



Recursos didáticos para o ensino de física de partículas

Didactic resources for particle physics teaching

Ricardo R. P. Teixeira¹, Rodrigo H. R. Godoy¹

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP), Campus Caraguatatuba

RESUMO

Este artigo analisa as perspectivas para a inserção de tópicos relacionados ao estudo da física das partículas elementares e das interações fundamentais na educação básica. Foi realizada uma seleção de diversos recursos didáticos disponíveis para o ensino da física de partículas e do modelo padrão de modo a municiar professores com ferramentas que possam ser úteis em diferentes situações educacionais com alunos com distintos graus de escolaridade. Mais especificamente, foram analisados livros, simulações, aplicativos, jogos, pôsteres, músicas, vídeos curtos, documentários e sites da internet que podem colaborar significativamente para o processo de aprendizagem acerca de conceitos de física de partículas. O trabalho realizado neste artigo pode ajudar na tarefa de orientar professores sobre o uso de recursos didáticos disponíveis na internet para a inserção da física de partículas no ensino.

Palavras-chave: ferramenta didática, modelo padrão, partícula elementar.

ABSTRACT

This article analyzes the perspectives for the insertion of topics related to the study of elementary particle physics and fundamental interactions in basic education. An analysis was made of several didactic resources available for teaching particle physics and the standard model to provide teachers with tools that can be useful in different educational situations with students with distinct levels of education. More specifically, books, simulations, applications, games, posters, music, short videos, documentaries and internet sites that can significantly contribute to the process of learning about particle physics were investigated. The work carried out in this article can help in the task of guiding teachers on the use of didactic resources available on the internet for the inclusion of particle physics in teaching.

Keywords: didactic tool, standard model, elementary particle.

1. Introdução

Nas últimas décadas, especialistas têm crescentemente apontado para a importância da inserção de tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) na educação básica. Estamos na terceira década do século XXI e o ensino de física na educação básica frequentemente se restringe a descobertas realizadas até o século XIX: tal postura impede um entendimento pleno acerca do mundo tecnológico em que vivemos. Uma quantidade expressiva de professores afirma que os tópicos de FMC envolvem conteúdos que são de difícil compreensão (BUSATTO et al., 2018). 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. De acordo com Batista e Siqueira (2017), no que diz respeito à inserção de tópicos de FMC, no ensino é fundamental refletir e procurar respostas para três indagações básicas: como, quando e por quê.

O trabalho didático com a FMC em sala de aulas, para crianças e adolescentes, tem se mostrado um tema de pesquisa de crescente relevância, tendo em vista o aumento significativo do número de artigos, trabalhos acadêmicos, dissertações e teses relacionados a essa área. Uma revisão de artigos sobre a inserção da FMC no ensino médio, encontrados em três periódicos brasileiros que tratam de Ensino de Física / Ciências e publicados entre 2008 e 2018, realizada por Marques e colegas (2019), revelou que a maior parte das pesquisas nesta área sugere atividades didáticas para aplicação em sala de aula de conceitos de FMC. Além disso, em áreas como a física de partículas, o uso tanto das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs), quanto da abordagem Ciência-Tecnologia-Sociedade pode trazer bons resultados no que diz respeito à aprendizagem dos conceitos envolvidos (PEREIRA; OSTERMANN, 2009).

Não se trata, entretanto, de abandonar o trabalho com áreas da física clássica (mecânica, ondulatória, óptica, termodinâmica, eletromagnetismo), desenvolvidos entre os séculos XVII e XIX, para introduzir a FMC, já que foram conceitos da física clássica que deram suporte para os avanços da física quântica e da física relativística que ocorreram no século XX. Entretanto, o ensino estruturado a partir da sequência cronológica do desenvolvimento histórico científico é apenas uma das possibilidades existentes. Em algumas situações, é útil ensinar seguindo a linha do tempo em que certos conceitos foram criados: isto ocorre especialmente em situações nas quais se estuda alguma área com maior profundidade (no nível superior ou na pós graduação, por exemplo), pois devido ao caráter de construção da ciência, é relevante conhecer a ciência que precedeu o surgimento de um dado conceito ou princípio científico, para entendê-lo de forma mais completa e poder utilizá-lo, profissionalmente, em aplicações tecnológicas ou em modelagens matemáticas.

A física ensinada na educação básica tem objetivos distintos da física ensinada em cursos universitários das áreas de ciências exatas, tecnologias e engenharias. A educação básica existe fundamentalmente para fornecer a formação indispensável para o exercício da cidadania (BRASIL, 1996) e, portanto, para fornecer as ferramentas necessárias para que os indivíduos possam viver e tomar decisões em uma sociedade democrática. Portanto, como os objetivos são diferentes, as abordagens e metodologias também podem ser diferentes. O ensino de física ao longo dos três anos de ensino médio segue aproximadamente a sequência cronológica da evolução histórica da produção de conhecimentos nessa disciplina: mecânica no primeiro ano; óptica, ondulatória e termodinâmica no segundo ano; eletromagnetismo no terceiro ano. A este respeito, todavia, é sempre importante lembrar que a própria ciência não evoluiu historicamente de modo tão linear, mas sim, muitas vezes, por meio de idas e vindas, zigue-zagues e movimentos hesitantes. O ensino de FMC a alunos de ensino médio oferece ao educador a oportunidade de romper com a visão linear e acumulativa da ciência e com a ideia de que a física é uma ciência pronta e acabada: o processo de construção de conhecimentos científicos é permeado por contradições, dilemas, controvérsias, debates e paradoxos, e é isto que confere vida para a ciência que é sempre fruto de um determinado período histórico, das necessidades sociais e das visões predominantes em cada época.

Apenas como exemplo, frequentemente, as aulas iniciais de física do ensino médio, abordam as contribuições dadas por Galileu para o estudo da cinemática e para o estabelecimento dos alicerces do edifício da mecânica clássica – que seria completado, posteriormente, pelo trabalho desenvolvido por Newton – destacando a importância da dependência da escolha de um referencial (um sistema de referência) para a definição e mensuração das velocidades (FREZZA, 2011). Neste momento de aprendizagem a respeito da

chamada relatividade galileana, é possível trabalhar conjuntamente com a relatividade einsteiniana, pelo menos em termos conceituais, por meio de experiências de pensamento, do uso de vídeos ou de outros recursos que se mostrem úteis. De acordo com Lino (2010), o estabelecimento de relações entre as teorias clássicas e modernas amplia a perspectiva de ocorrer aprendizagem significativa durante o processo de ensino.

Muito possivelmente, pela complexidade das ferramentas matemáticas envolvidas, dentre outros fatores, o trabalho com tópicos de física moderna não pode estar excessivamente permeado por considerações algébricas, como ocorre no ensino de física clássica, que frequentemente abusa deste recurso matemático. Mas há outras possibilidades para este trabalho se realizar e, em particular, o recurso à história da ciência como estratégia didática, pode ser bastante útil em alguns contextos (MARQUES; CALUZI, 2005). Além disso, como o ensino médio é a etapa final da escolaridade básica dos cidadãos, os alunos precisam ter tido acesso a conhecimentos necessários para que possam interpretar o mundo em que vivem. Assim, na história da física de partículas, o físico brasileiro Cesar Lattes (1924-2005) teve uma importância fundamental na detecção dos píons no final dos anos 1940 e nas pesquisas com raios cósmicos a partir de então, o que deve ser destacado quando for possível em atividades educacionais, pois colabora para colocar em perspectiva do ponto de vista histórico o desenvolvimento da ciência no Brasil e para refletir acerca da importância do financiamento das pesquisas científicas.

