atividades de colaboração no processo de construção do conhecimento. Em termos de articulação com outras áreas, os achados apontam para a potencialidade de articular o estudo da Teoria da Relatividade com a Arte, a Cosmologia, a Matemática, a Física Quântica, a Filosofia da Ciência e outros assuntos da física clássica e da FM.

Percebemos também que autores das dissertações privilegiam a teoria de aprendizagem significativa de David Ausubel, que aparece em 45% dos trabalhos; a segunda mais utilizada é a TASC de Moreira, sendo que ambas buscam favorecer uma aprendizagem significativa. Vygotsky é utilizado quando procuram fazer uma interação entre professor-aluno, ou aluno-aluno. Em inúmeras dissertações há uma tentativa de articulação entre estes teóricos. Aqui não ignoramos que existem críticas a esta junção, pois em alguns casos parecem apressadas e pouco relacionadas com os objetivos do projeto, ou mesmo desconectadas das questões foco. Este resultado parece evidenciar uma lacuna na área, pois se poderia também explorar outros teóricos e introduzir aspectos, que vêm sendo a longo tempo pesquisados, em relação às chamadas visões epistemológicas contemporâneas (Massoni, 2010; Massoni; Carvalho, 2022).

Toulmin, por exemplo, apresenta-se como um referencial não apenas metodológico mais epistemológico, focando a evolução dos conceitos, das teorias, das metodologias e da própria racionalidade científica.

Observamos que em toda as dissertações analisadas, apenas um autor utiliza o Kuhn, enquanto referencial epistemológico, no ensino de Relatividade, explorando como as ideias de Einstein desafiaram e transformaram concepções prévias de espaço e tempo, levando a uma revolução no pensamento científico. Mesmo não sendo uma exigência dessas dissertações do MNPEF de articular referenciais teóricos e epistemológicos, defendemos que trazer a História e Filosofia da Ciência para dentro de sala de aula pode ajudar os alunos a desenvolver o pensamento crítico, construindo habilidades de questionar e entender porque as mudanças paradigmáticas ocorrem, contribuindo para uma compreensão mais profunda da natureza da ciência e dos conceitos científicos.

Quanto os conteúdos da Relatividade abordados nas dissertações, há uma ênfase na compreensão das transformações de Galileu, Lorentz e as consequências da Relatividade, como dilatação do tempo e a contração do espaço. Temas como energia relativística, gravidade, buracos negros, velocidade da luz, simultaneidade, adição de velocidades, paradoxo dos gêmeos e cinemática relativística estão bastantes presentes. Em algumas dissertações, como apresentado na Categoria (V) a História e a Filosofia da Ciência foram incorporadas para contextualizar o desenvolvimento da TR, fazendo uma ligação também com outras áreas do conhecimento.

Outro ponto importante que parece saltar aos olhos, e que é uma organização comum nos livros didáticos de Física, é que não precisamos aguardar o último semestre do terceiro ano do EM (geralmente é nesse período que ocorre a inserção de tópicos de Física Moderna), como o momento exato para falar da Teoria da Relatividade ou outros temas de FM. Defendemos que é possível introduzir de maneira gradual, começando com conceitos mais simples, mesmo quando estamos lecionando cinemática, e discutindo diferentes concepções de tempo e espaço, para altas e baixas velocidades, por exemplo, e seguir progredindo para situações mais complexas, isto é, retomando e reforçando continuamente os conceitos já aprendidos à medida que se avança no estudo da cinemática relativística.

Em resumo, a revisão sempre se mostra um estudo importante para identificar tendências: ela não apenas informa sobre práticas educacionais eficazes e a forma como foram utilizadas, mas revela como e quais teorias e visões sobre a natureza da ciência estão sendo utilizadas, quais lacunas podem ser sanadas para promover uma educação científica que dê importância ao pensamento crítico. Sobretudo, esta revisão aponta, uma vez mais, para a necessidade de aprimorar e ampliar o ensino de Física Moderna na Educação Básica, especificamente, a Teoria da Relatividade.

