

A Teoria da Relatividade Geral no Ensino Médio nas publicações da Revista Brasileira de Ensino de Física e no Caderno Brasileiro de Ensino de Física

Lucas Vinícius Marques
acadêmico

Universidade Federal de Alfenas, Brasil
E-mail: lucasvinicius.marques@sou.unifal-mg.edu.br

Prof. Dr. Samuel Bueno Soltau
orientador

Universidade Federal de Alfenas, Brasil
E-mail: samuel.soltau@unifal-mg.edu.br

Resumo

Apresentam-se os resultados de uma revisão de literatura do tipo narrativa dos artigos publicados na Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF) e no Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF) cujo tema é o ensino de Relatividade Geral no Ensino Médio. Trata-se de uma pesquisa do tipo bibliográfica, pois a revisão cobriu os artigos publicados em todas as edições dos periódicos, inclusive as especiais, desde o seu surgimento. De 3.897 artigos, sendo 2.659 da RBEF e 1.238 do CBEF, encontrou-se apenas seis artigos na RBEF e dois artigos no CBEF que continham discussões, elaboração ou aplicação de propostas de ensino no escopo estudado. Verificou-se que, apesar do interesse e atualidade do tema, são poucos os artigos que abordam a temática no Ensino Médio nestes dois periódicos, o que sinaliza uma lacuna a ser preenchida.

Palavras-chave: Revisão de Literatura; Teoria da Relatividade Geral; Ensino Médio.

1. Introdução

A Teoria da Relatividade Geral, TRG, foi proposta em 1915 pelo físico alemão Albert Einstein (1879-1955), ou seja, tem mais de um século de existência. Sua relevância e capacidade explicativa abrange fenômenos que vão desde ondas gravitacionais até buracos negros, além da cosmologia (Guidry, 2019). Isso sem mencionar a sua aplicabilidade prática nas correções necessárias para o funcionamento do sistema de posicionamento global (Ashby, 2003).

No entanto, Ostermann e Moreira (2016), ao analisarem a inserção da Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio, verificaram que, apesar das recomendações presentes nos documentos oficiais (Brasil, 2013, 2017) o ensino da Física no nível médio enfatiza a Física Clássica em detrimento da Física Moderna e Contemporânea, FMC, onde se costuma situar as Teorias da Relatividade e as perspectivas mais recentes da Astrofísica.

De fato, os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio - PCN+EM (Brasil, 2013) preconizam a inclusão da Astronomia como um dos temas estruturantes – “Universo, Terra e Vida” – cuja recomendação busca viabilizar à formação do aluno uma perspectiva da estrutura do Universo que permita compreender as notícias veiculadas nas diversas mídias, tais como, em tempos recentes, a detecção das ondas gravitacionais pelo Consórcio *Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory* – LIGO (Abbott et al., 2016) e as imagens dos buracos negros divulgadas pelo *Event Horizon Telescope* – EHT (Akiyama, Alberdi & Alef, 2019; Akiyama, Alberdi & Alef et al., 2022). Os PCN+EM indicam como parte do currículo a interação gravitacional, o estudo de fenômenos e aspectos relacionados com a Astrofísica e a Relatividade Geral (Ferreira et al., 2021). Já na Base Nacional Comum Curricular – BNCC (Brasil, 2017) os mesmos temas aparecem nas competências específicas para o Ensino Médio, na área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias.

Em contrapartida, Almeida e Soltau (2022) concordam com Moura e Vianna (2019) quando estes assinalam que, com a redução de carga horária da disciplina de Física nas escolas públicas brasileiras, o ensino da FMC é, por vezes, prejudicado e os alunos têm cada vez menos oportunidades de contato com tais temas. Conceitos de Relatividade Geral constam do currículo do terceiro ano do Ensino Médio e, via de regra, restringem-se aos últimos capítulos dos livros didáticos e, como resultado

deste cenário, a abordagem destes conceitos é incipiente, comprometida, pouco explorada ou sequer chegam a ser ministrados pelos professores (Karam, Cruz & Coimbra, 2007; Almeida & Soltau, 2022).

