

Abordagem da teoria da relatividade restrita em periódicos de ensino de ciências 2005-2016

Approach to constrained relativity theory in science education journals 2005-2016

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Alanah Garcia da Silva¹, Nádia Cristina Guimarães Errobidart²

¹Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Cidade Universitária, Av. Costa e Silva, Pioneiros – CEP 79070-900 – Campo Grande, MS, Brasil.

²Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Cidade Universitária, Av. Costa e Silva, Pioneiros – CEP 79070-900 – Campo Grande, MS, Brasil.

E-mail: lanah.garcia@gmail.com

Resumo

Este trabalho apresenta uma revisão da literatura sobre a abordagem da Teoria da Relatividade Restrita, por meio de uma consulta a artigos publicados da área de Ensino e Ciências em periódicos do Brasil e dois do exterior, publicados entre 2005 até 2016. A pesquisa se concentrou em trabalhos relacionados ao ensino, contendo uma amostra de 18 artigos, sendo descartados artigos científicos e biografias sobre o autor. Organizamos os trabalhos sobre a teoria da relatividade restrita em três categorias, sendo: ensino de ciências, aparatos tecnológicos e mídias computacionais e por fim, história da ciência. É importante destacar que apesar da quantidade de artigos que envolvem sequências didáticas, poucos foram utilizados e avaliados em sala de aula, sendo preciso um maior enfoque a tais trabalhos, testando a sua eficiência.

Palavras chave: Revisão bibliográfica; Teoria da relatividade restrita; História da ciência; Ensino de física.

Abstract

This paper presents a literature review on the approach of the Theory of Restricted Relativity, by consulting articles published in the area of Teaching and Science in journals from Brazil and two from abroad, published between 2005 and 2016. The research concentrated in works related to teaching, containing a sample of 18 articles, discarding scientific articles and biographies about the author. We organize the work on the theory of relativity restricted in three categories, being: science teaching, technological apparatuses and computational media and finally, history of science. It is important to highlight that, despite the number of articles that involve didactic sequences, few were used and evaluated in the classroom, requiring a greater focus on such works, testing their efficiency.

Keywords: Literature review; Restricted theory of relativity; History of science; Physics teaching.

I. INTRODUÇÃO

Durante o processo de ensino, muitas vezes o professor faz o uso de diferentes materiais didáticos para preparar a sua aula conforme os objetivos desejados e elencados em seu plano de ensino. Para a escolha desse material, geralmente livros didáticos, alguns professores levam em consideração algumas características relevantes para as suas aulas, como, por exemplo, a qualidade dos textos, imagens e ilustrações, atividades experimentais, informações recentes e contextualizadas entre outras. Estes critérios também são utilizados em documentos de avaliação dos exemplares adquiridos por programas governamentais como o Programa Nacional do Livro Didático (PLND) (Neto e Fracalanza, 2003).

Pensando nessas características, alguns autores passaram a reorganizar o Livro Didático de forma menos conteudista e mais atrativa aos estudantes, com conteúdos baseados na contextualização e interdisciplinaridade, apontando diferentes maneiras de trabalhar um conteúdo e inserindo, por exemplo, fatos históricos, biografias dos cientistas, tirinhas, atividades experimentais entre outras. Com esta alteração, surgiu o nosso interesse em investigar alguns tópicos relacionados ao ensino da Teoria da Relatividade Restrita (TRR), conteúdo alicerçado nos conceitos básicos da Física Moderna (FM), ministrado no 3º ano do ensino médio, em periódicos da área de Ensino de Ciências. Escolhemos este tema devido ao fato de

que o desenvolvimento da FM possibilita a inovação tecnológica e a forma de interpretar muitos fenômenos do Universo. Por exemplo, a Relatividade Geral traz uma nova interpretação de tempo e espaço, além da proposição da existência de buracos negros. Já a Mecânica Quântica se volta para o mundo do pequeno, e seus resultados abalam as bases do “determinismo clássico”; as partículas podem se comportar como ondas e as ondas, como partículas (Kikuch, Ortiz e Batista, 2013, p. 2), e, concordamos com autores como Moreira (1998) que afirmam que o estudando precisa conhecer princípios básicos da tecnologia atual, já que esta pode ter impacto diretamente sobre a sua vida pessoal e/ou profissional.

