

DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA E FÍSICA DE PARTÍCULAS **Rodrigo Henrique Revelete Godoy¹, Ricardo Roberto Plaza Teixeira²**

Resumo

Este trabalho investiga as possibilidades existentes para atividades de extensão de divulgação científica envolvendo a física das partículas elementares, bem como os conhecimentos dos alunos acerca deste assunto. Foi feita uma extensa revisão bibliográfica da literatura científica existente, em dissertações de mestrado, teses de doutorado, livros voltados para a difusão da ciência, artigos de revistas científicas e trabalhos apresentados em congressos acadêmicos, sobre atividades de ensino e divulgação científica acerca de física de partículas para fundamentar a estruturação de atividades educacionais com essa temática que foram realizadas para alunos da educação básica de escolas públicas do litoral norte paulista ao longo do ano de 2017. Os resultados destas atividades ajudam a compreender melhor os modos como podem ser implementadas apresentações sobre física de partículas para diferentes tipos de públicos. Nas ações feitas e que foram objeto de investigação durante essa pesquisa, diversos alunos manifestaram um expressivo interesse pelo estudo da área de física de partículas.

Palavras-chave: Divulgação da ciência; História da física; Modelo padrão; Partícula elementar; Educação científica.

SCIENCE DISSEMINATION AND PARTICLE PHYSICS

Abstract

This work investigates the existing possibilities for extension scientific dissemination activities involving elementary particle physics, as well as the students' knowledge about this subject. An extensive bibliographic review of the existing scientific literature, in master's dissertations, doctoral theses, books aimed at the dissemination of science, articles in scientific journals and works presented at academic congresses, on teaching and scientific dissemination activities on particle physics was carried out to support the structuring of educational activities with this theme that were carried out for basic education students in public schools on the north coast of São Paulo along the year 2017. The results of these activities help to better understand the ways in which particle physics topics can be implemented for different types of audiences. In the actions taken and which were the object of investigation during this research, several students expressed an expressive interest in studying the field of particle physics.

Keywords: Dissemination of science; History of physics; Standard model; Elementary particle; Science education.

DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y FÍSICA DE PARTÍCULAS

Resumen

Este trabajo investiga las posibilidades existentes para las actividades de extensión de divulgación científica que involucran la física de partículas elementales, así como el conocimiento de los estudiantes sobre este tema. Se realizó una extensa revisión bibliográfica de la literatura científica existente, en disertaciones de maestría, tesis doctorales, libros destinados a la divulgación de la ciencia, artículos en revistas científicas y trabajos

¹ Licenciado em Física (IFSP - Caraguatatuba), e-mail: rodrigohenrique30ifsp@gmail.com

² Doutor em Física Nuclear (USP), IFSP-Caraguatatuba, Professor Titular, e-mail: rteixeira@ifsp.edu.br

presentados em congressos acadêmicos, sobre actividades de docencia y divulgación científica sobre física de partículas para apoiar la estructuración de actividades educacionales com este tema que se llevaron a cabo para estudantes de educación básica de escuelas públicas de la costa norte de São Paulo a lo largo de 2017. Los resultados de estas actividades ayudan a comprender mejor las formas en que las presentaciones de física de partículas pueden implementarse para diferentes tipos de audiencias. En las acciones realizadas y que fueron objeto de investigación durante esta investigación, varios estudiantes expresaron un interés expresivo por el estudio del campo de la física de partículas.

Palabras-clave: Difusión de la ciencia; Historia de la Física; Modelo estándar; Partícula elemental; Enseñanza de las ciencias.

Introdução

Este artigo tem como objetivo investigar as possibilidades existentes para a realização atividades de extensão de divulgação científica envolvendo a física das partículas elementares e o estudo do modelo padrão, bem como os conhecimentos existentes entre os alunos acerca destes temas. A principal questão que norteou essa pesquisa foi compreender como o trabalho com um tópico de fronteira da ciência, como é o caso da física de partículas, em atividades de divulgação da ciência junto a alunos da educação básica pode colaborar para que se estruture uma melhor compreensão sobre como conhecimentos científicos são produzidos.

Após a introdução inicial, é desenvolvida a fundamentação teórica que embasou a pesquisa realizada, com uma revisão bibliográfica da literatura científica em três subáreas: na história da física de partículas, no ensino sobre física de partículas e na divulgação científica acerca da física de partículas. Na sequência, são descritas e analisadas as atividades de divulgação científica sobre física de partículas que foram realizadas, bem como são expostos e discutidos os seus resultados. Ao término, são feitas as considerações finais.

A física moderna e contemporânea, desenvolvida nos séculos XX e XXI, se apresenta como um corpo de conhecimento instigante para muitos jovens, dentre outros motivos, por abordar conhecimentos científicos que foram produzidos mais recentemente e que estão relacionados com o desenvolvimento tecnológico atual (OSTERMANN, 2001). As crianças e os adolescentes estão frequentemente em contato com linguagens e conceitos de áreas como a relatividade, a mecânica quântica, a física de partículas e a astrofísica, pela mídia ou pelo uso das novas tecnologias, como o computador e o GPS, que envolvem aplicações da física, e isso pode ser usado no âmbito educacional.

Conhecimentos sobre física moderna e contemporânea são necessários para se compreender mais plenamente tanto os artefatos tecnológicos do mundo atual, quanto as descobertas mais recentes acerca do universo em nível microscópico e macroscópico: assim, é importante que os cidadãos se apropriem destes conhecimentos, o que permite que eles se tornem mais conscientes sobre os avanços científicos e tecnológicos e possam participar dos debates a respeito (TERRAZZAN, 1992). É paradoxal que mesmo que o estilo de vida comum na sociedade atual esteja cada vez mais dependente de tecnologias que são fortemente baseadas na produção científica contemporânea, a maior parte dos cidadãos que constituem essa mesma sociedade está à margem da compreensão, mesmo que em um nível básico, dos conceitos científicos que fundamentam este mesmo desenvolvimento tecnológico (SILVA, 2015). Para a formação plena de um cidadão consciente e participativo, é necessário proporcionar a ele o acesso aos conhecimentos científicos produzidos pelo esforço coletivo da humanidade e que fazem parte da cultura humana, não apenas na forma de conteúdos disciplinares específicos, mas também naquilo que diz respeito às implicações da ciência para a visão que temos do mundo (OSTERMANN; CAVALCANTI, 2001).