Agradecimentos

À Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Capes, pela bolsa de doutorado.

Referência

- Almeida, O. F. (2016). *Jogo educacional para o ensino básico de Relatividade Galileana*. (Dissertação de mestrado). 1–205 f. – UFRJ- Rio de Janeiro.
- Alves-Brito, A., & Massoni, N. T. (2019). *Astrofísica para a Educação Básica: a origem dos elementos químicos no Universo*. 1. ed. Curitiba: Editora Appris.
- Aringhieri, L. F. (2017). *Teatro De Fantoches: Uma Apresentação Lúdica de Física Moderna em Escolas do Ensino Fundamental*. (Dissertação de mestrado). 1-79- UNIFESSPA, Marabá.
- Bardin, L. (2011). *Análise de conteúdo*. 70. ed. São Paulo: [s. n.].
- Barbeta, PA. *Estatística aplicada às ciências sociais*. 5. ed. Florianópolis: [s. n.], 2003.
- Bendia Filho, A. G. (2017). *Estratégias virtuais para a inserção do espaço e tempo relativísticos no ensino de física*. (Dissertação de mestrado), 1-228f. IFF, Rio de Janeiro.
- Barcellos, M. E., & Zanetic, L. V. (2005). Problematizando o ensino da física moderna, a partir das várias “teorias gravitacionais”. *V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, [s. l.], n. 1809–5100, p. 1–12.
- Brasil. (2013). *Ministério da Educação. Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica*. Brasília: [s. n.].
- Berland, L., & Crucit, K. (2016). Epistemological Trade-Offs: Accounting for Context When Evaluating Epistemological Sophistication of Student Engagement in Scientific Practices. *Science Education*, v. 100, n. 1, p. 5–29.
- Campos, L. F. E. (2020). *O paradoxo dos gêmeos através da dinâmica dos três momentos pedagógicos*. (Dissertação de mestrado) 1–100 f. - UFF, [s. l.].
- Carageorge, E. C. (2020). *Uma proposta de sequência didática para ensino da relatividade geral no ensino médio*. (Dissertação de mestrado) 1–176 f. - UFRJ, [s. l.].
- Caruso, F., & Freitas, N. de (2009). Física Moderna no Ensino Médio: o espaço-tempo de Einstein em tirinhas. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 26, n. 2.
- Catarino, G. F. C., & Reis, J. C. O. (2021). A pesquisa em ensino de ciências e a educação científica em tempos de pandemia: reflexões sobre natureza da ciência e interdisciplinaridade. *Ciência & Educação (Bauru)*, [s. l.], v. 27.
- Cavalcante, G. N. (2017). *Ensinando Física Moderna Através de Experimentos com Materiais Alternativos*. (Dissertação de mestrado) 1–103 f. – URCA-Juazeiro do Norte.
- Celestino, L. C. F. (2020). O jogo de tabuleiro como recurso didático no ensino da teoria da relatividade no ensino médio. (Dissertação de mestrado) 1–30 f. - UFRPE, [s. l.].
- Cordeiro, M. D. (2018). *Unidade de ensino potencialmente significativa para uma abordagem contextualizada da teoria da relatividade especial no ensino médio*. (Dissertação de mestrado) 1–231 f. - UFMT, [s. l.].
- Couto, R. V. L. (2020). *Astronomia no ensino médio: uma abordagem simplificada a partir da teoria da relatividade geral*. (Dissertação de mestrado) 1–177f. UNB- Brasília.