Ferreira et al. (2021) argumentam que a evolução histórica dos modelos científicos, como a gravitação de Newton, a Relatividade de Einstein, entre outros, além de constarem nas recomendações dos documentos curriculares oficiais podem proporcionar aos estudantes uma visão da Ciência como processo em constante construção e, esse tipo de discurso, geralmente não tem espaço no Ensino Médio.

De fato, a introdução da Relatividade Geral no Ensino Médio tem sido considerada relevante e objeto de estudos em Trabalhos de Conclusão de Cursos de Licenciaturas (Aguiar, 2018), dissertações de Mestrado (Ofugi, 2001; Reis e Reis, 2016) e teses de Doutorado (Terrazzan, 1994) nos Programas de Pós-graduação profissionais e acadêmicos de Ensino de Ciências e de Física. Mas, como esta temática aparece nas publicações em periódicos nacionais?

O conjunto destas circunstâncias motivou a realização de uma revisão de literatura a respeito do tema Relatividade Geral no Ensino Médio inicialmente em dois periódicos nacionais de Ensino de Física, a saber, a Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF) e o Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF). Desta forma, o principal objetivo deste trabalho é realizar o levantamento de artigos que abordam conteúdos da Relatividade Geral no Ensino Médio em todas as edições da RBEF e CBEF.

Quanto ao método, segue-se Gil (2009) e Severino (2007) e caracteriza-se este trabalho como uma pesquisa bibliográfica desenvolvida exclusivamente a partir de fontes bibliográficas já publicadas, que neste caso, foram os artigos científicos de todas as edições da RBEF e CBEF. Buscas feitas totalmente eletrônica, direto no site das revistas selecionadas.

Em termos de organização, na primeira parte deste trabalho faz-se uma breve apresentação dos periódicos selecionados e os passos adotados para a realização da revisão de literatura. A segunda, consiste na apresentação dos resultados, da descrição do modo como os autores trataram temas da Relatividade Geral no Ensino Médio em seus artigos e considerações finais.

2. Escopo da Revisão

Como consta em seu *website* (<http://www.sbfisica.org.br/rbef/>), a Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF) é uma publicação de acesso livre da Sociedade Brasileira de Física (SBF), voltada à melhoria do ensino de Física em todos os níveis de escolarização. Desde sua primeira edição, em 1979, publica estudos que versem sobre “aspectos teóricos e experimentais de Física, materiais e métodos instrucionais, desenvolvimento de currículo, pesquisa em ensino, história e filosofia da Física, política educacional e outros temas pertinentes e de interesse da comunidade engajada no ensino e pesquisa em Física” (RBEF, 2022). Tem por missão a divulgação da Física e Ciências afins e alcançar pesquisadores, alunos de pós-graduação, professores de Física em todos os níveis, além da comunidade que atua na pesquisa e desenvolvimento de metodologia e materiais para o ensino no país, bem como atuar.

Por sua vez, o Caderno Brasileiro de Ensino de Física, CBEF, é uma publicação do Departamento de Física da UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina) e sua, primeira edição data de 1984. Como divulgado no *website* do periódico (<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica>), tem como principal público alvo os estudantes e professores dos cursos de Licenciatura em Física, Pós-graduações em Ensino de Ciências/Física e professores de cursos de aperfeiçoamento do Nível Médio.

Vale mencionar que o CBEF, no período de 1984 a 2001, publicava artigos sob o nome de Caderno Catarinense de Ensino de Física e, a partir do volume 19, número 1, no ano de 2002, o periódico passou a adotar o nome atual. Recentemente, passou a contar com quatro novas seções que visam contemplar temas atuais nas áreas de ensino da Física e de Educação em Ciências visando contribuir para uma maior inclusão de trabalhos e para melhor representar o “estado da arte” da pesquisa em

ensino de Ciências/Física. A saber: (i) Ensino e aprendizagem de Ciências/Física; (ii) Formação de Professores de Ciências/Física; (iii) História, Filosofia e Sociologia da Ciência e ensino de Ciências/Física; e, (iv) Currículo de Ciências/Física. Com essa nova organização da revista (CBEF, 2022).