O interesse pela física moderna e contemporânea se apresenta consideravelmente disseminado entre a juventude: diversos estudantes universitários que decidem estudar em um curso de graduação de física, afirmam que escolheram esse curso para buscarem compreender melhor assuntos desta área da física (STANNARD, 1990). Este tipo de curiosidade manifestada por diversos alunos, por exemplo, acerca da natureza do mundo microscópico (física de partículas) ou das características do universo em escala cósmica (astrofísica), pode ser utilizado para incentivar estes alunos a se aprofundarem em estudos nestas áreas.

História da Física de Partículas

O modelo padrão de partículas é a melhor teoria científica que temos para explicar a natureza dos constituintes fundamentais da matéria (MOREIRA, 2009), as chamadas partículas elementares, que pelo fato de não poderem ser quebradas, não possuem estrutura interna (ABDALLA, 2006). No transcorrer de mais de um século, desde a descoberta inicial do elétron na última década do século XIX até a descoberta do bóson de Higgs na segunda década do século XXI, a física das partículas elementares foi se constituindo como uma nova disciplina científica (VIDEIRA; FRANCISQUINI, 2018), um processo que esteve relacionado não somente às características dos fenômenos estudados, mas que também foi resultado das atividades humanas e que esteve condicionado por fatores sociais, políticos e econômicos.

A proposta de que prótons e nêutrons (hádrons) apresentavam uma estrutura interna e podiam ser explicados tratando-os como um trio de outras partículas (que foram denominadas de quarks) foi feita em 1964, de modo independente, pelos físicos Murray Gell-Mann (1929-2019) e George Zweig (1937-). Deste modo, as centenas de partículas que tinham sido descobertas até aquela época poderiam ser explicadas como combinações de poucas partículas que seriam, deste modo, mais fundamentais. Isto despertou o interesse de físicos experimentais que passaram a pensar em experimentos que pudessem encontrar estas partículas. Os primeiros três tipos de quarks cuja existência foi comprovada foram os quarks “u”, “d” e “s”: estes são – juntamente com léptons, como os elétrons – alguns dos verdadeiros “átomos” constituintes da natureza, as partes da matéria que realmente são indivisíveis (SILVA NETO, 2011).

O modelo padrão – que procura explicar as características de quarks, léptons e bósons, de um modo consistente – não é uma teoria acabada e definitiva, até porque não abrange a interação gravitacional: ele é, como foram anteriormente outras teorias científicas ao longo da história, uma verdade provisória e que em algum momento será modificada, complementada ou extrapolada para tentar explicar melhor novos fenômenos que serão observados experimentalmente e, inclusive, eventualmente, que dará lugar a uma nova teoria que tenha uma abrangência maior e explique um pouco mais que o modelo padrão (SILVA, 2016).

Ensino de Física de Partículas

Uma abordagem proveitosa em termos educacionais para o ensino da física das partículas elementares pode ser realizada a partir de alguns episódios históricos específicos que podem ser usados como base para discussões a respeito da natureza da ciência (COSTA, 2015): isto pode ajudar a desconstruir noções equivocadas acerca da natureza do conhecimento científico e colaborar para a elaboração de concepções mais realistas sobre a ciência.

A abordagem didático-histórica de conceitos de física de partículas em atividades educacionais permite trabalhar com aspectos teóricos relevantes desta disciplina e contextualizar os motivos pelos quais determinados conceitos e princípios da área foram criados; a construção coletiva, por alunos juntamente com o professor, de uma linha do tempo que evidencie a evolução das ideias apresentadas, por exemplo, é interessante em termos pedagógicos, por possibilitar um envolvimento maior dos alunos no processo de aprendizagem (SOUSA, 2016). Neste caso, é sempre importante ter em mente que quando se

utiliza um determinado recorte da História da Ciência, se está propagando uma concepção de como a ciência foi construída (FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2011): o compromisso real com a formação do aluno requer, portanto, que se evite o uso da pseudo-história e que o professor se municie de um mínimo de fundamentação teórica para problematizar os eventos históricos e os conceitos científicos abordados. Para uma melhor compreensão acerca do processo de construção histórica dos conhecimentos na área da física de partículas é importante compreender os modelos explicativos que estiveram vigentes no passado e problematizar as suas inconsistências (VIANA, 2020).

A tabela periódica dos elementos e o modelo padrão das partículas elementares, compartilham alguns pontos em comum que são de grande relevância para a ciência moderna: a revelação da importância das simetrias e o seu caráter preditivo (CARUSO; OGURI, 1997). Paralelos históricos e científicos, como este, podem ser usados de modo proveitoso como um recurso didático em atividades de ensino acerca da física das partículas, o que permite aprofundar questões sobre a natureza da ciência, sobre a importância da história da ciência e sobre as características das teorias abordadas.

O estudo das partículas elementares e das interações fundamentais permite que o estudante esteja em contato real com a física que está sendo construída nos dias de hoje. Devido a este fator, é possível promover uma maior interação do aluno com o conhecimento científico, a partir do contato com questões que ainda não foram respondidas e com teorias que estão em processo de construção. Isto permite uma melhor compreensão sobre o pensar e o fazer na ciência, desmistificando visões equivocadas acerca do método científico (PINHEIRO, 2011).

Para que o processo de aprendizagem ocorra da maneira mais efetiva possível, é importante que os conteúdos da física de partículas sejam apresentados de forma interativa e dialogada, levando em consideração as indagações e os conhecimentos prévios dos estudantes, despertando a curiosidade deles, propondo desafios e incentivando posturas investigativas frente a problemas não resolvidos (JERZEWSKI, 2015).

Algumas notícias com características sensacionalistas e distorcidas, veiculadas pela mídia – e, também, pelas redes sociais – sobre a física de partículas, provocaram concepções errôneas a respeito dos temas envolvidos, uma vez que muitas pessoas não possuem os conhecimentos necessários para uma compreensão mais plena dos assuntos tratados. Como a física de partículas não é muito abordada na escola básica, há uma ausência de conhecimentos sobre este tópico por parte da população, de modo geral, e muitos, ao se depararem com informações, por exemplo, sobre as energias envolvidas em aceleradores de partículas, não

são capazes de analisar criticamente e compreender o assunto (MOSINAHTI, 2018): os temores e medos manifestados por muitas pessoas na época em que o LHC começou a funcionar são um exemplo disto. Esta é também uma justificativa para a realização de atividades extensionistas de divulgação científica sobre física de partículas, pois elas colaboram para promover a alfabetização científica e ampliar a consciência dos cidadãos acerca da natureza do fazer científico, desmistificando alegações infundadas e informações inverídicas.

