

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

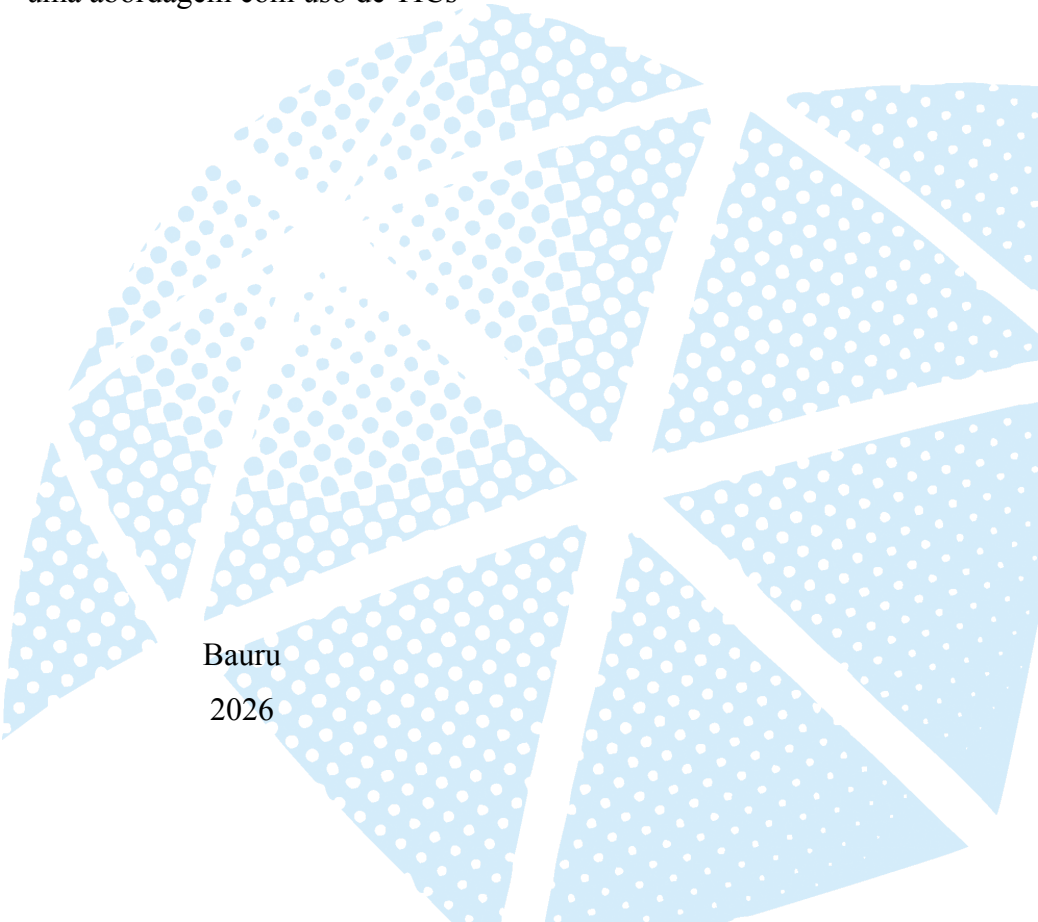
Faculdade de Ciências - Campus de Bauru

THIAGO DO CARMO FRANCO

PARTÍCULAS ELEMENTARES E APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

uma abordagem com uso de TICs

Bauru
2026



THIAGO DO CARMO FRANCO

PARTÍCULAS ELEMENTARES E APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

uma abordagem com uso de TICs

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências, Bauru, para obtenção do título de Mestre em Educação para a Ciência.

Área de Concentração: Ensino de Ciências e Matemática

Orientadora: Profa. Dra. Patrícia Fernanda de Oliveira Cabral

Coorientador: Prof. Dr. Aguinaldo Robinson de Souza

Bauru

2026

Franco, Thiago.

PARTÍCULAS ELEMENTARES E APRENDIZAGEM

SIGNIFICATIVA: uma abordagem com uso de TICs/ Thiago Franco. -
Bauru, 2026

89 f. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências, Bauru.

Orientadora: Patrícia Fernanda de Oliveira Cabral

1. Aprendizagem Significativa. 2. Física de Partículas. 3. Ensino -
Física de Partículas. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de
Ciências. II. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE Mestrado de THIAGO DO CARMO FRANCO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO PARA A CIÊNCIA, DA FACULDADE DE CIÊNCIAS - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 15 de junho de 2026, às 14h10min, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE Mestrado de THIAGO DO CARMO FRANCO, intitulada "Partículas Elementares e Aprendizagem Significativa: uma abordagem com uso de TIC's". A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Profa. Dra. PATRÍCIA FERNANDA DE OLIVEIRA CABRAL (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Departamento de Química / UNESP / Câmpus de Bauru - FC, Profa. Dra. JESSICA DOS REIS BELISSIMO (Participação Virtual) do(a) Universidade de São Paulo, Prof. Dr. FABIANO WILLIAN PARMA (Participação Virtual) do(a) Universidade Estadual Paulista, Após a exposição pelo mestrando e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, o discente recebeu o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Documento assinado digitalmente
 PATRÍCIA FERNANDA DE OLIVEIRA CABRAL
Data: 15/06/2026 14:48:48-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. PATRÍCIA FERNANDA DE OLIVEIRA CABRAL

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família, em especial minha mãe Érika, pela paciência e compreensão que teve comigo nessa jornada e pelo apoio em decisões importantes, minha avó Leda, que forneceu a base financeira para que minha graduação acontecesse, sem ela eu não teria possibilidade de fazer um curso superior, e meu irmão Lucas, que desde novo foi um exemplo em que pude me apoiar e aprender. Ao meu tio e tias, Fábio, Andréa e Roberta, que ajudaram a cuidar de mim quando criança e construíram juntos grande parte do que sou hoje.

Agradeço aos meus professores e professoras da universidade, que foram os agentes construtores do conhecimento que eu tanto precisei, e muitos deles tiveram papel importante em meu desenvolvimento como profissional naquilo que amo. Profa. Patricia Cabral, agradeço por ter acreditado em meu trabalho e aceitado me orientar, definitivamente aprendi muito como orientando. Profa. Jéssica e Prof. Fabiano, agradeço imensamente o acolhimento que recebi, e toda a ajuda acadêmica que tive o privilégio de receber, vocês fizeram parte de minha trajetória como professores na graduação e continuam sendo inspirações para minha pessoa.

Agradeço aos meus amigos Carlos, Gustavo, João, Ioan e Victor, que são considerados como irmãos para mim, e viveram junto comigo momentos inesquecíveis, além de serem meu suporte em muitos momentos da vida. Ao Marcos, que me impulsionou inimaginavelmente nos primeiros anos da faculdade, sendo uma das minhas maiores fontes de debates e discussões sobre o próprio objeto de estudo deste trabalho, não há como descrever de forma curta o quanto esta pessoa influenciou na decisão deste tema, além dos momentos de amizade que estarão gravados em minha memória. Por fim, dedico este trabalho a Laura, que desde o ensino médio vem me apoiando, esteve comigo em momentos bons e ruins, cuidando e me motivando a ser uma pessoa melhor a cada dia. Independente de qualquer acontecimento, vocês me ajudaram a chegar mais longe, e merecem ser lembrados neste documento.

RESUMO

A Física de Partículas Elementares constitui um dos campos mais complexos e avançados da Física contemporânea. Apesar de sua ampla presença em produções culturais, como filmes, séries, quadrinhos e documentários, o tema ainda é pouco explorado no Ensino Médio, em razão de sua elevada abstração conceitual e da ausência de materiais didáticos adaptados. Nesse contexto, a utilização de tecnologias digitais constitui uma interessante possibilidade para enfrentamento das dificuldades observadas ao se trabalhar com tal temática em sala de aula. Este trabalho tem como objetivo investigar de que modo o uso de Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação pode favorecer a Aprendizagem Significativa de conceitos relacionados ao Modelo Padrão no Ensino Médio, por meio da elaboração, aplicação e análise de uma sequência didática que privilegia a compreensão conceitual da estrutura fundamental da matéria, por meio do processo de retextualização. A pesquisa envolveu um levantamento bibliográfico sobre o ensino de Física de Partículas e a aplicação de uma proposta didática a 18 alunos do 3º Ano do Ensino Médio, com uso de ferramentas digitais como *Kahoot*, *PhET Colorado*, *Canva* e *YouTube*. A análise dos dados, por meio de mapas conceituais e dos questionários, indicou avanços na compreensão das classificações de partículas e das interações fundamentais, ainda que de forma não uniforme. A proposta evidencia o potencial das TDICs na promoção da Aprendizagem Significativa em conteúdos de Física Moderna e Contemporânea.

Palavras-chave: partículas (física nuclear); aprendizagem significativa; tecnologias digitais; física (ensino médio); modelo padrão (física nuclear).

ABSTRACT

Particle Physics constitutes one of the most complex and advanced fields of contemporary Physics. Despite its broad presence in cultural productions, such as films, series, comics, and documentaries, this topic is still scarcely explored in High School, due to its high level of conceptual abstraction and the lack of adapted teaching materials. In this context, using digital technologies is an interesting possibility for tackling the difficulties observed when working with this topic in the classroom. This study aims to investigate how the use of Digital Information and Communication Technologies can promote Meaningful Learning of concepts related to the Standard Model in High School, through the design, implementation, and analysis of a didactic sequence that emphasizes the conceptual understanding of the fundamental structure of matter using the retextualization process. The research involved a bibliographic review on the teaching of Particle Physics and the application of a didactic proposal to 18 third-year High School students, using digital tools such as Kahoot, PhET Colorado, Canva, and YouTube. Data analysis, based on concept maps and questionnaires, indicated improvements in the understanding of particle classifications and fundamental interactions, although not uniformly. The results highlight the potential of Digital Information and Communication Technologies in promoting Meaningful Learning in topics of Modern and Contemporary Physics.

Keywords: particle (nuclear physics); meaningful learning; digital technologies; physics (high school); standard model (nuclear physics).

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CERN	Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire (Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear)
EM	Ensino Médio
FMC	Física Moderna e Contemporânea
FPE	Física de Partículas Elementares
LHC	Large Hadron Collider (Grande Colisor de Hádrons)
MP	Modelo Padrão da Física de Partículas
PhET	Physics Education Technology Project (Projeto de Tecnologia para o Ensino de Física)
TICs	Tecnologias da Informação e Comunicação
TDICs	Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação
Unesp	Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
TAS	Teoria da Aprendizagem Significativa
TQC	Teoria Quântica de Campos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 Desenvolvimento da Física de Partículas Elementares.....	13
1.2 Justificativa da pesquisa.....	14
1.3 Objetivos gerais e específicos.....	15
1.4 Organização da dissertação.....	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
2.1 Evolução das ideias do atomismo.....	18
2.2 Cronologia da FPE.....	19
2.3 O Modelo Padrão das Partículas Elementares.....	21
2.3.1. <i>Partículas fundamentais</i>	21
2.3.2. <i>Interações fundamentais</i>	22
2.3.3. <i>Estrutura conceitual e classificações</i>	22
2.3.4 <i>Estrutura conceitual e classificações</i>	24
2.3.5 <i>Diagramas de Feynman</i>	25
2.3.6 <i>Aceleradores de partículas</i>	27
2.4 A FPE no contexto da Educação Científica.....	28
2.4.1 <i>Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação</i>	29
2.5 A Aprendizagem Significativa.....	34
2.5.1 <i>A Aprendizagem Significativa e a Retextualização</i>	37
2.5.2 <i>A Aprendizagem Significativa e o uso de TDICs no ensino de Física</i>	38
2.5.3 <i>Materiais pedagógicos voltados para ensino de FPE</i>	39
2.5.4 <i>TAS no ensino de Física</i>	40
3 METODOLOGIA DE PESQUISA.....	42
3.1 Levantamento bibliográfico.....	43
3.2 Aplicação da proposta.....	43
3.2.1 <i>Da sequência didática</i>	44
3.2.2 <i>Do uso de TDICs</i>	47
3.3 Procedimentos de análise de dados.....	48
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
4.1 Do levantamento de artigos científicos.....	50
4.2 Resultados do Kahoot como diagnóstico inicial.....	55
4.3 Análise das respostas ao questionário.....	57
4.4 Análise dos mapas conceituais.....	62
4.4.1 <i>Organização dos mapas conceituais</i>	63
4.4.2 <i>Dos mapas conceituais iniciais</i>	64
4.4.3 <i>Dos mapas conceituais intermediários (reorganização parcial)</i>	66
4.4.4 <i>Mapas conceituais finais (estrutura complexa)</i>	69
4.4.5 <i>Mapas conceituais alternativos</i>	71
4.5 Mapa conceitual sugerido.....	75

4.6 Houve construção de aprendizagem?.....	76
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	78
REFERÊNCIAS.....	80
APÊNDICE A - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.....	86
APÊNDICE B - Questionário Google Formulários.....	88

1 INTRODUÇÃO

A Física Moderna e Contemporânea (FMC) representa um marco de ruptura e expansão no conhecimento científico, ao introduzir conceitos que desafiaram a visão clássica do mundo. Duas de suas maiores construções teóricas são a Teoria Quântica, que descreve o comportamento da matéria e da energia em escala microscópica, e a Teoria da Relatividade Geral, formulada por Albert Einstein, que explica a gravitação como curvatura do espaço-tempo. Ambas as teorias alcançaram enorme sucesso em seus respectivos domínios, mas a unificação entre elas ainda constitui um dos maiores desafios da Física atual.

A partir dos estudos de Max Planck sobre a emissão de energia por corpos negros, emergiu o conceito de quantização da energia, marco inicial da chamada Mecânica Quântica (Kragh, 1999). Essa nova visão permitiu compreender o comportamento das partículas elementares, revelando fenômenos como a dualidade onda-partícula e o princípio de incerteza de Heisenberg, que contradiziam as concepções deterministas do mundo clássico. No século XX, a evolução dessas ideias levou ao desenvolvimento da Teoria Quântica de Campos (TQC), que fundamenta a Física de Partículas Elementares (FPE) e descreve as interações fundamentais da natureza por meio de partículas mediadoras (bósons).