Na própria formação inicial do professor de física, a presença da FMC é de grande importância e a discussão sobre isto tende a se ampliar, sobretudo, no que tange à transposição de conteúdos científicos para a educação básica (REZENDE JUNIOR; CRUZ, 2009). Em um trabalho de revisão bibliográfica realizado por Osterman e Moreira (2000), foi elencada uma lista dos principais temas de FMC que aparecem na literatura de divulgação científica ou como bibliografia de consulta para professores e alunos: Relatividade; Armas nucleares; Efeito fotoelétrico; Laser; Emissão de corpo negro; Polaroides; Cristais líquidos; Supercondutividade; Interações fundamentais; Partículas elementares; Experimentos de FMC; Caos; Radioatividade; Mecânica Quântica; Raios cósmicos; Astrofísica.

Na área da educação, o currículo escolar é um dos espaços mais difíceis para que ocorram mudanças e inovações, inclusive, de modo especial, na disciplina de física (SALOMÃO; ARAUJO; MACKEDANZ, 2020). Mas, se o desenvolvimento da física nos séculos XX e XXI mostrou que o mundo, em diversas escalas é relativístico e quântico, por qual motivo continuamos fundamentalmente apresentando aos alunos na educação básica apenas uma visão clássica e determinística do mundo? (SHABAJEE; POSTLETHWAITE, 2000). As principais justificativas para o trabalho didático com a FMC podem ser reunidas em quatro grandes categorias: a FMC no ensino médio é importante para a compreensão das tecnologias da atualidade; existe a necessidade de uma atualização curricular do ensino médio; a FMC representou uma mudança de paradigma da Física e essa noção de desenvolvimento das ciências se faz necessária; a FMC fornece subsídios à compreensão e crítica das questões atuais que envolvem ciência, tecnologia, sociedade e ambiente (SILVA; ARENGHI; LINO, 2013). O entusiasmo dos jovens em procurar aprender, na própria escola – e mesmo fora dela – acerca de assuntos sobre os quais eles leem na internet ou em revistas de divulgação científica, revela a necessidade premente de os currículos de física incorporarem estes assuntos (OSTERMANN; CAVALCANTI, 2001).

2. Ensino de física de partículas

O século XX foi marcado por grandes estudos científicos e avanços tecnológicos (ANJOS, 2008): a física das partículas elementares é uma das principais áreas da física agraciadas por estes avanços. Ela rendeu ao longo dos séculos XX e XXI muitos Prêmios

Nobel, relacionados a descobertas extremamente relevantes para mudanças que ocorreram na compreensão do mundo microscópico. O trabalho articulado integrando a física de partículas e a história da ciência pode fornecer bons resultados em termos educacionais. As histórias das descobertas das partículas elementares é um campo rico a ser explorado na educação científica, já que há uma gama de fatores históricos, econômicos e sociais que podem dar suporte aos conteúdos trabalhados e enriquecer o processo de construção do conhecimento.

O conceito de partícula elementar remete à ideia de uma partícula que não pode ser fracionada em componentes mais básicos e que, portanto, tem apenas um único constituinte, ou seja, não tem estrutura interna (ABDALLA, 2006): é o caso, por exemplo, do elétron e do fóton, mas não é o caso do próton e do nêutron que são constituídos de partículas mais fundamentais chamadas de quarks. O chamado Modelo Padrão das Partículas Elementares – uma espécie de “tabela periódica” do século XXI – procura sintetizar os conhecimentos existentes na área da física de partículas (MOREIRA, 2009).

O estudo da estrutura mais íntima da matéria ajuda, paradoxalmente, a revelar a história do Universo, aguçando as mentes para questões fundamentais acerca do mundo em que vivemos (LOZADA; ARAÚJO, 2007): a física do mundo microscópico (física de partículas) está relacionada fortemente à física do mundo macroscópico (astrofísica) e os avanços da área da cosmologia dependem muito dos estudos acerca das interações entre estas duas áreas. Dentre as inúmeras áreas da Física Moderna e Contemporânea, a física de partículas guarda uma intensa relação com a cosmologia e, portanto, com os estudos contemporâneos sobre a evolução do Universo desde o *Big Bang*, um tema que atrai a atenção de muitos jovens e que pode motivar debates profícuos em sala de aula, como, por exemplo, sobre: os processos de construção de ideias na ciência; a elaboração e o teste de hipóteses; a necessidade de evidências experimentais; a interpretação de dados; a importância social da ciência; a natureza do universo; a escolha dos procedimentos e instrumentos de observação; as relações entre ciência e tecnologia; a linguagem científica (SIQUEIRA, 2006).

Com o Modelo Padrão é possível compreender que a matéria visível do universo é constituída basicamente por 61 partículas que são conhecidas até o momento: há 36 quarks e antiquarks (com as três “cores” possíveis), 12 léptons e antiléptons, 8 tipos de glúons responsáveis pela mediação da interação forte, os 3 bósons W^+ , W^- e Z^0 que são responsáveis pela mediação da interação fraca e o fóton que é responsável pela interação eletromagnética, além da última partícula que até o momento foi descoberta, o Bóson de Higgs, responsável por conferir massa às outras partículas.

O estudo do modelo padrão abre a oportunidade de trabalhar em sala de aula com as quatro interações fundamentais da natureza: gravitacional, eletromagnética, nuclear forte e nuclear fraca (HELAYËL-NETO, 2005). Estas são as forças básicas do universo e o que observamos é uma consequência delas. Essas interações são realizadas pela troca de partículas virtuais (MOREIRA, 2004), os bósons mediadores de cada uma delas. A interação forte é uma interação atrativa, de curto alcance, que atua na carga de cor dos quarks. A interação eletromagnética pode ser atrativa ou repulsiva, é de longo alcance. A interação fraca é de alcance extremamente curto e atua sobre os quarks e léptons. Finalmente, a interação gravitacional é uma interação atrativa de longo alcance e que se estende até o infinito; sua partícula mediadora hipoteticamente é o gráviton, mas este não foi detectado experimentalmente até o momento. Há, entretanto, um debate científico e conceitual sobre a gravidade. Alguns argumentam que ao contrário das outras três, a gravidade não é exatamente uma “força”, mas sim uma consequência da curvatura do espaço-tempo, de acordo com a Teoria da Relatividade Geral. Além disso, ao contrário das outras três interações, há dificuldades na compatibilização da gravidade com a mecânica quântica. Finalmente, os dois principais problemas da astrofísica atual estão relacionados ao fato de que a ação gravitacional (dada pela Relatividade Geral) não consegue explicar os dados existentes sobre

as velocidades de rotação de galáxias espirais (matéria escura) ou a aceleração na expansão do universo (energia escura), e isso pode indicar que o modelo padrão seja incompleto ou tenha que ser corrigido de algum modo.

Um argumento que se usa às vezes contra a inserção no ensino médio de tópicos de física de partículas – e de outras áreas da FMC – refere-se às habilidades que os alunos precisam ter para lidar com estes conteúdos, mas isto obviamente decorre do grau de profundidade com que os conceitos são trabalhados, e, além disso, algumas áreas da física clássica, dependendo do tipo de abordagem que é realizada, necessitam de tantas ou mais habilidades cognitivas do que a física de partículas (MOREIRA, 2007).

Os empreendimentos na área de física de partículas, como no caso do LHC (*Large Hadron Collider*), o maior acelerador de partículas em funcionamento no mundo, são cada vez mais exemplos da chamada *Big Science* (WEINBERG, 1961) - com muitos cientistas trabalhando em conjunto, em grandes instalações e com um financiamento vultoso – que surgiu durante a Segunda Guerra Mundial (projeto Manhattan) e vem se desenvolvendo em muitas áreas do conhecimento humano, como a Estação Espacial Internacional e o Projeto Genoma. O estudo de um campo de conhecimento no qual é vital a colaboração de uma grande quantidade de cientistas de diferentes nações, como é o caso da física de partículas, pode ser uma atividade educacional bastante proveitosa para que ocorra uma melhor compreensão acerca do modo como a ciência é construída e da importância da cooperação humana para a melhoria das condições de vida da humanidade.