A tomada de consciência das relações existentes entre Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) colabora para a percepção pelos alunos acerca da não neutralidade das relações tecno-científicas, de modo que eles se tornem mais críticos e percebam a importância da apropriação de conhecimentos científicos para que possam ter argumentos e legitimidade na defesa de seus direitos e interesses. O uso das controvérsias científicas – como, por exemplo, sobre a quantidade de recursos financeiros que deveriam ser alocados para o desenvolvimento científico ou sobre os tipos de pesquisas que estes recursos deveriam financiar – em atividades de ensino e de extensão pode auxiliar os alunos a se perceberem como parte afetada e a estruturarem alguns critérios que permitam que eles se posicionem diante dos debates. Os próprios alunos são levados então a reconhecerem, por si mesmos, a necessidade de adquirir conhecimentos científicos para que seus posicionamentos ocorram com a autoridade da razão e o embasamento da ciência (ALVES; PARIZOTTO; GENOVESE, 2015). A reflexão acerca da importância da construção de um acelerador de partículas como o LHC na Europa ou do acelerador Sirius, em Campinas, no Brasil, pode ser um elemento motivador para debates que são benéficos para a formação cidadã dos alunos.

As explicações acerca dos aceleradores de partículas são importantes, mas elas não podem levar os alunos ao equívoco de pensarem que as partículas elementares só existem em aceleradores e que, portanto, se encontram distantes do dia a dia dos cidadãos, o que, obviamente, não é verdade, pois as partículas elementares são os constituintes fundamentais de tudo que está a nossa volta e de nós mesmos. Para evitar este tipo de concepção, é importante combinar o ensino de partículas elementares com a realidade dos alunos que são incentivados, no processo, a transitarem a partir das suas concepções prévias até a apropriação dos conhecimentos científicos produzidos pela humanidade (BANHEZA; JARDIM, 2015).

Em atividades de ensino e divulgação científica sobre física de partículas é crucial trabalhar as capacidades de imaginação e de abstração dos alunos. As imagens comuns que os estudantes constroem a respeito das partículas têm implicações que geram impactos nas interpretações feitas usando-se a física clássica e a física quântica. Assim, as imagens

produzidas sobre as partículas pelos alunos no âmbito da física clássica não devem ser simplesmente apagadas na aprendizagem da física quântica, mas sim resgatadas e analisadas de forma crítica para que possam colaborar para a superação dos obstáculos epistemológicos existentes para a compreensão de conceitos de física quântica (JESUS NETO; SILVA, 2015).

Divulgação Científica sobre Física de Partículas

O conhecimento científico e tecnológico tornou-se um recurso humano e econômico indispensável na atual sociedade da informação: a tarefa de democratizar o acesso a ele é premente. Isto implica na necessidade de aproximá-lo da cultura popular e de dialogar com toda a sociedade por meio de uma linguagem menos prolixa e mais acessível do que aquela normalmente associada ao discurso da ciência, de modo a conseguir debater com os cidadãos sobre temas científicos relevantes e contemporâneos (ANDRADE; GERMANO, 2005). Este é um dos principais desafios atuais da popularização da ciência.

A divulgação científica tem como intuito veicular e refletir sobre informações científicas, tecnológicas ou associadas a inovações aos cidadãos do público leigo, pela utilização de determinados recursos, técnicas e processos (BUENO, 2010), bem como contextualizar estas informações (MARQUES, 2017) e promover um melhor entendimento sobre elas.

O uso da internet para propagar mentiras e notícias falsas, de modo a confundir as pessoas para obter ganhos pessoais, financeiros ou políticos é um perigo para a ciência e para a sociedade em geral, e é algo que também tem que ser levado em consideração no campo da física de partículas: as atividades de divulgação científica podem colaborar neste esforço, ao incluir componentes introdutórios que expliquem ao público leigo de modo real como ocorre o processo científico (GOLDFARB, 2018). A pesquisa é financiada por recursos advindos dos impostos pagos pelos cidadãos e, portanto, é vital explicar a respeito dos resultados científicos obtidos com estes recursos e dos métodos que foram usados para a obtenção destes resultados.

A divulgação da ciência é um processo que beneficia tanto os cientistas quanto o público atingido e provoca diversos tipos de benefícios: motiva e nutre a próxima geração de cientistas; informa sobre o *know-how* acumulado, a experiência desenvolvida e os conhecimentos adquiridos pela ciência para o público, o que colabora para a manutenção de um financiamento público mínimo para pesquisa, ao estimular o entusiasmo pelos conhecimentos advindos desta pesquisa; contribui para a alfabetização científica e para o combate a concepções equivocadas, a pseudociências e a movimentos de negação da ciência; melhora os vínculos entre a comunidade científica e a sociedade; ajuda a incluir aqueles que

têm menos acesso à investigação e, em particular, os jovens de grupos pouco representados nas áreas científicas; conquista um maior apoio para o campo da ciência; enfim, tira o cientista da zona de conforto, ajudando-o pensar sobre o seu próprio trabalho sob uma perspectiva mais ampla e, inclusive, melhorando suas habilidades de ensino e comunicação (MEHLHASE, 2019).

No diálogo entre cientistas e público externo é importante compreender a diversidade cultural e as demandas específicas de cada tipo de público, para que o processo de interação seja o mais cooperativo possível; é essencial também superar a caricatura do trabalho científico que é tão disseminada socialmente (o cientista distraído, o cientista louco, o cientista vilão, o cientista sem vínculos sociais etc.) e apresentar a realidade do processo de fazer ciência que não é linear, mas sim contraditório, cheio de idas e vindas e, muitas vezes, confuso, ao contrário do que acontece com as reconstruções racionais que são feitas a posteriori no âmbito da história da ciência. É importante também que existam incentivos para que os cientistas busquem aproximações com seu entorno social e percebam a relevância da interação e do diálogo com a sociedade, para além dos espaços internos de produção da ciência, de modo a colaborar com a tarefa importante de ampliar o reconhecimento da ciência pela sociedade. Quando os pesquisadores decidem trabalhar em prol da divulgação científica, isto deve ter um impacto positivo nas suas carreiras, em vez de ser considerada apenas uma atividade diletante e externa à vida profissional (WATANABE; KAWAMURA, 2017).

O trabalho com atividades de extensão (apresentações audiovisuais e minicursos abertos ao público leigo, por exemplo) acerca da física de partículas, é importante, pois aproxima os seus participantes dos cientistas, proporciona um panorama mais realista acerca da ciência e sobre como ela é desenvolvida, desperta a curiosidade dos alunos para esta área da física e complementa o currículo do ensino médio que, muitas vezes, por diferentes motivos, não abarca temas de física de partículas (BATISTA, 2012).