O resultado dessa teoria é o Modelo Padrão da Física de Partículas, que organiza as partículas elementares conhecidas, entre férmions e bósons, e explica suas interações por meio das forças eletromagnética, fraca e forte. A gravidade, entretanto, permanece fora desse modelo, pois ainda não foi possível formular uma Teoria Quântica da Gravitação nem identificar experimentalmente o suposto Gráviton. Mesmo assim, o Modelo Padrão (MP) constitui a base teórica mais robusta para a compreensão da estrutura fundamental da matéria.

Apesar da relevância do tema, o ensino de FPE ainda é pouco explorado no Ensino Médio (EM) brasileiro, sendo frequentemente restrito ao ensino superior, de acordo com os dados da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) (Brasil, 2018). No entanto, conceitos básicos do MP podem ser abordados de forma conceitual e fenomenológica, sem o uso de formalismo matemático, despertando nos estudantes o interesse pela ciência e pela natureza do universo. Além disso, a FPE está presente em diversos contextos culturais, como filmes, séries, jogos e animes, o que torna o tema especialmente atrativo para os jovens.

Nesse contexto, esta pesquisa se propõe a investigar o ensino de FPE no EM a partir de uma sequência didática baseada na Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, utilizando Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDICs) como mediadoras nos processos de ensino e aprendizagem. A proposta busca não apenas avaliar a

compreensão conceitual dos alunos sobre o MP, mas também observar como a integração de ferramentas digitais (*Canva*, *PhET*, *Kahoot* e *YouTube*) pode favorecer uma aprendizagem mais ativa, contextualizada e significativa.

Destaca-se também o conceito de **retextualização**, entendido como o processo de transformação de um discurso ou conteúdo de uma modalidade textual para outra, mantendo-se os sentidos essenciais, mas adaptando a linguagem, a estrutura e o propósito comunicativo à nova situação (Marcuschi, 2001). Em ambientes educativos, esse processo ganha relevância por possibilitar que o aluno reelabore conhecimentos científicos complexos, expressando-os em novas formas de representação, como resumos, textos explicativos, roteiros ou mapas conceituais.

Segundo Cabral (2019), a retextualização constitui uma prática de reconstrução de significados, na qual o sujeito reorganiza cognitivamente um conhecimento ao reinterpretá-lo em uma nova linguagem. Nesse sentido, é possível fazer uma aproximação às ideias propostas por Ausubel (2003) sobre a Aprendizagem Significativa, pois ao retextualizar um conteúdo o aluno estabelece novas relações entre os conceitos, ancorando-os em estruturas cognitivas já existentes.

Assim, ao propor a elaboração de mapas conceituais sobre as partículas elementares e suas classificações no MP, esta pesquisa compreende tais produções como uma forma de retextualização do conhecimento científico. Por meio dessa prática, busca-se observar como os estudantes reorganizam e representam conceitos da FMC, revelando indícios de Aprendizagem Significativa e de apropriação conceitual mediada pelo uso das TDICs.

A inclusão dessa perspectiva linguístico-cognitiva amplia a compreensão sobre o processo de aprendizagem investigado neste trabalho, pois evidencia que o ato de aprender não se limita à memorização de termos ou fórmulas, mas envolve a capacidade de traduzir e reconstruir significados, um movimento essencial no ensino de temas complexos, como os da FPE.

Dessa forma, o presente trabalho contribui tanto para o avanço das práticas pedagógicas no ensino de Física quanto para o despertar do interesse dos estudantes pela ciência contemporânea. Ao aproximar o universo das partículas elementares do cotidiano escolar, pretende-se formar não apenas futuros cientistas, mas cidadãos capazes de compreender criticamente o mundo natural e tecnológico que os cerca.

1.1 Desenvolvimento da Física de Partículas Elementares

A trajetória da FPE está intimamente ligada à própria evolução da FMC. Desde a Grécia Antiga, filósofos como Demócrito e Leucipo já especulavam que toda a matéria seria composta por pequenas unidades indivisíveis chamadas *átomos*. Embora essa fosse uma hipótese puramente filosófica, ela serviu como alicerce conceitual para os futuros desenvolvimentos da teoria atômica.

Somente com o avanço do método científico, entre os séculos XVII e XIX, foi possível consolidar o estudo da estrutura da matéria. O químico John Dalton (1766–1844) retomou o conceito de átomo sob uma base experimental, propondo o primeiro modelo científico que descreve a matéria como composta por esferas maciças e indivisíveis. Mais tarde, com a descoberta do elétron por J. J. Thomson (1897), surgiu o primeiro indício de que o átomo possuía uma estrutura interna. Thomson propôs o modelo conhecido como “pudim de passas”, no qual elétrons estariam imersos em uma massa positiva (Dalton, 1810; Thomson, 1897).

Em seguida, os experimentos de Ernest Rutherford (1911) com partículas alfa revelaram a existência de um pequeno núcleo denso e positivo, levando à formulação do modelo nuclear do átomo. A descoberta do nêutron, em 1932, por James Chadwick, completou o quadro das partículas subatômicas conhecidas até então: elétron, próton e nêutron (Chadwick, 1932; Rutherford, 1911).

O início do século XX foi marcado pela consolidação da Mecânica Quântica, iniciada pelos estudos de Max Planck sobre a emissão de radiação por corpos negros, introduzindo o conceito de quantização da energia. Esse novo paradigma foi expandido por Einstein, Bohr, Heisenberg e Schrödinger, transformando profundamente a compreensão do comportamento da matéria e da radiação (Halliday; Resnick; Walker, 2016).

A partir desses avanços, a atenção da Física se voltou para o estudo das partículas elementares, originando a FPE. Com o desenvolvimento de aceleradores e detectores de partículas, foram descobertos novos constituintes da matéria e das forças fundamentais, revelando que prótons e nêutrons, antes considerados indivisíveis, são formados por partículas ainda menores: os quarks (Tipler; Llewellyn, 2012).

Entre as décadas de 1950 e 1970, acumulou-se um vasto número de partículas descobertas experimentalmente, levando à necessidade de uma teoria unificadora (Griffiths, 2008). Foi nesse contexto que surgiu o MP da FPE, uma estrutura teórica que descreve as interações fundamentais, forte, fraca e eletromagnética, por meio da troca de bósons

mediadores. O MP distingue dois grandes grupos: os férmions, que constituem a matéria, e os bósons, que mediam as forças entre eles.

As décadas seguintes foram marcadas por grandes confirmações experimentais dessa teoria, como a descoberta dos bósons W e Z em 1983 (Griffiths, 2008), responsáveis pela interação fraca, e a descoberta do bóson de Higgs (CERN, 2025) que confirmou o mecanismo de geração de massa das partículas elementares.

Atualmente, a FPE continua sendo uma das áreas mais ativas da pesquisa científica, com projetos de grande escala, como o *Large Hadron Collider* (LHC), dedicado à busca por novas partículas e à compreensão das limitações do MP. Ao mesmo tempo, essa área representa um desafio e uma oportunidade para a educação científica, pois possibilita abordar conceitos contemporâneos de forma acessível e contextualizada, promovendo uma visão mais ampla da natureza da matéria e das forças fundamentais que regem o universo.

1.2 Justificativa da pesquisa

A FPE constitui uma das áreas mais avançadas da ciência moderna, ao buscar compreender a estrutura fundamental da matéria e as interações que governam o universo. Entretanto, embora seu impacto científico e tecnológico seja inegável, esse campo permanece praticamente ausente do EM brasileiro (Dorsch; Guio, 2021), onde prevalece o ensino de modelos clássicos da Física e da Química.

Um exemplo claro dessa discrepância pode ser observado na comparação entre a Tabela Periódica dos Elementos e o MP. Enquanto a Tabela Periódica é amplamente trabalhada nas escolas, representando a organização dos átomos e suas propriedades químicas, o MP, que descreve as partículas elementares que constituem esses próprios átomos, raramente é apresentado aos estudantes. Assim, a educação básica frequentemente se limita à descrição macroscópica e microscópica a nível atômico da matéria, sem avançar para o nível subatômico e conceitual que explica a origem das interações fundamentais.

Essa lacuna curricular reforça a necessidade de inserir conceitos da FMC no EM, de forma contextualizada e acessível. Discutir o MP em sala de aula, mesmo em termos conceituais, possibilita ao aluno compreender que o conhecimento científico está em constante evolução e que a busca por respostas sobre o universo é um processo dinâmico e inacabado. Além disso, esse tipo de abordagem desperta o interesse dos jovens pela ciência, especialmente porque muitos desses conceitos aparecem em filmes, séries, jogos e

quadrinhos, o que cria uma ponte natural entre o conhecimento científico e a cultura popular contemporânea.

Do ponto de vista didático, esta pesquisa fundamenta-se na TAS de David Ausubel (2003), difundida no Brasil principalmente por Marco Antônio Moreira, que defende a importância de relacionar novos conhecimentos a estruturas cognitivas pré-existentes (Moreira, 2011). Em outras palavras, o aprendizado torna-se mais efetivo quando o novo conteúdo dialoga com o que o aluno já conhece e com seus interesses pessoais. No caso da FPE, isso significa partir de conceitos familiares, como átomos, elétrons e forças, para introduzir novas ideias sobre quarks, léptons e bósons, investigando como TAS pode auxiliar na ancoragem conceitual e a construção de significados acerca deste tema.

Nesse contexto, o uso das TDICs representa uma estratégia para aproximar os estudantes de temas abstratos e complexos. Ferramentas como *Canva*, *PhET Colorado*, *Kahoot* e *YouTube* permitem criar um ambiente de aprendizagem dinâmico, visual e interativo, no qual os alunos podem explorar o MP de forma intuitiva, participando ativamente da construção do conhecimento.

Assim, a presente pesquisa justifica-se pela contribuição à formação científica e cidadã dos estudantes, incentivando o pensamento crítico, a curiosidade e o interesse pela ciência contemporânea. Além de contribuir para a área do ensino de Física, o estudo também busca oferecer subsídios teóricos e metodológicos que possam inspirar outros educadores a explorar temas de fronteira da ciência em sala de aula, de forma acessível e significativa.

Os resultados obtidos foram analisados à luz da TAS, considerando as contribuições de Marco Antônio Moreira no contexto brasileiro, de modo a discutir as potencialidades e limitações do uso das TDICs no ensino de FMC. Dessa forma, o trabalho pretende contribuir para o campo da Educação em Ciências, oferecendo subsídios teórico-metodológicos que incentivem a inclusão de temas contemporâneos da Física, como o MP, em ambientes escolares, de forma acessível, motivadora e cientificamente consistente.

1.3 Objetivos gerais e específicos

O objetivo geral desta pesquisa é investigar de que modo o uso de TDICs pode favorecer a Aprendizagem Significativa de conceitos relacionados ao MP no EM, por meio da elaboração, aplicação e análise de uma sequência didática que privilegie a compreensão conceitual da estrutura fundamental da matéria.

Objetivos específicos: analisar em que medida a proposta integra o uso de ferramentas digitais, como *Canva*, *PhET Colorado*, *Kahoot* e *YouTube*, ao processo de ensino e também de aprendizagem, de modo a tornar o conteúdo da FPE mais visual, interativo e acessível, aproximando o abstrato do concreto e favorecendo o engajamento estudantil.

Analisar como a retextualização conceitual do MP em mapas conceituais, e da aplicação de questionários reflexivos, permite a identificação de indícios de Aprendizagem Significativa;

1.4 Organização da dissertação

O Capítulo 1, intitulado *Introdução*, trouxe uma visão geral sobre a evolução da FPE e os fundamentos que motivaram a escolha do tema, situando o leitor quanto à relevância científica e educacional da pesquisa. Neste capítulo também são expostos os objetivos gerais e específicos do trabalho, bem como as justificativas que sustentam a importância de investigar o ensino do MP no contexto do EM, por meio do uso de TDICs e da TAS.

O Capítulo 2, denominado *Referencial Teórico*, discute as bases conceituais que fundamentam o estudo, abordando, em um primeiro momento, aspectos históricos e epistemológicos da FPE e, em seguida, as contribuições da TAS de David Ausubel e de Marco Antônio Moreira para a Aprendizagem Significativa e sua aproximação ao ensino de Física. Na sequência, é apresentada a retextualização enquanto processo de passagem dos conceitos da FPE para os Mapas Conceituais. Este capítulo também contempla reflexões sobre o papel das TDICs como mediadoras do processo de ensino e aprendizagem, especialmente no ensino de conteúdos abstratos e complexos, como os que envolvem o MP.

O Capítulo 3, *Metodologia da Pesquisa*, descreve o processo metodológico adotado, apresentando o tipo de pesquisa, a abordagem qualitativa e o contexto de aplicação da sequência didática. São detalhadas as etapas de desenvolvimento do plano de aula, os recursos digitais utilizados e os instrumentos de constituição e análise de dados. Nesse capítulo, destaca-se o uso da retextualização conceitual do MP em mapas conceituais, que permite investigar como os alunos reorganizam e expressam os conhecimentos adquiridos de forma visual e significativa, servindo como importante indicativo do processo de aprendizagem.

O Capítulo 4, *Resultados e Discussões*, apresenta e analisa os dados obtidos a partir da aplicação da proposta didática, discutindo-os à luz dos referenciais teóricos adotados. Esse capítulo busca evidenciar de que forma as TDICs e a abordagem significativa contribuíram

para a compreensão dos conceitos do MP, bem como para o engajamento e a construção de significados pelos alunos.