No entanto, para isso, é preciso que o estudante tenha interesse pelos temas a serem estudados, e para isso, o professor pode demonstrar a relação entre a Física Moderna e equipamentos que estão presentes no cotidiano dos alunos, como o GPS e a TRR. Além do incentivo aos estudos, está prática pode contribuir para que os estudantes se sintam motivados a seguirem carreira científica.

Considerando a relevância do tema, realizamos uma pesquisa bibliográfica com o objetivo de analisar trabalhos relacionados ao ensino de relatividade restrita.

II. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para realizar a pesquisa bibliográfica, utilizamos como referência as orientações sugeridas por Rosa (2015), na qual considera ser preciso definir um conjunto de palavras chave e o escopo de revistas a ser pesquisado, o intervalo de tempo e então, realizar uma leitura detalhada dos trabalhos, fichando cada artigo. Após este fichamento, o autor agrupa resultados semelhantes, ou diferentes, evidenciados durante as leituras e constrói uma tabela para expor a visão geral sobre o tema estudado.

Considerando as orientações de Rosa (2015), definimos o conjunto de palavras chave conforme os nossos objetivos, sendo: teoria da relatividade restrita (TRR), teoria da relatividade especial (TRE), o ensino da teoria da relatividade restrita, história da relatividade restrita, sequências didáticas (ou de ensino, ou unidades de ensino) sobre a teoria da relatividade restrita, teoria da relatividade restrita nos livros didáticos e simulações explorando a teoria da relatividade restrita. Além destas, considerando que a Teoria da Relatividade Restrita é um tema relacionado com o ensino de Física Moderna e Contemporânea (FMC), realizamos, para efeito de comparação, uma busca usando FMC como palavra chave.

Selecionamos oito nacionais e dois internacionais, que apresentam *WebQualis* (2013-2016) com estratoentre A1 e B2, e, que tradicionalmente apresentam artigos sobre o ensino de física. São eles: Revista Brasileira de Ensino de Física, a Física na Escola, Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências, Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, Investigação em Ensino de Ciências, Ciência e Ensino, Ciência e Educação, Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias e Enseñanza de las Ciencias.

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Utilizando o dispositivo de busca dos próprios periódicos, buscamos pelas palavras chaves em todas as categorias (título, resumo e texto completo) no período de 2005 a 2011. Nela, identificamos o quantitativo apresentado na Tabela I.

TABELA I. Quantitativo dos trabalhos identificados em cada revista.

Periódicos	TR	FMC
Revista Brasileira de Ensino de Física	20	105
A Física na Escola	1	4
Caderno Brasileiro de Ensino de Física	6	29
Ciência e Educação	0	18
Ciência e Ensino	0	0
Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciência	0	3
Investigações em Ensino de Ciências	2	7
Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências	1	7
Enseñanza de las Ciencias	4	3
Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias	1	47
Total	35	222

Esclarecemos que para representar estes artigos, para efeito de comparação, apresentamos os resultados relacionados com a FM e apenas o termo comum em todas as palavras chaves utilizadas na busca realizada: Teoria da Relatividade.

Dos 222 artigos identificados com a palavra Física Moderna e Contemporânea, 35 correspondiam a temática Teoria da Relatividade Restrita. Quantitativo este, que representa menos $\frac{1}{4}$ do montante de artigos que exploram temas associados as pesquisas sobre FMC. Este resultado sugere um pequeno interesse da comunidade acadêmica pelo ensino de Física Moderna e Contemporânea, e por isso, possui uma quantidade considerável de publicações.

Desta forma, foram selecionados para etapa de exploração do material os artigos apresentados na tabela II.