Um recurso comum em aulas e atividades de divulgação científica é a apresentação de imagens explicativas, entretanto é necessário um cuidado especial quanto a isto no caso da física de partículas que trata do mundo microscópico em escalas muito menores do que aquelas que podem ser “observadas” com a luz visível. A opacidade de muitas das imagens sobre partículas (fotografias de seus rastros, ilustrações tentando representá-las etc.) faz com que, para que elas possam fazer sentido para os alunos, seja fundamental criar narrativas que estabeleçam relações entre as imagens apresentadas e outros conhecimentos e formulações (JESUS NETO, 2019). É necessário prudência com a ideia da imagem de uma partícula como um corpúsculo, uma “bolinha”, uma esfera minúscula ocupando um lugar bem definido no

espaço, pois isto pode se tornar um obstáculo representacional para a aprendizagem em um nível mais profundo, já que de acordo com a mecânica quântica, as partículas não têm uma existência situada, ou seja, não podem ser localizadas com precisão no espaço (MOREIRA, 2007). O conceito de partícula elementar depende de uma teoria a qual ele se reporta: por exemplo, na mecânica quântica, uma partícula é elementar quando a sua função de onda – que é uma solução da equação de Schrödinger – não é redutível à função de onda de outras partículas, enquanto na mecânica clássica, a partícula pode ser concebida como um tipo de corpúsculo (PEDUZZI, 2019).

Procedimentos Metodológicos

As partículas elementares e as interações fundamentais da natureza constituem uma área muito profícua para o desenvolvimento de metodologias de ensino inovadoras sobre a natureza microscópica da matéria. No âmbito desta pesquisa, inicialmente, foi realizada uma ampla e robusta revisão bibliográfica, tanto sobre os conhecimentos existentes atualmente sobre a física de partículas e o modelo padrão, quanto sobre a área de ensino de ciências que estuda a respeito da inserção, no âmbito da educação básica, de temas de física de partículas e, de modo mais geral, de tópicos de física moderna e contemporânea. Esta pesquisa bibliográfica foi feita em dissertações de mestrado, teses de doutorado, livros, artigos de revistas científicas e trabalhos apresentados em congressos acadêmicos.

Deste modo, em 2017, os autores deste trabalho planejaram atividades de extensão de divulgação científica sobre tópicos de física de partículas, com o objetivo de transcender o ambiente universitário e que foram realizadas para alunos de escolas públicas do litoral norte paulista. Para viabilizá-las foram intensificados os contatos dos autores deste artigo, que atuam no âmbito do campus de Caraguatatuba do Instituto Federal de São Paulo (IFSP), com gestores e professores das escolas públicas da região, que foram visitadas para a realização das apresentações, o que colaborou para o estreitamento de laços entre uma instituição formadora de professores de física e matemática (como ocorre com o IFSP-Caraguatatuba, que abriga os cursos de licenciatura em física e de licenciatura em matemática) e as instituições públicas da educação básica situadas no seu entorno.

Estas ações foram fundamentais para fornecer subsídios e dados para esta pesquisa, sobretudo com a experiência que foi sendo construída ao longo do processo. Este trabalho se enquadra na linha de pesquisa que investiga a inserção de tópicos de física moderna e contemporânea na educação básica. No seu percurso foi utilizada uma abordagem qualitativa (RICHARDSON, 1989) de caráter exploratório com os pesquisadores e autores deste artigo

estimulando os participantes a refletirem sobre os conceitos apresentados e a se apropriarem dos conhecimentos existentes acerca da área de física de partículas.

As ações realizadas procuraram ampliar o acesso dos jovens ao conhecimento científico consolidado por meio de estratégias de comunicação de popularização da ciência. Os seus objetivos foram: apresentar tópicos da física de partículas ao público; testar recursos didáticos e criar estratégias diversificadas para o ensino da física de partículas; expor os métodos usados pela ciência na busca por soluções para os problemas que encontra; retratar e refletir sobre a forma como os cientistas pensam e agem; melhorar os níveis de alfabetização científica dos participantes; combater conhecimentos errôneos disseminados pelas pseudociências e por movimentos de negação da ciência; aproximar a população da ciência.

Ampliar a apropriação de conhecimentos científicos pela população em geral é algo absolutamente necessário para uma nação que pretende se desenvolver tanto tecnologicamente como socialmente. As metodologias usadas nas apresentações tiveram o intuito de atingir a maior quantidade de estudantes possíveis, com estratégias de transposição didática que procuraram tornar os temas abordados os mais compreensíveis, sem distorcê-los.

As apresentações foram planejadas para uma duração entre 20 e 30 minutos. Elas foram inicialmente estruturadas em três partes. A primeira parte tinha como objetivo fazer uma breve recapitulação histórica acerca da história da ideia de átomo desde a antiguidade grega, partindo da abordagem filosófica feita por Demócrito de Abdera (460 a.C.-370 a.C.) até o conceito atômico estruturado nas primeiras décadas do século XX por Ernest Rutherford (1871-1937) e Niels Bohr (1885-1962). O caráter multidisciplinar da apresentação procurou trabalhar com metodologias que enfatizaram a perspectiva da construção histórica dos conhecimentos científicos pela humanidade, salientando como eles tornaram-se relevantes em termos sociais.

A segunda parte da apresentação abordou o Modelo Padrão das Partículas Elementares e a sua história. Este modelo começou a ser desenvolvido na década de 1960, com o objetivo de entender e classificar as partículas consideradas elementares (quarks, léptons, bósons) e que, portanto, pelo que se sabe até hoje, não têm estrutura interna. Esta abordagem objetivou facilitar a exposição sobre as características das partículas e o modo como um determinado desenvolvimento teórico ou descoberta experimental provoca novas e muitas vezes inesperadas possibilidades para o avanço da ciência. Esta etapa permitiu abordar um pouco acerca da vida de alguns cientistas envolvidos nas descobertas de novas partículas e, em particular, da vida do físico brasileiro Cesar Lattes (1924-2005) e do seu papel na descoberta do pión (ou méson π). No fim desta etapa, era apresentada uma tabela explicativa

do modelo padrão de partículas consolidado atualmente. Uma ênfase foi conferida para as diferentes “famílias” de partículas, evidenciando a forma como a evolução histórica do modelo padrão de partículas procurou proporcionar sentido e lógica à física de partículas, o que se materializou na previsão de novas partículas e na confirmação de algumas dessas previsões.