Assim, considerando as suas especificidades, público alvo, tempo de existência (longevidade) e relevância para a comunidade científica na área do Ensino de Física escolheu-se a Revista Brasileira de Ensino de Física e o Caderno Brasileiro de Ensino de Física para este estudo prospectivo de revisão de literatura.

3. Aspectos metodológicos

O levantamento efetuado, ora apresentado, abrange o período que compreende desde o surgimento de cada um dos periódicos, 1979 para a RBEF e 1984 para a CBEF, até maio de 2022.

Para a seleção dos trabalhos relacionados ao tema “Relatividade Geral no Ensino Médio” segue-se os mesmos passos de Ferrão, Santos & Curi (2015) no que se refere à organização dos artigos encontrados em um quadro-síntese constituído pelas seguintes colunas e parâmetros de seleção:

- Ano: o ano de publicação;
- Volume: o número do volume ou se edição especial ou temática;
- Número: o número do fascículo;
- Total de artigos: o número total de artigos publicados no número examinado;
- Tratam do tema Relatividade: indicação da quantidade de artigos no fascículo examinado. Zero se nenhum;
- Selecionados (Relatividade Geral + Ensino Médio): quantidade de artigos que tratam do tema Relatividade Geral no Ensino Médio;
- Objetivo: Se o artigo trata do tema Relatividade Geral no Ensino Médio, qual é a abordagem que faz do tema.

O mesmo procedimento sistemático foi aplicado para a coleção de artigos de ambos os periódicos, ou seja, examinou-se a coleção de cada periódico, fascículo a fascículo e, após um exame inicial dos títulos e resumos, foi efetuado o *download* dos artigos para exame mais detalhado do conteúdo. A leitura dos artigos pré-selecionados na etapa anterior serviu como refinamento da pré-seleção e passo decisivo para manter ou descartar artigos.

Para serem selecionados na etapa final, os artigos precisavam atender ao critério de abordar explicitamente alguma forma de ensinar conteúdos, direta ou indiretamente associados com a Relatividade Geral no Ensino Médio. Acrescenta-se ademais, que os trabalhos de divulgação da Ciência e artigos que discutem aspectos filosóficos, técnicos, numéricos ou teóricos de Relatividade Geral ou examinem questões não relacionadas especificamente com o ensino de Física no nível médio, ou ainda que não estavam inseridos em uma proposta pedagógica clara de ensinar conteúdos, não foram selecionados. Para total clareza, ressalte-se também, que escapa ao escopo desta revisão efetuar a análise crítica do conteúdo dos artigos elencados aqui e muito menos esgotar a temática.

Após encontrar os artigos que atendiam aos critérios adotados, passou-se então à descrição pormenorizada dos artigos, apresentados na seção a seguir, com a finalidade de apresentar à comunidade de Física exemplos de abordagem da TRG ao nível médio de ensino. Destaca-se que a forma, a duração da proposta ou o recurso didático utilizado para abordar o conteúdo não foram objeto de análise.

Vale ressaltar que, apesar deste levantamento abarcar todos os artigos de apenas dois relevantes periódicos nacionais em ensino de Física, desde o início da existência de cada um deles até maio de 2022, de modo algum se intenta argumentar que a análise representa a totalidade da produção nacional a respeito do tema, mas sim uma amostra significativa da produção bibliográfica e deve ser considerada apenas como uma primeira prospecção acerca do tema.

4. Resultados e Discussões

A revisão cobriu o período de 1979 até 2022, para publicações na RBEF e de 1984 até 2022, para publicações no CBEF, totalizando 3.897 artigos, sendo 2.659 da RBEF e 1.238 do CBEF, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Quantidade de artigos verificados em cada periódico por tema de abrangência

| Periódico | Total de artigos | TRG | TRG no Ensino Médio |
|-----------|------------------|-----|---------------------|
| RBEF | 2.659 | 67 | 6 |
| CBEF | 1.238 | 12 | 2 |
| Total | 3.897 | 79 | 8 |

