

FÍSICA DE PARTÍCULAS NO ENSINO MÉDIO: UM OLHAR SOBRE OS MATERIAIS DIDÁTICOS

 <https://doi.org/10.56238/arev7n5-011>

Data de submissão: 02/04/2025

Data de publicação: 02/05/2025

Girleide Araujo do Nascimento

Licencianda em Física
Instituto Federal de Sergipe (IFS)
Lagarto, Sergipe - Brasil
E-mail: girleidebile@gmail.com

Jarbas Cordeiro Sampaio

Doutorado em Física
Instituto Federal de Sergipe (IFS)
Lagarto, Sergipe - Brasil
E-mail: jarbas.sampaio@ifs.edu.br

RESUMO

A física de partículas está cada vez mais presente no dia a dia, através de teorias e aplicações. Este trabalho tem como objetivo analisar a abordagem da Física de Partículas em jogos educativos utilizados no ensino médio. A pesquisa foi conduzida por meio de uma metodologia qualitativa, focando na análise bibliográfica dos materiais selecionados. Os resultados mostram que, apesar dos livros didáticos apresentarem uma abordagem limitada sobre a Física de Partículas, com poucas informações que contextualizam a importância desse campo da física no currículo escolar, em contrapartida, os jogos educativos mostram ferramentas eficazes para a promoção da aprendizagem, proporcionando uma interação mais dinâmica e estimulante para os alunos. Percebe-se que, os jogos educativos oferecem um suporte significativo, contribuindo para um aprendizado mais eficaz e engajado dos estudantes.

Palavras-chave: Física de partículas. Ensino médio. Jogos educativos.

1 INTRODUÇÃO

A Física é uma ciência que permeia o cotidiano. Com o crescimento tecnológico e a maior disponibilidade de recursos decorrentes desse avanço, surge a necessidade de desenvolver trabalhos relacionados à inserção do estudo da Física moderna e contemporânea no ensino médio. Esses conteúdos visam promover o entendimento do universo, permitindo que o aluno perceba e compreenda os fenômenos naturais e tecnológicos ao seu redor.

O estudo da Física de partículas proporciona uma visão do universo microscópico. Na busca pela compreensão da natureza, essa ciência contribui significativamente, enfatizando as possíveis lacunas existentes na física clássica. A Física de partículas está diretamente ligada aos modelos atômicos, que são abordados nas disciplinas de Física e Química. Os conhecimentos adquiridos por meio desse estudo podem ser aplicados em diversas áreas, como computação, nanotecnologia, nanociência, medicina e biotecnologia.

Diversos fatores podem contribuir para a ausência da abordagem desses conteúdos no ensino médio, como a falta de temas nos materiais didáticos e metodológicos e a carência de atualização curricular (MOREIRA, 2009; SIQUEIRA; PIETROCOLA, 2006). Por isso, é importante analisar a abordagem da Física de partículas, que pode auxiliar professores e alunos no avanço da compreensão da natureza.

Os conteúdos de Física moderna e Física de partículas são frequentemente abordados nos livros didáticos do 3º ano, sendo os últimos a serem apresentados. Por essa razão, podem não ser vistos devido à limitação de tempo (NETO, 2020), o que torna necessária a renovação curricular (SIQUEIRA; PIETROCOLA, 2006). É fundamental analisar a importância do estudo da Física de partículas no ensino médio, bem como a forma como é abordada, revisando os materiais didáticos disponíveis para a inserção desse conteúdo (TEIXEIRA; GODOY, 2021).

Uma das maneiras de tornar as aulas de Física de partículas mais interativas e divertidas para os estudantes é por meio do uso de jogos didáticos (SOUZA et. al., 2019; SILVA, 2019; OLIVEIRA e SIQUEIRA, 2018). Isso propõe formas de inserção de materiais didáticos disponíveis, podendo ser aplicados em conjunto com o ensino da Física clássica, como no conteúdo de eletrostática.

Dada a constante evolução dos estudos sobre os fenômenos da natureza, é essencial compreender a física em um contexto contemporâneo. Este trabalho tem como objetivo analisar a abordagem da Física de partículas nos materiais didáticos utilizados no ensino médio, avaliando sua eficácia e adequação para o aprendizado dos estudantes.

Para isso, será feita uma revisão da literatura existente sobre a física de partículas e sua relevância no currículo do ensino médio. Além disso, jogos educativos que abordam a física de partículas são analisados, avaliando sua potencialidade como ferramentas de ensino.

Com essas análises, pretende-se identificar lacunas nos materiais didáticos e propor recomendações para melhorar a inclusão da física de partículas no ensino médio. Essa abordagem visa não apenas enriquecer o conhecimento dos alunos, mas também preparar melhor os estudantes para os desafios contemporâneos da ciência.

A próxima seção trata do referencial teórico sobre a Física de Partículas, sua abordagem no ensino médio e seus recursos.

2 A FÍSICA DE PARTÍCULAS

O estudo sobre a matéria esteve presente nos séculos passados, e, ao longo dos estudos, muitas informações sobre sua formação foram reveladas. Com isso, foi possível obter um conhecimento mais concreto sobre o assunto, embora ainda esteja em evolução. No entanto, isso não diminui a profundidade das informações já adquiridas. Assim como na ciência e nas pesquisas científicas, que estão em constante mudança, com acréscimos ou revisões em teorias já estabelecidas, na área da física não foi diferente. Sempre houve algo a ser modificado ou complementado, de modo a proporcionar informações suficientes para a compreensão dos diversos fenômenos observados no mundo e em nosso cotidiano (Costa; Batista, 2017; Popper, 2004).

Na física de partículas, esse processo não foi distinto. Para chegar ao conhecimento atual sobre os constituintes elementares das partículas, suas interações e as radiações que elas emitem, foram necessárias muitas descobertas e investigações ao longo do tempo.

O início do estudo sobre partículas, ou seja, sobre os pequenos constituintes da matéria, remonta a 460 a.C., quando os gregos antigos começaram a investigar como as coisas eram compostas. O primeiro a propor essa ideia foi Demócrito, cuja perspectiva era fundamentada em noções filosóficas. Ele chegou à conclusão de que o mundo era formado por entidades elementares, que não poderiam ser divididas, e as chamou de átomos (Begalli, Caruso e Predazzi, 2011).

Para compreender a constituição da matéria, hoje correlacionada ao conceito de átomo, é fundamental considerar as contribuições de filósofos e pensadores ao longo da história. Até o século XVI, os aristotélicos adotaram a teoria dos pequenos pedaços, que se alinhava à ideia do átomo proposta por Demócrito. No entanto, a partir do século XVII, as ideias materialistas anticristãs que emergiram durante esse período levaram à rejeição do atomismo do Demócrito (Porto, 2013).

Na Idade Média, surgiu a teoria dos mínimos, que trouxe novas perspectivas para o desenvolvimento filosófico e, consequentemente, físico, uma vez que esse conceito está ligado à forma do ser no sentido aristotélico. Assim, a ideia do atomismo foi reavivada, resultando na recuperação da teoria do átomo de Demócrito.

A trajetória da física de partículas é de fato imensa, e houve muitos estudiosos a respeito da composição da matéria. Neste contexto, será discutida a evolução do conhecimento científico sobre a estrutura da matéria e suas partículas elementares, de acordo com o desenvolvimento do Modelo Padrão estabelecido na atualidade. Esta discussão será breve, não considerando os muitos trabalhos que, embora tenham contribuído de maneira relevante, não alcançaram as teorias mais recentes.