Na terceira e última parte das apresentações eram descritas e analisadas as quatro interações fundamentais da natureza (eletromagnética, nuclear forte, nuclear fraca e gravitacional) com o intuito de explicar as suas características principais e as formas como elas se manifestavam no mundo microscópico, comparando-as com as forças comuns da mecânica clássica que atuam no nosso dia a dia e que geralmente são estudadas no primeiro ano do ensino médio. Pelo seu caráter muito abstrato e conceitual, geralmente este é um tema considerado mais difícil de ser entendido, mas o modelo padrão permite uma compreensão sobre como as interações fundamentais se manifestam entre as partículas elementares, algo que é diferente, em certo sentido, do conceito de força na física clássica. Uma estratégia utilizada para evidenciar a fundamentação experimental da física de partículas, foi enfatizar a importância do LHC (*Large Hadron Collider*) e de outros aceleradores de partículas para a obtenção de dados que confirmam algumas das características do modelo padrão.

Nesta última etapa, durante as apresentações, foram feitas perguntas problematizadoras aos alunos, com o intuito de provocar o debate e a reflexão sobre como surgem as forças comuns da mecânica newtoniana, tais como as forças normal, atrito, de resistência do ar, de tração e elástica. O cenário esperado era que os alunos ficassem mais propícios, após essas discussões, para explicações sobre como a natureza dessas forças está relacionada diretamente com as interações fundamentais, e estabelecessem relações entre as interações fundamentais e os fenômenos observados macroscopicamente. Também foi enfatizada a forma como o modelo padrão explica as interações por meio da troca de certas partículas, os chamados bósons mediadores que as transmitem e são responsáveis por elas.

Essas atividades foram planejadas de modo que a interação com o público incentivasse a participação dos presentes. Para realizá-las foram necessários os seguintes recursos: notebooks, projetores de slides (*datashows*) acoplados a caixas de som, uma tela ou parede branca para a projeção e uma sala que não tivesse muita claridade e fosse razoavelmente silenciosa. Os recursos tecnológicos utilizados permitiram o uso de programas computacionais para a exibição de apresentações (como o *powerpoint*) juntamente com imagens, vídeos, animações e simulações, o que facilitou o processo de ensino e aprendizagem. Com o intuito de motivar o debate, as apresentações utilizaram algumas

notícias sobre os temas abordados, inclusive com alegações alarmistas e sem embasamento científico que foram veiculadas pelas redes sociais quando o LHC começou a funcionar.

Todas as escolas nas quais foram realizadas as atividades de extensão de divulgação científica tinham pelo menos um projetor de slides disponível, tornando o seu uso bastante viável; entretanto, se em algum caso isto não ocorresse, os autores deste trabalho tinham a possibilidade adicional de levar um projetor de slides do IFSP-Caraguatatuba para a escola em questão.

Nas apresentações foram feitas perguntas aos alunos para avaliar tanto os conhecimentos prévios (de modo a levá-los em consideração), quanto aqueles que foram adquiridos e apropriados durante a própria apresentação. Também foram sugeridos aos alunos livros, sites e documentários para aqueles que desejassem se aprofundar sobre o tema.

Resultados

Em 2017, os autores deste artigo realizaram atividades de extensão de divulgação científica sobre física de partículas em nove escolas públicas situadas no litoral norte de São Paulo. Em dois casos, as apresentações foram feitas para alunos dos últimos anos do ensino fundamental de duas escolas municipais de Caraguatatuba. Nos outros sete casos as apresentações foram feitas para alunos de ensino médio de sete escolas estaduais, seis delas situadas no município de Caraguatatuba e uma situada no município de São Sebastião. Em todas as nove apresentações, os dois autores deste artigo estiveram presentes. Todas as apresentações foram feitas em salas das próprias instituições de ensino visitadas, com apenas uma exceção: neste caso a apresentação ocorreu em um ambiente do próprio IFSP-Caraguatatuba, durante uma visita dos alunos dessa escola.

O público atingido pelas atividades constituiu-se de alunos adolescentes, em geral na faixa etária entre 13 e 17 anos. No total, cerca de 240 alunos participaram das nove atividades. O número de participantes de cada atividade variou entre 15 e 40 alunos que eram selecionados pelos gestores e professores das instituições de ensino visitadas, tendo como um dos critérios a manifestação de um maior interesse por disciplinas das áreas das ciências naturais. A duração de cada atividade era geralmente entre 20 e 30 minutos. De modo sistemático, as apresentações contaram com uma presença maior de meninas em relação à presença de meninos, o que é um dado significativo, pois indica que há, no nível da educação básica, um grande contingente de meninas interessadas por temas de física, enquanto nos cursos de graduação de nível superior de física existentes no país, há geralmente uma presença consideravelmente maior no corpo discente de rapazes em relação a moças, o que

tem sido observado, por exemplo, no curso de Licenciatura em Física do IFSP-Caraguatatuba entre 2017 e 2021.

Em um caso, a apresentação contou com a participação de um aluno com deficiência visual, mas os problemas que poderiam advir deste fato foram contornados com o apoio dos profissionais de educação da escola em questão e com o uso de algumas estratégias e recursos didáticos que ajudaram nas explicações feitas sobre física de partículas.

Dentre as dificuldades encontradas para a realização destas apresentações, podemos citar: a carência de fontes para embasamento teórico sobre física de partículas, em língua portuguesa; a falta de imagens e vídeos com relação ao tema; a necessidade de abstração para a compreensão de alguns conceitos de física de partículas; a falta de alguns conhecimentos prévios dos alunos para um melhor entendimento dos conteúdos.

Um número de nove (9) alunos que assistiram as apresentações concordou em responder três questões específicas sobre os temas abordados, ao final delas. Vamos a seguir comentar as respostas dadas pelos alunos para estas questões.

A primeira pergunta questionou o aluno sobre o que ele julgava ser a ciência. Dentre as respostas dadas estão: “Ciência é a área que estuda as possibilidades e não tem medo de descobrir o novo e enfrentar o desconhecido”; “O ato de refletir e se relacionar com o mundo”; “Descobrimento”; “Tudo! De que tudo é formado por partículas”; “Para mim ciência representa todo o conhecimento adquirido através do estudo ou da prática, baseando em princípios certos”; “Tudo sobre planetas, descobrimentos de fórmulas para cura etc.”; “A matéria que estuda tudo o que existe”; “O que estuda ao nosso redor, o ambiente, desde pequenas células até grandes espaços da natureza”; “A ciência é como mágica, mas feito por acadêmicos”. Em particular, esta última resposta que associa ciência e mágica é reveladora, pois evidencia que alguns alunos guardam este tipo de concepção acerca do fazer científico e, portanto, que é importante que atividades de extensão de divulgação científica enfatizem os métodos da ciência, a necessidade por evidências experimentais, as formas de pensar da ciência acerca de certos problemas e os modos da ciência agir na busca por soluções e explicações.