TABELA II. Relações de artigos selecionados para exploração do material, por periódicos.

Periódicos	Quantitativo	Artigos
Revista Brasileira de Ensino de Física	20	Barros e outros, 2005; Martins, 2005; Einstein, 2006; Machado e Nardi, 2006a; Dahmen, 2006; Karam e outros, 2006; Guerra e outros, 2007; De Holanda Cavalcanti e Ostermann, 2007; Fauthe outros, 2007; Falciano, 2007; Porto e Porto, 2008; Caballero, 2011; Zanotta e outros, 2011; De Conto e outros, 2013; Rocha e outros, 2013; Rodrigues e outros, 2014; Jardim e outros, 2015; Otero e outros, 2015; Kneubil, 2016; Peliti, 2016;
A Física na Escola	1	Damasio e Peduzzi, 2017;
Caderno Brasileiro de Ensino de Física	6	Kohnlein e Peduzzi, 2005; Santos, 2006; Silveira e Peduzzi, 2006; Caruso e Freitas, 2009; Guerra e outros, 2010; Martins, 2012
Investigações em Ensino de Ciências	2	Arriasseq e Greca, 2006; Ayala Filho, 2010
Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências	1	Silva e outros, 2013
Enseñanza de las Ciencias	4	Valadares, 2005; Pérez e Solbes, 2006; Sánchez e Selva, 2006; Machado e Nardi, 2006b
Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias	1	Machado e Nardi, 2007

Após a leitura dos 35 artigos identificados, realizamos os fichamentos com o objetivo de relatar as ideias centrais de cada trabalho, e apresentá-los em categorias para facilitar a análise.

IV. A TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA NO ENSINO MÉDIO

Nesta categoria, classificamos dez artigos que relatam a importância de inserir tópicos da TRR no ensino médio por meio da apresentação de sequências didáticas aplicadas (ou não), análises de livros didáticos, atividades experimentais entre outros, sem a exploração de aspectos da história da ciência e/ou uso de ferramentas computacionais (categorias 1.1.2 e 1.1.3, respectivamente).

Iniciamos descrevendo o trabalho de Arriasseq e Greca (2006). Os autores analisaram as noções de conceitos de espaço e tempo dos alunos de uma escola de nível médio, da Argentina, consideradas necessárias para compreender a TRR. Para isso, os autores assistiram as aulas de mecânica galileana, aplicadas pelos professores destes alunos, e observaram que eles entendem tais conceitos como algo natural, ou então, a ser decorado por meio de uma equação como “dividir por t ; t medido” (Arriasseq e Greca, 2006, p.193).

Além de assistirem as aulas, os autores também analisaram os livros didáticos utilizados pelos professores, e, perceberam uma grande discordância entre o referencial curricular das escolas e o conteúdo abordado em sala de aula. Para tentar encontrar uma justificativa para a diferença de conteúdo/referencial, realizaram uma entrevista com os professores, no qual afirmaram que não abordavam TRR pelo fato de que não havia um capítulo sobre o tema no livro didático, ou então, por não compreenderem a teoria.

Santos (2006) apresenta três diagramas que podem ser utilizados como um recurso auxiliar pelo professor, para explicar os conceitos de deformação espacial, e dilatação temporal em diferentes referenciais para alunos do primeiro ano da graduação em Física/Engenharia. Para utilizá-los, o autor propõe o uso de um pêndulo para apresentar a diferença entre sistemas de referência (inercial e absoluto), pois este recurso permite demonstrar quando um referencial está inercial ou acelerado.

Pérez e Solbes (2006) propõem que o ensino da TRR seja baseado em dois problemas: como dois observadores, em diferentes referenciais, podem verificar o mesmo fenômeno? O fenômeno não deveria ser diferente? Para responder a tais perguntas, inicialmente os autores analisaram 38 livros didáticos, e posteriormente, montaram questionários baseados nos textos destes livros, para serem aplicados e verificarem a aprendizagem de um grupo de alunos de graduação em Física após um estudo teórico.