Por fim, o Capítulo 5, *Considerações Finais*, sintetiza os principais resultados e reflexões da pesquisa, destacando suas contribuições pedagógicas, suas limitações e as possibilidades de continuidade em estudos futuros, especialmente no que diz respeito ao uso da retextualização como ferramenta de análise no ensino de FMC e uso de TDICs como ferramenta para promover a Aprendizagem Significativa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Evolução das ideias do atomismo

Desde os primórdios do estudo da natureza, filósofos se questionavam sobre a constituição fundamental do universo. No século V a.C., Leucipo e Demócrito propuseram que a realidade era formada por entidades extremamente pequenas e indivisíveis, os átomos, lançando a base do atomismo na Física, este conceito evoluiu ao longo do tempo na Grécia antiga, até Aristóteles (384 a.C.), que rejeitou a ideia de partículas indivisíveis em favor de uma visão de matéria contínua, perspectiva que predominou na ciência por muitos séculos. (Kragh, 1999).

Essa visão começou a ser transformada durante a Revolução Científica (séculos XVI e XVII), período em que a ciência passou de um modelo medieval para métodos modernos de investigação. O sistema heliocêntrico de Copérnico, que colocou o Sol no centro do Universo, com a Terra e outros planetas circulando ao seu redor. Os métodos experimentais de Galileu, baseados em observação, formulação de hipóteses e testes experimentais, exemplificam essa mudança de paradigma (Kragh, 1999).

No século XVII, Robert Boyle introduziu a filosofia corpuscular, antecipando a ideia de que a matéria é composta por partículas (Koyré, 1986; Kragh, 1999). Apesar de não propor uma teoria atômica completa, Boyle influenciou a compreensão de que as propriedades da matéria resultam da interação entre essas partículas (Kragh, 1999).

O desenvolvimento da teoria atômica ganhou força com John Dalton, considerado o pai da Teoria Atômica. Em *A New System of Chemical Philosophy*, Dalton (1810), postulou que os elementos são formados por átomos indivisíveis e indestrutíveis, todos com massa e propriedades idênticas. Embora simplificado em comparação aos modelos modernos, seu trabalho representou um avanço significativo para a compreensão da matéria.

No final do século XIX, surgiram limitações no modelo de Dalton, especialmente em relação à formação de moléculas, reações químicas e propriedades elétricas dos átomos (Kragh, 1999). Essas questões começaram a ser esclarecidas com a descoberta do elétron por J.J. Thomson em 1897 e seu modelo atômico em 1904, que introduziu a noção de que átomos possuem estrutura interna formada por partículas carregadas (Kragh, 1999; Pais, 1986).

A partir deste evento, inicia-se uma série de descobertas que culmina no nascimento da FPE, conduzindo à identificação de outras partículas e interações fundamentais que por fim constituem o MP. Neste trabalho, optou-se por uma síntese dos principais eventos

históricos, focando na evolução conceitual da FPE, sem detalhar cálculos ou formalismos matemáticos, para fornecer o contexto necessário à compreensão do MP.

2.2 Cronologia da FPE

Descoberta do elétron (1897): O físico britânico J.J. Thomson identificou o elétron ao observar que os raios catódicos eram desviados por campos elétricos e magnéticos, indicando que eram formados por partículas carregadas (Thomson, 1897). Thomson mediu a razão carga/massa dessas partículas e constatou que ela era muito maior que a de qualquer átomo conhecido, concluindo que os raios catódicos consistem em partículas negativas, chamadas inicialmente de “corpúsculos” (atualmente elétrons) (Thomson, 1897). A partir disso, propôs o modelo do pudim de passas, no qual os elétrons estavam distribuídos em uma “massa” positiva (Kragh, 1999). Experimentos subsequentes, como o de Robert Millikan, confirmaram a carga e a massa do elétron, consolidando a descoberta que marcou o início da FPE, embora na época os cientistas ainda não tivessem consciência da amplitude dessa nova área (Kragh, 1999; Millikan, 1911).

Modelo atômico de Rutherford (1911): Ernest Rutherford propôs um novo modelo atômico após bombardear folhas de ouro com partículas alfa. Observou-se que algumas partículas eram desviadas ou refletidas, comportamento inexplicável pelo modelo vigente (Rutherford, 1911). Rutherford concluiu que os átomos possuíam um núcleo denso e carregado positivamente, ao redor do qual os elétrons orbitavam (Rutherford, 1911). Essa proposta indicou a existência de prótons, posteriormente confirmada por experimentos de espectroscopia nuclear e reações nucleares (Kragh, 1999).

Quantização da energia e modelo atômico de Bohr (1900-1913): Em 1900, Max Planck sugeriu que a energia não poderia ser emitida ou absorvida de forma contínua, mas sim em pacotes discretos chamados quanta (Planck, 1901). Em 1905, Albert Einstein aplicou essa ideia ao efeito fotoelétrico, demonstrando que a luz comporta-se como partículas (fótons) que interagem com elétrons (Einstein, 1905a). Com base nesses estudos, Niels Bohr propôs o primeiro modelo atômico quântico, no qual os elétrons ocupam órbitas quantizadas ao redor do núcleo e realizam saltos entre níveis de energia, emitindo ou absorvendo fótons (Bohr, 1913). Embora bem-sucedido para o hidrogênio, o modelo apresentava limitações para sistemas mais complexos.

Descoberta do nêutron (1932): A partir de inconsistências entre teoria e experimentos, surgiram indícios de uma terceira partícula no núcleo atômico. Em 1932,

James Chadwick identificou o nêutron, partícula neutra com massa próxima à do próton, após bombardear substâncias contendo hidrogênio com partículas alfa (Chadwick, 1932). Essa descoberta completou a compreensão básica da composição nuclear.

Desenvolvimento da Teoria Quântica de Campos (1920s-1930s): O conceito de campo surgiu com Newton (gravitação) e Maxwell (eletromagnetismo), mas só ganhou caráter quântico com Planck e Einstein (Pais, 1986). Nos anos 1920, os físicos relacionaram a natureza discreta da energia dos elétrons à absorção de fótons, quantizando o campo eletromagnético (Dirac, 1928). Essa abordagem tornou os fótons partículas mediadoras da força eletromagnética, baseando o desenvolvimento da eletrodinâmica quântica (QED).

Eletrodinâmica Quântica (QED) (1940s-1950s): A QED, desenvolvida por Richard Feynman, Julian Schwinger e Shin'ichirō Tomonaga, descreve interações eletromagnéticas entre partículas carregadas mediadas por fótons (Feynman, 1949; Schwinger, 1948; Tomonaga, 1946). Fenômenos como aniquilação elétron-pósitron, espalhamento e emissão/absorção de fótons passam a ser compreendidos de forma quantizada (Kragh, 1999). Diagramas de Feynman facilitaram a visualização das interações (Pais, 1986). A QED é a primeira das três interações fundamentais descritas pelo MP (Kragh, 1999; Pais, 1986).

Cromodinâmica Quântica (QCD) (1960s): Enquanto a QED explica partículas carregadas eletricamente, a QCD descreve a interação forte, responsável pela estabilidade do núcleo atômico (Gell-Mann, 1964; Zweig, 1964). Murray Gell-Mann e George Zweig propuseram o conceito de quarks, partículas com “carga de cor” que interagem por meio dos glúons, os quarks Up e Down formam prótons e nêutrons, e sua interação apresenta confinamento e uma característica chamada liberdade assintótica, onde apresentam momentaneamente um estado de quarks livres (Gross; Wilczek, 1973; Politzer, 1973). A QCD constitui outro pilar do MP.

Interação fraca e bósons W e Z (1983): A interação fraca explica fenômenos como decaimento radioativo, mediada pelos bósons W^+ , W^- e Z conforme descrito por Griffiths (2008). A teoria eletrofraca, desenvolvida por Sheldon Glashow (1961), Abdus Salam e Steven Weinberg, unifica a força eletromagnética e a fraca, consolidando a compreensão de três das quatro interações fundamentais do MP.

Descoberta do bóson de Higgs (2012): A lacuna sobre a origem da massa das partículas foi preenchida com a proposta do bóson de Higgs, em 1960, por Peter Higgs e colaboradores (Thomson, 2013). Em 2012, experimentos no LHC (ATLAS e CMS) confirmaram a existência dessa partícula, culminando no Prêmio Nobel de Física de 2013 para Higgs e François Englert (ATLAS Collaboration, 2012).

Os estudos e pesquisas descritos anteriormente permitiram a construção do MP, que será explicado de forma breve a seguir.

2.3 O Modelo Padrão das Partículas Elementares

O MP é a teoria atualmente aceita para descrever as partículas fundamentais e suas interações, exceto a gravidade. Ele representa o culminar de décadas de descobertas na FPE, consolidando os conceitos de férmions, bósons e forças fundamentais (Figura 1).

Figura 1 - Tabela do Modelo Padrão das Partículas Elementares

Modelo Padrão das Partículas Elementares					
três gerações da matéria (férmions)			interações / partículas mensageiras (bósons)		
	I	II	III		
massa	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 124.97 \text{ GeV}/c^2$
carga	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	0
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0
QUARKS	u up	c charm	t top	g glúon	H higgs
	d down	s strange	b bottom	γ fóton	
	e elétron	μ múon	τ tau	Z bóson Z	
LÉPTONS	ν_e neutrino do elétron	ν_μ neutrino do múon	ν_τ neutrino do tau	W bóson W	
	$< 1.0 \text{ eV}/c^2$	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	$< 18.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 80.39 \text{ GeV}/c^2$	
	0	0	0	± 1	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
					BÓSONS ESCALARES
					BÓSONS DE GAUGE BÓSONS VETORIAIS

Fonte: CERN (2025).

2.3.1. Partículas fundamentais

De acordo com Thomson (2013), o MP classifica as partículas em duas grandes categorias:

- Férmions – constituintes da matéria:
 - Quarks: existem seis tipos ou “sabores”: *up*, *down*, *charm*, *strange*, *top* e *bottom*. Eles interagem entre si por meio da interação forte, mediada pelos glúons. Quarks combinam-se para formar hádrons, como prótons e nêutrons.
 - Léptons: incluem elétron, múon, tau e seus neutrinos correspondentes. Não participam da interação forte, mas se envolvem na eletromagnética e fraca.

- Bósons – mediadores das forças fundamentais:
 - Fóton: responsável pela força eletromagnética.
 - Gluon: medidor da interação forte entre quarks.
 - Bósons W^+ , W^- e Z : responsáveis pela interação fraca, relacionada ao decaimento radioativo e à mudança de “sabor” de partículas.
 - Bóson de Higgs: responsável pela geração de massa das partículas.

2.3.2. Interações fundamentais

Segundo Griffiths (2008), o Modelo Padrão descreve três das quatro interações fundamentais da natureza, as quais podem ser resumidas da seguinte forma:

- Força eletromagnética: atua entre partículas carregadas eletricamente, mediada por fótons (QED).
- Força forte: mantém quarks unidos dentro dos hádrons, mediada por gluons (QCD).
- Força fraca: responsável pelo decaimento de partículas e transformação de sabores, mediada pelos bósons W e Z (teoria eletrofraca).

A gravidade, apesar de ser fundamental, não é descrita pelo MP e permanece fora do escopo desta teoria.

2.3.3. Estrutura conceitual e classificações

O MP organiza as partículas em três gerações, com partículas de propriedades semelhantes, mas massas diferentes (Griffiths, 2008; Thomson, 2013):

- 1ª geração: quarks *up* e *down*, léptons elétron e neutrino eletrônico.
- 2ª geração: quarks *charm* e *strange*, léptons múon e neutrino muônico.
- 3ª geração: quarks *top* e *bottom*, léptons tau e neutrino tauônico.

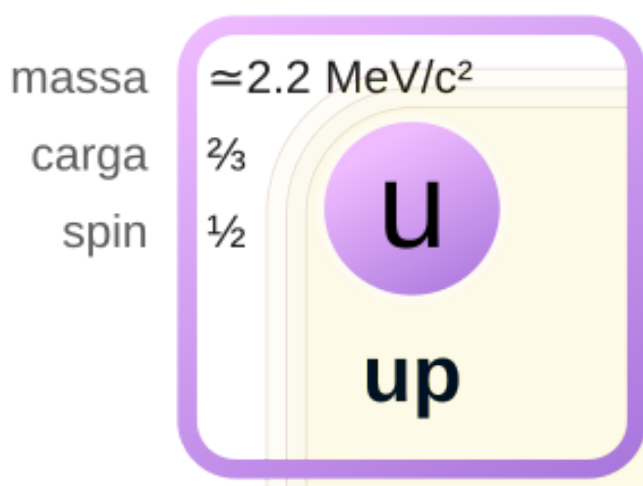
Essa organização permite compreender a evolução das partículas e suas interações, além de prever a existência de partículas ainda não detectadas no passado.

Além de serem classificadas como férmions ou bósons, as partículas fundamentais possuem propriedades intrínsecas, que determinam seu comportamento e suas interações:

- Massa: quantidade de matéria que a partícula possui, influenciando a sua energia e movimento. No MP, a origem da massa das partículas está relacionada à interação com o campo de Higgs, mediada pelo bóson de Higgs.

- **Carga elétrica:** indica a capacidade da partícula de interagir com campos eletromagnéticos. Por exemplo, o elétron possui carga negativa, enquanto o próton tem carga positiva. Quarks possuem frações de carga elétrica ($+2/3$ ou $-1/3$).
- **Spin:** momento angular intrínseco da partícula, uma propriedade quântica fundamental. Partículas com spin semi-inteiro ($1/2, 3/2 \dots$) são férmions, enquanto partículas com spin inteiro ($0, 1, 2 \dots$) são bósons. O spin determina, por exemplo, se partículas obedecem ao princípio de exclusão de Pauli, que impede dois férmions idênticos de ocuparem o mesmo estado quântico.
- **Cor:** propriedade específica dos quarks, que determina a interação pela força forte. A “carga de cor” não é cor literal, mas uma forma de classificar a interação dos quarks mediada por glúons.
- **Sabor:** propriedade que distingue diferentes tipos de quarks (*up, down, strange, charm, top e bottom*) e léptons (elétron, múon, tau). Essa característica é importante para os processos da interação fraca, como decaimentos e transições entre partículas.
- **Antipartícula:** toda partícula fundamental possui uma correspondente antipartícula, com mesma massa e spin, mas cargas opostas. Por exemplo, o pósitron é a antipartícula do elétron. A existência de antipartículas é uma das previsões do MP e da mecânica quântica. A Figura 2 ilustra as características de uma partícula elementar.