A segunda pergunta indagou o aluno sobre se ele considerava a ciência importante e sobre o motivo da opinião dada. Todos os alunos investigados afirmaram que a ciência era importante. Dentre os motivos usados para justificar a importância da ciência, podem ser citadas as seguintes respostas: “Pois sem a ciência não teríamos parte do conhecimento que temos”; “Pois com ela conseguimos respostas racionais sobre o universo e temos as evoluções da tecnologia”; “Porque nós temos muitas curiosidades e a ciência nos tira dúvidas”; “Porque

por meio dela hoje descobrimos curas para doenças”; “Pois ela ajuda e contribui para o ser humano, facilitando nosso dia a dia”; “Porque a ciência serve para descobrir lugares obscuros do nosso e dos outros planetas; ela é muito importante e tenho que aprender mais”; “Sem os estudos da ciência não seria possível chegar a cada conclusão sobre nosso corpo e a natureza”. As respostas enfatizaram aspectos teóricos, relacionados ao fato de que a ciência nos ajuda a compreender o mundo, e aspectos práticos, relacionados ao fato de que a ciência nos auxilia a encontrar soluções para alguns problemas existentes, como no caso da cura de certas doenças.

Uma terceira pergunta indagou o aluno sobre se ele achava que o investimento em desenvolvimento científico pelo estado era um bom gasto do dinheiro público. Dos nove alunos, sete responderam afirmativamente, enquanto um respondeu negativamente e outro respondeu declarando que achava que o estado deveria incentivar mais aqueles que lecionam ciência.

Discussão

As atividades objetivaram principalmente estimular o interesse dos participantes pela física de partículas. Os temas tratados nas apresentações estão situados próximos à fronteira da ciência atual: algumas das formas de abordagem e de transposição didática desta temática estão ainda sendo investigadas por pesquisadores e educadores.

As ações de extensão de divulgação científica realizadas no âmbito desta pesquisa tiveram como objetivo fazer com que o público leigo passasse a ter uma compreensão com maior embasamento científico acerca da constituição do mundo ao nosso redor, reconhecendo a sua complexidade. Elas evidenciaram também que ainda é muito tênue e escassa a inserção de tópicos de física moderna e contemporânea em sala de aula. A experiência vivenciada durante as atividades demonstrou que para isso ocorrer é necessário que o professor tenha um preparo sólido na área de conhecimento que é foco da ação. É um desafio para divulgadores e educadores a tarefa de simplificar os conteúdos a serem apresentados, sem falsificá-los e de modo que os envolvidos possam superar os obstáculos epistemológicos associados a concepções prévias por vezes equivocadas cientificamente. Uma parcela considerável do público jovem presente, de fato apresentava uma curiosidade pela área da física de partículas, devido em parte ao seu caráter considerado exótico por alguns dos alunos com os quais interagimos. Foi observado também que muitos dos jovens presentes se interessavam por questões de fronteira da ciência.

Um problema que foi notado durante o levantamento bibliográfico é a escassez de literatura mais especializada (livros e manuais didáticos) na área específica da física de

partículas, em língua portuguesa, o que devido à complexidade dos assuntos pode se tornar um obstáculo para a efetivação de propostas de divulgação científica bem fundamentadas na área. Esta escassez indica que a comunidade científica brasileira na área precisa produzir novos materiais didáticos em português a respeito de diferentes aspectos da física de partículas.

As atividades realizadas permitiram constatar alguns fatos e chegar a algumas conclusões que obviamente estão circunscritas ao contexto desta pesquisa, mas que são consistentes com outras pesquisas sobre este tema: há a necessidade do aprofundamento acerca de questões associadas aos fundamentos do pensamento científico junto ao público; é preciso quebrar estereótipos relacionados à ciência; é fundamental que exista uma diversidade de estratégias didáticas para tornar as atividades mais inclusivas, pois alunos diferentes aprendem muitas vezes de formas distintas; a física de partículas ainda é pouco explorada junto ao público de alunos da educação básica e, portanto, é importante que pesquisadores, professores e divulgadores dediquem uma energia maior para o estudo de temas desta área do saber.

A física do mundo microscópico (a física de partículas) é atraente pelo seu caráter “bizarro” (segundo a manifestação de alguns alunos) e às vezes paradoxal, mas o seu estudo é um trabalho cansativo e complexo, pois alguns dos conceitos enfocados não são facilmente compreensíveis. A abrangência dos conteúdos abordados nas apresentações foi grande, e tornou-se necessário conhecer com solidez a classificação das partículas (elementares ou não elementares) nas diversas categorias ou famílias existentes: léptons, quarks, bárions, hádrons, mésons, bósons, férmions etc. No caso dos quarks, foi necessário um aprofundamento maior, a respeito de seus diferentes “sabores” e sobre como transpor este conhecimento para o público leigo.

Foi possível perceber diferentes tipos de dificuldades por parte daqueles que assistiram às atividades, no momento de compreender os conceitos apresentados. Para superar estas barreiras, conforme os dois autores deste artigo foram ganhando experiência, foram estruturadas dinâmicas com questões problematizadoras e com intervenções que tentaram incentivar os alunos a levantarem hipóteses e a estabelecerem conclusões a partir das informações apresentadas e das evidências experimentais existentes.

As ações de divulgação científica sobre qualquer tema – e sobre a física de partículas, em especial – devem procurar enfatizar os métodos usados pela ciência para chegar às suas conclusões, o que promove a alfabetização científica e, por tabela, combate pseudociências e

formas de compreensão anticientíficas: o fortalecimento da ciência é uma condição necessária para o desenvolvimento econômico e social e a divulgação científica pode auxiliar nisso.

Alguns estudantes revelaram falta de interesse pelo tema e isto esteve associado a diferentes fatores. Alguns alunos, por exemplo, afirmaram que se interessavam mais pelas áreas das humanidades e viam com receio quaisquer atividades que estivessem relacionadas à física, uma disciplina que para eles não era considerada atraente. Assim, é crucial que os professores de física, que lidam com este tipo de problema, estabeleçam estratégias para enfrentá-lo.