Em contrapartida, com outro grupo, fizeram uma abordagem com um outro texto desenvolvido pelos próprios autores. Este segundo texto era contextualizado, apresentando a biografia do cientista Albert Einstein, mostrava erros científicos, projetos sociais e as consequências da TRR para a sociedade. Após a comparação dos resultados, os autores relataram que a abordagem contextualizada se mostrou mais significativa, uma vez que despertou um maior interesse por parte dos alunos.

Sánchez e Selva (2006) apresentam um guia de atividades que foi desenvolvido como sugestão de ensino sobre os conceitos de espaço-tempo, energia e massa, por meio de uma abordagem CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade). Este guia contém um livro e um CD apresentando os conceitos da TRR, por meio da mecânica newtoniana (destinado aos professores), um material digital contendo textos, biografias, teorias e links sobre a TRR e trinta animações computacionais (destinado aos alunos). Após a utilização do guia, os autores prepararam um curso para os professores com o objetivo de sanarem as dificuldades encontradas para a utilização do material.

Karam e outros (2006) apresentam parte de uma sequência didática que aborda tópicos da TRR, para uma turma de estudantes do primeiro ano do ensino médio. Nesta sequência, os autores discutiram os conceitos de movimento retilíneo para baixo, movimento relativo por meio das transformações galileanas, maneiras de detectar se um objeto está em movimento ou não, variação da velocidade e velocidade da luz, efeitos da dilatação temporal e a contração do comprimento.

Os conceitos foram discutidos utilizando objetos presentes no cotidiano dos estudantes, como movimento de caminhões e caçambas, queda de um celular e o movimento de um skate. Ao final da discussão, os autores destacaram a resistência dos alunos à aceitação dos postulados, que não foram aceitas quando apresentadas durante a sequência didática.

Caruso e Freitas (2009) apresentam o resultado de um projeto de ensino sobre a TRR, realizado com alunos do ensino médio, pautado no emprego de histórias em quadrinhos. Durante o projeto, um dos alunos desenvolveu tirinhas após participar da oficina de educação por meio de histórias em quadrinhos (EDUHQ), ministrada por um dos autores. Os autores destacam que o aluno não tinha conhecimento prévio sobre o assunto e antes da elaboração das tirinhas, ministraram seminários e selecionaram textos e livros para que o aluno estudasse, com o objetivo de se familiarizar com os conceitos da TRR e então, desenhar as tirinhas.

Ayala Filho (2010) utiliza a noção de Perfil Conceitual como instrumento para investigar a aprendizagem da TRR e quais os obstáculos epistemológicos encontrados pelos alunos durante o seu trabalho. Para a investigação, o autor elaborou questões sobre a conservação de momento em colisões, conceitos de referencial segundo a mecânica newtoniana e relativístico, e, propagação da luz. Analisando as respostas dos alunos, o autor concluiu que eles não possuíam subsunçores em relação a TRR e que utilizavam formas espontâneas de raciocínio, principalmente sobre o conceito de referencial relativístico, respondendo conforme a teoria mecânica.

Silva e outros (2013) pesquisaram a interação entre professores de Física durante um grupo de estudo de Física Moderna e Contemporânea, conforme as proposições de Bakhtin, por meio de discussões de componentes sociais, ideológicos e na interação entre as falas e das potencialidades do discurso.

Para isso, os autores participaram de cinco reuniões dos professores nas quais discutiram conceitos da TRR, e, identificaram regularidades na forma como organizavam as discussões, como exemplo, na ajuda mútua entre os colegas. Em relação a análise e transcrição das falas, utilizaram as contribuições metodológicas da análise textual discursiva, e como resultado, apontaram que a metodologia de discussão em grupo pode surgir efeito significativo em relação ao esclarecimento de dúvidas conceituais.