Figura 2 - Características de uma partícula elementar



Fonte. CERN (2025).

Essas propriedades intrínsecas permitem entender por que partículas diferentes interagem de formas distintas, como se combinam para formar átomos e hádrons, e como são mediadas as forças fundamentais do universo.

2.3.4 Estrutura conceitual e classificações

Para compreender adequadamente os fenômenos físicos que ocorrem nas interações entre partículas elementares, é necessário retomar alguns conceitos clássicos da Física, que antecedem o desenvolvimento da mecânica quântica e constituem sua base teórica. Entre esses conceitos, destacam-se a conservação da energia, a relação massa-energia, a dualidade onda-partícula e o princípio da incerteza de Heisenberg. Tais noções são essenciais para que o estudante possa construir significados sobre os processos que ocorrem no âmbito subatômico e, portanto, devem ser considerados no planejamento de propostas de ensino que envolvam a FPE (Griffiths, 2008).

Alguns desses conceitos, como conservação de energia, são abordados ainda no EM, inclusive de forma interdisciplinar, em conteúdos de Física, Química e Biologia. A conservação da energia constitui um dos princípios mais fundamentais das ciências naturais, afirmando que a energia não pode ser criada nem destruída, apenas transformada ou transferida entre sistemas. Em termos microscópicos, essa transferência ocorre de partícula para partícula, garantindo que a energia total de um sistema isolado permaneça constante. Assim, em um evento cotidiano, como a colisão de um automóvel com uma parede, a energia cinética do veículo é convertida em outras formas, como som (vibrações moleculares), calor (aumento da agitação térmica das partículas) e movimento de fragmentos (transferência de momento linear). Esse princípio, investigado experimentalmente no século XIX por James Prescott Joule, constitui um dos pilares da Física e é fundamental para a compreensão de sistemas microscópicos (Griffiths, 2008; Joule, 1845).

Outro conceito central é a relatividade especial de Einstein (1905b), expressa pela famosa equação $E = mc^2$, que estabelece a equivalência entre massa e energia, sendo “c” a velocidade da luz no vácuo. Cada partícula possui uma energia associada à sua massa de repouso, além da energia cinética resultante de seu movimento. Nos processos de colisão e decaimento de partículas, a soma das energias, incluindo as componentes de massa e movimento, deve permanecer constante, respeitando simultaneamente os princípios da conservação de energia e de momento. Essa relação é fundamental na FPE, pois explica a

possibilidade de transformação entre massa e energia, como ocorre na criação de novas partículas em aceleradores (Griffiths, 2008).

A dualidade onda-partícula representa uma das transições conceituais mais profundas na Física. Resultante de experimentos como o da dupla fenda de Young e das interpretações posteriores de Louis de Broglie (1924), essa dualidade demonstra que partículas materiais, como elétrons, podem exibir comportamento ondulatório, enquanto a luz, tradicionalmente tratada como onda, pode manifestar-se como partícula (fóton). Tal conceito rompe com a visão determinista da física clássica, mostrando que a natureza apresenta um caráter probabilístico e dual. No EM, essa discussão é essencial para que o estudante compreenda as bases da FMC e as implicações epistemológicas associadas (Griffiths, 2008).

Associado a essa nova forma de compreender a realidade subatômica, o Princípio da Incerteza de Heisenberg (1927) afirma que não é possível determinar simultaneamente, com precisão absoluta, a posição (x) e o momento (p) de uma partícula. Esse princípio, expresso pela relação $\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar/2$, evidencia o limite intrínseco da observação no mundo quântico e reforça a natureza indeterminada da matéria em escalas microscópicas. Embora não seja um conceito indispensável para a compreensão inicial das interações fundamentais, ele fornece um importante fundamento filosófico e científico sobre a limitação do conhecimento e da mensurabilidade na Física Quântica (Griffiths, 2008).

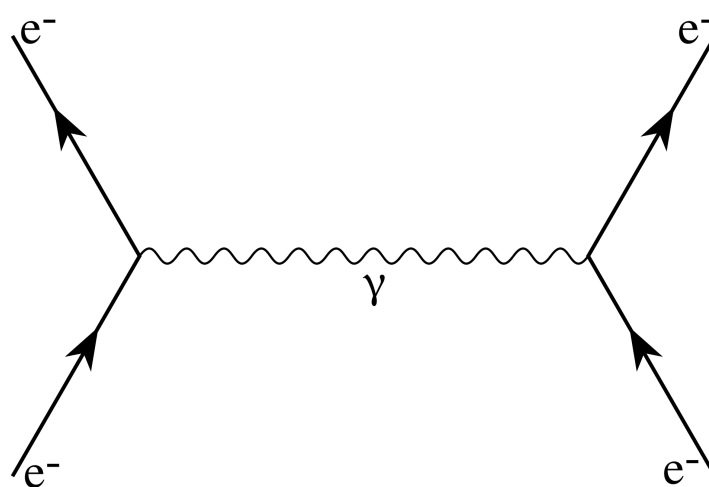
A introdução desses conceitos nos planos de aula sobre FPE é de extrema relevância para a formação de uma visão integrada e significativa da ciência, permitindo que os alunos compreendam como a Física evoluiu de modelos clássicos para interpretações modernas baseadas em probabilidades, campos e interações fundamentais. Nesse contexto, a articulação entre conteúdos clássicos e modernos favorece a Aprendizagem Significativa (Moreira, 2012), pois promove a conexão entre conceitos previamente adquiridos e novos conhecimentos, possibilitando a construção de estruturas conceituais mais complexas.

2.3.5 Diagramas de Feynman

Os Diagramas de Feynman, desenvolvidos por Richard Feynman na década de 1940, representam uma das contribuições mais significativas para a FPE e a Teoria Quântica de Campos. Esses diagramas surgiram como uma forma de simplificar a descrição de interações entre partículas fundamentais, substituindo expressões matemáticas complexas por representações visuais intuitivas. Em um diagrama de Feynman, conforme pode ser observado na Figura 3, as partículas são representadas por linhas, sendo que férmions, como

elétrons e quarks, aparecem como linhas retas, enquanto bósons mediadores de força, como fótons e glúons, são representados por linhas onduladas ou tracejadas. Os vértices, pontos de encontro das linhas, indicam a ocorrência de interações, como a emissão ou absorção de partículas mediadoras, permitindo visualizar processos que, na realidade, acontecem em escalas quânticas extremamente pequenas. Os diagramas de Feynman são usados para descrever as interações elementares, como colisões, decaimentos e aniquilações de partículas em experimentos de alta energia (Feynman, 1949; Griffiths, 2008; Pais, 1986). A seguir vemos alguns exemplos destas representações (Figura 3).

Figura 3 - Diagrama de Feynman



Fonte: Wikipédia

De acordo com Feynman (1949), existem algumas coisas importantes de descrever antes de tentar interpretar um diagrama de Feynman:

- **Representação Gráfica:** Os diagramas de Feynman usam linhas e vértices para representar partículas elementares e suas interações. Cada tipo de partícula é representado por uma linha com setas que indicam a direção do movimento, e os vértices representam os pontos de interação.
- **Tipos de Linhas:** Existem diferentes tipos de linhas em diagramas de Feynman, cada uma representando um tipo de partícula. As linhas onduladas geralmente representam fótons (partículas de luz, mediadoras da força eletromagnética), linhas retas representam partículas maciças, como elétrons, quarks ou bósons W/Z, e linhas onduladas duplas podem representar glúons (partículas mediadoras da força forte).

- **Vértices:** Os vértices em um diagrama de Feynman representam interações entre partículas. Cada vértice representa um termo na expansão perturbativa da amplitude da matriz para um dado processo físico. As conservações de carga, momento, energia e outras quantidades são respeitadas nos vértices.

- **Setas Temporais:** As setas nas linhas indicam a direção do tempo em que as partículas se movem. As partículas que fluem para a direita (seta para a direita) representam partículas que se propagam para o futuro no tempo, enquanto as partículas com fluxo para a esquerda (seta para a esquerda) representam antipartículas ou partículas que se propagam para o passado no tempo.

Esses diagramas não devem ser interpretados como trajetórias físicas das partículas, mas sim como representações das possibilidades quânticas de interação, permitindo calcular probabilidades de eventos e analisar o comportamento de sistemas complexos. Processos como o espalhamento elétron-elétron, a aniquilação elétron-pósitron e o decaimento beta podem ser compreendidos de maneira mais clara quando representados por diagramas de Feynman, nos quais a troca de partículas mediadoras evidencia as forças fundamentais envolvidas. Além de sua importância teórica, os diagramas possuem grande valor didático, pois facilitam a compreensão conceitual de interações quânticas e da mecânica de partículas, podendo ser utilizados em mapas conceituais, simulações e representações visuais que tornam acessíveis conceitos avançados sem necessidade de cálculos matemáticos complexos. Nesse sentido, os diagramas de Feynman constituem uma ferramenta essencial para a educação em FPE, promovendo uma Aprendizagem Significativa, ao permitir que estudantes visualizem e interpretem de maneira intuitiva a dinâmica das partículas fundamentais.

2.3.6 Aceleradores de partículas

Os aceleradores de partículas são instrumentos fundamentais para a FPE, permitindo a investigação das propriedades das partículas elementares e das interações fundamentais em condições extremas de energia. Esses equipamentos funcionam aumentando a velocidade de partículas carregadas, como prótons ou elétrons, até níveis próximos à velocidade da luz, e promovendo colisões controladas em detectores sofisticados. A análise dos produtos dessas colisões possibilita a descoberta de novas partículas, a confirmação de teorias existentes e o estudo de fenômenos quânticos que não poderiam ser observados de outra forma. Um exemplo emblemático é o LHC (*Large Hadron Collider*), localizado no CERN (Organização Europeia para a Investigação Nuclear), na Suíça, que permitiu a descoberta do bóson de

Higgs em 2012, confirmando previsões do MP e marcando um avanço histórico na compreensão da matéria e das forças fundamentais (CERN, 2025).

2.4 A FPE no contexto da Educação Científica

A FPE, enquanto campo de estudo da estrutura fundamental da matéria, constitui uma das áreas mais complexas e fascinantes da ciência contemporânea. Desde o início do século XX, a consolidação da Mecânica Quântica e o desenvolvimento da Teoria Quântica de Campos permitiram a formulação do MP, estrutura teórica que organiza as partículas elementares e descreve as forças fundamentais da natureza, exceto a gravidade.

No entanto, apesar de seu papel central na Física contemporânea, a FPE ainda ocupa um espaço reduzido no ensino básico. O currículo do EM brasileiro tradicionalmente enfatiza os conteúdos da Física Clássica, como cinemática, dinâmica e eletricidade, enquanto temas da FMC, como a relatividade, a estrutura atômica e a FPE, são frequentemente tratados de forma superficial, de acordo com Bastos, Gonçalves e Cabral (2022). Essa lacuna curricular reflete não apenas a dificuldade intrínseca dos conceitos, mas também a carência de materiais didáticos e estratégias didáticas adequadas à faixa etária e ao nível de abstração dos estudantes.

Embora a BNCC contemple temas relacionados à Física Moderna e à estrutura da matéria, não há menção explícita ao MP ou à organização sistemática das partículas elementares, o que evidencia uma lacuna entre o conhecimento científico contemporâneo e sua abordagem no ensino médio (Bastos; Gonçalves; Cabral, 2022).

Diversos autores, como Ostermann e Cavalcanti (2011), defendem que o ensino de Física deve contemplar também as descobertas e teorias contemporâneas, a fim de promover uma compreensão mais ampla e atualizada da ciência. Ao abordar conceitos da FPE, o professor possibilita que o aluno reconheça o caráter dinâmico e evolutivo do conhecimento científico, compreendendo que a ciência não é um conjunto fixo de verdades, mas um processo contínuo de investigação, revisão e construção coletiva (Kuhn, 1998).

Além disso, muitos desses conceitos estão presentes na cultura popular contemporânea, em filmes, séries, animes e jogos, o que cria uma oportunidade didática de conectar o saber científico ao interesse dos jovens.

Entretanto, ensinar FPE exige uma abordagem que vá além da mera transmissão de informações. Os conceitos envolvidos são altamente abstratos e, frequentemente, contrariam o senso comum. Por isso, torna-se necessário trabalhar com metodologias que privilegiem a

interpretação conceitual e a construção de significados, em vez do formalismo matemático. Nesse sentido, estratégias que utilizam recursos visuais e interativos, como simulações e animações, podem atuar como mediadoras no processo de compreensão, tornando o aprendizado mais intuitivo.

Entre as possibilidades didáticas, destaca-se a retextualização conceitual, uma abordagem que permite ao aluno expressar o conhecimento aprendido de diferentes formas, reorganizando e traduzindo conceitos científicos para novas linguagens, como os mapas conceituais (Cabral, 2019). Essa estratégia foi utilizada para constituir uma parte dos dados desta pesquisa, servindo como indicador de possível Aprendizagem Significativa (Moreira, 2011).

Assim, o ensino de FPE no EM não deve ser visto apenas como uma forma de antecipar conteúdos do ensino superior, mas como uma oportunidade de desenvolver a curiosidade científica, o raciocínio crítico e o pensamento conceitual. Quando abordado com metodologias adequadas, esse tema contribui para a formação de estudantes mais autônomos e reflexivos, capazes de compreender a ciência como parte integrante da cultura e do desenvolvimento humano.