É importante destacar que a história das partículas que compõem o átomo é relativamente recente. No entanto, houve um processo de desenvolvimento, e a teoria atômica foi enfatizada a partir do século XVII por químicos como Lavoisier (1743-1794), Proust (1754-1826) e Avogadro (1776-1856). Essa teoria foi consolidada com John Dalton (1766-1844), que descreveu os elementos químicos como conjuntos de átomos, considerando-os como constituintes da matéria, com uma estrutura maciça, indivisíveis e indestrutíveis.

Na busca pelo entendimento da composição da matéria, o denominado período clássico (1897-1932) apresenta um dos modelos mais simples. Iniciando com as contribuições de J.J. Thomson (1856-1940), que afirmou a existência de carga elétrica no átomo a partir de seu experimento com o tubo de raios catódicos, ele determinou as características do elétron, que é a partícula negativa constitutiva dos átomos.

Em seguida, Ernest Rutherford (1871-1937) atualizou a teoria por meio da experiência de espalhamento de partículas alfa, na qual supôs a existência do núcleo atômico. Ele definiu que o átomo contém duas regiões: um núcleo e uma eletrosfera. O núcleo é formado por partículas com carga positiva, denominadas prótons, e, para manter a carga elétrica neutra, o número de prótons deve ser igual ao de elétrons (GRIFFITHS e DAVID, 2018).

Logo após, Niels Bohr (1885-1962) resolveu as limitações do modelo de Rutherford, propondo a existência de camadas eletrônicas na eletrosfera (modelo Rutherford-Bohr) e sugerindo que os elétrons se movem ao redor do núcleo de forma quantizada, mantendo assim sua estabilidade (Bohr, 1913). Por fim, James Chadwick (1891-1974) provou a existência do nêutron através da observação do átomo de hélio, que possui o dobro de prótons do hidrogênio, mas quatro vezes sua massa, indicando a presença de um outro tipo de partícula no núcleo, desprovida de carga elétrica (Chadwick, 1932).

A confirmação de que o átomo é formado por um núcleo composto por prótons e nêutrons, com elétrons orbitando ao redor do núcleo em um movimento quantizado para manter a estabilidade,

ocorreu em 1932. No entanto, os estudos não pararam por aí, pois ainda havia muito a ser entendido. De acordo com o princípio da ação e repulsão, cargas elétricas de mesmo sinal se repelem, enquanto cargas de sinais opostos se atraem. Surge, então, a questão: como os prótons, que possuem carga positiva, e os nêutrons, que não têm carga, no núcleo não sofrem repulsão eletrostática? Essa indagação motivou o surgimento de mais pesquisas em busca de compreensão.

Uma das características da física de partículas teve início com o estudo e a interpretação do campo eletromagnético a partir de seus quanta. Na tentativa de resolver o problema da emissão de radiação eletromagnética pelo corpo negro, surgiu o conceito de fóton, proposto por Max Planck (1858-1947) como um mecanismo de emissão em que o campo eletromagnético é quantizado, e o quanta desse campo é o fóton. Em contrapartida, Albert Einstein (1879-1955), por meio de seus estudos sobre o efeito fotoelétrico, concluiu que a quantização não é uma característica do mecanismo de emissão, mas sim uma propriedade intrínseca do campo eletromagnético. Em suas investigações sobre a interação da radiação com a matéria, Arthur Compton (1892-1962) percebeu uma transferência de momento, comprovando, assim, o caráter corpuscular da luz. Essas descobertas levaram à compreensão de que a interação eletromagnética ocorre por meio de sua partícula mediadora, o fóton (GRIFFITHS e DAVID, 2018).

Com os trabalhos de Hideki Yukawa (1907-1981), Carl D. Anderson (1905-1991), Clyde Cowan (1919-1974) e César Lattes (1924-2005), foi possível obter um modelo mais completo da constituição da matéria. Inicialmente, Yukawa propôs uma teoria sobre a força que mantém os prótons e nêutrons dentro do núcleo, denominada força nuclear. Essa força deve ser quantizada, é mais forte que a força eletromagnética e tem alcance muito curto. Para isso, a partícula mediadora deveria ser massiva; assim, ele sugeriu a existência de uma partícula que poderia ser emitida e absorvida por prótons e nêutrons, cuja interação geraria uma atração, chamando-a de méson, por ter uma massa intermediária entre a do próton e a do elétron. (MOREIRA, 2007).

Após isso, Carl D. Anderson e Seth Neddermeyer descobriram o mûon (méson μ), uma partícula de massa intermediária presente nos raios cósmicos, com um tempo de vida maior e massa menor do que a esperada, assemelhando-se ao elétron. Sua interação com o núcleo atômico era muito fraca, indicando que não poderia ser o quanta da força nuclear. Além disso, César Lattes realizou um experimento que levou à descoberta de outra partícula que se desintegrou nas camadas mais altas da atmosfera, decaindo em um mûon. Essa partícula foi chamada de píon (méson π) e apresentava características do méson. Posteriormente, constatou-se que o píon possuía uma forte interação com o núcleo atômico, atendendo, assim, às características descritas por Yukawa para a estabilidade do

núcleo. Portanto, registrou-se que o responsável pela força nuclear que mantém os prótons e nêutrons juntos é o píon, que possui um curto alcance de força, apesar de ser massivo (MOREIRA, 2007).

Com o avanço na busca pelo conhecimento sobre a composição da matéria, surgiu a descoberta da antimateria. Esse processo teve início com Paul Dirac (1902-1984), que, em seus estudos, formulou uma equação que conciliava a teoria quântica com a relatividade especial, abordando o comportamento de um elétron em movimento a velocidades relativísticas. No entanto, a equação apresentava um problema ao fornecer duas soluções possíveis: uma correspondia ao elétron com energia negativa e a outra à energia positiva (pósitron). Dirac interpretou essa situação como a indicação da existência de uma antipartícula para cada partícula. (DIRAC, 1981).

Em contrapartida, a evidência experimental do pósitron foi verificada por Anderson (1905-1991), que observou o rastro deixado na câmara de bolhas, notando uma diferença no raio de curvatura. Em suas análises dos campos aplicados e da trajetória, chegou à conclusão de que as características da partícula eram semelhantes às do elétron, mas com carga positiva. Mais tarde, foram evidenciadas a existência do antiproton e do antinêutron, que foram detectados em um acelerador de partículas conhecido como Bevatron. (ANDERSON, 1933).

Ao observar o decaimento beta, verificou-se que a energia do elétron emitido, chamado de partícula beta, era variável. Assim, Wolfgang Pauli (1900-1958) propôs a existência de uma nova partícula produzida no decaimento, sem carga elétrica e muito leve, a qual denominou neutrino, posteriormente identificado como um antineutrino. Descobriu-se que essa partícula também explica o decaimento do mûon em um píon, fazendo um ângulo de 90° em sua trajetória. Em busca de evidências experimentais do neutrino, Clyde Cowan (1919-1974) e Frederick Reines (1918-1998) tentaram identificá-lo através de um reator nuclear, investigando a possibilidade de ocorrer um decaimento beta inverso, o que levou à confirmação da existência e das propriedades básicas dessa partícula. Já Raymond Davis (1914-2006) e sua equipe, ao indicarem que as reações envolvendo neutrinos não ocorrem com antineutrinos, propuseram a existência do antineutrino. Por fim, em 1962, Leon Lederman, Melvin Schwartz, Jack Steinberger e seus colaboradores sugeriram a hipótese da existência de dois tipos de neutrinos. (GRIFFITHS e DAVID, 2018).