Fonte: Autoria própria

Dos 3.897, apenas 67 artigos na RBEF e 12 no CBEF tratam de algum aspecto da Relatividade Geral. No entanto, após a leitura e refinamento da seleção, apenas seis artigos na RBEF e dois no CBEF continham discussões, elaboração ou aplicação de propostas para abordar a Relatividade Geral no Ensino Médio estando, portanto, no escopo da temática buscada neste estudo. Dos artigos que tratam de TRG foram lidos em sua totalidade, o critério para seleção dessa revisão é o artigo possibilitar tratar o assunto no ensino médio, independente de como o artigo aborda o assunto. Aqueles que abordam o tema da TRG do ponto de vista teórico mais profundo, ou tratamento matemático avançado a nível superior, foram descartados.

Verifica-se que, apesar do interesse e atualidade do tema, são poucos os artigos que abordam a temática no Ensino Médio nestes dois periódicos – sinalizando uma possível lacuna a ser preenchida considerando os propósitos anunciados como meta de cada revista em seus *websites*.

A seguir apresentam-se mais detalhadamente os estudos que abordam conteúdos da Relatividade Geral no Ensino Médio publicados em todas as edições da RBEF (Machado e Nardi, 2006; Karam, Cruz e Coimbra, 2007; Guerra, Braga e Reis, 2007; Arthury e Terrazzan, 2018; Ferreira et al., 2021; Benedetto e Iovane, 2022) e no CBEF (Caruso e Freitas, 2009; Reis e Reis, 2016).

5. Estudos sobre Relatividade Geral no Ensino Médio na RBEF e CBEF

O artigo mais antigo da RBEF relacionado ao tema pesquisado data de 2006. Machado e Nardi (2006) no artigo “Construção de conceitos de física moderna e a natureza da ciência com o suporte da hipermídia”. O artigo analisa a produção e avaliação de um *software* educacional com o objetivo de inserir conteúdos de Física Moderna no Ensino Médio. Segundo os autores o termo hipermídia, em seu estudo, pode ser entendido como um sistema computacional (*software* ou *website*) que reúne ferramentas de comunicação por meio de animações, fotos, vídeos, textos e áudios.

Com uma abordagem de cunho tecnológico, social, histórico e filosófico, logo após a construção da hipermídia, esse sistema foi testado em uma turma de terceiro ano do Ensino Médio de uma escola da rede pública de ensino. Vale mencionar que essa aplicação foi no período extracurricular. Logo as inscrições no que foi chamado de curso de Física Moderna, se deu de forma facultativa.

Ao analisarem o processo de construção e os resultados de sua aplicação, Machado e Nardi (2006) concluíram que a hipermídia tem potencial para inserir conceitos da Física Moderna no Ensino Médio, pois auxilia na visualização e interpretação dos fenômenos físicos e bem para motivar a participação dos alunos durante as atividades solicitadas.

Karam, Cruz e Coimbra (2007) em seu artigo “Relatividades no ensino médio: o debate em sala de aula” fazem uma abordagem mais teórica utilizando situações hipotéticas em sala de aula. Os autores discutem a evolução histórica e conceitual desde o postulado da relatividade do movimento retilíneo uniforme introduzido na Mecânica, o princípio da relatividade de Galileu até uma abordagem da Teoria da Relatividade proposta por Einstein. Para tanto, apresentam uma sequência didática

que objetivou abordar tópicos da Teoria da Relatividade de Restrita com estudantes do primeiro ano do Ensino Médio de uma escola pública de Florianópolis, SC. Sugerem que o professor proponha algumas situações, exemplos hipotéticos para a turma que fomentem a discussão como, por exemplo, fenômenos que acontecem no interior de uma nave em alta velocidade e as possíveis alterações observadas por uma pessoa em seu interior. Apresentada a situação, os alunos a analisam, interagem entre si e com o professor discutindo possíveis respostas ou acrescentando novos questionamentos à discussão, e, nesta interação, fixam o conteúdo a ser aprendido. No artigo, o tema da Relatividade Geral fica apenas sugerido.