2.4.1 Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação

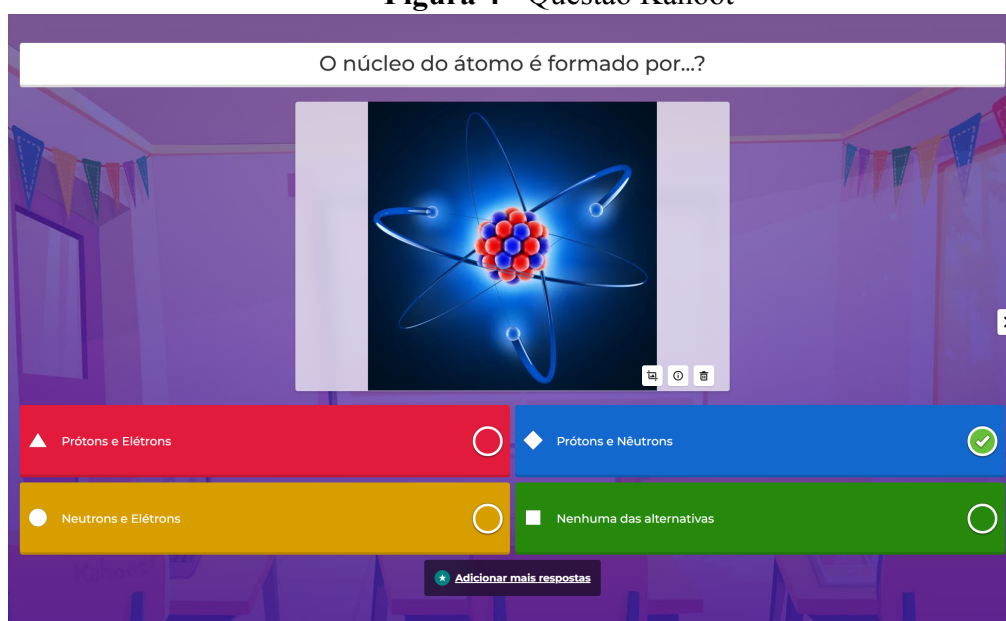
O uso das Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDICs) no ensino de Ciências tem se mostrado um importante mediador entre o conhecimento científico e o estudante, especialmente em temas de alta abstração, como o MP. As TDICs possibilitam a visualização de fenômenos invisíveis, a interação com representações digitais e a construção colaborativa de significados, aspectos fundamentais para a Aprendizagem Significativa (Ausubel, 2003; Moreira, 2011).

Nesse sentido, o papel do professor é o de mediador, que seleciona e organiza as ferramentas de modo a favorecer a ancoragem de novos conceitos aos subsunçores prévios dos estudantes. Neste estudo, destaca-se uso de plataformas digitais, sendo referidas neste trabalho como TDICs, que não deve ser compreendido apenas como um suporte tecnológico, mas como uma estratégia cognitiva de mediação, capaz de transformar a experiência de aprendizagem em um processo mais interativo.

No contexto deste trabalho, quatro ferramentas digitais foram utilizadas com objetivos distintos, porém complementares: *Kahoot*, *PhET*, *Canva* e *YouTube*.

O *Kahoot* foi empregado como instrumento de diagnóstico inicial e também como elemento de engajamento lúdico. Essa plataforma de quizzes interativos permite que o professor avalie de forma rápida os conhecimentos prévios e as concepções alternativas dos estudantes. Além de seu caráter avaliativo, o *Kahoot* favorece a motivação intrínseca por meio da gamificação, que consiste no uso de jogos ou competições para fins pedagógicos, aspecto que contribui para a criação de um ambiente de aprendizagem participativo, fundamental para o estabelecimento de uma situação favorável à Aprendizagem Significativa. A seguir alguns exemplos de questões inseridas (Figuras 4, 5 e 6).

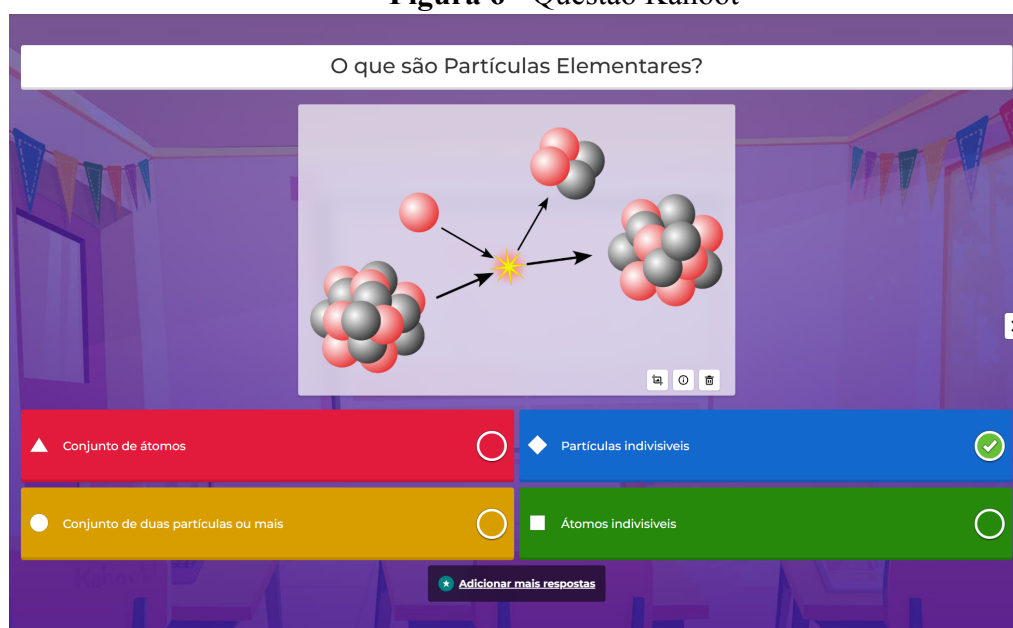
Figura 4 - Questão Kahoot



Fonte: Recorte site do Kahoot

Figura 5 - Questão Kahoot

Fonte: Recorte site do Kahoot

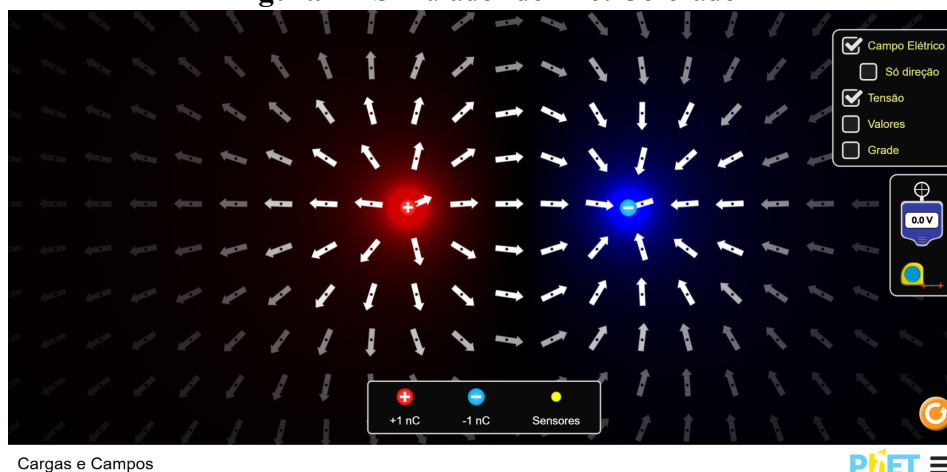
Figura 6 - Questão Kahoot

Fonte: Recorte site do Kahoot

O *PhET Interactive Simulations*, desenvolvido pela Universidade do Colorado, foi utilizado para possibilitar a visualização de fenômenos subatômicos e a exploração de modelos conceituais relacionados à estrutura da matéria. As simulações permitiram que os alunos manipulassem variáveis e observassem efeitos de forma imediata, o que, segundo Firmino e Sérgio (2025), constitui uma importante ferramenta para o desenvolvimento da

compreensão conceitual em Física, pois aproxima o aluno de um raciocínio científico mais investigativo (Figura 7).

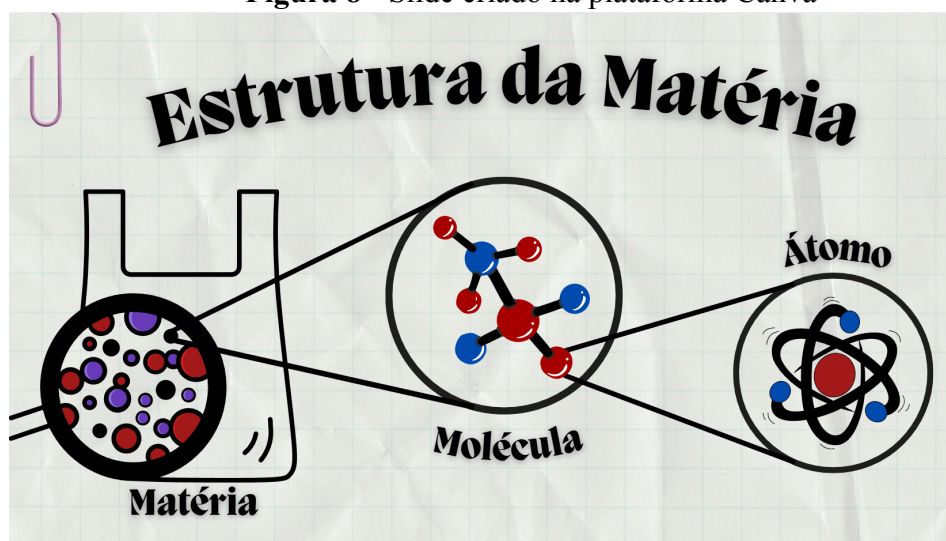
Figura 7 - Simulador do Phet Colorado



Fonte: Recorte site do PhET

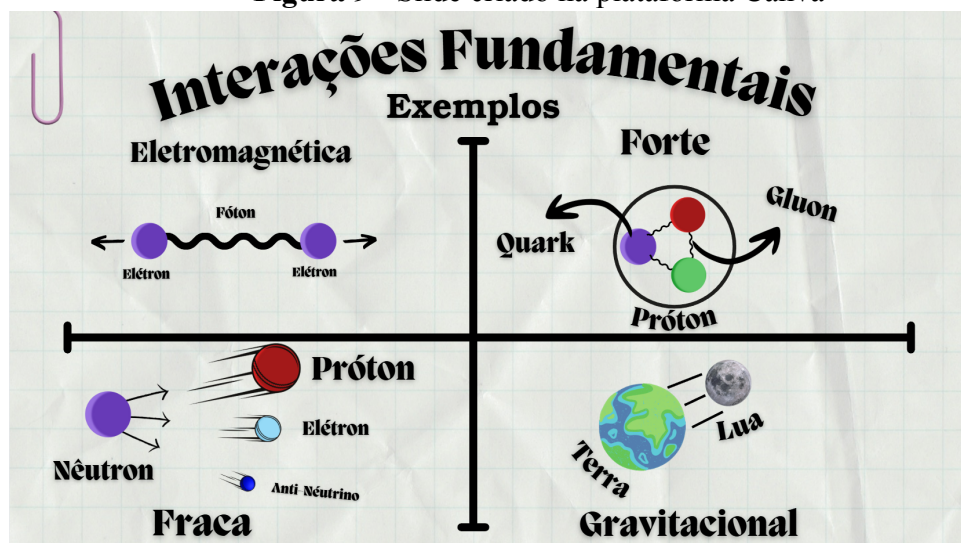
Já o *Canva* foi aplicado na elaboração dos mapas conceituais e materiais visuais de apoio, funcionando como um ambiente digital de criação colaborativa. Por meio dessa ferramenta, os estudantes puderam retextualizar o conteúdo aprendido em representações gráficas, reorganizando ideias e hierarquias conceituais. Essa prática dialoga diretamente com a perspectiva de Cabral (2019) sobre a retextualização como processo de construção de sentido, pois implica a tradução de um discurso científico formal para um discurso visual e didático, de modo a consolidar a aprendizagem (Figuras 8, 9 e 10).

Figura 8 - Slide criado na plataforma Canva



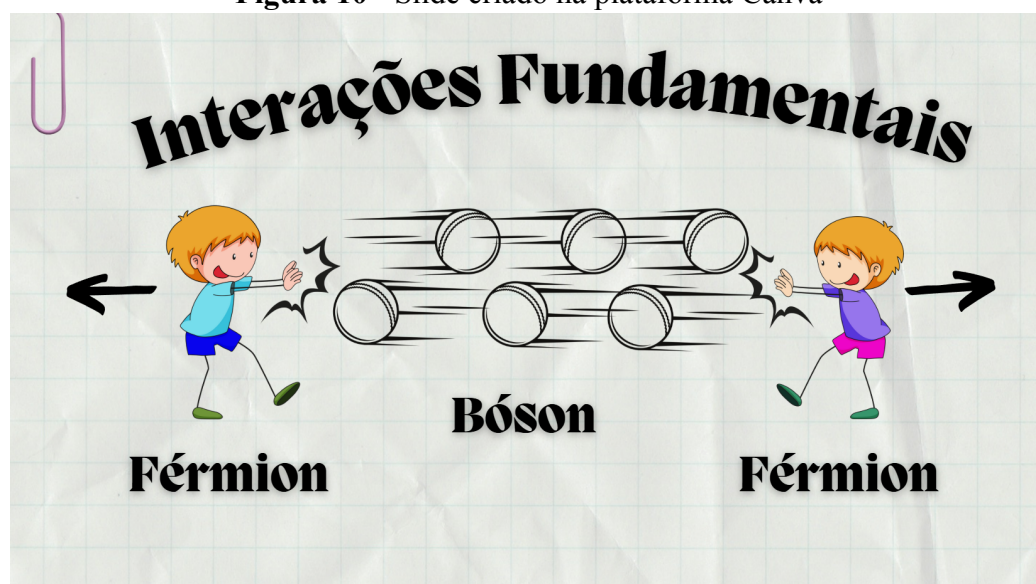
Fonte: recorte da plataforma Canva

Figura 9 - Slide criado na plataforma Canva



Fonte: recorte da plataforma Canva

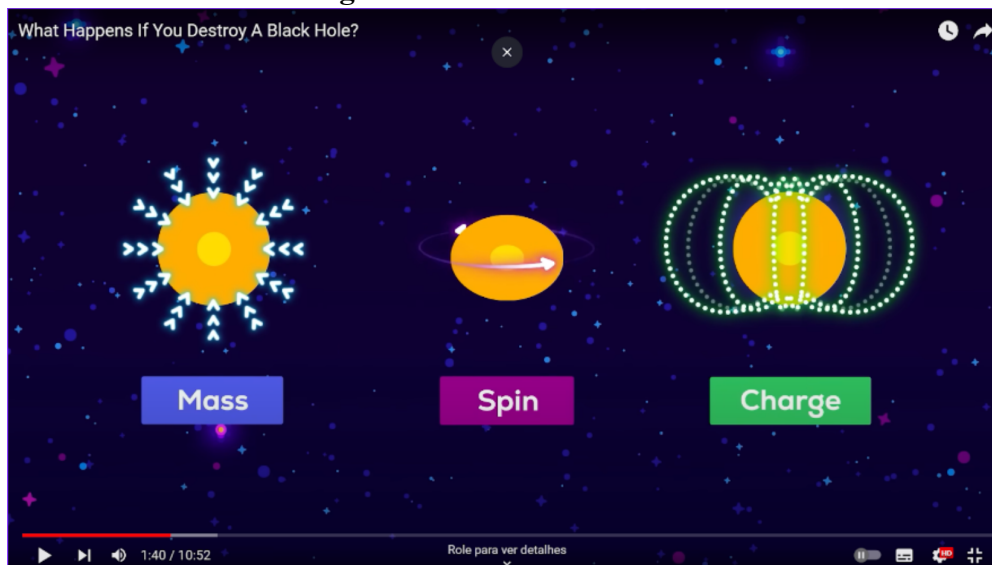
Figura 10 - Slide criado na plataforma Canva



Fonte: recorte da plataforma Canva

Por fim, o *YouTube* foi utilizado como ferramenta de apoio audiovisual, tanto para introduzir conceitos complexos do MP quanto para contextualizar o conteúdo com a cultura científica contemporânea. O uso de vídeos no ensino de Ciências pode favorecer o aprendizado multimodal, foi utilizado para combinar elementos visuais, auditivos e narrativos que ampliam a compreensão de fenômenos abstratos e despertam o interesse do estudante pela FMC (Figura 11).