Com as descobertas do elétron, mûon e neutrinos, assim como de suas antipartículas, foi formada a família dos léptons. Em seguida, Konopinski e Mahmoud propuseram uma nova lei de conservação, do número leptônico, que é um número quântico conservado, responsável por representar a quantidade de léptons e antiléptons em uma reação. Vale ressaltar que os léptons são partículas que não estão sujeitas à interação forte. (GRIFFITHS, 2008).

A partir de então, a física de partículas parecia completa ao permitir a descrição da composição do universo, incluindo a estrutura do átomo, os neutrinos e as antipartículas. No entanto, muitas outras partículas surgiram após 1930. Gell-Mann e Nishima propuseram uma nova lei de conservação, chamada estranheza, devido ao fato de essas partículas serem criadas rapidamente e decaírem lentamente. Assim, essas partículas foram denominadas "estranhas", indicando que o processo de produção era distinto do processo de decaimento. Em outras palavras, os processos que ocorrem pela interação da força nuclear forte conservam a estranheza, enquanto aqueles que ocorrem pela força nuclear fraca não a conservam. (GELL-MANN, 1982).

Além disso, foi constatado que existiam partículas que se combinavam para formar os prótons e nêutrons. Gell-Mann denominou essas partículas de quarks, e os que ele previu foram o up, down e strange. Posteriormente, o quarto quark, chamado charm, foi descoberto por Bjorken e Glashow, enquanto o quinto quark, bottom, e o sexto quark, top, também foram identificados por Glashow. Os quarks são partículas subatômicas muito pequenas e são diferenciados por sua carga e massa. Cada quark possui seu respectivo antiquark. A combinação de quarks para a formação de partículas se divide em hadrons, que são compostos por três quarks, e mesons, que são formados por um quark e um antiquark. (MOREIRA, 2007).

Além disso, Glashow, Weinberg e Salam, em 1983, propuseram a teoria eletrofraca, que prevê três bósons vetoriais: dois carregados e um neutro, como mediadores da força fraca.

O que atualmente é conhecido como modelo padrão percorreu toda essa trajetória para que a teoria das partículas elementares seja organizada em suas respectivas famílias e interações, mediadas por partículas mediadoras (MOREIRA, 2009). No entanto, ainda não é uma teoria completa, pois restam questões a serem respondidas, como os diferentes valores de massa das partículas elementares e a ausência de consideração dos fenômenos gravitacionais. Contudo, pode-se concluir que o universo é constituído por seis léptons, seis quarks, bósons mediadores e suas antipartículas.

2.1 A IMPORTÂNCIA DA ABORDAGEM DA FÍSICA DE PARTÍCULAS NO ENSINO MÉDIO

Com o crescimento do mundo tecnológico e o maior acesso a recursos advindos desse avanço, surge a necessidade de desenvolver trabalhos relacionados à inserção do estudo da física moderna e contemporânea no ensino médio, ou seja, ensinar os conteúdos da física pós-Newton. Esses conteúdos são essenciais para o entendimento do universo criado pelo mundo atual, permitindo que o aluno perceba e lidere com fenômenos naturais e tecnológicos presentes no cotidiano, além de compreender o universo distante, a partir das leis, princípios e modelos construídos pela física (SIQUEIRA; PIETROCOLA, 2006).

No dia a dia, os fenômenos da física moderna estão presentes em tecnologias como o funcionamento de celulares, radiografias e ultrassonografias. Por trás dessas inovações, existem conhecimentos construídos e compartilhados ao longo de uma história recente, que são de suma importância no ensino médio. De acordo com Gomes, Garcia e Calheiro (2015), o ensino médio é o momento ideal para estimular um desenvolvimento crítico e reflexivo, trazendo questões que permitam aos alunos perceber os problemas atuais do mundo. Nesse contexto, os conhecimentos científicos desempenham um papel fundamental ao ajudar os alunos a desenvolver uma percepção crítica sobre o que os cerca. O estudo da física de partículas, em particular, tem contribuído para a resolução de problemas em diversas áreas, sendo a medicina, a nanotecnologia e a biotecnologia alguns exemplos primordiais.

É essencial que as pessoas conheçam o modelo atômico atual, uma vez que a busca por entender a constituição das coisas no mundo é uma preocupação constante. A falta de abordagem dos conteúdos recentes de física impede que os indivíduos se atualizem, levando-os a conhecer apenas modelos e teorias antigas. Isso os torna inconscientes das atualizações e descobertas mais recentes, que podem esclarecer questões antes não compreendidas. Em muitas áreas da ciência, as teorias são inicialmente apresentadas como propostas, e após extensos estudos, são confirmadas, além de serem enriquecidas por novas descobertas relacionadas ao tema. Portanto, é fundamental integrar esses conteúdos atualizados no ensino para que os alunos compreendam o estado atual do conhecimento científico.

Não se trata de desmerecer as abordagens antigas, mas sim de entender o contexto atual e comparar os conhecimentos anteriores com os contemporâneos, mostrando assim o desenvolvimento das teorias ao longo do tempo. Essa junção de conteúdos pode beneficiar a aprendizagem, como no caso do estudo do modelo atômico, que é introduzido no início do ensino de química. Os alunos já têm uma noção da estrutura atômica, mas ao chegarem ao terceiro ano, na parte de eletrostática, não são apresentados os modelos mais recentes que explicam fenômenos complexos. Um exemplo disso é a questão da repulsão eletrostática no núcleo atômico. Apesar de ser composto por prótons, que possuem cargas iguais e, portanto, se repelem, o núcleo não se desintegra devido à força nuclear, uma interação que não é suficientemente abordada nos currículos. Conhecer o modelo atômico atual é fundamental, e essa necessidade se estende a todos os conteúdos da física que foram atualizados e que são parte integrante da física moderna.

A inserção dos conteúdos de física moderna é um tema amplamente discutido há muito tempo, destacando-se tanto a relevância de sua abordagem quanto os trabalhos que contribuem para o ensino-aprendizagem, incluindo propostas e planejamentos. Várias pesquisas apoiam a inclusão desses conteúdos no ensino médio por diversas razões (OSTERMANN; FERREIRA; CAVALCANTI, 1998;

OLIVEIRA; VIANNA; GERBASSI, 2007; FERREIRA, 2013; LIMA; OSTERMANN; CAVALCANTI, 2017; SILVA; EIFLER, 2019; GOMES; DUARTE; SANTOS, 2019; DE SOUZA; FERREIRA, 2020).

Segundo Dorsch e Guio (2021), os tópicos de física de partículas são os mais recomendados entre os conteúdos de física moderna por 54 físicos, 22 professores de física do ensino médio e 22 pesquisadores em ensino de física entrevistados por Ostermann e Moreira (2000). A inclusão desses tópicos no ensino médio é importante, pois evidencia que a ciência é um processo em constante aprimoramento e ainda em desenvolvimento. Essa busca pela inserção da física moderna e da física de partículas visa promover uma aprendizagem que torne os alunos mais participativos, críticos e conscientes do mundo ao seu redor.