Vale ressaltar que antes e após a aplicação da sequência foi aplicada uma avaliação para análise posterior. Karam, Cruz e Coimbra (2007) concluíram que a implementação da sequência didática retratando as teorias da relatividade foi satisfatória pois, observaram que os alunos foram capazes de assimilar os conceitos trabalhados.

Já Guerra, Braga e Reis (2007) apresentam uma proposta curricular que envolve temas da Teoria da Relatividade Restrita e Geral no programa de Mecânica aplicada em uma turma de primeiro ano do Ensino Médio de uma escola da rede pública federal. Os autores partem do pressuposto de que o ensino deve ter por objetivo apresentar as teorias da Física dentro de seu contexto de produção, de maneira mais contextualizada para os alunos em sala de aula de forma a possibilitar um debate em torno à Ciência, seus limites e possibilidades.

Para tanto, a turma participante do estudo foi submetida a uma aula expositiva que envolvia o uso de obras de arte e algumas discussões a respeito da visão cultural, histórica e científica da época de cada obra apresentada pelo professor. A ideia central era levar os alunos à reflexão das diferentes concepções de tempo e espaço construídas pelos homens ao longo da história com uma proposta de ensino centrada no tratamento do tema de modo histórico e filosófico em detrimento do formalismo matemático.

Para os autores: “uma proposta curricular centrada numa abordagem histórico-filosófica, em que as questões enfrentadas pelos cientistas, as controvérsias que se envolveram, o ambiente científico cultural de seu trabalho sejam assuntos privilegiados, é um caminho viável para o estudo das teorias da relatividade restrita e geral no ensino médio” (Guerra, Braga e Reis, 2007, p. 582).

Apesar da proposta avaliar a aprendizagem dos alunos apenas de forma qualitativa, as observações, os registros e avaliações diárias realizadas pelo professor e percepção de aumento do interesse pelos temas, da motivação e participação dos alunos durante a realização dos trabalhos propostos evidenciaram que o uso de obras de arte torna possível integrar conceitos da teoria da relatividade restrita e geral ao currículo sem que estes pareçam um apêndice aos conteúdos importantes do programa de ensino (Guerra, Braga e Reis, 2007).

Outro artigo publicado na RBEF dentro do escopo da revisão é o de Arthury e Terrazan (2018) sob o título “A natureza da ciência na escola por meio de um material didático sobre a gravitação”. Nele, os autores descrevem a elaboração de uma unidade de ensino composta por textos sobre o desenvolvimento da gravitação, apresentações eletrônicas e atividades baseadas nos assuntos trabalhados. A intenção destes pesquisadores era verificar a percepção geral, por parte dos professores e alunos, do material didático elaborado sobre Natureza da Ciência baseado na visão do epistemólogo Imre Lakatos (1922-1974) sobre o desenvolvimento das teorias de gravitação.

Para tanto, a unidade de ensino, pensada para sete aulas, foi aplicada em duas turmas do primeiro ano do Ensino Médio e contou com a parceria dos dois professores regentes das turmas - uma do Instituto Federal Catarinense e a outra do Instituto Federal de Santa Catarina. Após a implementação da unidade, os alunos responderam dois questionários: um sobre os conteúdos discutidos e outro sobre sua satisfação e receptividade à proposta da unidade de ensino. De modo geral, os alunos e professores foram bastante receptivos à proposta e, em relação ao conteúdo, tanto nas respostas dos alunos aos questionários quanto em suas falas em sala de aula, os autores perceberam dificuldades de compreensão, mais especificamente, voltadas ao conceito da gravitação de Einstein e dos elementos apresentados sobre a Natureza da Ciência.

Já no artigo “Ensino de Astronomia: uma abordagem didática a partir da Teoria da Relatividade Geral” de Ferreira et al. (2021), os autores apresentam o desenvolvimento de um produto educacional que envolve uma sequência didática que articula tópicos de Astronomia ao uso de tecnologias digitais (vídeos, demonstrações, simulações) e analisam sua aplicação em uma turma do terceiro ano do Ensino Médio de uma escola da rede pública do Distrito Federal.