- Chitolina, D. (2017). *Desenvolvimento de um ambiente virtual de ensino e aprendizagem para o ensino da relatividade*. (Dissertação de mestrado). 1–192 f. - UFSC, Florianópolis.
- Duda, J. (2020). *Aplicação e análise de uma sequência didática para abordagem decinemática e teoria da relatividade restrita no ensino médio*. (Dissertação de mestrado), 1-352 f. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa.
- Fiasca, A. B. A. (2018). *Aplicando Metodologias Ativas e Explorando Tecnologias Móveis em Aulas de Relatividade Restrita no Ensino Médio Angelo*. (Dissertação de mestrado) 1– 173 f. – UFRJ. Rio de Janeiro.
- Freire, J. C. (2015). *Evolução de conceitos de mundo: uma proposta para inserção da teoria da relatividade no ensino médio*. (Dissertação de mestrado) 1- 111f. UFLA, Lavras.
- Freire Júnior, D. G.(2018). *Uma sequência didática para a abordagem da relatividade especial na educação básica com a utilização da instrução pelos colegas*. (Dissertação de mestrado) 1–122 f. - Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus- Bahia.
- Fuchs, E. I. (2016). *Teoria da relatividade restrita: uma introdução histórica- epistemológica e conceitual voltada ao ensino médio*. (Dissertação de mestrado). 1–337 f. - UFRGS, Porto Alegre.
- Gomes, A.; Carvalho, E. T. de; Maciel, C. M. L. A. (2019). Continuing Teacher Education and its Implications for Teaching. *Research, Society and Development*, [S. l.], v. 8, n. 10. p. e328101385.
- Hewitt, P. G. (2015). *Física Conceitual*. 12. ed. Bookman. Porto Alegre.
- Januário, M. D. A. (2020). *Estudando a relatividade restrita com folhetos de cordel científicos em formato de história em quadrinhos através de uma sequência de ensino à luz da neurociência educacional*. (Dissertação de mestrado). 1-151f.- URCA, Juazeiro do Norte.
- Januário, M. D. A., Hoernig, A. F., & Massoni, N. T. (2022). *Física Moderna no Ensino Médio: revisão de literatura e as tendências nas pesquisas em Ensino de Física*. Submetido à publicação jan. 2022.
- Kishimoto, T.M. (1998). *Brincar e suas teorias*. Cengage Learning Editores, 1998.
- Kuhn, T. (1997). *A Estrutura das Revoluções Científicas*. 5. ed. São Paulo.
- Lima, G. M. de. (2018). *Uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa com o aplicativo TRE Einstein para ensinar a Relatividade Especial* (Dissertação em mestrado). - 131f. - Centro de Ciências Exatas e da Terra, UFRN, Natal.
- Linhares Gatti, M. (2018). *Introdução ao estudo da teoria da relatividade restrita via paradoxo dos gêmeos: uma proposta para o ensino médio*. (Dissertação de mestrado) 1–133 f. - UNIRIO, [s. l.].
- Loch, J., & Garcia, N. M. D. (2009). Física moderna e contemporânea na sala de aula do ensino médio. *Encontro Nacional de Pesquisas em Educação em Ciências*, [s. l.].
- Melo, L. F., et al. (2017). A Utilização do Filme Interestelar Para o Ensino de Física Moderna no Ensino Médio. *XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física*, [s. l.], n. 2010, p. 1–7.
- Massoni, N. T. (2010). A Epistemologia contemporânea e suas contribuições em diferentes níveis de Ensino de Física: a questão da mudança epistemológica. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS.

Massoni, N. T., & Carvalho, F. A. (2022). Caminhos para a inserção da natureza da ciência na Educação Básica: alguns resultados de pesquisa a partir de uma disciplina na Licenciatura de Física. *REXE - Revista de Estudios y Experiencias em Educación*, vol. 21, n. 45, p. 183-208.

Mendonça, M. O. (2018). *Proposta de construção de uma sequência didática abordando tópicos de cosmologia no ensino médio*. (Dissertação de mestrado) 180 f. – UNB- Brasília.

Moreira, M. A. (2004). O mestrado (profissional) em ensino. In: *Revista Brasileira de Pós-Graduação*. Brasília, n. 1, p. 131-142.

Moreira, M. A. (2018). Uma análise crítica do ensino de Física. *Estudos Avançados*, v. 32, n. P.94, DOI: 10.1590/s0103-40142018.3294.0006

Moreira, M. A. (2010). Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica. Disponível em <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/apsigcritport.pdf>. Acesso em jan. 2022.