Em um estudo baseado no Caderno de Expectativas de Aprendizagem do estado do Paraná, que aborda a implementação das Curriculares Orientadoras de Educação Básica, Costa e Batista (2017) identificaram que os conteúdos da física de partículas, como a natureza da matéria, partículas elementares, o modelo padrão e as interações fundamentais, estão entre os tópicos que atendem a essas expectativas.

Portanto, é fundamental abordar os conteúdos de física moderna no ensino médio, permitindo que os alunos conheçam as descobertas mais recentes da área. Essa abordagem ajuda a entender o contexto, os avanços e as contribuições que essas descobertas trouxeram para o mundo atual.

2.2 A ABORDAGEM DA FÍSICA DE PARTÍCULAS E SEUS RECURSOS

A física é frequentemente considerada desinteressante, mas sua linguagem matemática é fundamental para compreender fenômenos cotidianos (PIETROCOLA, 2002). Para modificar essa percepção, Costa e Batista (2017) ressaltam a importância de apresentar a física como uma atividade humana e colaborativa, promovendo maior aproximação dos alunos com a ciência.

Diante da visão negativa sobre a disciplina, muitos estudos buscam apresentar conteúdos de forma criativa. Hoje, com facilidade de acesso à informação, diversas abordagens inovadoras podem ser encontradas online, estimulando a criatividade no ensino. Tais iniciativas visam transformar a realidade em que a física tem se encontrado, tornando-a mais atraente e acessível.

A utilização de tecnologias, como simulações computacionais e jogos educativos, pode ser uma estratégia eficaz para facilitar a compreensão de conceitos complexos. Ferreira et al. (2020) afirmam que "jogos e simulações promovem um ambiente de aprendizagem dinâmico, estimulando a curiosidade e o engajamento dos alunos". Essas ferramentas não apenas tornam o aprendizado mais interessante, mas também permitem que os alunos experimentem teorias em um ambiente controlado.

Na física de partículas, a escassez na abordagem desse conteúdo no ensino médio levou muitos pesquisadores a destacá-lo em suas investigações. Além de reconhecer a importância de abordar esse tema, houve uma preocupação com as estratégias utilizadas para fazê-lo de forma eficaz.

A física de partículas, em particular, carece de uma abordagem mais aprofundada no ensino médio, levando pesquisadores a investigarem formas eficazes de tratá-la. A criação de estratégias didáticas que tornem o conteúdo acessível é essencial, já que a complexidade de suas teorias muitas vezes a torna inacessível para os alunos. Além disso, a inclusão de tópicos sobre física de partículas em materiais didáticos e livros especializados é crucial. Estudos de Souza e Lima (2019) indicam que "a formação de professores e a qualidade dos materiais disponíveis são fatores determinantes para a abordagem da física de partículas no ensino médio". Isso demonstra a necessidade de um investimento contínuo na formação de docentes e na atualização dos recursos educacionais.

Em resumo, a abordagem da física de partículas no ensino médio deve ser repensada e adaptada para engajar os alunos. A combinação de métodos criativos, tecnologias educacionais, análises de livros didáticos e uma formação adequada para professores pode transformar essa disciplina em uma área fascinante e acessível.

3 METODOLOGIA

A fim de identificar como a física de partículas é abordada nos materiais didáticos utilizados no ensino médio, foi realizada uma pesquisa qualitativa por meio de análise bibliográfica, revisando detalhadamente a literatura sobre o ensino de física de partículas, abordagens pedagógicas e uso de materiais didáticos, com foco em jogos.

Para a investigação, foram analisados jogos didáticos sobre física de partículas desenvolvidos por Jesus e Amorim (2019), Souza et. al. (2019) e Neves e Silva (2021).

Os jogos didáticos têm finalidades específicas, mas todos compartilham o objetivo de auxiliar no ensino-aprendizagem de física de partículas. Um dos jogos selecionados é um jogo de cartas, onde os alunos se familiarizam com as partículas elementares, a constituição dos hadrons e a conservação da carga elétrica. Os outros dois consistem em jogos de tabuleiro que exigem respostas a perguntas sobre física de partículas e história da ciência. À medida que os alunos avançam pelas casas do tabuleiro, eles conhecem as partículas elementares, suas histórias e conteúdos relacionados à física de partículas. Um dos jogos, em particular, tem como objetivo simular a jornada pelos experimentos do Grande Colisor de Hadrons (LHC), culminando na descoberta do bóson de Higgs no experimento ATLAS.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, a análise dos recursos da temática da física de partículas será organizada em tópicos, analisando diferentes jogos educativos e como eles representam a física de partículas, considerando, as dinâmicas e, o potencial para ensinar conceitos complexos de forma lúdica e interativa.

4.1 ANÁLISES DE JOGOS

Os jogos escolhidos para análise foram de cunho bibliográfico e serão descritos os seus autores, ano de publicação e títulos organizados por ordem alfabética do nome dos jogos no Quadro 1 a seguir:

Quadro 1 – Autores, ano de publicação e títulos dos jogos escolhidos para análise

AUTORES	ANO	TÍTULOS
Jesus e Amorim	2019	Uma Proposta de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa para Ensinar Física de Partículas por meio de Jogos de Cartas
Souza et. al.	2019	Jogo de Física de Partículas: Descobrindo o Bóson de Higgs
Neves e Silva	2021	Na trilha das partículas: O ensino de Física de Partículas a partir de um jogo de tabuleiro

Fonte: Elaboração própria, 2024.

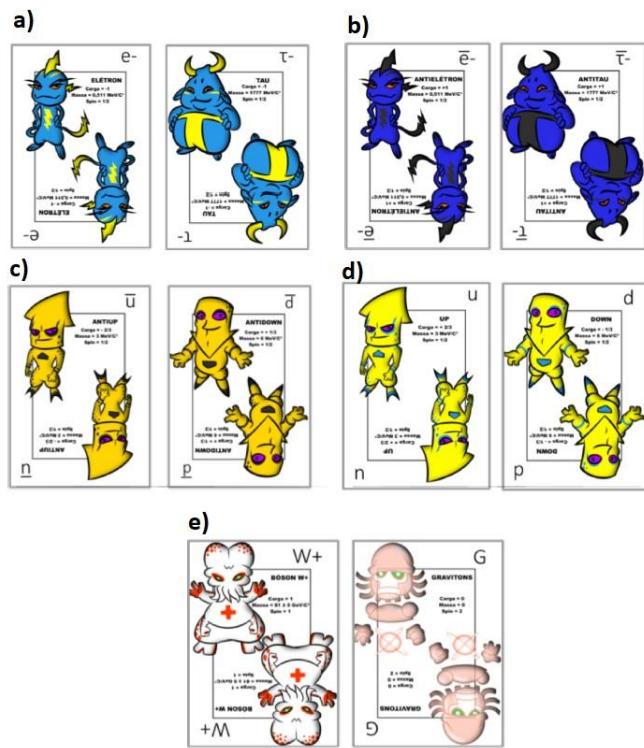
As próximas subseções detalham os jogos estudados.

4.1.1 Dança dos quarks e léptons (JESUS E AMORIM)

O intuito do trabalho desenvolvido pelos autores foi a produção e aplicação de uma sequência didática baseada na Unidade de Ensino Potencialmente Significativa. E nessa sequência foi desenvolvido e aplicado um jogo de cartas cujo objetivo foi o de analisar o modelo padrão, os conceitos físicos desenvolvidos e também discutir temas relacionados com a formação dos hadrons.

O jogo consiste em um baralho com um total de trinta e seis cartas, sendo estas, cartas léptons, antiléptons, quarks, antiquarks e bósons, como mostrado na Figura 1, também um dado de partículas mésons e um dado de partículas bárions. O jogo pode ser utilizado para duas finalidades, a primeira é de familiarizar o aluno com as famílias das partículas elementares e a segunda é sobre a constituição dos hadrons e a conservação da carga elétrica.

Figura 1: Modelo de cartas dos léptons a), antiléptons b), antiquarks c), quarks d) e bósons e).



Fonte: Jesus e Amorim (2019)

4.1.1.1 Familiarizar o aluno com as famílias das partículas elementares

Para essa primeira finalidade somente são utilizadas as trinta e seis cartas e as regras de jogo da primeira etapa descritas pelos autores são:

- cada aluno deverá receber oito cartas em cada rodada;
- o primeiro a jogar é o aluno que se encontra após o que distribuiu as cartas;
- na próxima rodada baralha o aluno que começou o jogo na rodada anterior;
- o aluno que receber as cartas primeiro, é o primeiro a pegar uma carta no monte e descartar aquela que não lhe serve;
- o próximo aluno pode pegar a carta descartada ou pegar uma no monte;
- cada aluno deverá formar duplas partícula/antipartícula, respeitando a família das cartas, ex: elétron/antielétron;
- ganha a rodada o aluno que formar quatro duplas primeiro;
- cada rodada vale um ponto;
- ganha o jogo o aluno que somar três pontos primeiro.

4.1.1.2 Constituição dos hadrons e a conservação da carga elétrica

Já para a segunda finalidade são utilizadas as trinta e seis cartas, um dado de partículas mésons e um dado de partículas bárions e as regras de jogo podendo também ser alteradas descritas pelos autores são:

- os alunos podem jogar individualmente ou formando duplas;
- o professor arremessa um dado de cada vez, podendo ser o dado méson ou bárion;
- o jogador deve formar a partícula sorteada respeitando a conservação da carga elétrica;
- o jogador pode consultar a tabela com os componentes quarks de cada partícula;
- cada aluno deverá receber nove cartas em cada rodada;
- o primeiro a jogar é o aluno que se encontra após o que distribuiu as cartas;
- na próxima rodada, baralha o aluno que começou o jogo na rodada anterior;
- o aluno que receber as nove cartas primeiro, é o primeiro a pegar uma carta no monte
- e descartar aquela que não lhe serve;
- o próximo aluno pode pegar a carta descartada ou pegar uma no monte;
- ganha a rodada o aluno que primeiro formar a partícula sorteada no dado;
- cada rodada vale um ponto;
- ganha o aluno ou dupla que somar três pontos primeiro.

Como a finalidade do jogo é familiarizar os alunos com as famílias das partículas elementares, o objetivo é formar duplas de partículas e antipartículas, somando quatro pares a cada três rodadas. O benefício dessa regra é a memorização das partículas pela repetição dos símbolos, o que pode também chamar a atenção dos alunos para a memorização das figuras.

Uma sugestão de regras para o jogo, visando a familiarização dos alunos com as famílias das partículas, seria a utilização do descarte de cartas assim que as duplas forem formadas. Dessa forma, o objetivo seria encontrar e descartar o maior número de pares de cartas. O jogo poderia ser jogado por 2 a 6 alunos, utilizando um baralho de trinta e seis cartas. As regras do jogo seriam:

- Embaralhar o baralho e distribuir todas as cartas viradas para baixo entre os alunos, de forma que cada um receba um número igual de cartas.
- Colocar o restante das cartas no centro da mesa, formando uma pilha de descarte com a carta do topo virada para cima.
- Cada aluno deve organizar suas cartas em pilhas individuais viradas para baixo.

- O aluno à esquerda da pilha de descarte inicia o jogo. Sendo que na sua vez, o aluno pode realizar uma das seguintes ações:

Descartar uma carta: O aluno pega a carta do topo da sua pilha individual e a descarta na pilha de descarte, virada para cima.

Tentar formar um par: O aluno pega a carta do topo da pilha de descarte e verifica se ela forma um par com qualquer carta em sua pilha individual. Se formar um par, o aluno descarta as duas cartas na pilha de descarte e marca um ponto para si mesmo. Se não formar um par, o aluno coloca a carta do descarte em sua pilha individual, virada para baixo.

- Cada aluno realiza sua jogada. um aluno não pode olhar as cartas dos outros alunos.
- Se a pilha de descarte acabar, a carta do topo da pilha de compra virada para cima e o jogo continua.
- O jogo termina quando todas as cartas forem descartadas e formarem pares, ou quando um aluno alcançar um número pré-determinado de pontos (por exemplo, 5 pontos).
- O aluno com mais pontos no final do jogo vence.

Quanto à finalidade da constituição dos hadrons e à conservação da carga elétrica, cujo objetivo é formar a partícula sorteada no dado, seria interessante utilizar esse critério como avaliação do conteúdo abordado na disciplina. A abordagem do conteúdo, realizada por meio de jogos ou outras metodologias, deve ser comunicada aos alunos, permitindo que eles se preparem adequadamente para as avaliações. Por meio do jogo, os alunos podem expor seus conhecimentos individualmente, sendo realizada a mesma etapa de sorteio, e a pontuação seria equivalente ao número de acertos na montagem das partículas sorteadas com as cartas. Por exemplo, poderiam ser sorteadas duas partículas de cada dado.

4.1.2 Descobrindo o Bóson de Higgs (SOUZA et. al.)

No seu trabalho, o autor utiliza estratégias lúdicas e divertidas para ensinar os fenômenos estudados no Grande Colisor de Hadrôns, promovendo descobertas e construindo conhecimento sobre a teoria do bóson de Higgs e sua detecção no experimento ATLAS. Para isso, foi desenvolvido um jogo de tabuleiro chamado “Descobrindo o Bóson de Higgs”, que acompanha os experimentos do Grande Colisor de Hadrôns até a descoberta do bóson de Higgs no experimento ATLAS.

No jogo, os alunos conhecerão as partículas elementares ao responder perguntas e enfrentar obstáculos e desafios, como escapar de um buraco negro, de um loop temporal ou da radiação gama, além de serem confinados pela força nuclear forte. Além dos desafios, os jogadores poderão reduzir