Considerações Finais

A inserção de tópicos da física das partículas elementares e das interações fundamentais no ensino tem a potencialidade de ajudar a promover uma educação científica eficaz, devido a diversos fatores: a contextualização desse assunto no panorama científico atual; o seu potencial para a realização de análises epistemológicas; o grande interesse despertado com a divulgação pela mídia sobre este assunto; a possibilidade de relacionar a física com outras áreas do conhecimento (PINHEIRO; COSTA, 2009). A física de partículas provoca um grande fascínio e está relacionada tanto a questões filosóficas sobre os constituintes fundamentais da matéria e sobre o funcionamento do universo, quanto aos seus desdobramentos no que diz respeito à produção de novas tecnologias (SIQUEIRA; PIETROCOLA, 2005).

Em ações de divulgação científica sobre física de partículas, é fundamental que haja clareza, desde o seu planejamento, tanto sobre quais são os motivos (explícitos e implícitos) para a realização, de modo geral, da atividade elaborada, quanto sobre os temas escolhidos especificamente para fazerem parte dela. É importante também que se conheça o público atingido e se dialogue com o contexto cultural em que este público vive, escolhendo as linguagens e recursos mais adequados e informando sobre os benefícios para a sociedade das pesquisas científicas existentes sobre os temas abordados.

Percebemos nas apresentações que existia um entusiasmo expressivo de diversos estudantes presentes acerca de temas de física de partículas que eles tinham visto antes na internet ou em revistas de divulgação científica, o que indica também uma possível abertura para a inserção destes temas em atividades regulares de ensino.

A interação com a comunidade externa também se mostrou muito profícua e revelou a importância de uma instituição pública com diversos cursos de ensino superior, como o IFSP, promover atividades de extensão junto ao público da região onde ela está sediada.

A utilização de abordagens interdisciplinares por meio de apresentações audiovisuais e a abordagem de temas como o modelo padrão das partículas elementares e as interações fundamentais da natureza propiciaram ao público presente alguns conhecimentos para a compreensão do estado atual da arte desta área da física. A reação positiva de alguns alunos com respeito aos conteúdos abordados, revela a existência de um potencial considerável para a atração de quadros para carreiras profissionais científicas. As iniciativas de divulgação científica como as analisadas neste artigo podem contribuir substancialmente para aproximar os estudantes de educação básica da realidade das carreiras científicas e estabelecer um maior contato deles com pesquisadores e suas pesquisas, o que contribui com escolhas profissionais mais conscientes por parte de estudantes do ensino médio que estão no término da adolescência e com a redução de índices de evasão nas instituições universitárias em decorrência da falta de conhecimento acerca dos cursos pretendidos (CALDAS; CRISPINO, 2018).

A divulgação científica é importante, pois ajuda a construir uma sociedade que se empolga com o desenvolvimento da ciência, que valoriza a sua importância e que apoia os cientistas, condições fundamentais para a manutenção do fazer científico, sobretudo nos dias de hoje, com o crescimento expressivo de movimentos de negação da ciência: portanto, é premente que exista um engajamento dos cientistas em atividades de educação e divulgação científica em diferentes níveis (LAPKA; GOLDFARB, 2019). Além disso, a divulgação científica colabora decisivamente para a alfabetização científica ao ampliar a capacidade de leitura do universo por parte dos cidadãos, de modo que eles consigam compreender melhor as linguagens usadas pela ciência para compreender a natureza (CHASSOT, 2003). Ela é, portanto, um pilar importante do processo científico, ao contribuir para construir uma sociedade que valorize a importância da ciência e dê apoio aos cientistas. Ao despertar e motivar a curiosidade dos mais jovens, inspira-os a estudar a ciência e, inclusive, a trabalhar em carreiras científicas. Portanto é fundamental que a divulgação científica seja valorizada socialmente e que a sua prática seja estimulada junto a docentes universitários, pesquisadores e professores da educação básica.

Agradecimentos

Agradecemos ao IFSP pelo fomento concedido para a realização deste trabalho.

Referências

- ABDALLA, M. C. B. **O discreto charme das partículas elementares**. São Paulo: Editora da Unesp, 2006.
- ALVES, I. A.; PARIZOTTO, G. M.; GENOVESE, L. G. R. Partículas elementares no ensino médio – Uma abordagem CTS a partir do LHC e do ILC. **Atas do II Seminário de Estágio e Pesquisa em Ensino de Física (SEPEF)**, UFG - Goiânia (GO), 2016. Disponível em: <https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/897/o/CO-009-SEPEF-2016.pdf>. Acesso em: 13 mai. 2022.
- ANDRADE, R. R. D.; GERMANO, M. G. Popularização da ciência: Urgente desafio. **Resumos do XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF)**, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvi/cd/resumos/T0221-2.pdf>. Acesso em: 12 mai. 2022.
- BANHEZA, T. G.; JARDIM, M. I. A. Física de partículas elementares no ensino médio. **Anais do X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC)**, Águas de Lindóia, 2015. Disponível em: <http://www.abrapecnet.org.br/enpec/x-enpec/anais2015/resumos/R1135-1.PDF>. Acesso em: 15 mai. 2022.
- BATISTA, R. A. Uma atividade de extensão universitária para ensino de Física de partículas a alunos de Ensino Médio. **Rencima**, v. 3, n. 2, p. 94-115, 2012. Disponível em: <http://revistapos.cruzeirodosul.edu.br/index.php/rencima/article/view/111>. Acesso em: 14 mai. 2022.
- BUENO, W. C. Comunicação científica e divulgação científica: Aproximações e rupturas conceituais. **Informação & Informação**, Londrina, v. 15, n. esp, p. 1-12, 2010. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/informacao/article/view/6585/6761>. Acesso em: 13 mai. 2022.
- CALDAS, J.; CRISPINO, L. C. B. Formação e Vocação: Palestras de Divulgação Científica para a Educação Básica na Amazônia. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 35, n. 2, p. 678-688, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2018v35n2p678/37454>. Acesso em: 10 mai. 2022.
- CARUSO, F.; OGURI, V. A eterna busca do indivisível: do átomo filosófico aos quarks e léptons. **Química Nova**, v. 20, n. 3, p. 324-334, 1997. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/qn/v20n3/4954.pdf>. Acesso em: 14 mai. 2022.

CHASSOT, A. Alfabetização científica: uma possibilidade para a inclusão social. **Revista Brasileira de Educação**, n. 22, p. 89-100, 2003. Disponível em:

<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-24782003000100009>. Acesso em: 10 mai. 2022.