Moreira, M. A., & Massoni, N. T. (2016). *Noções básicas de epistemologia e teorias de aprendizagem como subsídios para a organização de sequências de ensino-aprendizagem em ciências/física*. (tese de doutorado) São Paulo: [s. n.].

Nascimento, M. M., Ostermann, F., & Cavalcanti, C. J. D. H. (2017). Uma proposta de análise da produção didática desenvolvida em mestrados profissionais em ensino de ciências. *Revista electrónica de enseñanza de las ciencias. Ourense*. Vol. 16, no. 2, p. 316-340.

Nobre, F. A. S. *Folhetos de cordel científicos: Um catálogo e uma sequência de ensino*. São Leopoldo: Trajetos Editorial, v.1. p.168

Oliveira, E. R. O. (2020). *Quiz com fenômenos do cotidiano para desenvolvimento dos conceitos de física moderna usando aplicativo socrative*. (Dissertação de mestrado) –1-123f. UFAC - Rio Branco.

Ostermann, F., & Moreira, M.A. (2000). Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa " física moderna e contemporânea no ensino médio. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 5, n. 1, p. 23–48.

Osorio, I. F. (2019). *Histórias em quadrinhos e metodologias ativas para a aprendizagem de relatividade restrita no ensino médio*. (Dissertação de mestrado) 1–71 f. - UFRJ, [s. l.].

Pettersen, J. A. M. (2017). *A arte como elemento facilitador na aprendizagem da relatividade*. (Dissertação de mestrado). 1–137 f. - IFF, Rio de Janeiro.

Pontes, L. E. O. (2020). *Utilização de um e-book como ferramenta educacional para o ensino da teoria da relatividade especial*. (Dissertação de mestrado) 1-110f.- UNIRIO, Marabá.

Raicik, A. C. (2020). Nos embalos da HFC: discussões sobre a experimentação e aspectos relativos à NdC em UEPS. *Experiências em Ensino de Ciências*, v. 15, n. 2, p. 164– 197.

Ramos, E. S. (2017). *Física, arte e os conceitos de espaço e tempo*. (Dissertação de mestrado) 1–73 f. - UNIRIO, [s. l.].

Rebeque, V. P. (2017). *Políticas públicas de formação continuada de professores: investigações sobre o Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física*. (Dissertação de mestrado). 1-200f. UFRGS - Porto Alegre.