Jardim e outros (2015) analisaram os conceitos de massa relativística e em repouso em 14 livros didáticos, no 2015. Para isso, buscaram na bibliografia argumentos que reforçam a discussão sobre os conceitos de massa, com o objetivo de obter parâmetros para a análise. Após definirem os parâmetros e realizarem a análise, os autores concluíram que a maioria dos livros aprovados pelos PNLD não destacam a quantidade de movimento de uma partícula, assim como, a variação de sua massa (que foi perdendo importância com ao longo do tempo). Destacaram que além de apresentarem relações inadequadas, os livros também podem colaborar para concepções errôneas sobre a teoria.

Otero e outros(2015) apresentam em seu trabalho a implementação e avaliação de uma sequência didática sobre a TRR, aplicada em uma escola em Buenos Aires – Argentina. A sequência envolve três etapas: a primeira, análise dos conceitos de referenciais e observadores; a segunda, o desenvolvimento da sequência com o objetivo de apresentar a ideia de invariância da velocidade da luz e o conceito de relatividade; e por fim, a terceira etapa em que os autores realizaram uma discussão sobre as transformações de Galileu e a TRR reformulada por Einstein. Para a avaliação, os alunos deveriam desenvolver um produto que poderia ser apresentado de forma verbal (oral ou escrito), gráficos e desenhos.

V. A TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA E NOVAS TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO (TIC)

Enquadramos nesta categoria cinco artigos que abordam o ensino da Teoria da Relatividade Restrita utilizando mídias computacionais com softwares, jogos educacionais, vídeos, equipamentos eletrônicos (GPS, celular) entre outros. Destacamos que dos cinco artigos, três foram elaborados pelos mesmos autores: Machado e Nardi (2006a, 2006b e 2007), e, pelo fato do trabalho de Machado e Nardi (2007) ser o mais completo, descreveremos apenas ele.

Machado e Nardi (2007) apresentam as potencialidades de um sistema de hipermídia para a introdução de conceitos de FMC, denominado como Tópicos de Física Moderna. Ele foi desenvolvido com o objetivo de enfatizar os conceitos básicos da TRR, e para isso foi organizado em seis módulos de forma que reuniam textos por áreas afins, sendo: visão inicial sobre a teoria, com conceitos de física clássica e moderna; teoria da relatividade; tecnologia e sociedade; história da ciência, e, as fronteiras da ciência. Os textos, disponibilizados em links, possuem ilustrações, filmes e animações para facilitar a construção do conceito por parte dos estudantes.

Assim como o nosso trabalho, os autores utilizaram o princípio da diferenciação progressiva, teoria ausubeliana, ao fazerem o uso de sequências de telas para apresentarem os aspectos mais gerais, e, por fim, os mais específicos. Os links também proporcionavam ligações entre os conhecimentos anteriores dos estudantes e as novas ideias a serem estudadas, possibilitando que os alunos acessassem organizadores prévios quando não houvesse subsunçores para um determinado conceito, algo que consideramos de extrema importância.

Zanotta e outros (2011) avaliaram uma atividade explorando os conceitos físicos de referenciais, ondas eletromagnéticas e a tecnologia utilizada no Sistema de Posicionamento Global (GPS) por meio do ponto de vista histórico e didático. Para isso, os autores construíram um texto com a descrição histórica do GPS, e, após esta etapa, relacionaram o seu funcionamento à TRR, uma vez que é preciso sincronizar os relógios atômicos utilizados nos satélites aos relógios da estação terrestre, e, paralelamente com as coordenadas.

Conforme os autores, atividades com abordagens tecnológicas podem transformar o local de ensino em um minilaboratório de Física devido ao fato de ocuparem pouco espaço ou serem acessíveis aos alunos (como exemplo o GPS do aparelho celular), além de tornarem as atividades mais atrativas durante o processo de ensino/aprendizagem.