COSTA, M. **Uma abordagem histórico-didática com auxílio de multimídias para o ensino de partículas elementares no ensino médio**. Londrina, PR: Dissertação de Mestrado (UEL), 2015.

FORATO, T. C. M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. A. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 27-59, 2011.

Disponível em:

<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2011v28n1p27>. Acesso em: 13 mai. 2022.

GOLDFARB, S. Particle Physics Outreach: What we are doing and what we could be doing. **Proceedings of the 6th Annual Conference on Large Hadron Collider Physics**, 2018.

Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/329854291_Particle_Physics_Outreach_What_we_are_doing_and_what_we_could_be_doing. Acesso em: 15 mai. 2022.

JERZEWSKI, V. B. **Partículas elementares e interações**: uma proposta de mergulho no ensino e aprendizagem através de uma sequência didática interativa. Rio Grande, RS: Dissertação de Mestrado (FURG), 2015.

JESUS NETO, J. T.; SILVA, H. C. A problemática da representação de partículas elementares: A construção de um átomo. **Atas do XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF)**, 2015. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/320046578_A_PROBLEMATICA_DA_REPRESENTACAO_DE_PARTICULAS_ELEMENTARES_A_CONSTRUCAO_DE_UM_ATOMO.

Acesso em: 13 mai. 2022.

JESUS NETO, J. T. **História e cultura de imagens de partículas elementares**: condições de existência e circulação. Florianópolis: Tese de Doutorado (UFSC), 2019.

LAPKA; M.; GOLDFARB, S. The IPPOG Resource Database: Making particle physics outreach & education available worldwide. **EPJ Web of Conferences**, v. 245, 08002, 2019.

Disponível em:

https://www.epj-conferences.org/articles/epjconf/pdf/2020/21/epjconf_chep2020_08002.pdf.

Acesso em: 13 mai. 2022.

- MARQUES, J. B. V. **Educação não-formal e divulgação da astronomia no Brasil: atores e dinâmica da área na perspectiva da complexidade.** São Carlos, SP: Tese de Doutorado (UFSCar), 2017.
- MEHLHASE, S. Particle Physics Outreach as a Strategic Pillar for Society: A Report from IPPOG. **Proceedings of the 7th Annual Conference on Large Hadron Collider Physics,** 2019. Disponível em: <https://inspirehep.net/files/573b6e883f9bedb451c9c0483a550ad3>. Acesso em: 15 mai. 2022.
- MOREIRA, M. A. A física dos quarks e a epistemologia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 2, p. 161-173, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-11172007000200001>. Acesso em: 15 mai. 2022.
- MOREIRA, M. A. O modelo padrão da física de partículas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 1, 1306, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-11172009000100006>. Acesso em: 10 mai. 2022.
- MOSINAHTI, G. L. **O uso de notícias científicas em aulas de física de partículas elementares para a promoção da alfabetização científica.** São José do Rio Preto: Dissertação de Mestrado (UNESP), 2018.
- OSTERMANN, F. **Textos de apoio ao professor de física nº 12, 2001:** Partículas elementares e interações fundamentais. Instituto de Física – UFRGS, 2001. Disponível em: https://www.if.ufrgs.br/public/tapf/n12_ostermann.pdf. Acesso em: 15 mai. 2022.
- OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. H. Um pôster para ensinar Física de Partículas na escola. **Física na Escola**, v. 2, n. 1, p. 13-18, 2001. Disponível em: <http://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/Vol02-Num1/particulas1.pdf>. Acesso em: 11 mai. 2022.
- PEDUZZI, L. O. Q. **Do próton de Rutherford aos quarks de Gell-Mann, Nambu...** Florianópolis: Publicação interna do Departamento de Física do UFSC, 2019. Disponível em: www.evolutaodosconceitosdafisica.ufsc.br. Acessível em: 12 mai. 2022.
- PINHEIRO, L. A.; COSTA, S. S. C. Relato sobre a implementação de uma unidade de aprendizagem sobre partículas elementares e interações fundamentais no ensino médio. **Experiências em Ensino de Ciências (EENCI)**, v. 4, n. 3, p. 101-116, 2009. Disponível em: https://if.ufmt.br/eenci/artigos/Artigo_ID92/v4_n3_a2009.pdf. Acesso em: 13 mai. 2022.
- PINHEIRO, L. A. **Partículas elementares e interações fundamentais no ensino médio.** Porto Alegre: Dissertação de Mestrado (UFRGS), 2011.
- RICHARDSON, R. J. **Pesquisa social:** métodos e técnicas. São Paulo: Atlas, 1989.

- SILVA, H. B. **Uma abordagem sobre física das partículas para alunos do ensino médio.** Manaus: Dissertação de Mestrado (UFAM), 2016.
- SILVA, P. G. A. **Física moderna para o ensino médio: relato de uma experiência.** Garanhuns, PE: Dissertação de Mestrado (UFRPE), 2015.
- SILVA NETO, J. L. **Partículas elementares no ensino médio (texto para o professor).** Rio de Janeiro: Dissertação de mestrado (UFRJ), 2011.
- SIQUEIRA, M. R. P.; PIETROCOLA, M. Revisando materiais de ensino médio sobre o tema física de partículas elementares. **Atas do V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC)**, 2005. Disponível em: <http://abrapecnet.org.br/enpec/v-enpec/conteudo/artigos/1/pdf/p712.pdf>. Acesso em: 13 mai. 2022.
- SOUSA, W. F. **Inserção de conceitos de física de partículas elementares no ensino médio por meio de um material paradidático.** Brasília: Dissertação de Mestrado, (UnB), 2016.
- STANNARD, R. Modern physics for the young. **Physics Education**, v. 25, n. 3, p. 133, 1990.
- TERRAZZAN, E. A. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 9, n. 3, p. 209-214, 1992.
- VIANA, F. F. R. **Física de partículas no ensino médio: uma proposta experimental sobre partículas elementares e radiação cósmica.** Santo André, SP: Dissertação de Mestrado (UFABC), 2020.
- VIDEIRA, A. A. P.; FRANCISQUINI, M. F. B. A instituição da “Física de Partículas Elementares” como disciplina científica e sua relação com a formação de professores. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 35, n. 1, 2018.
- WATANABE, G.; KAWAMURA, M. R. A divulgação científica e os físicos de partículas: a construção social de sentidos e objetivos. **Ciência e Educação**, Bauru, v. 23, n. 2, p. 303-320, 2017.