O trabalho didático com física de partículas pode ser desenvolvido a partir de um tema gerador – escolhido como ponto de partida para o processo de construção de descoberta e de aprendizagem – que possua uma abertura e um potencial para alavancar discussões e reflexões propícias para a construção do conhecimento: um possível tema, por exemplo, que pode ser muito útil pelas interrelações que estabelece com a história da ciência e com o desenvolvimento tecnológico, é o conceito de acelerador de partículas (BALTHAZAR, 2008), que pode ser exemplificado pelos grandes aceleradores de partículas em funcionamento no mundo, como o LHC na Europa, e, no caso do Brasil, pelo Sirius, um acelerador de partículas que produz luz síncrotron e que está situado na cidade de Campinas (<https://www.lnls.cnpem.br/sirius/>).

Para a inserção da física de partículas em atividades ensino é muito importante pensar acerca da questão da transposição didática dos conceitos envolvidos: esta é uma ferramenta da didática da ciência que tem o intuito de tornar mais compreensível para os alunos determinados conceitos e que pode colaborar para encontrar soluções para o trabalho educacional em áreas científicas de formação mais recente, como a física de partículas. É a transposição didática que analisa a transformação do saber desde que ele é produzido por cientistas (o denominado saber sábio) até o momento em que ele chega aos alunos pelo professor (o denominado saber ensinado): este processo não é uma mera simplificação de conteúdos e conceitos, pois há características e regras que devem ser respeitadas para que determinados objetivos educacionais sejam atingidos a contento.

Pensar nas formas como a transposição didática pode ser utilizada para a aprendizagem de física de partículas, colabora para o estabelecimento de estratégias adequadas com o propósito de ela se tornar um saber a ser ensinado de modo efetivo (SIQUEIRA; PIETROCOLA, 2006).

3. Recursos didáticos para o ensino de física de partículas

Dentre os diversos recursos e as metodologias que podem ser usados com o intuito de trabalhar temas de física de partículas em atividades educacionais estão vídeos curtos, documentários, músicas, pôsteres, simulações, analogias, jogos, experimentos de pensamento,

experiências de baixo custo, eventos acadêmicos e análise de episódios da história da ciência e de problemas atuais de fronteira da ciência.

O pôster sobre física de partículas (<http://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/Vol02-Num1/particulas1.pdf>), proposto por Fernanda Ostermann e Cláudio Cavalcanti (2001), é um recurso educacional de excelente qualidade e que pode servir, inclusive, como inspiração para a criação de novos materiais e propostas de ensino de física. A investigação realizada para a elaboração deste pôster remete a um leque amplo de referenciais teóricos e de pesquisas realizadas por diferentes autores sobre como trabalhar didaticamente com conceitos científicos da área da física de partículas na educação básica (OSTERMANN; CAVALCANTI, 1999).

Um outro recurso visual do mesmo gênero e em português, que mistura características de um pôster com as de um folder de síntese explicativa, é o arquivo no formato pdf, com duas páginas, intitulado “Partículas Elementares – A (des)construção da matéria pelo homem” e produzido pelo CBPF – Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, em 2005 (https://mesonpi.cat.cbpf.br/desafios/pdf/Folder_Partículas_elementares.pdf).

O cartaz, em português, intitulado “Partículas elementares e modelo padrão”, é disponibilizado gratuitamente pelo SPRACE – “São Paulo Research and Analysis Center”, aos interessados, no formato de um arquivo pdf, no link <https://sprace.org.br/index.php/education-outreach/estrutura-elementar-da-materia-um-cartaz-em-cada-escola/>. Este cartaz foi estruturado no âmbito do projeto de divulgação científica “Estrutura Elementar da Matéria: Um Cartaz em Cada Escola” que tem como objetivo divulgar os principais conceitos estabelecidos durante o último século sobre a estrutura íntima da matéria. A última versão divulgada deste cartaz em 2018 inclui o bóson de Higgs, partícula que foi descoberta pelo LHC em 2012.

O pôster (“chart”) produzido pelo “*Contemporary Physics Education Project*” – CPEP (<https://www.cpepphysics.org/>) e intitulado “*The Standard Model of Fundamental Particles and Interactions*” (“O Modelo Padrão das Partículas e Interações Fundamentais”) também é um recurso valioso para ser utilizado em atividades educacionais. No formato pdf, em inglês ele pode ser baixado no link <https://cpepweb.org/images/2014-fund-chart.pdf> e em português de Portugal ele pode ser baixado no link https://www.cpepphysics.org/images/particle_chart_PT.pdf. No formato JPEG, em inglês, este pôster pode ser baixado em <https://cpepweb.org/images/2014-fund-chart.jpg> e em português de Portugal ele pode ser baixado em https://www.cpepphysics.org/images/particle_chart_PT.jpg. Em ambos os formatos, as informações existentes nos detalhes do pôster (com letras em tamanho menor) ficam visíveis com nitidez e podem ser destacadas por meio da ferramenta de “zoom”. Este pôster pode ser utilizado para despertar o interesse em sala de aula a respeito de física de partículas e para ensinar conceitos desta área de conhecimento (AUBRECHT, 2016).

Uma metodologia muito utilizada para a inserção de física de partículas no ensino médio ocorre pela utilização de jogos elaborados especificamente para este objetivo (ALVES; COSTA, 2010; SOUZA *et al.*, 2019; SILVA, 2019). Jogos são recursos lúdicos que podem permitir que os alunos desenvolvam habilidades e atitudes, mas podem também provocar situações propícias para um processo efetivo de aprendizagem de conceitos abordados durante o transcorrer do jogo e que estejam de algum modo relacionados às suas regras.

A interatividade dos jogos eletrônicos e das simulações computacionais pode colaborar bastante para a aprendizagem de conceitos da física de partículas pois desenvolve habilidades que permitem que os alunos se transformem em agentes ativos da construção de seus próprios conhecimentos científicos a partir da mediação e da orientação dos professores durante o processo de ensino (SOARES NETO *et al.*, 2020). Os estudantes atuais da educação básica são nativos digitais e vivem em uma realidade altamente tecnológica e permeada por

diferentes formas de mídias. Muitos deles apresentam dificuldades com as estruturas escolares tradicionais: estratégias de gamificação do ensino que se utilizem de elementos dos jogos, podem estabelecer uma interlocução com estes sujeitos e promover a construção do conhecimento (BEAL, 2018). Nesta situação, pode ser bastante efetiva a aprendizagem baseada em jogos digitais, mesmo de tópicos considerados difíceis e áridos, pela sua interatividade e, sobretudo, pelo caráter de entretenimento que esta ferramenta assume para os seus praticantes, pois desaparecem as fronteiras entre o brincar e o trabalhar na tarefa de buscar soluções para certos problemas intelectuais embutidos nos roteiros dos jogos digitais (OLIVEIRA, 2018). S SPRACE – “São Paulo Reserach and Analysis Center”, em seu site, disponibiliza o “SPRACE Game” que transporta os jogadores para a escala subatômica, onde eles comandam uma espaçonave miniaturizada com a missão de capturar partículas e levá-las a um laboratório para análise; no contexto deste jogo – que foi produzido com o apoio financeiro do CNPq e da FAPESP e que pode ser baixado do link <https://sprace.org.br/index.php/education-outreach/sprace-game/> – os participantes se divertem e aprendem conceitos de física sobre as partículas elementares.