Rodrigues e outros (2014) discutem sobre as potencialidades do ensino da TRR por meio de explicações utilizando o GPS. Para isso, desenvolveram treze aulas e atividades com o objetivo de aproximarem os alunos de situações cotidianas, em que apresentavam aos alunos notícias sobre a obrigatoriedade do georreferenciamento de imóveis rurais e as suas identificações, por exemplo, e como os alunos utilizam um GPS para identificarem determinados locais.

VI. A TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA E HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA

Enquadramos nesta categoria cinco artigos que abordam o ensino da Teoria da Relatividade Restrita utilizando mídias computacionais com softwares, jogos educacionais, vídeos, equipamentos eletrônicos (GPS, celular) entre outros. Destacamos que dos cinco artigos, três foram elaborados pelos mesmos autores: Machado e Nardi (2006a, 2006b e 2007), e, pelo fato do trabalho de Machado e Nardi (2007) ser o mais completo, descreveremos apenas ele.

Machado e Nardi (2007) apresentam as potencialidades de um sistema de hipermídia para a introdução de conceitos de FMC, denominado como Tópicos de Física Moderna. Ele foi desenvolvido com o objetivo de enfatizar os conceitos básicos da TRR, e para isso foi organizado em seis módulos de forma que reuniam textos por áreas afins, sendo: visão inicial sobre a teoria, com conceitos de física clássica e moderna; teoria da relatividade; tecnologia e sociedade; história da ciência, e, as fronteiras da ciência. Os

textos, disponibilizados em links, possuem ilustrações, filmes e animações para facilitar a construção do conceito por parte dos estudantes. Assim como o nosso trabalho, os autores utilizaram o princípio da diferenciação progressiva, teoria ausubeliana, ao fazerem o uso de sequências de telas para apresentarem os aspectos mais gerais, e, por fim, os mais específicos. Os links também proporcionavam ligações entre os conhecimentos anteriores dos estudantes e as novas ideias a serem estudadas, possibilitando que os alunos acessassem organizadores prévios quando não houvesse subsunçores para um determinado conceito, algo que consideramos de extrema importância.

Zanotta e outros (2011) avaliaram uma atividade explorando os conceitos físicos de referenciais, ondas eletromagnéticas e a tecnologia utilizada no Sistema de Posicionamento Global (GPS) por meio do ponto de vista histórico e didático. Para isso, os autores construíram um texto com a descrição histórica do GPS, e, após esta etapa, relacionaram o seu funcionamento à TRR, uma vez que é preciso sincronizar os relógios atômicos utilizados nos satélites aos relógios da estação terrestre, e, paralelamente com as coordenadas.

Conforme os autores, atividades com abordagens tecnológicas podem transformar o local de ensino em um minilaboratório de Física devido ao fato de ocuparem pouco espaço ou serem acessíveis aos alunos (como exemplo o GPS do aparelho celular), além de tornarem as atividades mais atrativas durante o processo de ensino/aprendizagem.

Rodrigues e outros (2014) discutem sobre as potencialidades do ensino da TRR por meio de explicações utilizando o GPS. Para isso, desenvolveram treze aulas e atividades com o objetivo de aproximarem os alunos de situações cotidianas, em que apresentavam aos alunos notícias sobre a obrigatoriedade do georreferenciamento de imóveis rurais e as suas identificações, por exemplo, e como os alunos utilizam um GPS para identificarem determinados locais.

VII. CONCLUSÃO

Os resultados dessa pesquisa bibliográfica orientaram na construção de um produto educacional, resultado de uma pesquisa empírica desenvolvida no mestrado de uma das autoras. Ele possibilitou um mapeamento das pesquisas realizadas sobre a temática de interesse e dos principais resultados obtidos até então. Apresentou contribuições importantes para a elaboração dos objetivos e uma reflexão sobre as metodologias utilizadas no estudo da Teoria da Relatividade Restrita.

Os artigos selecionados para exploração do material apresentam contribuições significativas sobre propostas de sequências didáticas, emprego de ferramentas tecnológicas e elaboração tirinhas ou história em quadrinhos como estratégia de ensino. Desta forma, esta pesquisa pode ser utilizada como subsídio para o professor de Física que tem interesse em planejar aulas diversificadas e precisam de um apoio pedagógico.