Com base na TRG, a sequência didática programada para 10 encontros foi dividida em quatro grandes módulos: (i) gravitação universal e sistema solar, (ii) relatividade geral, (iii) buracos negros e (iv) lentes gravitacionais. Além da leitura de textos, cada módulo era composto por diferentes atividades como, apresentação de imagens, vídeos, experiências, dinâmicas ou simulações acerca do tema em estudo.

Para verificar a eficácia do produto elaborado, Ferreira et al (2021) usaram questionários e observações da participação dos estudantes durante as atividades realizadas. Segundo os autores, em todo o processo foi perceptível a motivação e interesse por parte dos alunos com os temas abordados em sala de aula. Por conseguinte, os mesmos demonstraram desenvolvimento de habilidades e atribuição de significados aos conceitos estudados. Concluíram, assim, que é viável a inserção de tópicos da Astronomia e da FMC no Ensino Médio, mesmo no contexto precário da escola pública e, apesar do currículo, quase que em sua totalidade, estar baseado em conceitos e temas relacionados à Física Clássica (Ferreira et al. 2021)

O artigo de Benedetto e Iovane (2022) intitulado “A velocidade da luz ou as velocidades da luz?” é o estudo mais recente publicado na RBEF e tem por objetivo descrever sucintamente uma palestra proferida para alunos do Ensino Médio na Itália a respeito das diferentes velocidades da luz com o propósito de inserir temas da Física Moderna na rede pública de ensino da Itália. Vale ressaltar que, os tópicos e conceitos referentes ao tema da Física Moderna estão previstos no currículo para o último ano do Ensino Médio, na Itália, conforme medida definida pelo Ministério da Educação Pública do governo italiano. O tema da palestra foi escolhido, segundo Benedetto e Iovane (2022) devido à dificuldade e confusão que os estudantes fazem ao lerem que a velocidade da luz pode assumir diferentes valores na Relatividade Geral.

De acordo com os autores, a palestra foi proferida utilizando um formalismo matemático adequado para a compreensão e apropriado para a idade dos alunos. A partir de exemplos, como movimento de queda livre e movimento circular tratou-se do comportamento da luz dentro e fora de um campo gravitacional.

Verificou-se que em todo o momento, os alunos se mostraram fascinados com a palestra e a abordagem da teoria de Einstein visto que o tratamento do tema, referente a velocidade da luz em diferentes situações de campo gravitacional, proporcionou a introdução de conceitos recentes e do interesse deles como buraco negro.

Em continuidade à apresentação, a seguir descrevem-se os artigos de Caruso e Freitas (2009) e Reis e Reis (2016) – ambos publicados no CBEF.

No artigo “Física Moderna no ensino médio: o espaço-tempo de Einstein em tirinhas”, Caruso e Freitas (2009) apresentam uma sugestão para inserir tópicos da FMC por meio de tirinhas mostrando que a linguagem das histórias em quadrinhos pode dar suporte à abordagem de temas extracurriculares. A intenção dos autores, assim como acontece no estudo de Guerra, Braga e Reis (2007) é criar pontes entre a Física, a Arte e a bagagem cultural dos alunos.

Para tanto, apresenta-se um conjunto de sete tirinhas elaboradas por um estudante do Ensino Médio participante da Oficina de Educação através de Histórias em Quadrinhos e Tirinhas (EDUHQ), ministrada no Instituto de Física da Universidade do Estado do Rio de Janeiro referentes à conceitos da TRG, tais como unificação do espaço-tempo, dilatação temporal, simultaneidade, massa e energia.

Os autores defendem a possibilidade de o professor utilizar tirinhas como ferramenta de ensino de TRG e outros temas da FMC ou Ciências em geral de forma lúdica sem o uso direto e exclusivo de fórmulas matemáticas num primeiro momento.

O último artigo encontrado que versa sobre temas da Relatividade no Ensino Médio é uma síntese da pesquisa de Mestrado desenvolvida por Reis e Reis (2016) que objetivou discutir a importância de abordar historicamente e filosoficamente os conceitos de espaço e tempo, bem como de apresentar os relatos de uma experiência realizada em sala de aula junto a uma turma do primeiro ano do Ensino Médio de uma escola da rede estadual localizada no Estado Rio de Janeiro.