Duas simulações do site PhET – Interactive Simulations (https://phet.colorado.edu/pt_BR/) da Universidade do Colorado, nos Estados Unidos, podem ser proveitosas para a introdução de temas da física de partículas: “Espalhamento de Rutherford” (https://phet.colorado.edu/sims/html/rutherford-scattering/latest/rutherford-scattering_pt_BR.html) e “Decaimento Beta” (https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/nuclear-physics/latest/nuclear-physics.html?simulation=beta-decay&locale=pt_BR). Simulações como estas permitem que os estudantes explorem o problema e alterem com facilidade alguns dos parâmetros físicos envolvidos nele, o que possibilita uma melhor compreensão sobre as relações existentes entre as grandezas em questão e torna os alunos mais ativos no processo de aprendizagem.

Há aplicativos com textos simples, jogos didáticos e laboratórios virtuais, que podem ser baixados no “Google Play” e que tornam a física de partículas mais acessível a quem possua um smartphone que execute o sistema operacional “Google Android”, um equipamento que geralmente é muito comum entre alunos: é, por exemplo (a partir de uma consulta realizada em fevereiro de 2021 no “Google Play”), o caso do aplicativo “*Physics: The Standard Model*” (disponível em https://play.google.com/store/apps/details?id=standardmodel.namespace&hl=en_US&gl=US), do aplicativo “CERN Open Days 2019” (disponível em <https://play.google.com/store/apps/details?id=ch.cern.opendays2019&hl=en&gl=US>) e do aplicativo “As Partículas” produzido pelo SPRACE (disponível em <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.bwg.theparticles&hl=pt>). Os jovens são conhecidos pela sua habilidade em utilizar aplicativos para jogos, por exemplo, mas podem vir a apresentar dificuldades quando tem que utilizar um aplicativo para desenvolver sua aprendizagem (CASTILHO, 2018), o que torna indispensável a orientação do trabalho por um professor.

Os e-Labs (<https://www.i2u2.org/>) são ambientes online desenvolvidos como um esforço para promover o ensino de tópicos de FMC e que usam a internet e ferramentas computacionais para oferecer aos alunos oportunidades para organizar e conduzir pesquisas, bem, como experimentar o ambiente existente em colaborações científicas. O CMS e-Lab (<https://www.i2u2.org/elab/cms/home/project.jsp>) vinculado ao detector CMS (“*Cosmic Muon Solenoid*”) do acelerador LHC do CERN, oferece um guia com recursos para criar um projeto de pesquisa, a partir do acesso a dados autênticos do CMS e a ferramentas de análise para conduzir a pesquisa (ALVES, 2018). Da mesma forma o “Cosmic Rays e-Lab” (<https://www.i2u2.org/elab/cosmic/home/project.jsp>) oferece um ambiente online no qual os

alunos experimentam uma colaboração científica para investigações sobre os raios cósmicos de alta energia.

O ATLAS (“A *Toroidal LHC Apparatus*”) é um dos experimentos de detecção de partículas existente no acelerador LHC, projetado para aproveitar as grandes energias disponíveis para observar fenômenos que envolvem partículas altamente massivas que não eram observáveis anteriormente, como o bóson de Higgs. Várias informações e recursos acerca do ATLAS podem ser acessadas no site http://atlas.physicsmasterclasses.org/pt/zpath_teilchenid1.htm. Em particular, o programa HYPATIA, que pode ser baixado em http://atlas.physicsmasterclasses.org/pt/zpath_teilchenid2.htm, permite observar as imagens que mostram como as partículas atravessam o detector e, por tabela, contemplar as “pegadas” (sinais elétricos) recolhidas pelos detectores durante as colisões que ocorrem entre prótons no acelerador. Este software torna possível analisar dados reais do CERN e fornece um exemplo prático sobre como são desenvolvidas as pesquisas experimentais na área de física de partículas (COSTA; BATISTA; 2020).

Dois livros de divulgação científica que abordam a física de partículas de uma forma acessível ao leitor leigo são “Alice no país do Quantum: a Física Quântica ao alcance de todos” (GILMORE, 1998) e “O mágico dos Quarks: a física de partículas ao alcance de todos” (GILMORE, 2002). No caso da segunda obra, ela trata especificamente a respeito das partículas elementares, como por exemplo dos quarks e dos léptons. Estes dois livros são estruturados tendo como referências alegóricas o livro “Alice no país das maravilhas” e o filme “O mágico de Oz”, respectivamente: eles tentam de algum modo manter uma fidelidade com as obras originais e, simultaneamente, apresentar conceitos da FMC. Nos dois casos, o apelo a um mundo de situações surpreendentes, inesperadas e mágicas é um recurso para tentar mostrar ao leitor os aspectos inusitados e contraintuitivos da física acerca do mundo subatômico. O livro “Alice no país do Quantum” se encontra com acesso aberto e disponível para ser obtido na internet (por diversos sites) na forma de um arquivo pdf. Além disso, “Alice no país do quantum” se encontra também no formato de audiolivro (audiobook), no YouTube, com a leitura em voz alta do livro em português, ocorrendo com voz feminina (<https://www.youtube.com/watch?v=11evvdbWD9s>) e, também, com voz masculina (<https://www.youtube.com/watch?v=B14mJCiLOEg&t=5956s>); os resultados deste tipo de recurso, para muitos, podem ser considerados questionáveis, principalmente devido às vozes robóticas usadas nas leituras, mas, mesmo assim, a ferramenta do audiolivro pode ser útil em algumas situações específicas de ensino e para alguns tipos de alunos.

Dois outros excelentes livros de divulgação científica em português sobre física de partículas e que são fontes valiosas de informações sobre o acelerador LHC e sobre a descoberta do bóson de Higgs são “O cerne da matéria: A aventura científica que levou à descoberta do bóson de Higgs” escrito pelo físico brasileiro Rogério Rosenfeld (2013) e “Batendo à porta do céu – O bóson de Higgs e como a física moderna ilumina o universo” escrito pela física estadunidense Lisa Randall (2013). Ambos os livros se encontram com acessos abertos e disponíveis para serem obtidos na internet, em arquivos no formato pdf, em sites como o “Le Livros” (<https://lelivros.love/>), por exemplo. Para uma introdução à ciência envolvida no funcionamento do LHC, uma boa alternativa é o artigo de caráter introdutório “LHC: o que é, para que serve e como funciona” escrito por Marta Maximo Pereira (2011) para a revista “Física na Escola”, a partir da sua experiência na Escola de Física do CERN para professores de ensino médio, um evento que acontece periodicamente; sobre este e outros programas educacionais do CERN, é possível obter mais informações no link <https://home.cern/about/what-we-do/our-educational-programmes>.

A obra “Partículas Elementares: 100 Anos de Descobertas” (CARUSO; OGURI; SANTORO, 2012) é um excelente texto de fundamentação histórica e científica, com um

capítulo dedicado à descoberta de cada uma das seguintes partículas: o elétron, o fóton, o próton, o pósitron, o nêutron, o múon, o pión, os neutrinos, os quarks em geral, o quark charm e o J/Ψ , o quark bottom, os bósons intermediadores (W^+ , W^- e Z^0) e o quark top.

O livro “Por dentro do Átomo: Física de Partículas para leigos” (PIRES; CARVALHO, 2014) aborda em linguagem acessível, a história da evolução dos conceitos da física de partículas, desde as primeiras ideias na antiguidade grega acerca da constituição da matéria até o atual modelo padrão e as simetrias de calibre.

O texto “Do próton de Rutherford aos quarks de Gell-Mann, Nambu...” de autoria do físico Luiz O. Q. Peduzzi (2019), em seus cinco capítulos, explica a evolução histórica dos conceitos da física de partículas a partir da década de 1920 em uma linguagem bastante acessível; este texto está disponível em arquivo no formato pdf, para qualquer interessado.

O livro intitulado “O discreto charme das partículas elementares” escrito pela física brasileira Maria Cristina Batoni Abdalla (2006) é uma obra que também tem o intuito de explicar para leigos, diversos aspectos da física de partículas. Várias páginas (referentes a capítulos inteiros) deste livro se encontram abertas para leitura no “*Google books*”. A autora descreveu a elaboração deste livro no artigo “Sobre o discreto charme das partículas elementares”, explicando em especial as escolhas feitas para as ilustrações que aparecem na obra (ABDALLA, 2005). A partir deste livro, a TV Cultura promoveu um documentário homônimo; um vídeo, com os 9 minutos iniciais deste documentário, foi disponibilizado pela emissora (https://tvcultura.com.br/videos/29517_o-discreto-charme-das-particulas-elementares-i.html) e está armazenado no link https://www.youtube.com/watch?v=FAISMNkR_WM&feature=emb_title. No transcórre do documentário “O discreto charme das partículas elementares”, o rapper Rincon Sapiência canta a música “Rap do LHC” com uma letra baseada integralmente na física de partículas. O trecho dos cerca de 4 minutos desta música está disponibilizado pelo site “TV Cultura Online” (https://tvcultura.com.br/videos/29575_lhc-rap-brasil.html), com o vídeo armazenado no link https://www.youtube.com/watch?v=NDfC7QHzMzQ&feature=emb_title.

No que diz respeito a músicas, há também o gênero “paródia” que usa a melodia de uma música conhecida, mas com uma outra letra adaptada e cantada no mesmo ritmo da canção original. Estabelecer vínculos com a cultura popular pode ser uma estratégia benéfica para aproximar as pessoas de áreas científicas que muitas vezes estão distantes da realidade delas. O físico Ricardo Meloni Martins Rosado em seu canal no YouTube (<https://www.youtube.com/channel/UCOIP69E6uxV-ME92sZvh1MA>) disponibiliza duas paródias de músicas que podem ser usadas como recurso didático na área da física de partículas: “É preciso um LHC” (https://www.youtube.com/watch?v=zUs_ZLxvELI), uma paródia de 4 minutos da canção “É preciso saber viver”, cuja composição original foi elaborada por Erasmo Carlos e Roberto Carlos em 1968 e cuja versão cantada pela banda Titãs também é muito conhecida; “Neutrino da Porteira” (<https://www.youtube.com/watch?v=UsGrHshgFjE>), uma paródia de 3 minutos da canção “Menino da Porteira”, um clássico da música sertaneja brasileira, cuja composição original foi elaborada em 1955 por Teddy Vieira e Luis Raimundo e que foi gravada pela primeira vez por Luizinho e Limeira, e na sequência por muitos outros músicos como Sérgio Reis e as duplas Tônico e Tinoco, e Chitãozinho e Xororó.

O documentário “*Particle Fever*” (“Febre das Partículas”) com duração de 1 hora e 39 minutos e produzido pelo CERN (Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear) em 2013, descreve o trabalho realizado pelos físicos no LHC e a detecção do bóson de Higgs em 2012 (<https://www.youtube.com/watch?v=akCJc7K3DUU>): em particular alguns trechos deste documentário podem ser utilizados em atividades de ensino, de modo bastante produtivo. O trailer de 2 minutos desta obra cinematográfica pode ser assistido no link <https://www.youtube.com/watch?v=BbbGETO8G9g>.

O canal do “*World Science Festival*” (“Festival de Ciência Mundial”) no Youtube (<https://www.youtube.com/channel/UCShHFwKyhcDo3g7hr4f1R8A>) disponibiliza o vídeo “Beyond Higgs: The Wild Frontier of Particle Physics” (“Além do Higgs: A Fronteira Selvagem da Física de Partículas”) que tem 1 hora e 30 minutos de duração e envolve um debate entre especialistas ocorrido em 2012, pouco tempo após a descoberta do bóson de Higgs; este vídeo está disponível no link <https://www.youtube.com/watch?v=no3qLqUYBL0>. No canal do ICTP-SAIFR no YouTube (https://www.youtube.com/watch?v=amkXU77t_Zw&t=851s), há o minicurso de “Introdução à Física de Partículas”, para alunos do ensino médio, falado em português e que foi ministrado em 2019; ele está dividido em dois vídeos, a parte 1 com duração de 1 hora e 11 minutos (https://www.youtube.com/watch?v=amkXU77t_Zw&t=851s) e a parte 2 com duração de 1 hora e 34 minutos (<https://www.youtube.com/watch?v=CH2udZpYM78>). Estes vídeos mais longos apresentam muitos elementos proveitosos para serem usados em atividades educacionais.

Alguns vídeos de curta duração sobre física de partículas, falados em português, também podem ser muito úteis para educadores e divulgadores da ciência. A animação com cerca de 6 minutos intitulada “Do próton de Rutherford aos quarks de Gell-Mann, Nambu...”, produzida por Luiz O. Q. Peduzzi, Danielle Nicolodelli e Marinês D. Cordeiro, está disponível para ser acessado no link https://www.youtube.com/watch?v=vBk_6iEzEXY. O Instituto de Física da USP produziu o vídeo “O que é física de partículas / modelo padrão / interações fundamentais?” com 4 minutos, falado em português e que está disponível no link <https://www.youtube.com/watch?v=EJ93vG0D2SQ>. Sobre a importância para o Brasil do acelerador síncrotron Sirius, um grande empreendimento científico e tecnológico situado em Campinas (SP) que está relacionado com a pesquisa em física de partículas, há o vídeo intitulado “Sirius, o maior e mais complexo laboratório brasileiro”, produzido pela FAPESP, com duração de cerca de 14 minutos e que pode ser acessado no link <https://www.youtube.com/watch?v=lbxOSSUkgv0>. Da mesma forma, sobre o funcionamento do LHC, há o vídeo intitulado “IFSCTV | Documentário "Viagem ao CERN", com cerca de 16 minutos de duração, produzido pelo IFSC (Instituto Federal de Santa Catarina) e que está disponível para ser assistido no link <https://www.youtube.com/watch?v=OW1dL6EYKDA>.

Alguns canais do YouTube foram criados por youtubers brasileiros com o objetivo de produzir vídeos de divulgação de temas da ciência, narrados na língua portuguesa e que são, ao mesmo tempo, bem fundamentados em termos científicos e bem apresentados do ponto de vista da didática e dos recursos usados. O canal “Ciência Todo Dia” do YouTube, que produz vídeos explicativos sobre diferentes áreas da física, lançou em fevereiro de 2021 o excelente vídeo intitulado “O Modelo Padrão Explicado: A Melhor Teoria da Física” que tem cerca de 13 minutos e pode ser assistido no link <https://www.youtube.com/watch?v=Kn4pAoucyMg>. O canal “A Física”, por sua vez, produziu em junho de 2020, o vídeo “Física de Partículas - Modelo Padrão // Quem são as partículas fundamentais do nosso universo?!” que tem cerca de 16 minutos de duração e pode ser acessado pelo link <https://www.youtube.com/watch?v=ikVL2wD8JEg>. Finalmente, o canal “Física e Afins”, produziu o vídeo “Supersimetria existe? O status atual da SUSY”, sobre a teoria da supersimetria em física de partículas, com cerca de 10 minutos de duração e que pode ser acessado no link <https://www.youtube.com/watch?v=eTMVggvfrsI>.

Há vídeos curtos sobre física de partículas, falados em inglês, mas com a possibilidade de acionar legendas em português, que valem a pena ser consultados na preparação de aulas sobre física de partículas. O físico Don Lincoln no canal do Fermilab do Youtube (<https://www.youtube.com/channel/UCD5B6VoXv41fJ-IW8Wrhz9A>) apresenta o excelente vídeo “*The Standard Model*” (“O Modelo Padrão”) de 8 minutos, resumindo os conhecimentos atuais de física de partículas e que pode ser assistido no link

https://www.youtube.com/watch?v=XYcw8nV_GTs. O canal do TED-Ed no YouTube disponibiliza o vídeo de 5 minutos intitulado “*What’s the smallest thing in the universe? - Jonathan Butterworth*” (“Qual é o menor constituinte da matéria?”), de excelente qualidade e que pode ser acessado no link https://www.youtube.com/watch?v=ehHoOYqAT_U. O canal “Space Time” (“espaço-Tempo”) do Youtube vinculado à PBS, a emissora de TV pública dos Estados Unidos (https://www.youtube.com/channel/UC7_gcs09iThXybpVgjHZ_7g), disponibiliza o vídeo “*The Higgs Mechanism Explained | Space Time | PBS Digital Studios*” (“O Mecanismo de Higgs Explicado”), apresentado pelo astrofísico Matthew John O’Dowd, tem 9 minutos de duração e pode ser acessado no link <https://www.youtube.com/watch?v=kixAljyfdqU&t=100s>. A física e divulgadora da ciência Sabine Hossenfelder, em seu canal no youtube, tem um vídeo de 7 minutos intitulado “*What does the future hold for particle physics?*” (“O que o futuro reserva para a física de partículas?”) e que está disponível no link <https://www.youtube.com/watch?v=Go2TaEUQpF4>.

A internet também apresenta muitos sites com recursos, informações e materiais escritos para o trabalho educacional com temas de física de partículas. Alguns casos, em particular, podem ser destacados. O SPRACE – “*São Paulo Research and Analysis Center*” ou “Centro de Pesquisa e Análise de São Paulo”, que desenvolve diversas pesquisas na área da Física de Altas Energias, apresenta em seu site uma seção intitulada “A aventura das Partículas” (<https://www.sprace.org.br/AventuraDasParticulas/>) com materiais educacionais em português, que estão abertos e disponíveis para os interessados. Trata-se de uma adaptação para a língua portuguesa do material existente em inglês no site “*The particle adventure*” disponível para ser acessado no link <https://particleadventure.org/>.

Já o site da Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear – CERN, que é responsável pelo acelerador de partículas LHC, apresenta diversas informações científicas sobre o Modelo Padrão e materiais úteis para o ensino que também podem ser acessados gratuitamente (<https://home.cern/science/physics>); há uma página do site do CERN especificamente sobre o Modelo Padrão (“Standard Model”) com informações úteis para professores e que pode ser acessado no link <https://home.cern/science/physics/standard-model>. O “*International Centre for Theoretical Physics – South American Institute for Fundamental Research*” (ICTP–SAIFR) ou “Centro Internacional de Física Teórica – Instituto Sul-Americano para pesquisa Fundamental” (<https://www.ictp-saifr.org/>), vinculado no Brasil à UNESP, apresenta materiais escritos sobre física de partículas, voltados para o público em geral e para alunos de ensino médio, e textos com informações científicas, em diferentes idiomas. Particularmente, alguns bons artigos voltados para o ensino de física no nível do ensino médio, traduzidos para o espanhol, se encontram disponíveis para serem acessados no link <http://outreach.ictp-saifr.org/traduccion-al-espanol/>.

O website “*Particle Physics Education Sites*” (“Sites Educacionais sobre Física de Partículas”) disponível no link <https://particleadventure.org/other/othersites.html>, apresenta os links de diversas dicas extremamente valiosas, apesar de logo abaixo do título, a página infirmar que ela não está mais em manutenção. Por sua vez o “Quarknet” (<https://quarknet.org/>) é um programa que procura disponibilizar dados experimentais autênticos de áreas da física de partículas para alunos e professores, o que pode colaborar decisivamente para a criação de situações propícias para a aprendizagem (CECIRE; BARDEEN; MCCAULEY, 2014).

O Fermilab – um centro importante de pesquisa em Física de Altas Energias (“*High Energy Physics*” – HEP) que está situado nos Estados Unidos – em sua página na internet (<https://www.fnal.gov/>) também apresenta diversos recursos didáticos que podem ser usados em atividades de ensino sobre física de partículas, especialmente na subseção destinada a educadores (<https://ed.fnal.gov/home/educators.shtml>). Da mesma forma, uma outra fonte

valiosa de recursos didáticos sobre física de partículas e outras áreas da FMC é o “*Perimeter Institute for Theoretical Physics*”, situado no Canadá, cujo site conta com uma seção voltada especificamente para a divulgação científica (<https://www.perimeterinstitute.ca/outreach>).

No final de 2020 foi promovido, por meios remotos, o I Encontro sobre Divulgação e Ensino de Física de Partículas, pelo IPPOG – Brasil (<https://indico.cern.ch/event/944917/>), com o apoio do CERN. O objetivo foi congregaer cientistas, divulgadores, educadores e estudantes para discutir temas como a importância social das atividades de difusão de conhecimentos desta área e as diferentes estratégias empregadas nestas práticas. O livro de resumos deste evento se encontra disponível para acesso no link <https://indico.cern.ch/event/944917/book-of-abstracts.pdf>. As principais atividades acadêmicas deste evento (palestras e mesas-redondas) foram gravadas na forma de vídeo e estão disponíveis para serem assistidas no canal do “IPPOG – Brasil” no YouTube no link <https://www.youtube.com/channel/UCB7hAiusnPD1LeE5DzTRGjQ>.

O IPPOG - “*The International Particle Physics Outreach Group*” (“Grupo Internacional de Divulgação de Física de Partículas”) é uma rede internacional de cientistas, educadores e especialistas em comunicação que trabalham na educação científica informal e na divulgação sobre física de partículas. O site desta colaboração (<https://ippog.org/>) – que abrange 30 países, 6 experimentos e o próprio CERN – apresenta recursos, textos e informações bastante úteis para atividades educacionais sobre física de partículas. O IPPOG também é responsável pelas “*International Master Classes*”, aulas magnas ministradas por especialistas em uma determinada área de conhecimento e que ocorrem anualmente no âmbito do programa “*Hands on Particle Physics*” (“Mão na massa em Física de Partículas”). No ano de 2021 este evento estará na sua 17ª edição (<https://physicsmasterclasses.org/>).

Dentre os websites em inglês que disponibilizam uma série de recursos e informações online sobre física de partículas podem ser destacados o site “*Online Particle Physics Information*” do CERN (disponível em <https://scientific-info.cern/search-and-read/online-resources/online-particle-physics-information>), o site “*Particle Physics Resources*” do UKRI – “*United Kingdom Research and Innovation*” (disponível em <https://stfc.ukri.org/research/particle-physics-and-particle-astrophysics/particle-physics-resources/>) e o site “*Resources*” do IPPOG – “*International Particle Physics Outreach Group*” (disponível em <https://ippog-static.web.cern.ch/ippog-static/resources.html>).

Algumas universidades, situadas em diferentes países, contam com grupos dedicados especificamente à divulgação científica e ao ensino na área de física de partículas, como é o caso da Universidade de Oxford no Reino Unido (<https://www2.physics.ox.ac.uk/research/particle-physics/oxford-particle-physics-outreach>), da Universidade “College London” também no Reino Unido (<https://www.hep.ucl.ac.uk/outreach/>), da Universidade de Vilnius na Lituânia (<https://www.ff.vu.lt/en/cern/particle-physics-outreach-group>) e da Universidade Ludwig Maximilians de Munique na Alemanha (<https://www.etp.physik.uni-muenchen.de/outreach/index.html>). O site da Universidade de Cambridge no Reino disponibiliza vários de arquivos com slides referentes ao livro “*Modern Particle Physics*” de autoria de Mark Thomson (2013) que podem ser muito úteis para professores na elaboração de recursos didáticos para finalidades específicas (<https://www.hep.phy.cam.ac.uk/~thomson/MPP/ModernParticlePhysics.html>).

Um recurso bastante útil para o trabalho educacional em diversas áreas científicas, inclusive na área da física de partículas, é pela análise crítica de notícias que são veiculadas pelos meios de comunicação (jornais, revistas, TVs, sites informativos, canais do YouTube etc.): um trabalho que promova a alfabetização científica é fundamental, neste sentido, para a formação de cidadãos críticos. A ciência presente em notícias introduz informações que são da esfera pública e deste modo podem contribuir para o debate sobre a natureza da ciência e a

tomada de decisões relacionadas com problemas sociais e científicos (MOSINAHTI, 2018). Em atividades de ensino com o uso de notícias científicas como recurso didático é importante pensar previamente sobre quais as características de uma notícia sobre a física de partículas que a torna uma ferramenta eficaz para o processo de alfabetização científica, bem como sobre os significados atribuídos pelos alunos quando o processo de mediação se utiliza de artigos de notícias científicas.

4. Considerações finais

Dentre as barreiras que dificultam a inserção da FMC nos currículos e que precisam ser transpostas estão: a desmotivação dos estudantes, a abordagem excessivamente algébrica da física e a demasiada ênfase no ensino da cinemática (OSTERMANN, 2001). O crescimento das pesquisas e de conhecimentos consolidados em física das partículas elementares, bem como a diversidade de materiais e recursos disponíveis para o trabalho educacional sobre o modelo padrão e tópicos afins, configura esta área como uma excelente possibilidade para a inserção da FMC no ensino médio, até pelo fato também de ela estar bastante relacionada a outras áreas importantes da física, como a mecânica, o eletromagnetismo, a relatividade, a física quântica e a astrofísica.

Nem todos os alunos de ensino médio vão seguir carreiras profissionais científicas, mas, mesmo assim, todos eles precisam ter uma compreensão da ciência moderna, de suas ideias e das metodologias utilizadas. O trabalho educacional com temas de física de partículas pode ser implementado por meio de atividades eficientes e que envolvem os alunos com as ciências, ajudando-os a desenvolver uma apreciação mais realista do empreendimento científico (BARDEEN; JOHANSSON; YOUNG, 2011) e colaborando para que eles façam melhores escolhas nas suas vidas (LAPKA; GOLDFARB, 2019).

Há na internet uma diversidade de recursos para o trabalho educacional acerca de física de partículas, mas, dada a vastidão da rede, estes materiais e estas ferramentas não estão organizados de modo a facilitar o seu acesso, com orientações para que possam ser usados com finalidades educacionais. Este artigo procurou colaborar efetivamente para a concretização desta tarefa.

Referências

- ABDALLA, Maria Cristina Batoni. Sobre o discreto charme das partículas elementares. *Física na Escola*, v. 6, n. 1, p. 38-44, 2005. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol6/Num1/charme.pdf>. Acesso em: 13 fev. 2021.
- ABDALLA, Maria Cristina Batoni. **O discreto charme das partículas elementares**. São Paulo: Editora da Unesp, 2006.
- ALVES, Marcos Fernando Soares; COSTA, Luciano Gonsalves. Proposta de aplicação de Física de partículas elementares para o Ensino Médio: um jogo sobre o modelo padrão. **Atas do II Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia (SINECT)**, Ponta Grossa (PR), UTFPR, 2010. Disponível em: <http://www.sinect.com.br/anais2010/artigos/EF/85.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2021.
- ALVES, Marcos Fabrício Lopes. **O CMS e-Lab e o ensino de física de partículas na educação básica**. Maceió: Dissertação de Mestrado (UFAL), 2018. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/4841>. Acesso em: 24 fev. 2021.
- ANJOS, Antonio Jorge Sena dos. As novas tecnologias e o uso dos recursos telemáticos na educação científica: a simulação computacional na educação em física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 25, n. 3, p. 569-600, dez. 2008. Disponível em:

<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2008v25n3p569>. Acesso em: 12 fev. 2021.

AUBRECHT, Gordon J. The newest Standard Model Chart from the Contemporary Physics Education Project. **Latin-American Journal of Physics Education**, v. 10, n. 4, 4303, 2016. Disponível em: http://www.lajpe.org/dec16/4303_Aubrecht_2016.pdf. Acesso em: 23 fev. 2021.

BALTHAZAR, Wagner Franklin. **Partículas elementares no ensino médio**: uma abordagem a partir do LHC. Nilópolis, RJ: Dissertação de Mestrado (IFRJ), 2008. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/305129/mod_resource/content/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Wagner%20Franklin%20Balthazar.pdf. Acesso em: 13 fev. 2021.

BARDEEN, Marjorie; JOHANSSON, K. Erik; YOUNG, M. Jean. Particle Physics Outreach to Secondary Education. **Annual Review of Nuclear and Particle Science**, v. 61, n. 1, p. 149-170, 2011. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev-nucl-102010-130421>. Acesso em: 18 fev. 2021.

BATISTA, Carlos Alexandre dos Santos; SIQUEIRA, Maxwell Roger da Purificação. A inserção da Física Moderna e Contemporânea em ambientes reais de sala de aula: uma sequência de ensino-aprendizagem sobre a radioatividade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 3, p. 880-902, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2017v34n3p880>. Acesso em: 10 fev. 2021.

BEAL, Ricardo. **Da descoberta do núcleo ao Bóson de Higgs**: uma introdução ao modelo padrão de partículas elementares com atividades virtuais. Florianópolis: Dissertação de Mestrado (UFSC), 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/193626>. Acesso em: 19 fev. 2019.

BRASIL. **Lei das Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDBEN)**. Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Disponível em: http://www.cp2.g12.br/alunos/leis/lei_diretrizes_bases.htm. Acesso em: 5 de ago. 2021.

BUSATTO, Cassiano Zolet *et al.* O ensino de Física Moderna e Contemporânea na educação básica: conteúdos trabalhados pelos docentes. **Revista CIATEC –UPF**, v.10, n. 1, p. 104-115, 2018. Disponível em: <http://seer.upf.br/index.php/ciatec/article/view/8388/114114176>. Acesso em: 12 fev. 2021.

CARUSO, Francisco; OGURI, Vitor; SANTORO, Alberto. **Partículas Elementares**: 100 Anos de Descobertas. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2012.

CASTILHO, Luís Cláudio de Oliveira Castilho. **Ensino de partículas no ensino médio**. Volta Redonda, RJ: Dissertação de Mestrado (UFF), 2018. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/bitstream/1/10418/2/Disserta%c3%a7%c3%a3o%20Lu%c3%ads%20C%1%a1udio%20de%20Oliveira%20Castilho.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2021.

CECIRE, Kenneth; BARDEEN, Marjorie; MCCAULEY, Thomas. The CMS Masterclass and Particle Physics Outreach. **EPJ Web of Conferences**, v. 71, 00027, 2014. Disponível em: https://www.epj-conferences.org/articles/epjconf/pdf/2014/08/epjconf_icnfp2013_00027.pdf. Acesso em: 19 fev. 2021.

COSTA, Márcia da; BATISTA, Irinéa de Lourdes. Abordagem histórico-didática para o ensino da Teoria Eletrofraca utilizando simulações computacionais de experimentos históricos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 37, n. 1, p. 242-262, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2020v37n1p242/42901>. Acesso em: 21 fev. 2021.

FREZZA, Júnior Saccon. **Noções de Referencial Inercial**: Um estudo de epistemologia genética com alunos de física. Porto Alegre: Dissertação de Mestrado (UFRGS), 2011. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/28802>. Acesso em: 5 ago. 2021.

GILMORE, Robert. **Alice no país do Quantum**: a Física Quântica ao alcance de todos.

- Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1998.
- GILMORE, Robert. **O mágico dos Quarks**: a física de partículas ao alcance de todos. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2002.
- HELAYÉL-NETO, José Abdalla. Supersimetria e interações fundamentais. **Física na Escola**, v. 6, n. 1, p. 45-47, 2005. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol6/Num1/simetria.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2021.
- LAPKA; Marzena; GOLDFARB, Steven. 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: 18 fev. 2021.
- LINO, Alex. **Inserção de física moderna e contemporânea no ensino médio**: a ligação entre teorias clássicas e modernas sob a perspectivas da aprendizagem significativa. Maringá, PR: Dissertação de Mestrado (UEM), 2010.
- LOZADA, Cláudia de Oliveira; ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de. Física de partículas elementares no ensino médio: as perspectivas dos professores em relação ao ensino do modelo padrão. **Anais do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC)**, 2007. Disponível em: http://abrapecnet.org.br/atas_enpec/vienpec/CR2/p690.pdf. Acesso em: 13 fev. 2021.
- MARQUES, Deividi Marcio; CALKUZI, João José. Contribuições da história da ciência no ensino de ciências: alternativa de inserção de física moderna e contemporânea no ensino médio. **Enseñanza de las Ciencias**, VII Congreso, número extra, 2005. Disponível em: https://ddd.uab.cat/pub/edlc/edlc_a2005nEXTRA/edlc_a2005nEXTRAp71conhis.pdf. Acesso em: 5 ago. 2021.
- MARQUES, T. C. F. *et al.* Ensino de física moderna e contemporânea na última década: revisão sistemática de literatura. **Scientia Plena**, v. 15, n. 7, 074809, 2019. Disponível em: <https://scientiaplena.org.br/sp/article/view/4833/2190>. Acesso em: 17 fev. 2021.
- MOREIRA, Marco Antonio. Partículas e interações. **Física na Escola**, v. 5, n. 2, p. 10-14, 2004. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol5/Num2/v5n1a03.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2021.
- MOREIRA, Marco Antonio. 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: 17 fev. 2021.
- MOREIRA, Marco Antonio. 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: 17 fev. 2021.
- MOSINAHTI, Giovana Letícia. **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. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/157186>. Acesso em: 22 fev. 2021.
- OLIVEIRA, Jefferson Rodrigues de Oliveira. **Games Digitais**: Uma Abordagem de Física de Partículas Elementares no Ensino Médio. Brasília, DF: Dissertação de Mestrado (UnB), 2018. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/237123831.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2021.
- OSTERMANN, Fernanda. **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 fev. 2021.
- OSTERMANN, Fernanda; CAVALCANTI, Claudio José de Holanda. Física moderna e contemporânea no ensino médio: Elaboração de material didático em forma de pôster, sobre partículas elementares e interações fundamentais. **Caderno Catarinense de Ensino de**

- Física**, v. 16, n. 3, p. 267-286, 1999. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6795>. Acesso em: 14 fev. 2021.
- OSTERMANN, Fernanda; CAVALCANTI, Claudio José de Holanda. 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: 12 fev. 2021.
- OSTERMAN, Fernanda; MOREIRA, Marco Antonio. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no ensino médio”. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 5, n. 1, p. 23-48, 2000. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/600/390>. Acesso em: 15 fev. 2021.
- PEDUZZI, Luiz Orlando de Quadro. **Do próton de Rutherford aos quarks de Gell-Mann, Nambu...** Florianópolis: Publicação interna do Departamento de Física do UFSC, 2019. Disponível em: www.evolucaodosconceitosdafisica.ufsc.br. Acessível em: 22 fev. 2021.
- PEREIRA, Alexsandro P.; OSTERMANN, Fernanda. Sobre o ensino de física moderna e contemporânea: Uma revisão da produção acadêmica recente. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 14, n. 3, p. 393-420, 2009. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/349>. Acesso em: 17 fev. 2021.
- PEREIRA, Marta Maximo. LHC: O que é, para que serve e como funciona. **Física na Escola**, v. 12, n. 1, p. 37-41, 2011. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol12/Num1/lhc.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2021.
- PIRES, Antonio Sergio Teixeira; CARVALHO, Regina Pinto de. **Por dentro do Átomo: Física de Partículas para leigos**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014.
- REZENDE JUNIOR, Mikael Frank; CRUZ, Frederico Firmo de Souza. Física moderna e contemporânea na formação de licenciandos em física: necessidades, conflitos e perspectivas. **Ciência e educação**, Bauru, v. 15, n. 2, p. 305-321, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-73132009000200005>. Acesso em: 12 fev. 2021.
- SALOMÃO, João Pedro Quaresma Castro; DE ARAUJO, Rafael Rodrigues de; MACKEDANZ, Luiz Fernando. Um estudo bibliográfico sobre metodologias no ensino de Física Moderna e Contemporânea. **Arquivos do Mudi**, v. 24, n. 3, p. 233-243, 1 dez. 2020. Disponível em: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ArqMudi/article/view/55481/751375151318>. Acesso em: 17 fev. 2021.
- SILVA, João Ricardo Neves da; ARENGHI, Luiz Eduardo Birello; LINO, Alex. Por que inserir física moderna e contemporânea no ensino médio? Uma revisão das justificativas dos trabalhos acadêmicos. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 6, n. 1, p. 69-83, 2013. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect/article/view/1170>. Acesso em: 18 fev. 2021.
- SILVA, Leandro Londero da. O imaginário de professores de física sobre o uso de jogos no ensino da física de partículas elementares. **Ludus Scientiae (RELuS)**, v. 3, n. 1, p. 46-69, 2019. Disponível em: <https://revistas.unila.edu.br/relus/article/view/1663>. Acesso em: 18 fev. 2021.
- SIQUEIRA, Maxwell Roger da Purificação. **Do Visível ao Indivisível: uma proposta de Física de Partículas Elementares para o Ensino Médio**. São Paulo: Dissertação de Mestrado (USP), 2006. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/81/81131/tde-18122020-183016/en.php>. Acesso em: 12 fev. 2021.
- SIQUEIRA; Maxwell Roger da Purificação; PIETROCOLA, Maurício. A transposição didática aplicada a teoria contemporânea: a física de partículas elementares no ensino médio. **Atas do X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF)**, Londrina, 2006. Disponível

em:

http://www.hu.usp.br/wp-content/uploads/sites/293/2016/05/Maxwell_A_TRANSPOSICAO_DIDATICA_APLICADA.pdf. Acesso em: 12 fev. 2021.

SHABAJEE, Paul; POSTLETHWAITE, Keith. What happened to modern physics? **School Science Review**, v. 81, n. 297, p. 51-56, 2000. Disponível em: <https://arxiv.org/ftp/physics/papers/0401/0401016.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2021.

SOARES NETO, João Augusto *et al.* Proposta de modelos para o ensino de física de partículas elementares na educação básica. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 43242-43257, 2020. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/12622/10599>. Acesso em: 21 fev. 2021.

SOUZA, M. A. M. *et al.* Jogo de Física de partículas: Descobrimo o bóson de Higgs. **Revista Brasileira. Ensino de Física**, v. 41, n. 2, e20180124, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2018-0124>. Acesso em: 11 fev. 2021.

THOMSON, Mark. **Modern Particle Physics**. Cambridge, Reino Unido: Cambridge Press, 2013.

WEINBERG, Alvin M. Impact of Large-Scale Science on the United States. **Science, Tennessee**, v. 134, n. 3473, p. 161-164, 1961.