É importante destacar que apesar da quantidade de artigos que envolvem sequências didáticas, poucos foram utilizados e avaliados em sala de aula, sendo preciso um maior enfoque a tais trabalhos, testando a sua eficiência.

Destacamos também que no estudo mais amplo no qual se insere esse trabalho empregamos muitas das reflexões apresentadas sobre o ensino da teoria da relatividade restrita para planejar e construir um produto educacional que atendesse a necessidade pontuada área de ensino. Em particular, a necessidade de um material adequado de História da Ciência no ensino de ciências, que contribua para minimizar as dificuldades de leitura e interpretação de textos, por parte dos alunos, e que apresente uma contextualização histórico-epistemológica que não reforce a visão empirista-indutivista do trabalho científico (Silva e Errobidart, 2019).

REFERENCIAS

Arriasecq, I. y Greca, I. (2006). Introducción de la teoría de la relatividad especial en nivel medio/polimodal de enseñanza: identificación de teoremas-en-acto y determinación de objetivos-obstáculo. *Investigaciones em Ensino de Ciências*, 14, 189-218.

Ayala Filho, A. (2010). A construção de um perfil para o conceito de referencial em Física e os obstáculos epistemológicos à aprendizagem da teoria da relatividade restrita. *Investigaciones em Ensino de Ciências*, 15, 155-179.

Barros, A., Monte, E., Araújo, I., Oliveira, J. y Vieira, S. Sobre a contração de Lorentz-Fitzgerald. *Revista Brasileira de ensino de Física*, 27, 621-623.

- Caballero, J. (2011). La duda creativa y las revoluciones científicas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 33,3303.
- Caruso, F. y Freitas, N. (2009). Física Moderna no Ensino Médio: o espaço-tempo de Einstein em tirinhas. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 26,355-366.
- Dahmen, S. (2006). Einstein e a Filosofia. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 28,3-7.
- Damasio, F. y Peduzzi, L. (2017). Afinal, Einstein usou ou não dados experimentais para propor sua relatividade restrita? Com a palavra, ele mesmo. *Física na Escola*, 20,1-49.
- De Conto, G., Lima, A., Ortega, P. y Schmitz, E. (2013). Cálculo K: uma abordagem alternativa para a relatividade especial. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 35,1-10.
- De Holanda Cavalcanti, C y Ostermann, F. (2007). Deformações geométricas e velocidades superluminal aparentes em objetos em movimento relativístico. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 29,355-372.
- Einstein, A. (2006). Física e realidade. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 28,9-22.
- Falciano, F. (2007). Cinemática relativística: paradoxo dos gêmeos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 29,19-24.
- Fauth, A., Penereiro, J., Kemp, E., Grizolli, W., Consalter, D. y Gonzalez, L. (2007). Demonstração experimental da dilatação do tempo e da contração do espaço dos múons da radiação cósmica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 4,585-591.
- Guerra, A., Braga, M. y Reis, J. (2007). Teoria da relatividade restrita e geral no programa de mecânica do ensino médio: uma possível abordagem. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 29,575-583.
- Guerra, A., Braga, M. y Reis, J. (2010). Tempo, espaço e simultaneidade: uma questão para os cientistas, artistas, engenheiros e matemáticos no século XIX. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 3,568-583.
- Jardim, W., Otoyá, V. y Oliveira, C. (2015). A teoria da relatividade restrita e os livros didáticos do Ensino Médio: Discordâncias sobre o conceito de massa. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 37,1-7.
- Karam, R., De Souza Cruz, S. y Coimbra, D. (2006). Tempo relativístico no início do Ensino Médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 28,373-386.
- Kikuchi, L., Ortiz, A. y Batista, A. (2013). Ensino de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: uma análise do que se tem discutido a respeito do assunto. Apresentado em *IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, 10-13 de novembro, Águas de Lindoia, SP.
- Kneubil, F. (2016). Spatial Geometry and Special Relativity: a comparative approach. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 38,1-10.
- Kohnlein, J. y Peduzzi, L. (2005). Uma discussão sobre a natureza da ciência no ensino médio: um exemplo com a teoria da relatividade restrita. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 22,36-70.
- Machado, D. y Nardi, R. (2006a). Construção de conceitos de física moderna e sobre a natureza da ciência com o suporte da hipermídia. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 28,473-485.
- Machado, D. y Nardi, R. (2006b). Avaliação de um sistema hipermídia para o ensino de Física Moderna. *Revista Enseñanza de la Física*, 19, 25-34.
- Machado, D. y Nardi, R. (2007). Construção e validação de um sistema hipermídia para o ensino de Física Moderna. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 6,90-116.
- Martins, R. (2005). A dinâmica relativística antes de Einstein. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 27, 11-26.