Figura 11- vídeo de canal do *Youtube*



Fonte: Recorte de vídeo do *Youtube*

Em conjunto, essas quatro ferramentas digitais contribuíram para diferentes dimensões da aprendizagem: o *Kahoot* para o diagnóstico e engajamento; o *PhET* para a experimentação e visualização; o *Canva* para a reconstrução conceitual; e o *Youtube* para a contextualização e motivação. Dessa forma, o uso articulado das TDICs neste trabalho não se restringiu à função instrumental, mas constituiu um ambiente cognitivo integrado, no qual os estudantes puderam significar ativamente o conhecimento sobre o MP por meio de interações digitais e simbólicas.

2.5 A Aprendizagem Significativa

A Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), proposta por David Ausubel na década de 1960, parte do princípio de que o fator mais importante para a aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe. Em suas palavras, “o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já conhece. Averigue isso e ensine-o de acordo” (Ausubel, 2003, p. 18). Assim, a nova informação adquire significado quando é ancorada em conceitos previamente existentes na estrutura cognitiva do sujeito, denominados subsunçores.

De acordo com Ausubel (2003), a Aprendizagem Significativa ocorre quando uma nova informação é relacionada de maneira não arbitrária e substantiva a um conceito relevante já presente na estrutura cognitiva do aluno. Diferencia-se, portanto, da aprendizagem mecânica, caracterizada pela memorização sem compreensão. Essa teoria

coloca em destaque a importância da estrutura cognitiva prévia como elemento organizador do novo conhecimento.

Em síntese, existem algumas características fundamentais que orientam o processo de construção do conhecimento. Entre elas, destacam-se os **organizadores prévios**, a **diferenciação progressiva**, a **reconciliação integradora** e a **ancoragem conceitual**. Segundo Ausubel (2003, p. 65), “os organizadores prévios têm a função de servir como ponte entre o que o aluno já sabe e o que ele precisa aprender”, promovendo uma ligação entre os conceitos iniciais e o novo conteúdo. Já a diferenciação progressiva ocorre quando “as ideias mais gerais e inclusivas de uma disciplina são apresentadas primeiro, e então progressivamente diferenciadas em termos de detalhe e especificidade” (Ausubel, 2003, p. 82). Esse processo permite que o conhecimento seja estruturado de forma hierárquica e coerente. Além disso, a reconciliação integradora busca eliminar contradições aparentes entre conceitos já existentes na estrutura cognitiva, reorganizando-os de forma mais coesa. De acordo com Moreira (2011, p. 21), “a reconciliação integradora é um processo de reorganização cognitiva que visa à eliminação de inconsistências e à integração de novos significados aos conceitos prévios”. Por fim, a ancoragem conceitual refere-se ao processo de ligação do novo conhecimento a conceitos relevantes preexistentes, os chamados subsunçores, sendo “a essência da Aprendizagem Significativa” (Moreira, 2011, p. 32). Essas características, em conjunto, asseguram que o conhecimento não seja apenas armazenado, mas compreendido e incorporado à estrutura cognitiva do aluno de maneira estável e funcional.

Nesse sentido, Moreira (2011) explica que a Aprendizagem Significativa envolve uma reorganização dos significados já existentes no aluno, resultando em uma compreensão mais ampla e integrada do conteúdo. O autor afirma que “a Aprendizagem Significativa é um processo dinâmico de interação entre o novo e o velho conhecimento, em que ambos se modificam” (Moreira, 2011, p. 14). Essa concepção ressalta a importância de considerar o aluno como um sujeito ativo, que constrói seu conhecimento por meio da relação entre suas experiências e as novas informações.

Os organizadores prévios, propostos por Ausubel (2003), constituem estratégias introdutórias que auxiliam o aluno a relacionar o novo conteúdo aos seus conhecimentos prévios. Tais organizadores podem ser textos, imagens, vídeos ou questionamentos que preparam cognitivamente o aprendiz para a nova aprendizagem. Essa preparação é essencial para que o conteúdo adquira significado lógico e psicológico, ou seja, que tenha coerência interna e relevância para o estudante.

Segundo Novak e Gowin (1984), a Aprendizagem Significativa pode ser representada por meio de mapas conceituais, instrumentos que permitem ao aluno visualizar as relações hierárquicas e proposicionais entre conceitos. Essa ferramenta possibilita que o estudante reorganize cognitivamente o conteúdo, transformando informações em significados. Como ressalta Novak e Gowin (1984, p. 12), “os mapas conceituais são representações gráficas de significados, que mostram relações entre conceitos e proposições”.

Os mapas conceituais caracterizam-se por sua estrutura hierárquica, na qual os conceitos mais gerais e inclusivos são posicionados nos níveis superiores, enquanto os conceitos mais específicos são organizados em níveis inferiores. Essa organização reflete a diferenciação progressiva do conhecimento, princípio central da Aprendizagem Significativa (Novak; Gowin, 1984).

Além disso, os mapas conceituais são compostos por proposições, formadas pela ligação entre dois ou mais conceitos por meio de palavras ou frases de ligação, que demonstram a relação estabelecida.

Outra característica importante são as ligações cruzadas, que unem conceitos de diferentes partes do mapa e mostram como o aluno consegue integrar ideias de áreas distintas. Isso indica uma compreensão mais profunda, pois demonstra que o estudante é capaz de relacionar conhecimentos de maneira significativa.

Em resumo, os mapas conceituais não servem apenas para listar conteúdos. Eles são ferramentas que ajudam a ter um aprendizado mais profundo, pois permitem organizar, conectar e deixar claras as relações entre as ideias (Novak; Gowin, 1984).

No contexto do ensino de Física, essa teoria oferece caminhos para superar as dificuldades associadas à abstração e à formalização matemática dos conceitos. De acordo com Moreira (2018), o ensino tradicional de Física tende a privilegiar a resolução de problemas e fórmulas, em detrimento da compreensão conceitual. A perspectiva ausubeliana, por outro lado, enfatiza o papel do professor como mediador, capaz de identificar os conhecimentos prévios dos alunos e promover conexões significativas com os novos conteúdos. Assim, o ensino torna-se mais acessível e relevante para o estudante.

Gowin (1981) complementa essa visão ao destacar a importância da relação entre o fazer e o compreender no processo de aprendizagem. Para o autor, “o verdadeiro entendimento surge quando o aprendiz é capaz de relacionar o conhecimento teórico às suas próprias experiências e ações” (Gowin, 1981, p. 25). Essa perspectiva reforça a necessidade de abordagens didáticas que favoreçam a reflexão, a experimentação e a reconstrução de significados.

Desse modo, a Aprendizagem Significativa oferece uma base teórica sólida para práticas pedagógicas que valorizem a compreensão profunda em detrimento da mera memorização. Ao promover a construção de significados, essa teoria permite que o aluno estruture o conhecimento de forma hierárquica e integrada, consolidando uma visão mais ampla dos fenômenos físicos e científicos.

Por fim, observa-se que a teoria ausubeliana fornece subsídios teóricos importantes para a integração de novas metodologias e tecnologias educacionais. A mediação docente, aliada ao uso de recursos digitais e interativos, pode potencializar os processos de ancoragem cognitiva e de retextualização dos conceitos. Assim, conforme será abordado no subtópico seguinte, as TDICs constituem ferramentas fundamentais para a promoção da Aprendizagem Significativa em contextos de ensino de Física, especialmente em temas complexos como a FPE.

2.5.1 A Aprendizagem Significativa e a Retextualização

O termo *retextualização* tem origem nos estudos de Linguística Textual e foi desenvolvido por Marcuschi (2001) como um processo de transformação de um texto em outro, com adaptações estruturais, linguísticas e discursivas. O autor destaca que retextualizar não é apenas transpor palavras, mas reconstruir sentidos em um novo formato, preservando o conteúdo essencial. Segundo o autor, “retextualizar é mais do que copiar ou reproduzir: é reconstruir o texto em outra dimensão discursiva” (Marcuschi, 2001, p. 47).

No campo educacional, esse conceito foi ampliado por autores como Dell’Isola (2007) e Cabral, Sacchi e Queiroz (2020), que o aplicam ao ensino de ciências como um recurso para a reconstrução de significados. O ato de retextualizar um conteúdo científico exige que o aluno reorganize cognitivamente as ideias aprendidas, adequando-as à sua própria linguagem e às exigências de um novo gênero discursivo, o que pode ser utilizado como uma ferramenta que potencializa o processo de aprendizagem.

A retextualização, portanto, não se restringe a uma atividade de linguagem, mas se configura como uma estratégia cognitiva que envolve a compreensão, seleção e reconfiguração de informações. Esse processo está intimamente relacionado aos princípios da TAS (Ausubel, 2003; Moreira, 2011), uma vez que a reconstrução de textos demanda a ancoragem de novos conceitos em estruturas cognitivas pré-existentes, exatamente como propõe Ausubel.

Nessa perspectiva, a elaboração de mapas conceituais pode ser compreendida como uma forma de retextualização gráfica do conhecimento científico, pois o estudante é levado a reinterpretar conceitos abstratos e organizá-los visualmente em uma nova estrutura lógica e hierárquica. Ao transformar um texto científico em outra forma de representação, seja um mapa, resumo ou narrativa, o sujeito manifesta a internalização do conhecimento, evidenciando que compreendeu e reorganizou os significados aprendidos.

Assim, ao propor que os estudantes representassem o MP por meio de mapas conceituais, esta pesquisa se fundamenta na concepção de que a aprendizagem se torna significativa quando o aluno é instigado a reconstruir e expressar o conhecimento com base em suas próprias compreensões. A retextualização, neste contexto, funciona como uma ponte entre o discurso científico e o discurso escolar, permitindo ao estudante apropriar-se dos conceitos da FPE de maneira ativa e crítica.

2.5.2 A Aprendizagem Significativa e o uso de TDICs no ensino de Física

No contexto contemporâneo da educação em ciências, a incorporação de TICs vai além do simples uso de dispositivos ou softwares: ela exige que essas ferramentas sejam articuladas de modo a favorecer uma aprendizagem conceitual e transformadora. O uso destas tecnologias deve corroborar para a Aprendizagem Significativa e uma mudança de atitude do estudante, aponta Camavilca (2024), é necessário um desenho pedagógico intencional que ligue essas ferramentas ao conhecimento prévio dos alunos e ao processo de construção de significado. Essa perspectiva sustenta a decisão metodológica deste estudo, no qual as TDICs são incorporadas à sequência didática sobre o MP de modo a tornar visíveis conceitos abstratos de FPE e favorecer a compreensão ativa e relacionada dos estudantes.

No Brasil, essa teoria foi amplamente difundida e aprofundada por Marco Antônio Moreira, que destacou a importância da mediação do professor e da criação de situações potencialmente significativas de aprendizagem. Para Moreira (2011), o papel do educador é favorecer condições para que o estudante estabeleça relações entre o que já sabe e o novo conteúdo, atuando como facilitador na construção do conhecimento. Assim, o ensino deixa de ser um processo de mera transmissão de informações para se tornar uma experiência de reconstrução conceitual.

No caso da FPE, cujo conteúdo envolve conceitos altamente abstratos e de difícil visualização, a Aprendizagem Significativa apresenta-se como uma abordagem particularmente adequada. A compreensão do MP, por exemplo, exige que o aluno relacione

noções previamente aprendidas, como estrutura da matéria, interações fundamentais e energia, com novas ideias, como quarks, léptons e bósons. A simples memorização de nomes ou partículas não conduz à Aprendizagem Significativa; é necessário que o estudante compreenda os significados conceituais e as relações entre as entidades físicas.

Para tanto, o uso das TDICs se constitui em um recurso pedagógico essencial. As TDICs permitem a criação de ambientes de aprendizagem interativos, visuais e participativos, que favorecem a exploração de conceitos e a construção de significados de forma ativa. Ferramentas como o *PhET Colorado* possibilitam simular fenômenos e interações que não são observáveis diretamente, como colisões de partículas e campos de força; o *Kahoot* promove a gamificação e o engajamento por meio de questionários dinâmicos; o *Canva* facilita a elaboração de materiais visuais e criativos, auxiliando na construção de slides e representações conceituais; e o *YouTube*, com sua ampla gama de vídeos educativos, contribui para contextualizar o conteúdo em situações reais e experimentais.