Os autores desenvolveram atividades divididas em três momentos. O primeiro abordando Galileu e a geometrização do espaço e tempo; o segundo, a Mecânica de Newton e o espaço e tempo absoluto e; o último momento tratava da Relatividade de Einstein e o espaço e tempo relativo. Em cada momento, os temas foram abordados por meio de aulas expositivas, vídeo-aulas, charges e histórias em quadrinhos. Também contemplou a produção de textos, de vídeos e simulações computacionais.

De modo geral, os autores classificaram os resultados como satisfatórios pois a sequência de atividades realizadas possibilitou a aproximação entre o conhecimento científico e o contexto histórico em que os conceitos foram desenvolvidos sem o uso excessivo de exercícios e fórmulas. Destacaram também o empenho e a participação dos alunos na tarefa de produção de histórias em quadrinhos tendo por foco a Ciência como, por exemplo a controvérsia entre Newton e Leibniz.

Assim como os demais autores apresentados nesta revisão, Reis e Reis (2016) ressaltam a importância do ensino de temas atuais da FMC no Ensino Médio, como TRG, buracos negros, entre outros, para que os alunos tenham uma visão mais crítica e esclarecida a respeito da Ciência e de seu processo de construção.

6. Considerações Finais

Este estudo consistiu em uma revisão de literatura com o objetivo de formar um panorama preliminar da penetração, extensão e abrangência de temáticas associadas, direta ou indiretamente com a Teoria da Relatividade Geral no ensino de Física no nível médio.

Da análise dos textos emergiram pontos importantes. Há consenso entre os autores dos artigos, selecionados e analisados quanto à necessidade de inserir tópicos de FMC no Ensino Médio como forma de atualizar e ampliar a formação dos alunos. Em particular, a TRG surge como tema prioritário, dada a presença recorrente nas mídias, com notícias dos avanços científicos e descobertas cuja fundamentação teórica reside nas teorias de Einstein. Além disso, há uma gama de temas da TRG que podem ser articulados com os conteúdos curriculares do Ensino Médio, por exemplo, os presentes nos resultados da revisão, gravitação, espaço-tempo, buracos negros, lentes gravitacionais, velocidade da luz, etc.

Outro ponto que merece destaque é o uso ou a proposta de utilização de métodos e de recursos didáticos muito diversificados para abordar a Relatividade Geral no Ensino Médio como histórias em quadrinhos, charges, obras de arte, situações hipotéticas em sala de aula, sequências didáticas, palestras, aulas expositivas, vídeos, simulações computacionais, entre outros ao invés de focar o ensino exclusivamente no formalismo matemático e resolução de exercícios.

Por fim, o ponto crítico evidenciado no estudo é que dentre os 3.897 artigos publicados em dois periódicos nacionais relevantes na área de Ensino de Física, apenas oito tratam do ensino da Relatividade Geral no Ensino Médio. Por esse motivo, a ampliação desta revisão e investigação de outros canais e vias para a difusão de formas de inserção da Relatividade Geral no Ensino Médio será objeto de estudo em trabalhos futuros.

Referências

- Abbott, B. P. et al. (2016). Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger. *Physical Review Letter*, 116, 061102.
- Akiyama, K., Alberdi, A. & Alef, W. et al. (2019). First M87 Event Horizon Telescope Results. I. The Shadow of the Supermassive Black Hole. *The Astrophysical Journal Letters*, 875 (1), L1.
- Akiyama, K., Alberdi, A. & Alef, W. et al. (2022). First Sagittarius A Event Horizon Telescope Results. I. The Shadow of the Supermassive Black Hole in the Center of the Milky Way. *The Astrophysical Journal Letters*, 930 (2), L12.

Aguiar, B. F. de. (2018). Relatividade geral. 2018. 90f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) - Instituto de Física, Universidade Federal Fluminense.

Almeida, J. R. de & Soltau, S. B. (2022). Filme Interestelar e Sala de Aula Invertida: uma proposta para ensinar relatividade geral e buracos negros no Ensino Médio. *Research, Society and Development*, [S. l.], v. 11, n. 5, p. e40911528437.