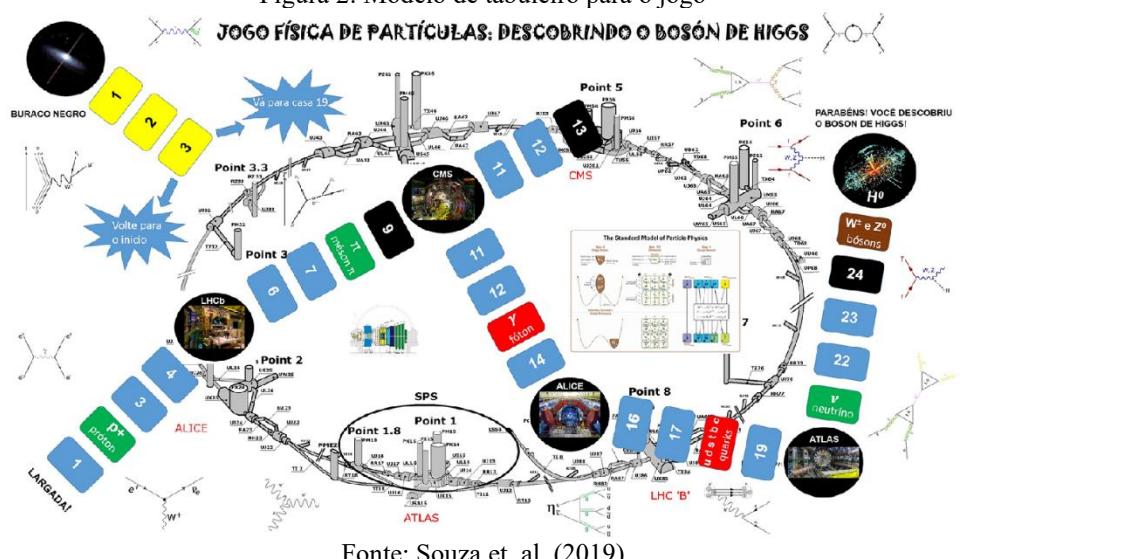
distâncias por meio de viagens no espaço-tempo e, com a ajuda de prótons e neutrinos, poderão avançar no jogo. Para escapar do buraco negro, utilizarão o decaimento dos pions, podendo chegar à descoberta dos bósons.

As peças do jogo incluem um tabuleiro, um dado, cartas com perguntas e quatro cones de diferentes cores para representar os jogadores ou grupos de jogadores

Para aprofundar as instruções do jogo, o autor explica, por meio de uma jogada hipotética, os benefícios e desafios que ele oferece. O tabuleiro contém casas de três tipos: partículas, experimentos do LHC e buracos negros, veja a Figura 2.

Entre as partículas, destaca-se o próton, cuja função é permitir que o participante jogue mais uma vez, além de apresentar uma breve explicação sobre suas características e o papel dos feixes dentro do LHC. Outro elemento importante é o méson (píon), que, além de uma introdução sobre suas características, possui a função de escapar da zona de buracos negros e avançar até o experimento CMS (Content Management System), aproveitando a instabilidade do píon para "pegar carona" com o múon.

Figura 2: Modelo de tabuleiro para o jogo



Fonte: Souza et. al. (2019)

O fóton também é uma partícula importante, com a função de retornar duas casas antes de ser atingido pela radiação gama; o autor explica suas características em relação às radiações. Os quarks, por sua vez, têm a função de fazer o jogador ficar duas rodadas sem jogar, também acompanhados de uma introdução sobre suas características.

A partícula neutrino tem a função de inverter o jogo, permitindo que o jogador "pegue carona" com o neutrino, não interaja com nada e avance duas casas, além de incluir uma breve explicação. Por

fim, as partículas bóson W^- e Z , que mediam a força fraca, têm a função de responder a uma pergunta para avançar em direção à grande descoberta do bóson de Higgs.

Entre os experimentos do LHC, destaca-se o experimento LHCb, cujas siglas significam "Large Hadron Collider beauty experiment". Seu objetivo é detectar violações na simetria, e sua função no jogo é escolher um participante para responder a uma pergunta e aguardar a vez de jogar.

Outro experimento é o CMS, cuja sigla em português significa "Solenoide de Múon Compacto". Entre seus objetivos estão a detecção de dimensões extras, o estudo de colisões entre íons pesados e a investigação da física na faixa de energia TeV.

O experimento ALICE, cuja sigla em português se traduz como "Um Grande Experimento Colisor de Íons", tem como objetivo estudar o plasma e íons de altas energias. No jogo, sua função é aguardar a vez de jogar e escolher um participante para responder a uma pergunta.

Por fim, temos o experimento ATLAS, cuja sigla traduzida para o português significa "Dispositivo Instrumental Toroidal". Este experimento atua como um detector de partículas, incluindo o bóson de Higgs e partículas supersimétricas, e sua função no jogo é fazer com que o jogador fique uma rodada sem jogar.

A casa onde se encontra o buraco negro tem a função de levar o participante a essa situação, fazendo com que ele aguarde a vez de jogar. Caso o jogador seja bem-sucedido nas respostas, conseguirá escapar da atração gravitacional e poderá avançar no espaço-tempo. Se falhar, cairá em um loop temporal e retornará ao início do jogo.

Como o objetivo é descobrir o bóson de Higgs, ao chegar ao final, o participante vencedor receberá a mensagem: "PARABÉNS! VOCÊ ACABA DE FAZER UMA GRANDE DESCOBERTA E REVOLUCIONAR A FÍSICA. SINTA-SE ORGULHOSO DE ENTRAR PARA A HISTÓRIA DA CIÊNCIA.....", além de obter informações sobre essa partícula. O autor aplica o jogo e, em seu trabalho, relata suas experiências.

O jogo consiste basicamente em percorrer cada passo da descoberta do bóson de Higgs. De maneira diferenciada, o aluno pode obter informações sobre o caminho até essa descoberta e entender a representação de cada casa surpresa encontrada no tabuleiro, de acordo com a casa em que cair, seja ela relacionada a partículas, desafios a serem cumpridos ou a um dos experimentos. Isso significa que o aluno alcançará a aprendizagem por descoberta, explorando as regras e os desafios do jogo. Dessa forma, os alunos constroem seu próprio conhecimento de maneira ativa e significativa, ao mesmo tempo que se deparam com situações que estimulam a curiosidade e o raciocínio crítico.

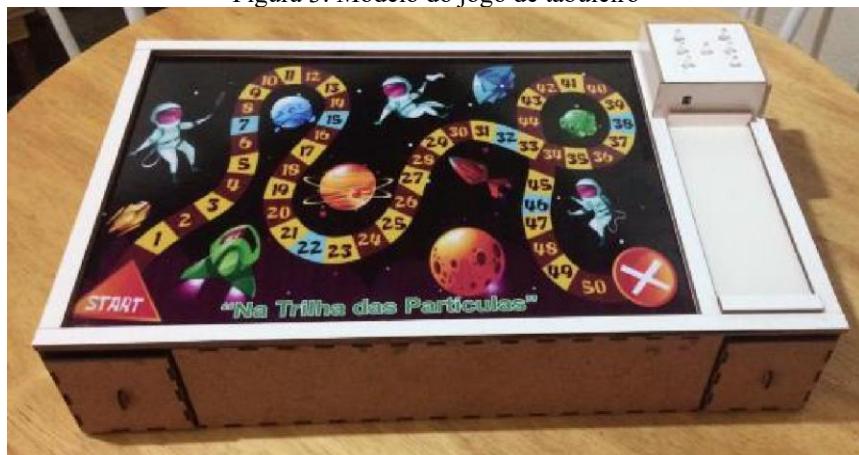
Esse jogo de tabuleiro é uma excelente ferramenta para o ensino-aprendizagem, pois a competição em busca da linha de chegada, ou seja, a descoberta do bóson de Higgs, proporcionará

momentos de aprendizagem aliada à diversão, tornando o conhecimento uma experiência prazerosa e memorável.

4.1.3 Na trilha das partículas (NEVES e SILVA)

O Jogo denominado “na trilha das partículas” foi utilizado por Neves e Silva (2021) em sua elaboração para um sequência didática que foi fundamentada na teoria de Vygotsky, pois Neves e Silva (2021, p.7) descreve “Para Vygotsky (1991), os jogos didáticos desperta no aluno a curiosidade, a iniciativa, a autoconfiança, o aprende a agir, além de proporciona o desenvolvimento da linguagem, pensamento e da concentração”. A Figura 3 mostra o jogo de tabuleiro.

Figura 3: Modelo do jogo de tabuleiro



Fonte: Neves e Silva (2021).

O jogo consiste em uma viagem espacial na qual os participantes buscam as partículas elementares. Ele inclui um tabuleiro, um dado eletrônico, quatro pinos, cartas com perguntas sobre partículas subatômicas, cartas com perguntas sobre a história da ciência, cartas surpresas, cartas de antimateria e cartas sobre forças e partículas.

O dado eletrônico é opcional, mas foi confeccionado utilizando um Arduino, sete LEDs de alto brilho (vermelhos), dois resistores de $100\ \Omega$, uma mini chave interruptora, fios para as conexões e uma bateria de 9V. Ele foi programado para sortear de forma aleatória os números de 1 a 6. Os quatro pinos servem para percorrer o tabuleiro.

Em um total de 107 cartas elaboradas divididas em:

- Carta Partículas Subatômicas: No jogo, as equipes usaram estas cartas para ter acesso à pergunta se estiver no tabuleiro em uma casa de cor amarela. E são um total de 24 cartas com perguntas recentes sobre a física de partículas.

- Cartas História da Ciência: No jogo, as equipes usaram estas cartas para ter acesso à pergunta se estavam no tabuleiro em uma casa de cor vermelha. São um total de 24 com perguntas referentes à história da ciência.
- Cartas Surpresa: No jogo, as equipes usaram estas cartas somente se estiver no tabuleiro em uma casa de cor azul, as cartas surpresa permitem que o jogador avance ou volte casas no tabuleiro, ou repasse a sua vez de jogar e são um total de 15 cartas.
- Cartas Forças e Partículas: No jogo, essas cartas possuem pontuações e para cada questão respondida corretamente no jogo a equipe ganha uma carta “Forças e Partículas” e são um total de 24 cartas.
- Carta Antimatéria: No jogo, as equipes ganharão uma carta Antimatéria sempre que errar uma resposta durante o jogo, e são um total de 24 cartas referentes às partículas.

E as regras do jogo são:

- Antes de dar início a uma partida, o professor/ pesquisador deverá escolher um aluno ou aluna da turma para realizar as perguntas do jogo a cada equipe. O escolhido (a) deverá ler as regras do jogo e embaralhar todas as cartas com perguntas e respostas.
- Poderão participar de uma partida apenas duas equipes e o somente o líder de cada equipe deslocará o pino no tabuleiro com o objetivo de chegar ao final do trajeto.
- Para dar início a uma partida, os líderes de cada equipe devem tirar (par ou ímpar) para saber que primeiro vai acionar o dado eletrônico. A equipe que obtiver maior pontuação no dado eletrônico será a primeira a responder às perguntas.
- Se o número sorteado no dado for correspondente a uma casa da trilha de cor vermelha, o líder da equipe deverá escolher dentre as cartas história da ciência uma carta para ser respondida.
- Se o número sorteado no dado for correspondente a uma casa da trilha de cor amarela, o líder da equipe deverá escolher dentre as cartas partículas subatômicas uma carta para ser respondida.
- Se o número sorteado no dado for correspondente a uma casa da trilha de cor azul, o líder da equipe deverá escolher uma carta dentre as cartas surpresa.
- Se a equipe acertar uma pergunta do jogo escolherá uma carta de cor verde intitulada “Forças e Partículas”. Caso erre, deverá pegar uma carta de roxa denominada de “Antimatéria”.
- Uma carta de cor roxa elimina uma carta de cor verde.
- A equipe que finalizar o jogo com a maior quantidade de cartas de cor verde receberá uma bonificação.

- Ganha o jogo a equipe que primeiro finalizar a trilha.

A trajetória percorrida por este jogo proporciona uma aprendizagem de forma mais motivadora, pois a natureza lúdica dos jogos de tabuleiro desperta o interesse e a curiosidade dos alunos. Como o jogo é baseado em perguntas e respostas, ele promove o desenvolvimento de habilidades interpessoais, uma vez que os alunos precisam debater, argumentar e trabalhar em equipe para alcançar o objetivo comum: a finalização da trilha e a vitória no jogo. Esse processo contribui para o desenvolvimento de habilidades interpessoais importantes para a vida em sociedade.

A utilização de premiações é um artifício motivador que incentiva os alunos a se comprometerem mais com as respostas, já que um prêmio será concedido àquele que conseguir acumular mais cartas, ou seja, que responder a um maior número de perguntas corretamente. A bonificação pensada pelo autor estimula a concentração para a compreensão das perguntas, além de promover o debate, o que também contribui para o aprendizado do conteúdo.

A próxima seção é a conclusão do trabalho.

5 CONCLUSÃO

Percebe-se que a física de partículas não é discutida de forma adequada, limitando a compreensão dos estudantes sobre as partículas fundamentais e suas interações. Temas cruciais, como o modelo padrão, que descreve as partículas elementares e suas forças, normalmente, não são integrados ao conteúdo, o que poderia enriquecer significativamente o aprendizado.

Essa lacuna, destaca a necessidade de atualizar os currículos e materiais didáticos para incluir a física de partículas, para que venha a proporcionar aos alunos uma base sólida e contemporânea sobre o assunto, não apenas ajudaria a consolidar seu entendimento da ciência, mas também despertaria o interesse em áreas emergentes da física. Assim, uma abordagem mais abrangente, poderia preparar melhor os estudantes para os desafios e descobertas futuras na ciência.

Os jogos didáticos analisados demonstram relevância significativa em sua abordagem, pois exploram de forma concreta o mundo da física de partículas. Essas ferramentas são objetivas e bem estruturadas, transmitindo um compromisso sincero em explicar o tema de maneira acessível e envolvente.

Essa abordagem não apenas eleva o ensino e a aprendizagem, mas também estimula o interesse dos estudantes em aprender e descobrir mais sobre o universo e suas implicações no dia a dia. Ao tornar a física de partículas mais interativa e lúdica, os jogos educativos podem transformar a experiência de aprendizagem, incentivando a curiosidade e a investigação científica entre os alunos.

Diante disso, é crucial realizar análises futuras sobre a abordagem dos conteúdos de física de partículas no ensino médio, com o objetivo de promover a atualização e a integração dos temas. Essa atualização é fundamental para garantir que os alunos tenham acesso a conhecimentos científicos relevantes e contemporâneos. Além disso, uma abordagem integrada pode facilitar a compreensão das interações entre partículas e suas aplicações no cotidiano, fortalecendo o entendimento geral da física. Investir em pesquisas e discussões sobre esse tema ajudará a moldar currículos que preparem melhor os estudantes para os desafios científicos do futuro e estimulem seu interesse pela ciência.

Seria interessante, que fossem desenvolvidos mais trabalhos voltados para a criação de jogos que ensinam esses conteúdos de forma eficaz e divertida. Jogos educativos podem transformar a aprendizagem em uma experiência envolvente, ajudando os alunos a se conectarem melhor com os conceitos. Essa iniciativa poderia fomentar a colaboração entre educadores, designers de jogos e cientistas, resultando em ferramentas inovadoras que tornem a física de partículas mais acessível e atraente. Dessa forma, o aprendizado não se tornaria apenas informativo, mas também prazeroso, estimulando a curiosidade e o interesse dos estudantes pela ciência. Essa abordagem pode criar um ambiente de aprendizagem mais dinâmico e interativo, essencial para o desenvolvimento do pensamento crítico e científico entre os jovens.