Essas ferramentas, quando integradas de forma planejada, não apenas estimulam a motivação dos estudantes, mas também possibilitam o desenvolvimento de uma aprendizagem ativa, significativa e colaborativa. A interatividade digital amplia a capacidade de visualização dos conceitos, essencial em uma área marcada por abstrações e entidades não perceptíveis aos sentidos humanos.

Dessa forma, o ensino de FPE apoiado na TAS e mediado por TDICs não apenas facilita a compreensão de temas complexos, mas também estimula a curiosidade, o raciocínio lógico e o pensamento crítico. Ao combinar fundamentos teóricos sólidos com metodologias ativas e recursos tecnológicos, cria-se um espaço pedagógico capaz de aproximar a ciência contemporânea da realidade escolar, promovendo uma educação científica mais contextualizada, motivadora e formadora de sentido para o estudante.

2.5.3 Materiais pedagógicos voltados para ensino de FPE

Nos estudos voltados ao ensino da FPE, Fernanda Ostermann tem contribuído significativamente para a construção de recursos didáticos acessíveis e conceitualmente claros, direcionados ao EM e à formação de professores. Em sua pesquisa, Ostermann e Cavalcanti (1999) enfatizam a importância de tornar temas contemporâneos da Física, como partículas fundamentais e interações elementares, compreensíveis de forma visual e conceitual, sem depender de cálculos complexos, alinhando-se à perspectiva de Aprendizagem Significativa.

Parece existir consenso hoje, em nível internacional, quanto à necessidade de introduzir conteúdos de Física Contemporânea nos currículos de Física das escolas de nível médio (...) Essa tendência justifica-se, entre outras razões, pela necessidade de atrair jovens para as carreiras científicas. São eles os futuros pesquisadores e professores de Física. É fundamental também despertar a curiosidade dos estudantes e ajudá-los a reconhecer a Física como um empreendimento humano e, portanto, mais próxima a eles (Ostermann; Cavalcanti, 1999, p. 267).

Destaca-se entre estudos publicados por Ostermann, a criação de pôsteres didáticos que organizam informações sobre partículas, léptons, quarks, bósons e suas interações fundamentais, como em seu artigo “Um pôster para ensinar Física de Partículas na escola” (Ostermann; Moreira, 2001) permitindo que professores e estudantes visualizem relações entre diferentes partículas e compreendam fenômenos como a interação eletromagnética, fraca e forte. No desenvolvimento da sequência didática deste trabalho, o pôster de Ostermann mostrou-se particularmente útil, servindo como ferramenta central para apoiar a mediação do conhecimento, organizar o conteúdo de forma visual e facilitar a construção de significados pelos estudantes.

Essa abordagem pedagógica busca proporcionar uma mediação entre o conhecimento científico atual e o processo de ensino e aprendizagem, estimulando o interesse dos alunos, desenvolvendo a capacidade de análise crítica e favorecendo a compreensão conceitual dos conteúdos. Além do caráter visual, os materiais desenvolvidos por Ostermann incorporam estratégias de ensino que incentivam a construção de significados próprios pelos estudantes, como a utilização de esquemas, mapas conceituais e atividades de interpretação de dados, oferecendo subsídios para que jovens compreendam de maneira mais intuitiva e integrada o MP. Tais contribuições evidenciam a relevância de incorporar a Física Contemporânea ao currículo do EM, promovendo não apenas a compreensão de conceitos fundamentais da FPE, mas também a formação de cidadãos mais familiarizados com o conhecimento científico e capazes de dialogar com avanços tecnológicos e experimentais, como aqueles realizados em aceleradores de partículas e laboratórios de pesquisa de ponta (Ostermann; Moreira, 2001).

2.5.4 TAS no ensino de Física

Marco Antônio Moreira tem contribuído de maneira significativa para a Educação em Ciências, especialmente na perspectiva da Aprendizagem Significativa. Seus estudos revisitam a teoria de David P. Ausubel, enfatizando que a aprendizagem se torna efetivamente significativa quando o novo conhecimento se conecta de maneira substantiva e não arbitrária

aos conceitos previamente estruturados na mente do estudante. Mais do que uma simples transmissão de conteúdos, Moreira (2011) propõe que o ensino deve favorecer que os alunos se tornem sujeitos ativos no processo de aprendizagem, capazes de relacionar, questionar e reorganizar conceitos de acordo com seu repertório cognitivo e contexto social. Essa abordagem é ampliada em sua concepção de “Aprendizagem Significativa crítica”, que leva em consideração não apenas a estrutura cognitiva individual, mas também os aspectos históricos, culturais e sociais que influenciam a construção do conhecimento.

No processo de ensino e aprendizagem, Marco Antônio Moreira (2011) enfatiza que o aprendizado significativo ocorre quando há relação entre o que o estudante já sabe e o novo conteúdo apresentado. Segundo o autor:

A Aprendizagem Significativa caracteriza-se pela interação do novo conhecimento e o conhecimento prévio. Nesse processo, que é não literal e não arbitrário, o novo conhecimento adquire significados para o aprendiz e o conhecimento prévio fica rico, diferenciado, mais elaborado em termos de significado, e adquire mais estabilidade (Moreira, 2011, p. XX).

Para o ensino de FPE e do MP, os princípios defendidos por Moreira oferecem um suporte teórico sólido. A aplicação de recursos visuais, como pôsteres, mapas conceituais e simulações, bem como o uso de TDICs, possibilita que os estudantes estabeleçam conexões concretas entre conteúdos complexos e seus conhecimentos prévios. Dessa forma, a sequência didática desenvolvida neste trabalho se alinha com a perspectiva de Moreira, ao proporcionar uma aprendizagem com sentido, centrada no estudante, que estimula a compreensão conceitual e crítica dos fenômenos físicos, e que vai além da memorização ou do simples aprendizado mecânico, favorecendo a construção de conhecimento de forma ativa, contextualizada e significativa.

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

A pesquisa desenvolvida é qualitativa, visto que, para Dourado e Ribeiro (2021, p. 18):

Ela inclui a subjetividade do pesquisador, expressa na escolha do tema, dos entrevistados, no roteiro de perguntas, na bibliografia consultada e na análise do material coletado. Nesse tipo de pesquisa, a preocupação não é com a representatividade numérica do grupo pesquisado, mas com o aprofundamento da compreensão da situação de pesquisa escolhida.

Quanto ao tipo, caracteriza-se como estudo de caso (Gil, 2017), uma vez que investiga, de maneira aprofundada, a aplicação de uma sequência didática em uma turma específica do ensino médio, analisando as contribuições das TDICs e da elaboração de mapas conceituais no processo de aprendizagem significativa.

A partir disso, cabe destacar que existem muitas abordagens que podem ser aplicadas em planos de aula sobre FPE, como sala de aula invertida, utilização de jogos, filmes ou séries, resolução de questões, livros didáticos e muitos outros, porém, quando se trata de um tema incomum para os alunos, que não estão acostumados a lidar no cotidiano, algumas abordagens são estudadas pelos pesquisadores em ensino de ciências. Particularmente falando sobre físicos, conforme já citado, Ostermann e Moreira (2001), que escreveram um artigo sobre um pôster desenvolvido por ela para ensinar FPE na escola, ou até o artigo de Oliveira (2018), que estuda a aplicação de games digitais para ensino deste mesmo tema para a educação básica. Também é possível citar o artigo de Maia (2011), que propõe o desenvolvimento de uma história chamada de “Quantolandia, a república das partículas”, para ensinar de forma descontraída, divertida e de tal maneira que o aluno sintasse imerso no aprendizado assim como quando lê um livro de ficção.

A partir disso, foram realizados um levantamento bibliográfico e a aplicação da proposta didática, com estudantes do EM. A participação foi voluntária, mediante assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (Apêndice A) pelos participantes, conforme os preceitos éticos de pesquisa com seres humanos, uma vez que o projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Ciências da Unesp (CEP/FC), CAAE: 85720725.8.0000.5398. A seguir, cada uma das etapas será detalhada.

3.1 Levantamento bibliográfico

Com o intuito de compreender o panorama atual das pesquisas voltadas ao ensino de FPE, foi realizado um levantamento bibliográfico de caráter exploratório, buscando identificar publicações acadêmicas produzidas de 2016 até 2023 que abordassem a temática em questão em contexto educacional. O objetivo deste levantamento foi mapear a quantidade e o perfil dos estudos recentes relacionados ao ensino de FPE e à utilização de recursos didáticos e metodológicos para sua abordagem no EM e superior.

A pesquisa foi conduzida na base de dados acadêmicos Periódicos de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Para a busca, foram utilizados os descritores e palavras-chave: “*ensino de Física*” e “*Física de Partículas*”, aplicados de forma combinada por meio de operadores booleanos (AND, OR) para refinar os resultados e garantir a pertinência dos materiais localizados. Foram excluídos trabalhos que tratassem exclusivamente de Física teórica ou experimental, sem abordagem didático-pedagógica. Após a aplicação dos filtros, foram contabilizados os artigos pertinentes e organizados segundo o ano de publicação e região geográfica, permitindo a observação de tendências e lacunas na produção científica da área. A análise qualitativa dos estudos selecionados buscou identificar as principais estratégias didáticas relatadas, como uso de TDICs, atividades investigativas, modelagem e representações visuais, bem como os referenciais teóricos mais recorrentes, com destaque para a Aprendizagem Significativa e o uso de TDICs no ensino de FMC.

3.2 Aplicação da proposta

A seleção da turma ocorreu por conveniência, considerando disponibilidade institucional e alinhamento com o calendário escolar. Mais especificamente, a pesquisa foi realizada em uma Escola Estadual, localizada em Bauru, São Paulo, com alunos do 3º ano do EM, totalizando 18 participantes. O estudo teve como objetivo investigar a aprendizagem de conceitos de FPE e do MP por meio de uma sequência didática mediada por TDICs, alinhada aos princípios da TAS.

Foi desenvolvido um plano de ensino e realizada sua aplicação para fins de constituição de dados desta dissertação. A proposta metodológica adotou, como eixo central, o uso das TDICs como ferramentas didáticas, visando à transposição didática dos conteúdos relacionados ao MP. As TDICs utilizadas na aplicação foram: *Canva*, *Kahoot*, *PhET Colorado*, *YouTube* e *Google Forms*. As ferramentas foram escolhidas com base na função que desempenham dentro do processo de ensino e aprendizagem.

A produção dos MP pelos estudantes foi compreendida como um processo de retextualização do conhecimento científico abordado nas aulas sobre o MP de FPE. A análise dos mapas, portanto, foi orientada não apenas pelos conceitos físicos representados, mas também pelas estratégias de retextualização empregadas pelos estudantes, evidenciando como as ideias científicas foram reinterpretadas e reorganizadas em uma nova linguagem visual e conceitual.

3.2.1 Da sequência didática

A sequência didática teve duração total de quatro horas-aula, distribuídas em três etapas. Na primeira hora, realizou-se a apresentação do tema e a aplicação de um quiz no *Kahoot*, com o objetivo de levantar concepções prévias dos estudantes sobre partículas elementares e interações fundamentais. Na segunda etapa, com duração de duas horas, os alunos participaram de atividades mediadas por slides produzidos no *Canva*, acompanhados de discussão guiada, inserção de simulações interativas do *PhET*, imagens e vídeos didáticos. Na última etapa, com duração de uma hora, procedeu-se à constituição de dados por meio de MP produzidos em papel e questionário do *Google Forms*, permitindo o registro das construções conceituais dos estudantes e o levantamento de respostas sobre sua compreensão dos conteúdos.

Os instrumentos de constituição de dados foram escolhidos de modo a capturar tanto as concepções prévias quanto às construções conceituais após a intervenção. O *Kahoot* funcionou como instrumento inicial de diagnóstico, enquanto os MP e os formulários digitais permitiram analisar a Aprendizagem Significativa em termos qualitativos.

Conforme já mencionado, a sequência foi organizada em três momentos:

- Diagnóstico inicial: aplicação de um quiz no *Kahoot* para levantamento de conhecimentos prévios;
- Desenvolvimento: exposição dialogada com apoio de slides, vídeos e simulações (*PhET*), abordando a estrutura da matéria do macro ao subatômico, culminando na apresentação da tabela do MP;
- Síntese e avaliação formativa: os alunos produziram, de forma anônima, um mapa conceitual sobre a estrutura da matéria até as partículas fundamentais, além de responderem a um formulário com perguntas de múltipla escolha sobre o conteúdo e suas percepções da atividade. O plano de aula desenvolvido está ilustrado no Quadro 1.

Quadro 1 - Plano de aula.