- Reinert, J. E. (2020). Unidade de ensino potencialmente significativo para o ensino da relatividade especial no ensino médio: uma abordagem com auxílio de recursos digitais (Dissertação de mestrado) 1-171f, UFSC- Blumenau.
- Reis, J. L. (2016). *Uma proposta didática para o ensino de relatividade restrita através do cubismo no ensino médio: aproximando duas culturas*. (Dissertação de mestrado) 1–109 f. - UEFS, [s. l.].
- Ribeiro, L. F. (2018). *A Relatividade de Galileu a Einstein*. (Dissertação de mestrado) 1–81 f. - UFRJ, [s. l.].
- Ribeiro, M. (2018). *Relatividade Especial em HQ*. (Dissertação de mestrado). 1–74 f. - UNIRIO, [s. l.].
- Riboldi, B. (2015). *A construção de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) para ensinar relatividade utilizando animações e o game a slower speed of light*. (Dissertação do mestrado) 1–145 f. - UFSCar, [s. l.].
- Rodrigues, C. D. O., Pietrocola, M. (2001). *A inserção da teoria da relatividade no ensino médio* (Dissertação de mestrado), 1-174f. UFSC- Santa Catarina.
- Rodrigues, C.M., Sauerwein, I.P.S., & Sauerwein, R.A. (2014). Pesquisa em Ensino de Física Uma proposta de inserção da teoria da relatividade restrita no Ensino Médio via estudo do GPS (A proposal for the insertion of relativity theory in high school by studying the GPS) *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 36, n. 1, p. 1401-1407.
- Rocha, D. M., & Ricardo, E. C. (2016). As crenças de autoeficácia e o ensino de Física Moderna e Contemporânea. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 33, n. 1, p. 223.
- Rosa, M. T. (2020). *Um guia ilustrado, como material potencialmente significativo, para ensinar a teoria da relatividade restrita*. (Dissertação de mestrado) 1–284 f. – UFRGS – Porto Alegre.
- Rosa, R. J. G., & Dickman, A. G. (2015). Física moderna no ensino médio: experimento e simulação para abordar o efeito fotoelétrico Modern physics in high school : experiment and simulation to discuss the photoelectric effect. *X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – X ENPEC*, p. 1–8.
- Sá, M. R. R. (2015). *Teoria da relatividade restrita e geral ao longo do 1o ano do Ensino Médio: uma proposta de inserção*. (Dissertação de mestrado) 575–583 f. – UNB-Brasília.
- Sacristán, J. G. (2005). *O aluno como invenção*. Porto Alegre: Artmed Editora.
- Santos, A. B. (2019). *A teoria da relatividade restrita em uma sequência de ensino potencialmente significativa com o uso de histórias em quadrinhos*. (Dissertação de mestrado) 1–194 f.- UFRGS, Porto Alegre.
- Silva, A. S. (2019). *Relatividade Especial no Ensino Médio em um contexto de Aprendizagem Significativa*. (Dissertação de mestrado) 1–105 f. - UNIRIO, [s. l.].
- Silva, I. S. da, Januário, M. D. A., & Alan-Brito, A. (2021). Condições favoráveis à vida: uma proposta de sequência didática sobre exoplanetas utilizando os três momentos pedagógicos. *VII EIMAT - I EIEF*. [s. l.], p. 49-59.
- Silva Junior, H. V. (2016). Um estudo de caso usando objetos de aprendizagem digitais para o ensino da relatividade especial. (Dissertação de mestrado). 1–133 f. - UECE, [s. l.].

- Silva, J. R. P. (2020). *Um olhar da filosofia da ciência no ensino de física: a perspectiva feyerabendiana da astronomia de Galileu*. (Dissertação de mestrado). 166 f. - UFRN, Natal.
- Silva, L. R. (2020). *Espaço-tempo em mecânica crítica a abordagem usual dos livros didáticos e uma proposta de UEPS para o ensino médio*. (Dissertação de mestrado) - UNB, [s. l.].
- Silva, P. G. A. (2015). *Física moderna para o ensino médio: relato de uma experiência*. (Dissertação de mestrado) 1–78 f. - UFRPE, [s. l.].
- Siqueira, A. B. O. (2017). *Física moderna e contemporânea: intervenção didática por meio de unidades de ensino potencialmente significativas (UEPS) no ensino médio*. (Dissertação de mestrado) 1–264 f. – IFF, Rio de Janeiro.
- Sobral, E. C. (2019). *Teoria da relatividade restrita: proposição de ensino na construção do conceito de dilatação do tempo para alunos com retinose pigmentar*. (Dissertação de mestrado) 1-85f - UNIFESSPA, Marabá, PA.
- Souza, D. S. de. (2019). *Teoria da relatividade restrita: uma sequência didática para o ensino médio abordando os conceitos de aberração da luz, contração espacial de Lorentz, efeitos doppler, Terrell e Penrose*. (Dissertação de mestrado). 1–182 f. - UFES, [s. l.].
- Terrazzan, E. A. (1992). A inserção da Física Moderna e Contemporânea no ensino de Física na escola de 2º grau. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, [s. l.], v. 9, n. 3, p. 209–214.
- Vilar, R. C. C. (2020). *Uma estratégia de ensino diferenciada para o estudo de tópicos de física moderna*. (Dissertação de mestrado). 1-111 f. - UESB, Vitória da Conquista.
- Yamashita, F. K. S. (2020). *Sequência didática para o ensino da cinemática relativística por meio das TICs*. (Dissertação de mestrado). 1-70f - IFAM, Manaus.