- Martins, R. (2012). O éter e a óptica dos corpos em movimento: a teoria de Fresnel e as tentativas de detecção do movimento da terra, antes dos experimentos de Michelson e Morley. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 29,52-80.
- Moreira, M. (1998). Mapas conceituais e aprendizagem significativa. *Revista Chilena de Educação científica*, 4,38-44.
- Neto, J. y Fracalanza, H. (2003). O livro didático de ciências: problemas e soluções science textbooks: problems and solutions. *Ciência & Educação*, 2,147-157.
- Otero, M., Arlego, M. y Prodanoff, F. (2015). Design, analysis and reformulation of a didactic sequence for teaching the special theory of relativity in high school. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 37,3401-10.
- Peliti, L. (2016). Elementary derivation of the expressions of momentum and energy in special relativity. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 2,1-6.
- Pérez, H. y Solbes, J. (2006). Una propuesta sobre enseñanza de la relatividad en el bachillerato como motivación para el aprendizaje de la física. *Enseñanza de las Ciencias*, 24,269-283.
- Porto, C. y Porto, M. (2008). Uma visão do espaço na mecânica newtoniana e na teoria da relatividade de Einstein. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 1,1-8.
- Rosa, P. (2015). *Uma introdução à Pesquisa Quantitativa em Ensino*. 1. ed. Campo Grande: Editora UFMS.
- Rocha, A., Rizzuti, B. y Mota, D. (2013). Transformações de Galileu e de Lorentz: Um estudo via teoria de grupos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 4,1-9.
- Rodrigues, C., Sauerwein, I. y Sauerwein, R. (2014). Uma proposta de inserção da teoria da relatividade restrita no Ensino Médio via estudo do GPS. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 36,1-7.
- Santos, R. (2006). Relatividade Restrita com o auxílio de Diagramas. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 2,238-246.
- Sánchez, M. y Selva, V. (2006). Vicent Soler. La relatividad en el bachillerato. Una propuesta de unidad didáctica. *Enseñanza de las Ciencias*, 24,439-454.
- Silva, A. G, Errobidart, N.C.G. (2019). Uma discussão histórico epistemológica de uma teoria. Disponível em: <https://posgraduacao.ufms.br/portal/trabalho-arquivos/download/6230>
- Silva, J., Araya, A., Souza Filho, M y Lino, A. (2013). O grupo de estudos e discussão como subsídio ao desenvolvimento de interações discursivas entre professores de física sobre a temática teoria da relatividade. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 13,9-25.
- Silveira, F. y Peduzzi, L. (2006). Três episódios de descoberta científica: da caricatura empirista a uma outra história. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 23,26-52.
- Valadares, J. (2005). Da história da ciência ao ensino da ciência: o exemplo clarificador da construção da teoria da relatividade restrita. *Enseñanza de las Ciencias*, (Extra),1-5.
- Zanotta, D., Cappelletto, E. y Matsuoka, M.(2011).O GPS: unindo ciência e tecnologia em aulas de física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 2,1-6.