Pensando em trabalhos futuros, dois objetivos se destacam. O primeiro seria continuar a pesquisa sobre a abordagem da física de partículas em outras instituições de ensino, utilizando livros didáticos como recursos. Isso permitiria uma comparação mais ampla das práticas educacionais. O segundo objetivo seria desenvolver uma pesquisa de campo focada na abordagem do tema, coletando informações diretamente da realidade relatada por alunos e professores de uma instituição específica. Essa combinação de métodos enriqueceria a compreensão do tema e ajudaria a identificar soluções práticas para melhorar a educação nesse campo.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, Carl D. O elétron positivo. *Physical review* , v. 43, n. 6, p. 491, 1933.
- BEGALLI, Marcia; CARUSO, Francisco; PREDAZZI, Enrico. O desenvolvimento da Física de Partículas. *op. cit*, p. 71-85, 2011.
- BOHR, Niels. I. Sobre a constituição de átomos e moléculas. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science* , v. 26, n. 151, p. 1-25, 1913.
- CHADWICK, James. Possível existência de um nêutron. *Nature* , v. 129, n. 3252, p. 312-312, 1932.
- COSTA, Marcia da; BATISTA, Irinéa de Lourdes. Noções de alunos do Ensino Médio a respeito da estrutura da matéria: investigação de uma abordagem histórico-didática para o ensino de Física de Partículas. *Revista electrónica de investigación en educación en ciencias*, v. 12, n. 2, p. 1-23, 2017.
- DE SOUZA, Ramon Ribeiro; FERREIRA, Cristine Nunes. Inserção de tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio. In: *Congresso Fluminense de Pós-Graduação-CONPG*. 2020.
- DORSCH, Glauber Carvalho; GUIO, Thaisa Carneiro da Cunha. Física de Partículas no ensino médio Parte I: Eletrodinâmica Quântica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 43, 2021.
- DIRAC, Paul Adrien Maurice. *Os princípios da mecânica quântica* . Oxford university press, 1981.
- FERREIRA, Rodrigo Medeiros et al. Física Moderna: divulgação e acessibilidade no ensino médio através das histórias em quadrinhos. 2013.
- FERREIRA, R. S. et al. A importância dos jogos no ensino de física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 37, n. 2, p. 321-334, 2020.
- GELL-MANN, Murray. Estranheza. *Le Journal de Physique Colloques* , v. C8, pág. C8-395-C8-408, 1982.
- GOMES, André Taschetto; GARCIA, Isabel Krey; CALHEIRO, Lisiâne Barcellos. Atividades baseadas na Aprendizagem Significativa (AS): avanços na Educação de Jovens e Adultos a partir da Interdisciplinaridade como atitude do professor. *Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM, Ciência e Natura*, Santa Maria, v. 37 n. 3 set-dez. p. 821-832, 2015.
- GOMES, Isaías Fernandes; DUARTE, Alejandro Fonseca; SANTOS, Bianca Martins. Proposta de uma Sequência de Ensino Investigativo abordando o ensino de física moderna. *Revista do Professor de Física*, v. 3, n. Especial, p. 67-68, 2019.
- GRIFFITHS, Darrell F.; DAVID, J. Schroeter. *Introdução à mecânica quântica*. 2018.
- GRIFFITHS, D. J. *Introduction to Elementary Particles*. 2. ed. Weinheim: Wiley-VCH, 2008.

JESUS, Rafael Tereso de ; AMORIM, Ronni Geraldo Gomes de. Proposta de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa para Ensinar Física de Partículas por meio de Jogos de Cartas. *Revista do Professor de Física*, v. 3, n. 1, p. 47-84, 2019

LIMA, Nathan Willig; OSTERMANN, Fernanda; CAVALCANTI, Claudio Jose de Holanda. Física Quântica no ensino médio: uma análise bakhtiniana de enunciados em livros didáticos de Física aprovados no PNLD 2015. *Caderno brasileiro de ensino de física*. Florianópolis. Vol. 34, n. 2 (ago. 2017), p. 435-459, 2017.

MOREIRA, Marco Antonio. A física dos quarks e a epistemologia. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 29, n. 2, p. 161-173, 2007.

MOREIRA, Marco Antonio. O modelo padrão da física de partículas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 31, p. 1306.1-1306.11, 2009.

NETO, João Augusto Soares 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.

NEVES, Francisco Glaison Monteiro das; SILVA, José Euclides Gomes da. NA TRILHA DAS PARTÍCULAS: O ensino de Física de Partículas a partir de um jogo de tabuleiro. 2021. Tese de Doutorado. Universidade Regional do Cariri.

OLIVEIRA, Daniel Souza de; SIQUEIRA, Maxwell. A Transposição da Física de Partículas Elementares em livros didáticos de Física do PNLD 2018.

OLIVEIRA, F. F.; VIANNA, D. M.; GERBASSI, R. S. Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 19, n. 3, p. 447-454, 2007.

OSTERMANN, Fernanda; FERREIRA, Leticie Mendonça; CAVALCANTI, Claudio Jose de Holanda. Tópicos de física contemporânea no ensino médio: um texto para professores sobre supercondutividade. *Revista brasileira de ensino de física*. Vol. 20, n. 3 (set. 1998), p. 270-2884, 1998.

OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Marco Antônio. Uma Revisão Bibliográfica sobre a Área de Pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”. *Investigações em Ensino de Ciências* – V5(1), pp. 23-48, 2000.

POPPER, Karl R. A lógica da pesquisa científica. Editora Cultrix, 2004.

PIETROCOLA, Maurício. A matemática como estruturante do conhecimento físico. *Caderno brasileiro de ensino de física*, v. 19, n. 1, p. 93-114, 2002.

PORTO, C. M. O atomismo grego e a formação do pensamento físico moderno. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 35, p. 1-11, 2013.

SILVA, Fabiene Barbosa da; EIFLER, Andressa dos Santos. A IMPORTÂNCIA DA FÍSICA MODERNA PARA O USO CORRETO DA RADIOATIVIDADE. In: III ENCONTRO DAS LICENCIATURAS REGIÃO SUL. 2019.

SILVA, Vanessa Cristina da. Conhecendo as partículas subatômicas através de um jogo educacional: viajando ao invisível. 2019. Dissertação de Mestrado. Brasil.

SIQUEIRA M.; PIETROCOLA M. A Transposição Didática aplicada a Teoria Contemporânea: a Física de Partículas Elementares no Ensino Médio. Anais do Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física, Londrina, PR, Brasil, 10, 2006.

SOUZA, L. F.; LIMA, M. R. A formação de professores de física e a abordagem da física de partículas. Revista Brasileira de Educação em Física, v. 34, n. 2, p. 75-88, 2019.

SOUZA, M. A. M. et al. Jogo de Física de partículas: Descobrindo o bóson de Higgs. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 41, n. 2, p. e20180124, 2019.

TEIXEIRA, R. R. P.; GODOY, R. H. R. Recursos didáticos para o ensino de física de partículas. Revista Iluminart – v.19, 2021.