Arthur, L. H., & Terrazzan, E. A. (2018). A Natureza da Ciência na escola por meio de um material didático sobre a Gravitação. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 40(3).

Ashby, N. (2003). Relativity in the Global Positioning System. *Living Reviews in Relativity*, 6, 1. <https://doi.org/10.12942/lrr-2003-1>.

Benedetto, E., & Iovane, G. (2022). A velocidade da luz ou as velocidades da luz?. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 44.

Brasil. (2013). Ministério da Educação; Secretaria de Educação Básica; Secretaria de Educação Continuada, Alfabetização, Diversidade e Inclusão; Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica. Conselho Nacional de Educação; Câmara de Educação Básica. Parâmetros Curriculares Nacionais da Educação Básica. Brasília: MEC; SEB; DICEI, 2013. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>>, Acesso em: 17 mai. 2022.

Brasil. (2022). Ministério da Educação; Secretaria de Educação Básica; Secretaria de Educação Continuada, Alfabetização, Diversidade e Inclusão; Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica. Conselho Nacional de Educação; Câmara de Educação Básica. Base Nacional Comum Curricular. Brasília: MEC; SEB; DICEI, 2017. Recuperado de http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/historico/BNCC_EnsinoMedio_embaixa_site_110518.pdf, Acesso em: 17 mai. 2022.

Caruso, F., & de Freitas, N. (2009). Física Moderna no Ensino Médio: o espaço-tempo de Einstein em tirinhas. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 26(2), 355-366.

CBEF. (2022) Caderno Brasileiro de Ensino de Física. <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica>

Reis, U. V. dos, & Reis, J. C. (2016). Os conceitos de espaço e de tempo como protagonistas no ensino de Física: um relato sobre uma sequência didática com abordagem histórico-filosófica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 33(3), 744-778.

Ferreira, M., do Couto, R. V. L., da Silva Filho, O. L., Paulucci, L., & Monteiro, F. F. (2021). Ensino de astronomia: uma abordagem didática a partir da Teoria da Relatividade Geral. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 43.

Ferrão, N. S., Santos, C. A. B. dos, & Curi, E. (2015) As pesquisas em Educação Matemática apresentadas nos Encontros Nacional de aprendizagem significativa. *Aprendizagem Significativa em Revista: Porto Alegre*, v. 5, n. 1, p.1-14.

Gil, A. C. (2009). Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo: Atlas.

Guerra, A., Braga, M., & Reis, J. C. (2007). Teoria da relatividade restrita e geral no programa de mecânica do ensino médio: uma possível abordagem. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 29(4), 575-583.

Guidry, M. W. (2019) *Modern general relativity: black holes, gravitational waves, and cosmology*. Cambridge : Cambridge University Press.

Karam, R. A. S., Cruz, S. M. S., & Coimbra, D. (2007). Relatividades no ensino médio: o debate em sala de aula. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 29, 105-114.

Machado, D. I., & Nardi, R. (2006). Construção de conceitos de física moderna e sobre a natureza da ciência com o suporte da hipermídia. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 28(4), 473-485.

Moura, F. A. de, & Vianna, P. O. (2019). O Ensino de Física Moderna baseado no filme Interestelar: Abordagem didática para a aprendizagem significativa. *Research, Society and Development*, 8(3), e1583823. <https://doi.org/10.33448/rsd-v8i3.823>

Ostermann, F., & Moreira, M. A. (2016). Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”. *Investigações em ensino de ciências*, 5(1), 23-48. Ofugi, C. D. (2001). A inserção da teoria da relatividade no ensino médio. Dissertação (Mestrado em Educação) - Universidade Federal de Santa Catarina

RBEF (2022). *Revista Brasileira de Ensino de Física*. <http://www.sbfisica.org.br/rbef/>.

Severino, A. J. (2007). *Metodologia do Trabalho Científico*. São Paulo: Cortez.

Terrazzan E. A. (1994). *Perspectivas para a Inserção de Física Moderna na Escola Média*. 1994. Tese (Doutorado em Educação) Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo