

# Análise das contribuições da escola de física CERN no contexto do ensino médio (2010–2022)

Analysis of the contributions of CERN physics school in the context of high school (2010–2022)

Rafaelle da Silva Souza<sup>\*1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal da Bahia, Departamento de Física, Salvador, BA, Brasil.

Recebido em 13 de maio de 2023. Revisado em 21 de outubro de 2023. Aceito em 23 de outubro de 2023.

É apresentada uma revisão de estudos empíricos que envolvem processos de ensino e aprendizagem cujo objetivo é, a partir do incentivo da Escola de Física CERN, contribuir com a área de ensino de Física de Partículas no nível médio. Para isso, analisou-se a produção acadêmica a respeito dos dados em publicações de periódicos brasileiros, bem como nos principais encontros da área de Ensino de Física. A análise foi feita sob a perspectiva teórica de Bardin estabelecendo diálogo com pesquisadores da área que argumentam por uma introdução da Física Moderna e Contemporânea, incluindo Física de Partículas, no ensino básico. Os resultados foram discutidos a partir das seguintes categorias: (a) metodologias de ensino para uma educação científica e tecnológica; (b) efeitos dessas metodologias na aprendizagem conceitual, procedimental (habilidades) e atitudinal dos estudantes; e (c) dificuldades apresentadas pelos estudantes nas atividades desenvolvidas. O corpus foi formado por nove trabalhos que relatam os resultados da prática docente nessa área. A maioria dos trabalhos descreve as atividades realizadas pelos professores para abordar a Física de Partículas enquanto divulgação científica, sendo que apenas alguns deles são descritos com rigor metodológico.

**Palavras-chave:** Escola de Física CERN, Física de Partículas, Ensino de Física, Aprendizagem.

A review of empirical studies involving teaching and learning processes with the goal of contributing to the field of Particle Physics education at the high school level is presented, encouraged by the CERN School of Physics. To achieve this, an analysis of academic production regarding data in Brazilian journal publications as well as at the main events in the field of Physics education was conducted. The analysis was carried out from the theoretical perspective of Bardin, engaging in a dialogue with researchers advocating for the introduction of Modern and Contemporary Physics, including Particle Physics, in basic education. The results were discussed under the following categories: (a) teaching methodologies for scientific and technological education; (b) the effects of these methodologies on students' conceptual, procedural (skills), and attitudinal learning; and (c) the challenges faced by students in the activities undertaken. The corpus consisted of nine studies reporting the outcomes of teaching practices in this area. Most of the studies describe the activities conducted by teachers to address Particle Physics as a means of scientific outreach, with only a few of them characterized by rigorous methodological descriptions.

**Keywords:** School of Physics CERN, Particle Physics, Physics Teaching, Learning.

## 1. Introdução

A Escola de Física CERN consiste em um curso de formação continuada em Física de Partículas voltada para professores de Física do Ensino Médio, no qual eles interagem com pesquisadores do CERN (Centro Europeu de Pesquisa Nuclear), em Genebra-Suíça e, também, do LIP (Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas), em Lisboa- Portugal. Essa iniciativa é realizada pela Sociedade Brasileira de Física (SBF) que institui o Programa Escolas de Professores no CERN em Língua Portuguesa, coordenado pelo LIP com o apoio de muitos colaboradores.

O curso, que é ofertado anualmente, ocorre nas instalações do próprio CERN e são os cientistas que atuam no CERN os responsáveis por ministrarem palestras e

minicursos para os professores, bem como acompanhá-los em visitas técnicas aos aceleradores, salas de controle e demais instalações do Centro. As palestras dissertam sobre as pesquisas desenvolvidas no CERN e também sobre conceitos da Física de Partículas e de altas energias [1]. Finalizada a seleção dos professores brasileiros que se candidataram a participar da formação, eles se comprometem, após a participação no curso, a divulgar as pesquisas realizadas no CERN e compartilhar a experiência vivida na forma de palestras, rodas de conversa, cursos, etc., em diferentes espaços, formais e não-formais de ensino. Ambiciona-se ainda que os professores, após a vivência no CERN, passem a introduzir tópicos da Física Moderna e Contemporânea (FMC), e em especial, o modelo padrão e a Física de Partículas, em suas aulas no Ensino Médio [1]. Com mais de uma década de atividades, desde 2009, quase trezentos professores brasileiros já participaram da Escola de Física CERN.

\*Endereço de correspondência: [rafaellesouza2@yahoo.com.br](mailto:rafaellesouza2@yahoo.com.br)

A principal temática tratada na Escola de Física CERN é a Física de Partículas. No que diz respeito ao curso proposto pela Escola, a programação envolve três eixos: palestras, visitas e práticas. Nas palestras ocorrem introduções: à Física de Partículas, com ênfase no desenvolvimento do Modelo Padrão das partículas elementares e para a confirmação experimental do bóson de Higgs; à estrutura do CERN e suas principais instalações e laboratórios; aos princípios básicos de detecção de partículas; às quatro grandes experiências – ATLAS (A Toroidal LHC Apparatus), CMS (Compact Muon Solenoid), LHCb (Large Hadron Collider beauty) e ALICE (A Large Ion Collider Experiment). As visitas têm o objetivo de proporcionar a vivência de se conhecer algumas estruturas e laboratórios, aceleradores e, também, detectores do CERN. Nelas tem-se acesso a alguns dos aceleradores lineares, ao centro de controle e, ainda, ao centro de dados, ao local do nascimento da WEB. Quanto às práticas experimentais, tem-se a montagem e o uso da câmara de nuvens, em que se podem visualizar traços de partículas carregadas, tais como elétrons e/ou partículas alfa interagindo com o vapor de álcool saturado dentro do aparato; a possibilidade de uso de dados reais da experiência ATLAS em um simulador, de forma que podemos testar alguns caminhos possíveis para a descoberta experimental do bóson de Higgs. Em suma, o curso apresenta aos participantes aspectos científicos e tecnológicos associados à Física das partículas elementares, com o intuito de que cada professor, da Educação Básica, atue como multiplicador ao retornar para sua comunidade escolar [2].

Alguns dos impactos da Escola de Física CERN podem ser observados no livro “Nós, professores brasileiros de Física do Ensino Médio, estivemos no CERN” [1], que relata experiências vivenciadas ao longo do curso, incluindo práticas de divulgação científica, palestras, visitas remotas, aulas e recursos didáticos. Embora o livro seja rico em detalhes sobre as atividades realizadas antes, durante e após o curso, não há nele, por não ter sido esse o seu objetivo, uma análise sistemática dos resultados obtidos com as propostas pedagógicas aplicadas em conexão com o contexto da Escola do CERN em relação ao Ensino Médio.

No sentido de melhor compreender o impacto das ações da Escola de Física CERN no Ensino Médio e desenvolver estratégias mais eficazes para uma educação científica e tecnológica de qualidade, justifica-se identificar, analisar e avaliar propostas de ensino em sala de aula que enfatizem (a) metodologias de ensino para uma educação científica e tecnológica; (b) os efeitos dessas metodologias na aprendizagem conceitual, procedimental (habilidades) e atitudinal dos estudantes; e (c) as dificuldades apresentadas pelos estudantes nas atividades desenvolvidas.

Compreende-se que o Ensino de Física deve proporcionar uma compreensão dos fenômenos da natureza e tecnológicos, essenciais para a participação em uma

cultura regida pela Ciência [3–5]. É fundamental que os alunos compreendam minimamente os fenômenos do mundo natural e reconheçam que os avanços científicos e tecnológicos são capazes de promover mudanças significativas. Ainda, a educação científica deve capacitar os cidadãos a utilizar o conhecimento científico para lidar com os desafios cotidianos e intervir nas tomadas de decisões [6].

Nesse viés, é possível dialogar com autores como [4, p. 288] que defende a necessidade de estabelecer “um diálogo inteligente mesmo entre aqueles indivíduos que não se sentem atraídos para seu estudo”, com o objetivo de organizar o pensamento lógico e desenvolver uma consciência crítica em relação ao mundo ao nosso redor [7]. Além disso, os inúmeros avanços tecnológicos trouxeram a FMC para o cotidiano dos educandos. Devido à relevância desse ramo da Física, torna-se necessário, conforme previsto na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), a sua inserção no ensino básico.

Nesse contexto, o ensino da Física de Partículas poderá esclarecer melhor a tecnologia moderna, estreitando o contato do jovem com alguns aparatos. Isso, juntamente com a discussão dos conceitos científicos da área, pode promover uma compreensão das informações veiculadas pelas mídias de divulgação científica que estão à disposição dos interessados e suscitar nos alunos um posicionamento mais crítico em relação ao conhecimento científico [5, 8]. Assim, tomando tópicos de Física de Partículas essenciais para o entendimento da origem da matéria e de suas interações, bem como para exemplificar noções de Natureza da Ciência e proporcionar uma conexão mais sólida entre o que o aluno estuda em sala de aula e seu cotidiano ou pesquisas científicas recentes. Logo, “a Ciência e a Tecnologia tendem a ser encaradas não somente como ferramentas capazes de solucionar problemas, tanto os dos indivíduos como os da sociedade, mas também como uma abertura para novas visões de mundo” [9, p. 547].

Considerando essas questões, o presente estudo tem como objetivo conduzir uma revisão bibliográfica que analise artigos empíricos relacionados a processos de ensino e aprendizagem vinculados à Escola de Física CERN e a sua influência no contexto do Ensino de Física de Partículas elementares no nível médio. Será examinada a produção acadêmica que aborda as contribuições da Escola de Física CERN para a inserção da Física de Partículas elementares no Ensino Médio, utilizando como fonte de informações publicações em periódicos e anais de eventos voltados para esse tópico curricular.

Buscou-se sintetizar os avanços obtidos, as ideias convergentes e procurou-se sinalizar perspectivas, reconhecendo que “compreender melhor como a produção científica migra da comunidade acadêmica para a sala de aula, estaremos mais capacitados para a proposição de alternativas que garantam uma inserção efetiva de conceitos de Física moderna no Ensino Médio” [10, p. 388].

A escolha dessa temática deve-se a alguns fatores, sendo um dos principais o baixo número de artigos publicados tratando dos contextos reais de sala de aula. Espera-se elucidar subsídios teórico-metodológicos utilizadas nas investigações analisadas que possam contribuir com o Ensino de Física de Partículas e com ações de divulgação científica relacionadas ao CERN.

## 2. Avanços e Desafios no Ensino de FMC no Ensino Médio

Existe uma rica literatura discutindo a importância de se abordar temáticas de FMC já no Ensino Médio [11, 12]. Uma vez que a FMC é um fundamento essencial para o desenvolvimento de novas estratégias e metodologias que promovam “uma compreensão do desenvolvimento dessa Física, de seu caráter puramente paradigmático e do uso do conhecimento moderno como meio de formação de jovens participantes nas decisões que envolvem ciência e tecnologia” [13, p. 80].

Em trabalhos de revisão da literatura [11, 13–19] discutem sobre a introdução de FMC atingindo cursos introdutórios (em nível médio e superior). Essas revisões compreendem o período de 1970 até 2016, com crescimento nos últimos anos e expressivo interesse em pesquisas nesta área [20]. Porém, observa-se que há impedimentos para que os professores explorem conteúdos de FMC efetivamente em sala de aula, entre eles está a fragilidade de conhecimentos dos docentes e sua difícil compreensão para os estudantes [21, 22]. Por isso, “estudiosos da área de pesquisa de Ensino de Física têm focado esforços para a produção de material e a capacitação de docentes de modo a colocar em prática ações que efetivamente colaborem para a superação deste problema” [23, p. 99].

Dentre as razões para ensinar FMC no Ensino Médio tem-se o fato de que seus conceitos são extremamente necessários para entender as grandes inovações teóricas e implicações tecnológicas atuais, como celulares, tablets e computadores, o que pode trazer mais sentido ao aprendizado em sala de aula [11, 13, 16–20, 24, 25].

No entanto, o desafio é que ensinar FMC no Ensino Médio não é uma tarefa fácil, tanto do ponto de vista prático quanto teórico [21, 22, 26]. Entre os desafios para o efetivo ensino da FMC, temos a baixa carga horária da disciplina de Física, a falta de ambientes nas escolas que viabilizem a experimentação ou simulação computacional, o excesso de conteúdo da própria Física Clássica e a ausência de metodologias de ensino direcionadas ao ensino da FMC [26].

Apesar desses desafios, a partir dos anos 2000, diversos tópicos sobre Física Moderna foram implementados no Ensino Médio, como as Linhas Espectrais, Teoria da Relatividade, Partículas Elementares e Dualidade Onda-Partícula. Todos esses temas foram desenvolvidos por estudiosos da área, tanto do ensino superior quanto do Ensino Médio [27].

Por exemplo, utilizando a teoria da aprendizagem significativa, Garcia e Costa [26] propuseram uma abordagem metodológica para a inclusão da FMC no Ensino Médio, por meio de práticas experimentais e aplicações na área de Astronomia. O material didático é composto por seis unidades de ensino, com 16 atividades divididas em 39 aulas, que incluem leituras, discussões de artigos científicos, experimentos, vídeos e simuladores da internet. Cada unidade de ensino apresenta atividades específicas. Para diagnosticar o conhecimento prévio dos alunos sobre os temas propostos, aplicaram um pré-teste [26]. Verificou-se que, antes das atividades, os alunos praticamente não tinham conhecimento prévio sobre o assunto. No entanto, após a realização das atividades e o pós-teste, os autores observaram resultados convincentes em relação ao pré-teste e a proposta metodológica deixou as aulas mais dinâmicas.

Para o ensino da Teoria Quântica e Teoria da Relatividade Restrita, Sabino e Pietrocola [27] propõem uma metodologia inovadora, que busca tornar os alunos mais participativos e autônomos durante as aulas. No entanto, os autores apontam que uma das dificuldades enfrentadas pelos docentes é a necessidade de melhor preparação em relação aos saberes curriculares sobre os tópicos de FMC.

Parisoto, Moreira e Almeida [28] apresentam uma proposta para ensinar conceitos de Eletromagnetismo, Óptica, Ondas e FMC no contexto da área da Medicina, utilizando a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel como referência teórica. A proposta integra aplicações médicas, tais como ultrassonografia, funcionamento do olho humano, radiografia, mamografia, ressonância magnética nuclear, medicina nuclear e tomografia computadorizada. A estrutura da proposta é dividida em cinco encontros, cada um deles com duração de 10 horas/aula, e utiliza estratégias como organizadores prévios, modelagem computacional, simulações e construção de mapas conceituais. No entanto, é importante destacar que a proposta aborda um grande número de tópicos, o que pode ser difícil de ser implementado em escolas brasileiras com uma carga horária limitada para a disciplina de Física, geralmente composta por duas aulas de 50 minutos por semana.

Ganha destaque a Física de Partículas, sendo um dos principais tópicos da FMC a ser inserido no Ensino Médio, conforme observado em revisão da literatura [17], em textos de incentivo as práticas docentes no ensino de física básica [29] e em estudos baseado em entrevistas [30–32]. No mapeamento dos estudos dedicados à elaboração e/ou aplicação de propostas de ensino, observa-se que são escassas as propostas concretas e detalhadas de introdução dessa temática em sala [8, 33–36].

Caruso e Santoro [37, p. 43] afirmam que “é fácil constatar o grande fascínio que a Cosmologia e a Física de Partículas exercem sobre o jovem e que, entretanto, é igualmente grande a sua frustração ao constatar que

estes assuntos não são objetos de estudo e de discussão na escola”. Assim, uma das soluções apresentadas é o investimento de esforços na formação inicial e continuada dos professores, bem como em novas estratégias de ensino que motivem os estudantes e promovam a melhoria na qualidade do ensino.

A inserção da Física de Partículas no Ensino Médio é defendida, desde a década de 90, por pesquisadores brasileiros por várias razões. As justificativas geralmente se baseiam em promover uma compreensão mais abrangente e atualizada da Física, despertar o interesse dos alunos pela ciência e prepará-los para um mundo cada vez mais tecnológico e científico [6, 35–41].

Para além disso, no caso especial da Física de Partículas, por se tratar de uma área ainda em pleno desenvolvimento, com abundante atividade em pesquisa, e contendo muitos problemas ainda em aberto, essa temática promove um solo fértil para discussões sobre o caráter da ciência enquanto construção histórico-social humana e os processos de evolução do conhecimento científico, demonstrando concretamente que a ciência não é um conjunto fechado de verdades estáticas, mas um processo em constante aprimoramento [11, 34, 42]. Como resultado, tem-se a intensificação da motivação, interesse, conexão com a atualidade, pois a Física de Partículas está diretamente relacionada a avanços científicos recentes e em andamento, como as descobertas do LHC no CERN, ampliação do conhecimento, por meio da expansão da compreensão dos alunos sobre a natureza fundamental da matéria e as forças que governam o universo, desenvolvimento de habilidades, pois ao ensinar esse tópico, os alunos podem aprender a lidar com grandes conjuntos de dados e a tirar conclusões baseadas em evidências, habilidades que têm aplicação em diversas áreas da vida, entre outros.

É importante notar que a inserção da Física de Partículas no currículo escolar também traz desafios, como a complexidade do assunto e a necessidade de professores bem treinados para abordá-lo de maneira acessível e adequada ao nível escolar [6, 11, 31, 35–42]. No entanto, as potenciais vantagens em termos de aprendizado e interesse dos alunos podem justificar esses esforços.

Em termos metodológicos de abordagem dessa temática, enquanto Ostermann e Cavalcante [43] e Ostermann [44] apresentam as partículas para depois estruturar o Modelo Padrão, Moreira [45] inicia com o Modelo Padrão, explicando como as partículas, as quais já devem ser conhecidas pelos leitores, são classificadas, além de abordar outros tópicos tais como matéria escura que, segundo o autor, junto com o campo de estudos de Física de Partículas, pode ser motivante para o estudante do Ensino Médio. Diferentemente dos trabalhos anteriores, Siqueira [8], propõe um curso que explora desde a constituição da matéria até o Modelo Padrão, considerando a História da Ciência e recursos tais como animações, simulações e textos. Na mesma linha, mais recentemente, Gomes [46], traz conceitos

sobre Modelo Padrão desde a evolução histórica até as partículas atuais, trabalhando atividades lúdicas para atingir a aprendizagem.

Com relação à especificidade do Ensino de Física de Partículas Elementares no Ensino Médio, os principais avanços e destaques ocorridos na última década serão abordados a seguir.

## 2.1. O Ensino de Física de Partículas Elementares na última década

Atualmente, no Ensino de Física de Partículas, nota-se uma frequência nas menções ao LHC, construído no CERN, em Genebra, questão abordada por Nóbrega e Mackedanz [29]. Os autores apresentam o LHC, os conceitos físicos envolvidos neste grande acelerador, além de desmistificar alguns aspectos sobre o LHC e algumas possíveis consequências sobre seu funcionamento.

Vidal e Manzano [47] utilizaram o LHC como tema motivador para ensinar conceitos de eletrostática no Ensino Médio. Os autores sugerem que o LHC pode ser usado para contextualizar os conceitos abordados em sala de aula. Balthazar e Oliveira [48], em seu livro, apresentam uma proposta de Ensino de Física de Partículas Elementares com foco no LHC, destacando a relevância da Física de Partículas para o Ensino Médio e utilizando as abordagens CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade) e HFC (História e Filosofia da Ciência). Pereira [49] apresenta uma descrição do LHC e de seus quatro grandes experimentos, situando-o no contexto do CERN, sem aprofundar em aspectos teóricos da Física relacionada.

Kneubil [50], participante da Escola de Física CERN, não aborda especificamente a Física de Partículas, mas seu texto apoiou-se, em alguns momentos, na experiência vivenciada na Escola e faz uma análise de toda a Física envolvida cotidianamente no CERN, tais como: força coulombiana, campo elétrico e aceleração das cargas, energia dos feixes e campo magnético. Além dos conteúdos citados, contempla questões epistemológicas da ciência que podem ser discutidas a partir dos trabalhos desenvolvidos no CERN. Em contrapartida, Santos e Fernandes [51], igualmente participantes da Escola de Física CERN, apresenta duas propostas de Ensino de Física de Partículas a partir do CERN: uma delas com abordagem que envolve Filosofia e Epistemologia das Ciências e outra contemplando questões da CTS e HFC.

Entre as metodologias, uma muito utilizada para a inserção de Física de Partículas no Ensino Médio ocorre pela utilização de jogos elaborados especificamente para este objetivo [52–56]. Esses jogos, “pode auxiliar satisfatoriamente o processo de ensino-aprendizagem, pois a atual geração está amplamente envolvida no mundo virtual” [53, p. 522].

Outras estratégias como leitura de textos seguindo a cronologia de suas descobertas ou adoção da teoria da aprendizagem significativa com uso de tecnologias

de informação e comunicação para o ensino de partículas elementares são observadas [57, 58]. Calheiro e Garcia [59] propõem a aplicação e avaliação de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) que promete facilitar a aprendizagem significativa dos alunos e oferecer uma alternativa para desenvolver temas contemporâneos na escola básica, tornando o ensino e aprendizagem dos conteúdos de Física de Partículas mais estimulante. Os resultados obtidos demonstraram, de fato, que a inserção de tópicos de FMC integrados aos conteúdos clássicos, em específico Física de Partículas, através da metodologia das UEPS, conduziu a uma aprendizagem por parte dos alunos. Isso ocorreu porque a metodologia apresentou os tópicos de Física moderna de forma conceitual, contextualizada e integrada ao conceito clássico de carga elétrica. Portanto, a utilização do recurso da UEPS serviu como uma estratégia didática inovadora na abordagem de tópicos de Física de Partícula integrados aos conteúdos clássicos no Ensino Médio.

Como visto, diversas iniciativas estão sendo observadas no Ensino de Física de Partículas elementares. Essas abordagens seguem uma sequência lógica, que parte dos modelos propostos na Grécia Antiga, passa pelo desenvolvimento teórico da Física de Partículas no início do século XX e chega aos aceleradores de partículas. Esses avanços estão fundamentados na teoria da transposição didática de Yves Chevallard e fazem uso de recursos visuais, como imagens, tabelas e quadros, para tornar mais compreensíveis os complexos conceitos das partículas elementares [60]. Além disso, é notável a presença de propostas que buscam se afastar do tradicional currículo do Ensino Médio, buscando uma abordagem mais flexível e dinâmica.

Sobre esse contexto curricular em questão, as escolas encontram respaldo na BNCC para adotar um currículo no qual a FMC se encaixe e os alunos tenham a oportunidade de entender que a Física explica o mundo ao qual pertence. De acordo com Mozena [61, p. 327], a BNCC é apresentada “como uma promessa de regular a educação básica no país e melhorar a qualidade do seu ensino reconhecido como falido”. No entanto, destaca que essa base pode servir para um retrocesso, pois formaliza o ensino focado em rankings, tendo a qualidade da educação a característica de algo mensurável [61]. Apesar desses impasses, dentre as competências específicas de Ciências da Natureza e suas Tecnologias para o Ensino Médio presentes na BNCC, destaca-se “analisar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo” [9, p. 539]. Portanto, a introdução de conceitos básicos de FMC, sempre estabelecendo uma ligação entre a Física da sala de aula e a Física do cotidiano do aluno, é benéfica e incentivada para a educação básica.

Os conteúdos sugeridos podem ser oportunizados em diferentes níveis, garantindo uma compreensão adequada ao objetivo de ensino proposto, enfatizando a contextualização e a interdisciplinaridade, afirma Pinheiro [62].

Ao propor uma atividade com a câmara de nuvens, Pinheiro [62] utiliza uma abordagem histórica crítica, embasada pela epistemologia de Bachelard, em especial a filosofia do não. Por meio dessa abordagem, os alunos discutem a evolução do conceito de átomo e a elaboração dos modelos atômicos ao longo dos séculos, apresentando as contribuições científicas que o estudo das partículas elementares trouxe para a humanidade e suas relações com outras áreas científicas. Também é sugerido que a discussão sobre esses temas possa ser acompanhada de comentários embasados na HFC.

Outros materiais didáticos sobre a Física de Partículas para um contexto educacional de Ensino Médio que propõe uma discussão sistematizada dessa temática, englobando a compreensão de seus conceitos-chave, bem como a própria natureza da Ciência, dos fatores que circundam sua prática e sua relação com tecnologia, sociedade e meio-ambiente, em uma perspectiva voltada à alfabetização científica, são produzidos [36, 62].

Esta revisão bibliográfica reafirma o interesse em incluir a Física de Partículas e temas relacionados no Ensino Médio, bem como mostra a compreensão de que “um professor de Física deve estar ciente da direção para a qual se dirige a investigação da sua área de conhecimento, para poder colocar seus alunos em contato com perspectivas de desenvolvimento da Física atual. Ele tem, portanto, a obrigação de levar à aula os avanços e acontecimentos mais atuais.” [47, p. 17]. De acordo com Nóbrega e Mackedanz [29], é necessário criar novas maneiras de abordar a Física de Partículas devido à sua emergência e atualidade, dando um novo significado ao ensino da Física por meio de fenômenos atuais, mesmo que não sejam comuns para os estudantes. Sugere-se a introdução de atividades motivadoras e desafiadoras, que envolvam a mobilização de recursos cognitivos pelos estudantes, promovendo o estabelecimento de conexões entre os conceitos propostos e suas aplicações tecnológicas [63].

Depreende-se, portanto, que cabe reflexão e investigação sobre três indagações básicas: como, quando e por quê. Logo, considerando o contexto específico da Escola de Física CERN, busca-se investigar suas contribuições para o Ensino de Física de Partículas Elementares no nível médio.

### 3. Metodologia

Para realizar a revisão de artigos de caráter empírico com foco em resultados dos processos de ensino e aprendizagem, com o objetivo de contribuir com a área de Ensino de Física interessada em compreender as possibilidades para a efetiva inserção da Física de Partículas em sala de aula, foram selecionados, inicialmente, 82 trabalhos no período de 2010 a 2022, em periódicos científicos e nos anais dos principais encontros da área, tais como o Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciência (ENPEC), Encontro de Pesquisa em Ensino

de Física (EPEF) e o Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF), por meio de busca eletrônica realizada durante os meses de outubro e novembro de 2022.

A escolha de periódicos e anais de eventos para a consulta foi justificada pelo fato de que essas publicações oferecem acesso a trabalhos acadêmicos mais curtos e focados em um tópico específico, que apresentam resultados de pesquisa recentes e são submetidos a uma revisão rigorosa por especialistas no campo. Embora se reconheça que a qualidade dos trabalhos de eventos possa não ser equiparável à dos artigos, entende-se que ainda assim deve ser alta e seguir padrões científicos, tornando-se, portanto, valiosos para pesquisadores que buscam atualizações sobre pesquisas em andamento em seu campo de interesse.

A seleção dos artigos foi realizada com uso das seguintes palavras-chave: Física de Partículas, modelo padrão, escola de Física, CERN, aceleradores de partículas. Foi realizada uma varredura cautelosa para tentar identificar todos os trabalhos que fizessem uso dessas palavras-chave, nos eventos e periódicos selecionados. O Quadro 1 apresenta a quantidade de artigos selecionados, enquanto o Quadro 2 sinaliza por ano os artigos.

Conforme o Quadro 2, essa pesquisa resultou no mapeamento de 6 edições do ENPEC, do SNEF e do EPEF, respectivamente, totalizando 18 edições e 68 trabalhos, sendo 16 no ENPEC, 26 no SNEF e 26 no EPEF. Além disso, em periódicos da área, revistas de Ensino de Ciências/Física, totalizou-se 14 trabalhos. Constatou-se que os periódicos e eventos acumulam 82 trabalhos publicados.

Após o mapeamento, passamos para a etapa de acesso ao texto completo das produções. Na pré-análise, selecionaram-se apenas 14 artigos a partir da leitura na íntegra do material, pois tinham como foco o desenvolvimento de práticas relacionadas ao ensino e à aprendizagem a partir da Escola de Física CERN. Adotaram-se como critério de exclusão aqueles relacionados à formação inicial e/ou continuada dos professores, relatos de experiência dos participantes da Escola de Física CERN, artigos teóricos, livro didático, aqueles que investigam resultados de projeto de extensão, entre outros.

Por fim, fez-se o tratamento dos dados encontrados, realizando análise cuidadosa de cada uma das produções em busca dos significados expressos, inferências

**Quadro 1:** Quantidade de artigos selecionados para revisão.

Periódicos	Quantidade	
	de trabalhos	Porcentagem
Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF)	2	2,4%
Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências (ENSAIO)	1	1,2%
Investigações em Ensino de Ciências (IENCI)	2	2,4%
Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia (RBECT)	1	1,2%
Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF)	7	8,6%
Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (RBPEC)	1	1,2%
Eventos		
		Quantidade
		de trabalhos
		Porcentagem
Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC)	16	19,5%
Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF)	26	31,7%
Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF)	26	31,7%
Total	82	100%

Fonte: Autoria própria.

**Quadro 2:** Quantidade de artigos selecionados para revisão distribuídos por ano.

Ano	Eventos					Periódicos			
	ENPEC	SNEF	EPEF	RBEF	CBEF	ENSAIO	IENCI	RBPEC	RBECT
2010			5						
2011	1	1							
2012									
2013	2	3		3					
2014			7	1					
2015	7	7			1				
2016			1	1			1	1	
2017	3	12							
2018			3						
2019	1	2							1
2020			8				1		
2021	2	1			1				
2022			2	2		1			
Total	16	26	26	7	2	1	2	1	1

Fonte: Autoria própria.

e interpretações. Em decorrência, 5 artigos foram excluídos da revisão por não sistematizar as atividades de ensino desenvolvidas. Observou-se que esses artigos trazem experiências profissionais e pessoais derivadas da participação na Escola de Física CERN, relatam as novas experiências em sala de aula, mas carecem de rigor metodológico e não se expõem os efeitos dessas metodologias na aprendizagem.

Na análise geral dos artigos, percebeu-se que, em alguns casos, os autores fazem menção à Escola de Física CERN, relatam experiências pessoais e de divulgação, mas apresentam pouco uma intencionalidade pedagógica explícita, o que levou ao processo de exclusão supracitado. Além disso, em alguns artigos não está claro como as atividades ocorreram ou quais etapas os estudantes percorreram para a aprendizagem.

### 3.1. Categorias para análise dos textos

A análise foi feita sob a perspectiva teórica de Bardin [64] estabelecendo diálogo com pesquisadores da área [3, 5, 8, 19, 29–35, 65–70], que argumentam por uma introdução da FMC, incluindo Física de Partículas, no ensino básico. Para explorar o material coletado, foram definidas três categorias: utilização de metodologia que envolve um processo investigativo relacionado ao Ensino de Física de Partículas; efeitos dessas metodologias na aprendizagem conceitual, procedimental (habilidades) e atitudinal dos estudantes; dificuldades apresentadas pelos estudantes nas atividades desenvolvidas. O objetivo é identificar tendências relacionadas às situações de ensino e aprendizagem apresentadas nas pesquisas e interpretar os resultados atribuídos pelos pesquisadores a fim de compreender melhor as investigações desenvolvidas em salas de aula.

Cabe ressaltar que no processo de aprendizagem, há uma interação entre os conceitos, habilidades e atitudes, pois a compreensão se dá mediante o uso de evidências, da reflexão, da curiosidade entre outros. As habilidades, também conhecidas como procedimentos, referem-se a um conjunto de ações ordenadas com objetivos, ou seja, focadas para realizar um objetivo [71]. Para aprendê-las, Zabala [71] destaca que é necessário: realizar as ações, ou seja, se aprende realizando-as; exercitá-las, quantas vezes forem necessárias, até que os estudantes possam dominá-las e refletir sobre a própria ação; “com a finalidade de compreender os diferentes conteúdos conceituais imprescindíveis para entender o mundo no qual vivemos e os fenômenos que nele ocorrem” [72, p. 57]. Quanto às atitudes, Cañal, García-Carmona e Guzmán [6] explicam que as atitudes científicas devem ser desenvolvidas a partir de uma educação científica. Aliás, o desenvolvimento desses aspectos inclui ainda o uso da linguagem escrita, oral e matemática [73].

Desse modo, o desenvolvimento de conceitos, habilidades e atitudes científicas requer um processo progressivo em que esses aspectos que compõem a competência

científica e tecnológica possam ser desenvolvidos de forma integrada [74]. Portanto, cabe ao professor ponderar sobre aspectos da metodologia de ensino que sejam favoráveis para o desenvolvimento desses conceitos, habilidades e atitudes científicas, e conseqüentemente, para uma aprendizagem significativa e crítica no Ensino de Física.

Diante do exposto, analisam-se os trabalhos coletados pela revisão bibliográfica com ênfase nas metodologias e propostas de ensino voltadas para os conteúdos da Física de Partícula e, especificamente, os derivados da Escola de Física CERN. Para isso, utilizou-se das seguintes questões norteadoras:

- Como a Escola de Física CERN estimula o Ensino de Física de Partículas elementares no nível médio?
- Quais recursos, abordagens teóricas e metodologias são utilizadas para ensinar o tópico em questão?
- Existem pesquisas que relacionam teoria da aprendizagem e metodologia de ensino?
- Quais são as evidências apresentadas sobre os efeitos das metodologias de ensino utilizadas em contextos reais de sala de aula do Ensino Médio?
- Como é possível caracterizar esses resultados e o que podemos aprender com eles?
- Quais variáveis são percebidas como importantes no processo de ensino e aprendizagem dos estudantes do Ensino Médio?
- Quais são os conteúdos científicos, habilidades e atitudes desenvolvidas ou abordadas nessas discussões e como isso foi feito?
- Quais foram as principais dificuldades encontradas pelos estudantes?
- Quais são as sugestões dos autores para mudanças e inovações da prática pedagógica, no que se refere ao Ensino de Física de Partículas elementares?

## 4. Resultados e Discussões

Nesta seção, serão apresentados os resultados e as discussões inferidos a partir dos dados coletados nos trabalhos, buscando elucidar as metodologias de ensino para uma educação científica e tecnológica que envolva o Ensino de Física de Partículas, considerando as contribuições da Escola de Física CERN. Além disso, serão interpretados os saberes pedagógicos decorrentes deste curso de formação.

Para isso, caracterizam-se as pesquisas nas quais foram identificadas atividades e sequências didáticas que apontam para o uso de metodologias que empregam processos investigativos no Ensino de Física de Partículas. O corpus é formado por nove trabalhos que sintetizam resultados de pesquisa, listados no Quadro 3.

O Quadro 3 é composto por dois artigos de revistas, o que equivale a cerca de 22%, e nove publicações derivadas de eventos científicos, correspondendo a aproximadamente 78%. É importante ressaltar que os critérios

**Quadro 3:** Quadro final de trabalhos analisados.

Título	Autoria	Código
O que se pode aprender com o evento Masterclasses – CERN na perspectiva do Ensino de Física de Partículas	Watanabe et al., 2014 [75]	RBEF01
O ensino de estrutura da matéria e aceleradores de partículas: uma pesquisa baseada em design	Pessanha, Pietrocola, 2016 [76]	RBPEC01
O ensino de partículas elementares por meio da leitura de “Alice no país do quantum”	Pereira, Londero, 2013 [77]	SNEF01
Contribuições da escola de Física do CERN para a formação de professores em serviço e o desenvolvimento de atividades de Ensino de Física moderna e contemporânea no Colégio de aplicação da Universidade Federal De Santa Catarina	Ferreira et al., 2015 [78]	SNEF02
International Physics Masterclasses e oficina de Física de Partículas no IFT – Unesp: sentidos atribuídos por estudantes e professores do Ensino Médio	Araújo, Dias, 2017 [79]	SNEF03
Utilizando ambientes virtuais no estudo da Física de Partículas: contribuições de uma visita ao CERN	Oliveira, 2013 [80]	ENPEC01
Física de Partículas elementares no Ensino Médio	Banheza, Jardim, 2015 [81]	ENPEC02
Ciência aprendida no CERN: contribuições para o ensino de Ciências	Coelho, Silva, 2015 [82]	ENPEC03
O uso de notícias científicas na problematização inicial da Física de Partículas elementares	Mosinahti, Londero, 2017 [83]	ENPEC04

*Fonte:* Autoria própria.

de publicação da RBEF e RBPEC diferem daqueles dos anais dos eventos SNEF e ENPEC. No entanto, o objetivo não é estabelecer uma comparação entre eles, mas sim mapear as contribuições presentes na área de Ensino de Física de Partículas.

#### 4.1. Subsídios teórico-metodológicos e conteúdos abordados nas investigações

Existem diversas metodologias de ensino que podem ser utilizadas pelos professores para tornar o processo de aprendizagem mais efetivo e significativo para os estudantes, e cada uma delas pode ser adaptada de acordo com os conteúdos e objetivos específicos de cada disciplina. Considerando isto, a análise dos trabalhos compreende uma síntese dos processos didáticos realizados, detectando o tipo de estratégia ou metodologia utilizada. No Quadro 4, são apresentados os subsídios teórico-metodológicos e conteúdos científicos abordados nos artigos selecionados.

Quando se analisam os subsídios teórico-metodológicos e os conteúdos abordados em investigações, busca-se compreender as bases teóricas e metodológicas utilizadas pelos pesquisadores para conduzir a pesquisa e as principais contribuições e resultados alcançados. Essa análise pode fornecer informações importantes sobre como a pesquisa foi realizada, quais foram os métodos e técnicas utilizados para coletar e analisar os dados, bem como as teorias e conceitos que embasam a investigação. No entanto, ao analisar o Quadro 4 em relação aos subsídios teórico-metodológicos, observa-se que há limitações quanto às metodologias de ensino utilizadas. Em alguns trabalhos,

não foi possível identificar o respaldo teórico e o aspecto conceitual que foram discutidos em virtude do objetivo da investigação.

Isso pode ocorrer por se tratar de pesquisa vinculada a outras publicações dos mesmos autores e da mesma pesquisa, que se concentram em outros aspectos ou por falta de informações nas publicações. É o caso do estudo RBPEC01, que dá ênfase em alguns dos resultados obtidos nas implementações de sua proposta de ensino do tópico "Estrutura da matéria e os aceleradores de partículas" no contexto catalão, os quais influenciaram as implementações no contexto paulista. É importante destacar que a descrição detalhada dos métodos usados, incluindo a coleta e análise de dados, bem como a explicação das limitações e implicações dos resultados, são elementos essenciais para que a pesquisa seja compreendida e possa ser replicada.

Nesse sentido, conforme visto em Londero [69], que discute implicações da Escola de Física CERN para a prática pedagógica de professores, é possível reafirmar que o ensino de partículas nas aulas dos professores participantes da escola é realizado de maneira muito incipiente. As justificativas para essa incipiência variam entre “o fato do currículo de Física ainda ser clássico, pela falta de tempo ou pela cobrança dos exames avaliativos como, por exemplo, ENEM e vestibulares.” [69, p. 594]. Nota-se que, apesar dos investimentos nas últimas décadas, se perpetua as ausências de propostas concretas e detalhadas de introdução da Física de Partículas em sala de aula [8, 29–33, 35].

Consequentemente, não há uma sistematização do que e como ensinar sobre a Física de Partículas, em particular sobre aceleradores de partículas e o bóson

**Quadro 4:** Subsídios teórico-metodológicos e conteúdos científicos abordados nos artigos selecionados.

Código	Subsídios teórico-metodológicos	Conteúdos científicos abordados nos artigos selecionados	Contexto de implementação
RBEF01	Masterclass	Evolução da ideia de átomo da antiguidade ao desenvolvimento na Física quântica O papel tecnológico e o desenvolvimento da ciência nos grandes aceleradores de partículas Raios X obtidos em um acelerador de partículas e Estrutura do Átomo	Dois dias de atividades, 8h e 5h de duração respectivamente; 61 alunos; videoconferência
RBPEC01	Design-based Research	Estrutura da matéria e aceleradores de partículas Doenças coronárias, radiografias e interações mecânicas e eletromagnéticas	Curso de 4 horas de duração (6 aulas); uso de ambiente virtual; aplicação em dois contextos Espanha e Brasil
SNEF01	Leitura de textos	Partículas Elementares, modelos atômicos, LHC e Modelo Padrão	4 aulas com duração de 50 minutos cada
SNEF02	Descrição histórica e conceitual	Modelos Atômicos, Núcleo, Radioatividade e Efeito Fotoelétrico Matéria Escura e Energia Física de Partículas	75 alunos; apoio de bolsistas do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID)
SNEF03	Masterclass	Física de Partículas e aceleradores de partículas	± 200 alunos com participação efetiva 47,6% do total
ENPEC01	Espaços não formais	Física de Partículas	Turmas do professor pesquisador
ENPEC02	Momentos pedagógicos de Delizoicov e Angotti	Física de Partículas Elementares	4 aulas; 30 alunos do 2°. e 3° ano; participação voluntária no contra turno
ENPEC03	Conjunto de Atividades	Estrutura da matéria e Modelos atômicos	Turmas do professor pesquisador
ENPEC04	Momentos Pedagógicos de Delizoicov e Angotti	Física de Partículas Elementares	3° ano; 28 alunos, Escola Estadual; em parceria com a disciplina “Metodologias de Ensino de Física e Estágio Curricular Supervisionado III”

Fonte: Autoria própria.

de Higgs. Essa observação, com respaldo no Quadro 4, responde à pergunta “*como a Escola de Física CERN estimula o Ensino de Física de Partículas elementares no nível médio?*”. As atividades são projetadas para informar e inspirar os estudantes sobre a Física de Partículas elementares, seus avanços e descobertas por meio de uma diversidade de metodologias e estratégias didáticas, embora que sem uma clareza sobre os conteúdos específicos. A respeito do aspecto conceitual de Zabala [84], é possível observar que as abordagens vêm sendo desenvolvidas de forma progressiva, partindo de um conteúdo mais simples e evoluindo para um mais complexo.

Sobre as questões *Quais recursos, abordagens teóricas e metodologias são utilizadas para ensinar o tópico em questão? Existem pesquisas que relacionam teoria da aprendizagem e metodologia de ensino?* São identificadas outras fragilidades nas investigações. Apesar de terem passado pelos processos de inclusão estabelecidos nessa pesquisa, as investigações apresentam problemas na

estruturação, resultando em ausência de informações relevantes. Por exemplo, muitas delas não apresentam fundamentos teóricos da aprendizagem que embasam as metodologias de ensino utilizadas. A única pesquisa que explicitou claramente sua abordagem foi a RBPEC01, que se apoia na Epistemologia da ciência de Gaston Bachelard e na aprendizagem baseada em modelos.

Ao que parece, a finalidade muitas vezes é somente buscar explicações e responder a perguntas relacionadas ao processo de aprendizagem. Contudo, esse processo de aprendizagem com uso de subsídios teórico-metodológicos deveria também levar os pesquisadores a desenvolver uma compreensão da natureza dos conhecimentos envolvidos nas práticas didáticas e, dessa forma, alcançar o objetivo integral da produção acadêmica.

Das informações apresentadas, pode-se observar que duas pesquisas implementaram o evento Masterclass – RBEF01 e SNEF03. O *International Physics Masterclasses – Hands On Particle Physics* é um evento de divulgação científica internacional, voltado

principalmente para alunos do Ensino Médio e seus professores, que explora a Física de Partículas e as pesquisas de fronteira. Os participantes têm a oportunidade de aprender sobre o modelo padrão, partículas elementares e aceleradores de partículas com físicos que trabalham nessa área. Quando coordenadas pelo CERN, eles realizam uma atividade de análise de dados reais coletados recentemente no grande colisor de hádrons (LHC) e discutem os resultados em uma videoconferência com cientistas no CERN. Nas duas pesquisas listadas no Quadro 4, RBEF01 e SNEF03, as implementações seguiram a estrutura proposta pelo evento, variando apenas no detalhamento do conteúdo para o primeiro.

A pesquisa RBPEC01 foi baseada no *Design-based Research*, executada em um processo iterativo de desenho, implementação e análises em dois contextos distintos: alunos da Espanha e do Brasil. As pesquisas SNEF01, SNEF02 e ENPEC03 não detalham das pesquisas, indicando apenas o tipo de recurso didático utilizado ou abordagem adotada para o conjunto de atividades.

Nas pesquisas ENPEC02 e ENPEC04, os autores adotam os três momentos pedagógicos de Delizoicov e Angotti [85], abordagem de ensino baseada em aspectos teóricos freireanos, que consiste em: problematização inicial – discussão de situações reais que possam fazer parte do universo dos alunos para problematizar o conhecimento; organização do conhecimento – trabalhar os conteúdos necessários para a solução dos problemas levantados na problematização inicial. Cabe ao professor fornecer informações para que, ao final, o aluno evolua em suas concepções iniciais, sendo capaz de responder à problematização; e aplicação do conhecimento – utilizar os conceitos desenvolvidos na etapa anterior para analisar, interpretar e apresentar respostas para o problema discutido na problematização inicial.

Com a aplicação de propostas didáticas com essa teoria, espera-se que, ao despertar a necessidade de adquirir novos conhecimentos para resolver a problematização, os estudantes possam desenvolver concepções que estejam de acordo com o conhecimento científico. Essa abordagem possibilita a discussão, no Ensino de Física, de aspectos sociológicos, históricos e epistemológicos relacionados à origem do conhecimento. Isso contribui para ampliar não somente os conhecimentos, mas também a estrutura cognitiva do estudante [5].

Outro aspecto importante a ser destacado é que duas investigações relatam ter recebido auxílio no desenvolvimento da pesquisa. No SNEF02, o apoio de bolsistas do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID) parece ter sido fundamental para a produção do material didático. No ENPEC04, houve parceria com a disciplina Metodologias de Ensino de Física e Estágio Curricular Supervisionado III. Isso indica que, no primeiro caso, o PIBID tem cumprido o objetivo de aprimorar a formação inicial de professores, possibilitando que os licenciandos integrantes do programa se familiarizem com o ambiente escolar e auxiliem o desenvolvimento

de experiências significativas para a escola. Além disso, no segundo caso, ressalta-se a relevância da articulação universidade-escola, uma vez que a parceria tende a render boas práticas escolares.

Foi inferido ainda, de acordo com os dados das pesquisas, que poucas ou nenhuma das investigações listadas no Quadro 4 foram realizadas em condições de ensino regular. Ou seja, as pesquisas foram realizadas por meio de eventos, no contraturno, em cursos específicos, decorrentes de pesquisas ou derivadas de programas institucionais – exceto ENPEC01 e ENPEC03, para os quais não há informações suficientes para categorizar.

#### 4.2. Efeitos procedimentais e atitudinais presentes nas investigações

Com a análise das investigações que abrangem o escopo dessa pesquisa, foram identificados alguns efeitos do uso de subsídios teórico-metodológicos relacionados à aprendizagem conceitual, ao desenvolvimento de habilidades e atitudes. No entanto, há uma tendência expressiva nas pesquisas em busca de resultados relacionados muito mais às habilidades e atitudes científicas do que aos aspectos conceituais. Essa observação orienta a resposta para a seguinte pergunta: *quais são as evidências apresentadas sobre os efeitos das metodologias de ensino utilizadas em contextos reais de sala de aula do Ensino Médio?*

Os procedimentos adotados para proporcionar o alcance do conhecimento conceitual são apresentados no Quadro 5. As habilidades discutidas referem-se àquelas que conduzem o aluno ao conhecimento conceitual e compreendem um conjunto de ações ordenadas com objetivos claros e focadas em atingir um objetivo [71]. Para categorizar as habilidades relacionadas ao ensino e à aprendizagem apresentadas nas pesquisas, foram utilizadas as seguintes classificações: procedimentos relacionados ao acesso à informação científica, procedimentos relacionados à transposição didática e procedimentos relacionados à conceitualização e aplicação dos conceitos.

Com base no Quadro 5, observa-se que o aspecto procedimental do Ensino de Física tem incentivado o desenvolvimento de habilidades práticas, como medir, observar, analisar e interpretar dados. Quanto aos procedimentos para acesso à informação científica, foi dada prioridade aos dados do próprio CERN e dos aceleradores de partículas (RBEF01, RBPEC01, SNEF02 e SNEF03). No caso do ENPEC04, as notícias científicas foram obtidas a partir de fontes como a revista *Veja*, a *Folha de São Paulo* e a *Scientific American Brasil*.

Em relação aos recursos didáticos, ao explorar os procedimentos de transposição didática que possibilitem a informação e comunicação do vocabulário científico, verificou-se que apenas as pesquisas RBPEC01, SNEF02 e ENPEC01 produziram algum tipo de material para ambientes virtuais, como Moodle e Facebook. Embora tenham sido utilizados outros recursos, como análise de

**Quadro 5:** Habilidades relacionadas ao ensino e à aprendizagem abordados nos artigos selecionados.

Tipo de Habilidades	Código	Detalhamento por investigação
Procedimentos com uso de subsídios para observar, mensurar, coletar, descrever, classificar, identificar, formular hipóteses, entre outros	RBEF01	Introdução ao estudo experimental da Física nuclear e de partículas; Descrição dos aceleradores de partículas e do experimento ALICE; Visita ao acelerador Pelletron
	RBPEC01	Estudo do mundo subatômico por meio dos equipamentos utilizados na FMC; Abordagem dos métodos experimentais baseados na técnica de inferência por trajetórias frente as diversas propriedades do átomo e nos aceleradores de partículas
	SNEF02	Palestra sobre dualidade onda-partícula; Visita Virtual ao ATLAS
	SNEF03	Uso e análise de dados reais coletados no grande colisor de hadrons (LHC); visita virtual ao CMS (Compact Muon Solenoid) no CERN; Discussão dos resultados em uma videoconferência com cientistas no CERN e estudantes de outros países; visita guiada ao núcleo de computação científica da UNESP (GRID UNESP);
	ENPEC04	Notícias Científicas de revistas sobre a ciência escolar e a ciência na vida diária
Procedimentos que oportunize a informação e a comunicação do vocabulário científico, conhecimento de resultados das experiências, extrair informações, organizar ideias, entre outros	RBEF01	Discussões sobre as pesquisas desenvolvidas no experimento ALICE; Análise de dados reais das colisões próton-próton e chumbo-chumbo do ALICE; Debate sobre os resultados obtidos pós-análise dos dados
	RBPEC01	Ambiente virtual elaborado especialmente para o curso com atividades como questionamentos direcionados aos alunos, instruções, textos, imagens explicativas, animações e simulações computacionais
	SNEF01	Leitura e discussão de um extrato da obra “Alice no País do Quantum”, intitulado “O baile de Massacrarados”
	SNEF02	Material didático e avaliação disponibilizada no ambiente virtual de aprendizagem
	SNEF03	Jogo de perguntas e respostas (quiz); construção de uma câmara de nuvens; jogos de temática científica (eletrônicos, de cartas, de dados e de tabuleiro)
	ENPEC01	Uso de fanpage no facebook sobre o CERN e o bóson de Higgs; uso de links de reportagens, vídeos disponíveis na internet, pequenos textos explicativos e alguns detalhes sobre a experiência de participar da escola de Física CERN
	ENPEC02	Uso de notícias científicas, mapas conceituais e o questionário; Jogo educativo que aborda os Conceitos Básicos da Física de Partículas (Sprace)
ENPEC04	Uso de notícias científicas divulgadas na imprensa regional e local para discussão do tema e para mostrar a ciência em construção; divisão em duplas e, cada dupla, recebeu uma notícia diferente; questões propostas.	
Procedimentos para a conceituação com aplicação conceitual ou construção de conceitos	RBEF01	Discussão sobre a Física de Partículas na atualidade; Contextualização histórica do desenvolvimento da Física de Partículas e do processo de acelerar partículas
	RBPEC01	Definir e redefinir os modelos explicativos e os modelos científicos de acordo com os resultados obtidos experimentalmente (experimentos reais, mentais e virtuais)
	SNEF01	Produção escrita
	SNEF03	Questionários sobre expectativas e conhecimentos prévios antes da participação do evento; escrita de um pequeno texto sobre o evento estilo “postagem para rede social”
	ENPEC01	Os alunos assistiram o documentário “O grande colisor de hádrons” cujo tema central era o maior acelerador de partículas do CERN, seguindo de um debate; engajamento via blog e Facebook por parte dos alunos
	ENPEC02	Os conceitos de partículas elementares foram tratados a partir do conteúdo de modelos atômicos;
	ENPEC03	Pesquisa e discussão em grupo sobre a evolução do Modelo Atômico. Uso de vídeos, documentário; slides; confecção de maquetes

Fonte: Autoria própria.

dados dos aceleradores, jogos, experimento da câmara de nuvens, leitura e discussão de textos e notícias científicas, estes não foram sistematizados explicitamente nos trabalhos.

No que diz respeito à terceira e última categoria, procedimentos relacionados à conceituação e aplicação dos conceitos, apresentada no Quadro 5, há pouca clareza sobre quais conceitos foram ensinados. Pode-se considerar que as práticas docentes estiveram mais

centradas na divulgação da contextualização e aplicação do modelo atômico. Infere-se, no entanto, que combinar a aprendizagem de conceitos científicos com as concepções e realidade do aluno pode ser uma alternativa promissora para favorecer o processo de aprendizagem [65, 66, 68, 70].

Cabe ressaltar que, ao comunicar os procedimentos e resultados, os autores enfatizaram práticas relacionadas à expressão oral nas discussões coletivas. Isso se deve

ao fato de que, no processo de ensino e aprendizagem, deve-se promover uma maior interação social, exigindo um ambiente mais dialógico em sala de aula. É por meio do diálogo em grupo, ou com toda a turma, que há uma troca mais intensa de significados entre estudantes e professores, seja nas atividades prévias, comunicação de conceitos, no momento de levantar questionamentos, durante práticas experimentais ou manipulação de objetos.

Sobre o aspecto atitudinal do Ensino de Física, é importante desenvolver atitudes positivas em relação à Física e à ciência em geral, incentivando a curiosidade e a exploração, e destacando a relevância da Física para a vida cotidiana. Além disso, é fundamental mostrar aos alunos que a Física não é apenas para aqueles que são “bons em matemática”, mas sim uma disciplina acessível e interessante para todos. Ao adotar essa abordagem, os professores podem criar um ambiente de aprendizagem

mais envolvente e significativo para seus alunos. Nesse sentido, apresenta-se o Quadro 6 para responder à seguinte questão: *Como é possível caracterizar esses resultados e o que podemos aprender com eles?*

Das atitudes mobilizadas, pode-se observar que sete das investigações enfatizam a importância da motivação, curiosidade e interesse dos alunos. Em termos de prática docente, isso revela a necessidade de o professor buscar inicialmente aproximar o conhecimento prévio do aluno do processo de ensino, por meio de questionamentos, atividades propostas, leituras sobre a temática em questão, entre outros. Em seis trabalhos, o engajamento dos alunos também é uma preocupação, e pode ser mobilizado por meio de discussão teórica ou atividades práticas. Com menor ênfase, existem trabalhos que buscam a colaboração, reflexão e/ou criatividade. Esses resultados atitudinais parecem ser promissores e

**Quadro 6:** Atitudes detectadas nos artigos selecionados.

Atitudes	Código	Descrição
Motivação, curiosidade e interesse	RBPEC01	Percepção da importância de se estudar o interior da matéria para uso de radiografias
	RBEF01	Questionamentos quanto as condições técnicas para a promoção da colisão dos feixes e funcionamento do acelerador; interesse em compreender a dinâmica cotidiana do laboratório científico; interesse sobre o como se faz ciência seja no âmbito da atividade experimental, teórica, técnico ou social; interesse no saber científico (inter)disciplinar
	SNEF02	Interesse em aprender mais sobre tópicos de FMC; desmistificação de concepções erradas da ciência; oportunidade de esclarecer suas dúvidas de maneira formal
	ENPEC01	Interação na fanpage com perguntas e curiosidades sobre a temática
	ENPEC02	Trabalho em grupos para leitura e elaboração de perguntas e respostas
	ENPEC03	Questionamentos sobre quais partículas constituíam o interior do átomo
	ENPEC04	Curiosidade por informações sobre a construção da Física, pelas novas descobertas e possíveis quebras de paradigmas e teorias decorrentes de tais descobertas
Participação, envolvimento e interação	RBEF01	Elaboração de perguntas, em duplas, para serem feitas a cientistas
	RBPEC01	Constante reexame de seus modelos explicativos para uma gradativa construção dos aspectos conceituais e técnicos envolvidos no tópico de Estrutura da Matéria e Aceleradores de Partículas
	SNEF01	Relações presentes na fábula com a situação das partículas
	ENPEC01	Debate realizado em sala de aula, motivado pelo documentário e mediado pela professora; os estudantes e público em geral, podiam postar suas indagações na rede social
	ENPEC02	Durante a dinâmica, surgiram questionamentos que mostram que os alunos se interessaram pela leitura e interpretação do texto. Notou-se que um dos propósitos entre os grupos era fazer perguntas desafiadoras ao grupo seguinte, o que pode indicar uma competitividade com o intuito de superar o próximo e integrar o grupo na elaboração da pergunta
	ENPEC03	A construção das maquetes possibilitou novas compreensões dos conteúdos de Física
Colaboração e cooperação	RBEF01	Em grupo, escolhe-se perguntas para serem discutidas com os pesquisadores
	ENPEC01	Verificou-se que não apenas os alunos eram membros da página, mas também pais de alunos, colegas professores e outros usuários da rede; ambiente virtual de aprendizagem cooperativa mediada pelo professor; o aluno também pode aprender com seu colega
Reflexão	SNEF02	Reflexões entre o que foi discutido no material didático e o que foi apresentado pelo palestrante; visão reflexiva sobre os conteúdos, que consequentemente pode levar a uma aprendizagem
Criatividade	SNEF01	Indícios da ocorrência da repetição formal, uma vez que os alunos mencionaram as mesmas ideias discutidas nas aulas, mas com uma outra aparência, ou seja, reproduziram o que foi falado com outras expressões

Fonte: Autoria própria.

levantam a questão de *quais variáveis são percebidas como importantes no processo de ensino e aprendizagem dos estudantes do Ensino Médio*.

De acordo com a literatura [19, 69], reafirma-se o interesse em inserir tópicos da FMC, envolvendo as partículas elementares e os aceleradores, em sala de aula e de modo contextualizado. Por exemplo, no estudo RBEF01, os autores buscaram apresentar uma ciência mais próxima da realidade, voltada para as discussões sobre a construção do conhecimento científico, bem como desmistificar a ciência como verdade absoluta, apontando sua relação com a tecnologia e a sociedade.

Na pesquisa RBPEC01, os alunos se envolveram em atividades em que deveriam elaborar um procedimento experimental, estudar modelos conceituais disponíveis, verificar experimentalmente a validade ou limite dos modelos e propor alterações nos modelos ou novos modelos. No ENPEC01, observou-se que o ambiente virtual, atividades auxiliadas da rede social Facebook, pode facilitar a participação dos alunos, além de se revelar uma ferramenta de aprendizagem cooperativa. “A partir da interação dos alunos via Facebook identificou-se algumas visões deformadas da Ciência nos alunos, mas também se notou um grande interesse por tópicos atuais de Física, o que reforça a necessidade da contemplação destes temas num currículo regular” [80, p. 7].

Em ENPEC03, ao se construir maquetes, foram apresentadas e explicitadas compreensões sobre a colisão entre o feixe de prótons, a localização do LHC a 100 metros de profundidade, o colisor constituído por tubos circulares e as proporções estruturais do CERN. Desse modo, pode-se inferir a motivação para o estudo da FMC. No ENPEC04, os autores evidenciam que os estudantes não possuem conhecimentos prévios desse conteúdo da Física, embora infiram, com base nas respostas, certo deslumbramento pelas descobertas científicas. Nessa investigação argumenta-se pela “necessidade da Alfabetização Científica para o desenvolvimento do pensamento crítico e organizado de maneira lógica, que permita aos estudantes a compreensão dos conceitos científicos e suas implicações na sociedade” [29, p. 8].

Quanto aos resultados referentes às habilidades relacionadas à conceituação e aplicação dos conceitos, percebeu-se um número reduzido de menções. Esse resultado pode estar ligado ao fato de os estudantes não estarem familiarizados com as temáticas exploradas nas intervenções, o que pode ter dificultado a assimilação conceitual no início. Isso implica que a aquisição de habilidades relacionadas à conceituação, síntese ou aplicação de conceitos em outras realidades é uma tarefa que exige muitas intervenções. Todavia, é fundamental que o processo de aprendizagem ocorra ainda no Ensino Médio, a fim de que os estudantes possam ter maior autonomia e criticidade sobre questões políticas, econômicas e sociais.

Cabe ressaltar que, em alguns dos artigos selecionados, não foi possível identificar quais seriam os resultados conceituais, habilidades ou atitudes desenvolvidas, uma

vez que não apresentam uma escrita clara e sistemática entre os resultados e as conclusões do estudo. Essas lacunas tornaram imprecisa a resposta para a pergunta *quais são os conteúdos científicos, habilidades e atitudes desenvolvidas ou abordadas nessas discussões e como isso foi feito*. Apesar disso, acredita-se que iniciativas de divulgação científica feitas pelos autores das pesquisas analisadas podem ter um papel fundamental na constituição de uma cultura científica para os estudantes envolvidos e professores da área, de modo a indicar avanços no surgimento de abordagens que incluem a conceituação teórica, a experimentação, a história da Física, a filosofia da ciência e sua conexão à sociedade e outros saberes culturais [3].

#### 4.3. Dificuldades apresentadas nas investigações

Outro aspecto importante avaliado diz respeito a: *Quais foram as principais dificuldades encontradas pelos estudantes?* Discute-se nessa seção as dificuldades demonstradas pelos estudantes durante o processo de aprendizagem, bem como aquelas referentes à própria pesquisa. Espera-se, assim, contribuir para a melhora nas intervenções e superação desses obstáculos em outras investigações. O Quadro 7 apresenta algumas dessas dificuldades compartilhadas pelos pesquisadores.

Entre as limitações destacam-se questões de compreensão conceituais, leitura, escrita, fator tempo e material didático. Em relação às dificuldades de compreensão conceitual, de leitura e escrita, essa constatação pode ser justificada pelo fato dos alunos não estarem habituados com atividades nas quais são solicitados registros escritos, nos quais há necessidade de utilizarem argumentação. As atividades solicitadas, em sua maioria, contribuíram nesse sentido, diferenciando-se das aulas até então baseadas na matematização dos conteúdos.

Quanto ao fator tempo, nos nove estudos analisados, o tempo de intervenção foi curto, sendo o maior deles duração de 8 horas (ver Quadro 4). Embora essas dificuldades sejam mencionadas, é importante lembrar que a aprendizagem, seja ela em que aspecto for, precisa de tempo para ser consolidada. Percebeu-se que, como algumas investigações tiveram pouco tempo de aplicação, não é possível ter uma ideia de quais seriam os resultados se a aplicação fosse realizada por meses ou anos, em vez de apenas uma ou duas aulas.

Nesse sentido, estudos futuros poderiam ser realizados com um número maior de aulas. Uma sugestão para trabalhos futuros seria a aplicação de algum fenômeno da FMC por meio de uma metodologia experimental associada a algum aparelho eletrônico de uso comum ou uso de simulação computacional – aspecto pouco explorado nas pesquisas, identificado apenas em RBEF01 e SNEF03.

Por fim, *quais são as sugestões dos autores para mudanças e inovações na prática pedagógica, no que se refere ao Ensino de Física de Partículas elementares?* De modo geral, o conhecimento exposto na presente pesquisa poderá proporcionar ao professor a aquisição

**Quadro 7:** Dificuldades mencionadas nas investigações.

Dimensões	Código	Dificuldades
Dificuldades quanto ao desenvolvimento de habilidades, conteúdos e linguagem	RBPEC01	As observações realizadas não deixam claro se os alunos conseguiam estabelecer relações entre as questões técnicas presentes nos experimentos e nos aceleradores de partículas. As atividades que foram planejadas, e que permitiam tal verificação, acabaram dando lugar às exposições, que não garantiam, necessariamente, que os alunos fizessem as relações necessárias
	SNEF01	Os alunos não construíram argumentação própria para responder à questão proposta – marco de cópias literais de frases
	SNEF02	Compreensão de conteúdos de FMC
	SNEF03	O fato de alguns palestrantes do Masterclasses utilizarem uma linguagem pouco acessível para os alunos do Ensino Médio, bem como a utilização de uma abordagem excessivamente expositiva, parece ter tido um efeito negativo no que se refere à motivação dos estudantes
	ENPEC02	Houve indicativo de que, apesar das habilidades dos alunos em relação a tecnologia, o jogo é bem elaborado exigindo durante sua execução de ações onde os alunos tiveram que encontrar soluções conceituais para que pudessem mudar de fase tais como o conhecimento de símbolos, grupos, etc.
	ENPEC04	Falta de argumentos consistentes, dificuldade de opinar sobre questões econômico sociais decorrentes de estudos da Física, dificuldade de avaliação das notícias, entre outros fatores
Dificuldades relacionadas à leitura e escrita	SNEF01	Falta no hábito com práticas de leitura. Os escritos carecem de argumentação. Foram elaborados sem nenhum cuidado. Os termos científicos são utilizados isoladamente em frases soltas
Dificuldades relacionadas ao tempo de execução	RBEF01	Os autores consideram o tempo curto para ser capaz de modificar as concepções dos sujeitos e/ou refletir sobre as questões científicas
	RBPEC01	A gestão do tempo e o planejamento do ensino prevendo atividades condicionais foi fator limitante; há uma necessidade de o professor definir em seu planejamento, atividades (ou parte destas) condicionais, que poderiam ser substituídas por explicações mais gerais caso o tempo de aula exigisse, e que não prejudicariam o alcance dos objetivos de aprendizagem
	ENPEC02	Uma possível limitação foi número reduzido de aulas para aplicação, considerando o tempo, o desenvolvimento da metodologia proposta e a abrangência dos conceitos de partículas elementares
Dificuldades referente ao material	RBPEC01	As escolhas de imagens e textos que utilizadas nas aulas exigem maior atenção, pois podem levar os alunos a reafirmarem seus modelos explicativos alternativos, que se constroem a partir da percepção ingênua do cotidiano, e que não correspondem aos modelos conceituais que são parte do conteúdo científico escolar

*Fonte:* Autoria própria.

de subsídios teórico-metodológicos para repensar as práticas de ensino, propor outras formas de organização curricular e modificar as estratégias de ensino e aprendizagem, que levem os alunos a evoluir em seus conceitos, habilidades e atitudes. Além disso, é importante que o professor direcione os trabalhos dos alunos para que estes realmente alcancem os objetivos propostos [67].

Entretanto, é necessário destacar que as investigações, embora façam menção a uma aprendizagem conceitual, não dimensionam os aspectos adquiridos pelos alunos, ou seja, não apresentam de fato o que os alunos aprenderam sobre os conceitos estudados. Sabe-se que a aquisição conceitual leva tempo, em função do campo conceitual e da aprendizagem de outros termos essenciais para um melhor entendimento. Outra particularidade interessante diz respeito aos resultados dos artigos em não apresentar as dificuldades conceituais que os participantes apresentavam antes, durante e após a aplicação

do estudo. A exposição desses aspectos poderia abrir possibilidades para outros pesquisadores avançarem nos estudos sobre a área conceitual no Ensino de Física de Partículas.

Frente aos dados e inferências apresentados, destaca-se a importância deste trabalho, que, conforme Zabala [84, p. 59], é relevante para o professor “compreender outras propostas e reconhecer, em cada momento, aquelas sequências que se adaptam mais às necessidades educacionais de nossos alunos”. Além disso, para atender aos objetivos pedagógicos, é fundamental haver um referencial de aprendizagem e um referencial metodológico na elaboração da sequência didática. O referencial de aprendizagem orientará os processos que serão utilizados na sequência de atividades, ou seja, a natureza da sequência e os tipos de atividades que serão priorizados dentro dela, enquanto o referencial metodológico guiará a produção das atividades, a clareza e o encadeamento

da sequência e as metodologias que serão utilizadas [86]. Reconhecer as presenças e ausências em uma pesquisa publicada, mesmo que em anais de evento, contribui para desenvolver a visão do caminho que deve ser seguido e aprimorado.

## 5. Considerações Finais

Este artigo apresenta os resultados de investigações empíricas aplicadas no Ensino Médio, selecionadas a partir de periódicos científicos e eventos na área de Ensino de Física/Ciências, com o objetivo contribuir com a área de Ensino de Física de Partículas no nível médio. O mapeamento dos estudos, seguido de análises e reflexões, aponta a carência de publicações acadêmicas e a necessidade de investimentos em recursos e capacitações docente. Apesar disso, existem iniciativas de elaboração e aplicação de propostas de ensino, textos destinados aos professores, divulgações científicas e atividades diversificadas, como uso de jogos, leitura de notícias científicas, uso de ambientes virtuais de aprendizagem.

Os nove trabalhos que compõem os documentos de análise, entre 2013-2017, selecionados porque faziam menção à Escola de Física CERN, indicam que alguns de seus participantes buscam estar em consonância com a produção científica contemporânea, indo além daquela tradicionalmente explorada pelos professores nas aulas de Física. No entanto, ainda há um caminho importante a ser trilhado. É necessário desenvolver atividades didáticas de Física para o Ensino Médio com propostas claras e bem fundamentadas em subsídios teóricos-metodológicos. É preciso refletir e discutir sobre: a) o que se pretende ensinar em termos do conhecimento científico; b) como explorar a ciência como construção humana e em constante evolução conceitual; c) como explorar as influências recíprocas entre Ciência, Tecnologia e Sociedade; d) além do uso de aplicativos, jogos e simuladores para introduzir novos tópicos e explorar com mais detalhes alguns temas.

A necessidade de atualização curricular que chegue à inovação no Ensino de Física ainda é um desafio a ser superado. Essas transformações também devem ocorrer nos cursos de formação inicial e continuada de professores de Física, dadas as dificuldades apontadas em se trabalhar o conteúdo de Física de Partículas Elementares.

Finalizando, ressaltamos a relevância e a contribuição da Escola de Física CERN para que tais mudanças colaborem para a construção de uma sociedade mais informada e capaz de acompanhar os avanços da Ciência.

## Agradecimentos

À Sociedade Brasileira de Física (SBF), ao Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), ao Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas

(LIP), à Organização Europeia para Pesquisa Nuclear (CERN) e aos demais profissionais envolvidos na Escola de Física CERN.

## Referências

- [1] N.M.D. Garcia, em: *Nós, professores brasileiros de Física do Ensino Médio, estivemos no CERN*, organizado por N.M.D. Garcia (Livraria da Física, São Paulo, 2015).
- [2] P. Abreu, em: *Nós, professores brasileiros de Física do Ensino Médio, estivemos no CERN*, organizado por N.M.D. Garcia (Livraria da Física, São Paulo, 2015).
- [3] J. Zanetic, *Ciência e Cultura* **57**, 21 (2005).
- [4] J. Zanetic, em: *Física ainda é cultura?*, organizado por A.F.P. Martins (Livraria da Física, São Paulo, 2009).
- [5] A.F.P. Martins, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **32**, 703 (2015).
- [6] P. Cañal, A. García-Carmona e M. Cruz-Guzmán, *Didáctica de las Ciencias experimentales em educación primaria* (Ediciones Paraninfo, Madrid, 2016).
- [7] L.H. Sasseron e A.M.P. Carvalho, *Investigações em Ensino de Ciências* **16**, 59 (2011).
- [8] M.R.P. Siqueira, *Do visível ao indivisível: uma proposta de Física de Partículas elementares para o Ensino Médio*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo (2006).
- [9] BRASIL. *Base Nacional Comum Curricular: educação é a base*. Brasília, 2017.
- [10] G. Brockington e M. Pietrocola, *Investigações em Ensino de Ciências* **10**, 387 (2016).
- [11] F. Ostermann e M.A. Moreira, *Enseñanza de Las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas* **18**, 391 (2000).
- [12] I.S.C. Araújo, *Física moderna e contemporânea no Ensino Médio: tecendo conexões com os recursos da cultura digital*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (2020).
- [13] I.M. Greca e M.A. Moreira, *Investigações em Ensino de Ciências* **6**, 29 (2001).
- [14] G.S. Goulart e A.A. Leonel, *Revista Dynamis* **28**, 231 (2022).
- [15] A. D'agostin, *Física Moderna e Contemporânea: com a palavra professores do ensino médio*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba (2008).
- [16] A.P. Pereira e F. Ostermann, *Investigações em Ensino de Ciências* **14**, 393 (2009).
- [17] G.C.F. Pantoja, M.A. Moreira e E.V. Herscovitz, *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia* **4**, 1 (2011).
- [18] J.R.N. Silva, L.E. Arengi e A. Lino, *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia* **6**, 69 (2013).
- [19] C.R. Rocha, V.E. Herscovitz e M.A. Moreira, *Latin-American Journal of Physics Education* **12**, 1306 (2018).
- [20] G.M.D. Rosa e K.R. Halmenschlager, em: *XVIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física* (Florianópolis, 2020).
- [21] M.A. Monteiro, R. Nardi e J.B. Bastos Filho, *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias* **8**, 1 (2013).

- [22] C.Z. Busatto, J.C.R. Silva, N. Pansera Junior e C.A.S. Pérez, *Revista de Ciências Exatas Aplicadas e Tecnológicas da Universidade de Passo Fundo* **10**, 104 (2018).
- [23] R.R.P. Teixeira e R.H.R. Godoy, *Revista Iluminart* **19**, 98 (2021).
- [24] A.C. Pinto e J. Zanetic, *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **16**, 7 (1999).
- [25] W.T. Jardim, A. Guerra e A. Chrispino, em: *XIX Simpósio Nacional de Ensino de Física* (Manaus, 2011).
- [26] M. Costa e L.C. Garcia, em: *Cadernos PDE: Os Desafios da Escola Pública Paraense na Perspectiva do Professor PDE* (SEED/PR, Curitiba, 2014), v. 1.
- [27] A.R. Sabino e M. Pietrocola, *Investigação em Ensino de Ciências* **21**, 200 (2016).
- [28] M.F. Parisoto, M.A. Moreira e W.D. Almeida, *Física na Escola* **15**, 19 (2017).
- [29] F.K. Nóbrega e L.F. Mackedanz, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **35**, 1301 (2013).
- [30] F. Ostermann, *Tópicos de Física Contemporânea em escolas de nível médio e na formação de professores de Física*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (2000).
- [31] C. Schreiner e S. Sjøberg, *Acta Didactica 4: Sowing the Seeds of ROSE* (University of Oslo, Oslo, 2004).
- [32] A.M.S. Gouw, *As opiniões, interesses e atitudes dos jovens brasileiros frente à ciência: uma avaliação em âmbito nacional*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo (2013).
- [33] E. Swibank, *Physics Education* **27**, 87 (1992).
- [34] F. Ostermann e M.A. Moreira, *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **18**, 135 (2001).
- [35] J.L. Silva, *Física de Partículas: Possibilidades para o Ensino Médio*. Dissertação de Mestrado, Universidade Regional do Cariri, Juazeiro do Norte (2017).
- [36] G.C. Dorsch e T.C.C. Guio, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **43**, e20210083 (2021).
- [37] F. Caruso, A. Santoro e V. Oguri, *Partículas Elementares – 100 Anos de Descobertas* (Livraria da Física, São Paulo, 2012), 2 ed.
- [38] A. Chassot, *Alfabetização científica: questões e desafios para a educação* (Editora Unijuí, Ijuí, 2000).
- [39] A. Chassot, *Revista Brasileira de Educação* **2**, 89 (2003).
- [40] D. Gil e A. Vilches, *Revista Investigación en la Escuela* **43**, 27 (2001).
- [41] L.H. Sasseron e A.M.P. Carvalho, *Investigações em Ensino de Ciências* **13**, 333 (2008).
- [42] E.A. Terrazzan, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **9**, 209 (1992).
- [43] F. Ostermann e C.J.H. Cavalcanti, *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **16**, 267 (1999).
- [44] F. Ostermann, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **21**, 415 (1999).
- [45] M.A. Moreira, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **31**, 1306 (2009).
- [46] R.R. Gomes, *O modelo padrão no Ensino Médio: Um tratamento elementar*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba (2017).
- [47] X.C. Vidal e R.C. Manzano, *Física na Escola* **11**, 16 (2010).
- [48] W.F. Balthazar e A.L. Oliveira, *Partículas Elementares no Ensino Médio: uma abordagem a partir do LHC* (Livraria da Física/Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, São Paulo/Rio de Janeiro, 2010).
- [49] M.M. Pereira, *Física na Escola* **12**, 37 (2011).
- [50] F.B. Kneubil, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **35**, 2401 (2013).
- [51] A.G. Santos e S.S. Fernandes, *Física de Partículas no Ensino Médio: propostas didáticas com abordagens diversas*, disponível em: [http://www.if.ufrj.br/\\$\sim\\$pef/producao\\_academica/anais/2013\\_almir\\_2.pdf](http://www.if.ufrj.br/$\sim$pef/producao_academica/anais/2013_almir_2.pdf)
- [52] M.F.S. Alves e L.G. Costa, em: *II Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia* (Ponta Grossa, 2010). Disponível em: <http://www.sinect.com.br/anais2010/artigos/EF/85.pdf>
- [53] G.C. Silva e P.M. Sousa, em: *II Congresso Brasileiro de Informática na Educação* (Campinas, 2013).
- [54] L.R. Ré, *Física de Partículas na escola: um jogo educacional*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis (2016).
- [55] M.A.M. Souza, A.C.S. Nascimento, D.F. Costa e O. Ferreira, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **41**, e20180124 (2019).
- [56] L.L. Silva, *Ludus Scientiae* **3**, 46 (2019).
- [57] V.B. Jerzewski, *Partículas elementares e interações: uma proposta de mergulho no ensino e aprendizagem através de uma sequência didática interativa*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande (2015).
- [58] L.C.O. Castilho, *Ensino de partículas no Ensino Médio*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda (2018).
- [59] L.B. Calheiro e I.K. Garcia, *Investigações em Ensino de Ciências* **19**, 117 (2014).
- [60] R. Gombrade e L. Londero, em: *XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências* (Florianópolis, 2017).
- [61] E. Mozena, *Investigando enunciados sobre a interdisciplinaridade no contexto das mudanças curriculares para o Ensino Médio no Brasil e no Rio Grande do Sul*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (2014).
- [62] L.S. Pinheiro, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **32**, 517 (2015).
- [63] D. Schäffer, F.K. Schumacker e G. Orengo, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **42**, e20200018 (2020).
- [64] L. Bardin, *Análise de conteúdo* (Edições 70, São Paulo, 2016).
- [65] E.F. Mortimer, *Investigações em Ensino de Ciências* **1**, 20 (1996).
- [66] S.S. Peduzzi, em: *Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora*, organizado por M. Pietrocola (Editora da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001).
- [67] A.M.P.D.C. Carvalho e D.G. Perez, em: *Ensinar a ensinar: didática para a escola fundamental e média*, organizado por A.D. Castro e A.M.P. Carvalho (Pioneira, São Paulo, 2001).
- [68] R. Nardi e S.R.T. Gatti, *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências* **6**, 115 (2004).

- [69] L. Londero, *Revista de la Facultad de Ciencia y Tecnología spe*, 588 (2014).
- [70] B.M. Duarte e S.C. Zanatta, *Paradigma* **37**, 26 (2016).
- [71] A. Zabala, *Como trabalhar conteúdos procedimentais em aula* (Artes Médicas Sul, Porto Alegre, 1999).
- [72] A. Zabala e L. Arnau, *Como aprender e ensinar competências* (Artmed, Porto Alegre, 2010).
- [73] W. Harlen, *Principles and big ideas of Science Education* (Association for Science Education, Hatfield, 2010).
- [74] E. Pedrinaci, em: *El desarrollo de la competencia científica: 11 ideas clave*, coordenado por E. Pedrinaci (Graó, Barcelona, 2012).
- [75] G. Watanabe, I. Gurgel e M.G. Munhoz, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **36**, 1503 (2014).
- [76] M. Pessanha e M. Pietrocola, *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências* **16**, 361 (2016).
- [77] J.M. Pereira e L. Londero, em: *XX Simpósio Nacional de Ensino de Física* (São Paulo, 2013). Disponível em: <https://sec.sbfisica.org.br/eventos/snef/xx/sys/resumos/T0680-1.pdf>
- [78] G.K. Ferreira, A.M. Paz, K.B. Albuquerque, T.F.M. Santos e I.M. Santos, em: *XX Simpósio Nacional de Ensino de Física* (São Paulo, 2015). Disponível em: <https://sec.sbfisica.org.br/eventos/snef/xxi/sys/resumos/T0638-1.pdf>
- [79] R. Araújo e V.S. Dias, em: *XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física* (São Carlos, 2017). Disponível em: <https://sec.sbfisica.org.br/eventos/snef/xxii/sys/resumos/T1093-2.pdf>
- [80] L.D. Oliveira, em: *IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências* (Águas de Lindóia, 2013). Disponível em: [https://abrapec.com/atas\\_enpec/ixenpec/atas/resumos/R1266-1.pdf](https://abrapec.com/atas_enpec/ixenpec/atas/resumos/R1266-1.pdf)
- [81] T.G. Banheza e M.I.A. Jardim, em: *X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências* (Águas de Lindóia, 2015). Disponível em: <https://www.abrapec.com/enpec/x-enpec/anais2015/resumos/R1135-1.PDF>
- [82] K.S. Coelho e R.M.G. Silva, em: *X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências* (Águas de Lindóia, 2015). Disponível em: <https://www.abrapec.com/enpec/x-enpec/anais2015/resumos/R0503-1.PDF>
- [83] G. Mosinahti e L. Londero, em: *XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências* (Florianópolis, 2017).
- [84] A. Zabala, *A prática educativa: como ensinar* (Artes Médicas Sul, Porto Alegre, 1998).
- [85] D. Delizoicov e J.A. Angotti, *Física* (Cortez, São Paulo, 1990).
- [86] L.J.B. Mazeti, *Sequência didática: uma alternativa para o ensino de acústica no Ensino Médio*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba (2017).