Plano De Aula: Modelo Padrão (4 horas-aula)
<u>Primeiro Momento - Concepções Alternativas</u> (1 h-aula): Foi realizado um quiz no <i>Kahoot</i>, para que possamos levantar as concepções prévias dos alunos, a respeito de assunto envolvendo átomos e partículas. <u>Segundo Momento - Aula expositiva e discussão guiada</u> (2 h-aula): Exposição de slides através do <i>Canva</i>, contendo imagens, vídeos e gifs, além do uso do <i>Phet Colorado</i> como simulador visual. <u>Terceiro Momento - Constituição de Dados</u> (1 h-aula): Os alunos produziram um mapa conceitual, sobre a estrutura da matéria e o Modelo Padrão. E por fim, responderam a um questionário sobre a temática de partículas elementares e MP.
Conteúdos
Os conteúdos a serem abordados durante a sequência seguiram a seguinte ordem: ● Estrutura da Matéria; ● Átomos ● Partículas Elementares: ○ Classificações ■ Férmions ■ Bósons ○ Características ■ Massa ■ Carga elétrica ■ Spin ● Interações Fundamentais: ○ Interação Forte ○ Interação Fraca ○ Interação Eletromagnética ○ Interação Gravitacional.
Recursos
Foram utilizados os equipamentos físicos: ● Notebook ● TV ● Papel Sulfite ● Caneta ● Lápis Foram utilizados os seguintes recursos digitais: ● <i>Canva</i> ● <i>Phet Colorado</i> ● <i>Kahoot</i>

• <i>Youtube</i> • <i>Google Forms</i>
Desenvolvimento
<u>Concepções prévias</u> (1h-aula): Quiz do <i>Kahoot</i>: Dez perguntas em formato de competição saudável: 1. Átomos são as menores coisas que existem! 2. O núcleo do átomo é formado por...? 3. Prótons e Nêutrons são indivisíveis! 4. O que é menor que um átomo? 5. O que são Partículas Elementares? 6. Todas as partículas são elementares! 7. Os prótons são partículas elementares! 8. Os Prótons são formados por partículas chamadas...? 9. O elétron é uma partícula elementar! 10. Qual dessas NÃO é uma característica de uma partícula elementar? O <i>Kahoot</i> gera um relatório contendo porcentagem de acertos da turma. Foi utilizado como base para levantamento das concepções prévias. <u>Aula expositiva e discussão guiada</u> (2h-aula): Aula em slides e discussão guiada. Onde iniciou-se com os assuntos de Estrutura da Matéria, com objetivo de aplicar a diferenciação progressiva da Aprendizagem Significativa. Ao decorrer da discussão os assuntos foram sendo aprofundados, até a tabela do Modelo Padrão, que é o objeto de estudo. Foi utilizado no <i>Canva</i>, figuras ilustrativas contendo analogias visuais, vídeos do <i>Youtube</i> com animação, e o simulador do <i>Phet</i> Colorado. Todas essas ferramentas são utilizadas como forma de ponte entre os subsunçores e o conhecimento novo a ser construído. <u>Constituição dos dados</u> (1h-aula): os participantes produzem mapas conceituais representando o que entenderam sobre o Modelo Padrão, e respondem um questionário de dez questões do <i>Google Forms</i>.
Instrumento Avaliativo
Após a síntese dos conteúdos, foi solicitado aos participantes que produzissem mapas conceituais representando o que entendem da estrutura da matéria, e do Modelo Padrão. Os mesmos também responderam a um questionário do <i>Google Forms</i> contendo nove questões sobre Modelo Padrão e Partículas Elementares.

Fonte: autoria própria (2026).

3.2.2 Do uso de TDICs

O uso do *Kahoot*, na etapa inicial da sequência didática, está diretamente relacionado ao conceito de organizadores prévios, pois permite ao professor identificar e explorar as

concepções prévias dos estudantes sobre FPE antes da introdução do novo conteúdo. Essa atividade cumpriu a função descrita por Ausubel (2003, p. 65), quando afirma que “os organizadores prévios servem de ponte entre o que o aluno já sabe e o que ele precisa aprender”. Assim, o *Kahoot* possibilitou o levantamento das ideias iniciais e atua como uma ferramenta que orienta a ancoragem dos novos significados.

Durante o desenvolvimento do conteúdo, o uso de simuladores *PhET* e de apresentações no *Canva* contribuiu para o processo de diferenciação progressiva, pois os conceitos são apresentados de forma gradual, do mais geral ao mais específico. Essa característica da teoria é destacada por Ausubel (2003, p. 82), ao afirmar que “as ideias mais gerais e inclusivas devem ser introduzidas primeiro, sendo depois progressivamente diferenciadas em termos de detalhe e especificidade”. Os recursos multimídia permitiram que o aluno visualizasse fenômenos abstratos, como interações entre partículas, e compreendesse suas propriedades de modo mais concreto e intuitivo.

Para o desenvolvimento dos conceitos relacionados à interação eletrostática, foi utilizado o simulador *PhET Interactive Simulations*, especificamente a ferramenta “Lei de Coulomb”. Por meio desse recurso, os estudantes puderam visualizar, de forma dinâmica, a interação entre cargas elétricas pontuais, manipulando variáveis como o valor das cargas e a distância entre elas. A simulação possibilitou a observação das forças de atração e repulsão, bem como a análise da intensidade dessas forças em função das grandezas envolvidas, favorecendo a compreensão qualitativa e quantitativa da Lei de Coulomb. Além disso, o simulador foi utilizado também para estabelecer relações com os efeitos resultantes da interação eletromagnética entre partículas, contribuindo para maior compreensão das interações fundamentais.

Os vídeos do *YouTube*, integrados à sequência didática, têm papel fundamental na reconciliação integradora, pois permitiram ao aluno revisitar conceitos e relacioná-los com outras áreas do conhecimento, como energia, ondas e matéria. Essa etapa promoveu uma reorganização cognitiva que, segundo Moreira (2011, p. 21), “visa à eliminação de inconsistências e à integração de novos significados aos conceitos prévios”. Os vídeos, ao apresentarem o conteúdo em diferentes linguagens e contextos, favoreceram essa integração entre ideias aparentemente desconexas.

Com o objetivo de favorecer a compreensão conceitual acerca da estrutura fundamental da matéria, foram utilizados, durante a sequência didática, trechos selecionados de dois vídeos do canal *Kurzgesagt – In a Nutshell*, apresentados de forma expositiva. Do vídeo “*Teoria das Cordas explicada – Qual é a verdadeira natureza da realidade?*”, foi

exibido o trecho compreendido entre 0:46 e 2:26, no qual se apresenta uma hierarquia visual que parte de escalas macroscópicas até alcançar o nível das partículas elementares, contribuindo para a construção de uma visão integrada da estrutura da matéria. Em seguida, do vídeo *“A coisa mais perigosa do universo – Estrelas estranhas explicadas”*, foi apresentado o segmento entre 1:52 e 3:37, no qual são abordados aspectos relacionados ao comportamento dos quarks e das cargas de cor, incluindo o fenômeno do confinamento. A utilização desses recursos audiovisuais buscou apoiar a introdução de conceitos abstratos por meio de representações visuais e analogias, favorecendo a aproximação dos estudantes com conteúdos típicos da Física de Partículas.

Por fim, a construção de mapas conceituais, utilizados como instrumento de avaliação e coleta de dados, está fortemente ligada à ancoragem conceitual, pois permitiu que o aluno explicitasse as relações hierárquicas e de significado entre os conceitos estudados. Nesse sentido, ao elaborar os mapas conceituais, os estudantes não apenas reproduziram informações, mas retextualizaram o conteúdo científico em uma nova forma de representação gráfica e conceitual, articulando os significados de acordo com sua compreensão. Essa etapa foi considerada central no processo de constituição de dados, pois possibilitou observar indícios de Aprendizagem Significativa (Ausubel, 2003) a partir da reorganização conceitual realizada pelos participantes.

Em síntese, cada TDIC utilizada nesta pesquisa desempenhou um papel específico dentro das etapas da Aprendizagem Significativa, reforçando a importância de integrar recursos tecnológicos ao ensino de Física. Portanto, ao associar o uso das TDICs às dimensões propostas por Ausubel e Moreira, a sequência didática desenvolvida se mostra coerente com os princípios da Aprendizagem Significativa e adequada ao ensino de conteúdos complexos da FMC.

3.3 Procedimentos de análise de dados

Com a sequência desenvolvida, foi solicitado aos participantes da pesquisa que realizassem uma retextualização conceitual do MP por meio da elaboração de mapas conceituais, a fim de verificar o nível de compreensão dos conteúdos da sequência didática. Além disso, os participantes responderam a questionários que abordaram tanto os conceitos estudados quanto suas percepções sobre as atividades propostas.

A análise dos dados obtidos nesta pesquisa foi conduzida de forma qualitativa, buscando compreender os indícios de Aprendizagem Significativa presentes nas produções

dos estudantes após a aplicação da sequência didática. Os mapas conceituais elaborados pelos alunos foram avaliados com base em critérios estruturais. Segundo Novak e Cañas (2010), os mapas conceituais caracterizam-se pela organização hierárquica dos conceitos e pelas proposições estabelecidas entre eles, permitindo evidenciar relações de significado construídas pelos estudantes. Nesse sentido, foram observados aspectos como: presença de conceitos centrais, hierarquização conceitual, conexões entre conceitos, clareza das proposições, indícios de diferenciação progressiva e reconciliação integradora.

A análise foi orientada pelos princípios da TAS (Moreira, 2011), com ênfase na ancoragem de novos conceitos aos subsunçores existentes e na reestruturação de significados observada nas conexões conceituais estabelecidas.

As respostas aos formulários digitais foram examinadas por meio da análise de conteúdo, conforme proposta por Bardin (2011), permitindo a identificação de categorias emergentes associadas à compreensão conceitual dos alunos sobre as partículas elementares, bem como às percepções sobre o uso das TDICs como instrumentos mediadores da aprendizagem. As categorias foram agrupadas de modo a evidenciar indícios de Aprendizagem Significativa e mudança conceitual.

Esse procedimento analítico possibilitou uma interpretação integrada dos dados, articulando os resultados dos mapas conceituais e dos formulários com as etapas da sequência didática, de modo a avaliar a efetividade da proposta pedagógica na promoção de significados relevantes e na aproximação dos estudantes com conteúdos contemporâneos da FPE.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta e discute os resultados obtidos a partir das duas etapas principais que compõem esta pesquisa: o levantamento bibliográfico sobre publicações que tratam do ensino de FPE e a aplicação da sequência didática proposta junto a estudantes do EM.

A primeira parte aborda a análise quantitativa e qualitativa dos artigos identificados na base de dados Periódicos CAPES, entre os anos de 2016 e 2023, a partir dos termos descritores *ensino de Física* e *Física de Partículas*, com o objetivo de identificar a produção científica recente relacionada ao ensino de tópicos de FMC, em especial aqueles que tratam da FPE no contexto educacional. Esse levantamento permitiu compreender o panorama atual das produções científicas relacionadas ao tema, bem como identificar tendências, lacunas e desafios que envolvem a inserção da FPE no contexto da educação básica.

Na segunda parte do capítulo, são discutidos os resultados da aplicação da sequência didática, construída com base na TAS e mediada pelo uso de TDICs. Essa etapa buscou analisar a potencialidade da proposta para promover a compreensão conceitual dos alunos sobre o MP e a estrutura fundamental da matéria, a partir da retextualização do conteúdo em mapas conceituais.

Assim, o capítulo se organiza em duas subseções principais: a primeira dedicada à caracterização e análise dos artigos levantados e a segunda voltada à discussão dos resultados obtidos com a implementação da proposta didática. Ambas as partes são fundamentais para sustentar as reflexões acerca das contribuições e limitações do ensino de FPE na educação básica e para apontar caminhos possíveis à sua inserção de forma significativa e contextualizada.

4.1 Do levantamento de artigos científicos

A busca teve como propósito compreender o panorama atual das pesquisas que abordam o ensino de FPE no Brasil, observando tanto a quantidade de publicações ao longo dos anos quanto à distribuição geográfica das produções, de modo a revelar possíveis tendências regionais e o nível de inserção do tema nos diferentes contextos educacionais e acadêmicos. Os dados obtidos foram organizados e representados graficamente, permitindo visualizar a evolução do interesse pela temática ao longo dos anos e a concentração de estudos por estado.

A seguir, são apresentados os principais resultados obtidos no levantamento, seguidos de uma discussão interpretativa acerca das tendências observadas, da relevância do tema no cenário educacional e das lacunas identificadas para futuras pesquisas. A partir do levantamento realizado na base de dados Periódicos CAPES, foi possível identificar um total de 18 artigos (Quadro 2) que abordam o ensino de FPE no contexto da educação básica e da formação de professores, entre os anos de 2016 e 2023.

Quadro 2 - Artigos selecionados a partir da busca na base de dados Periódicos CAPES.

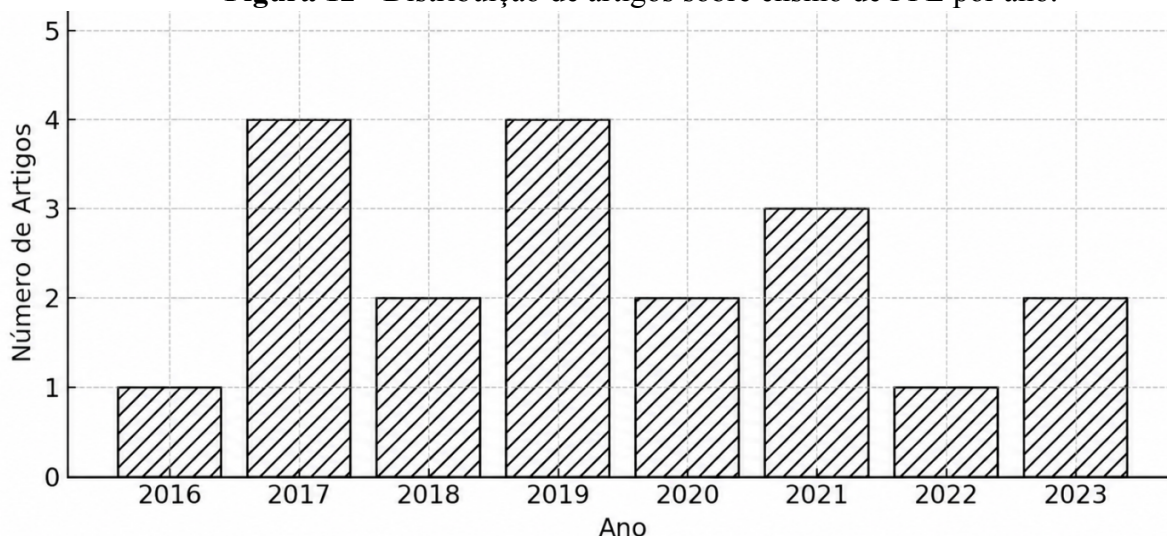
	Autores	Título/Revista	Nível de ensino	Ano de publicação
1	JESUS NETO, J. T.; SILVA, H. C.	Imagens sobre partículas elementares: relações entre a circulação e o âmbito escolar/Enseñanza de las Ciencias	EM	2017
2	LONDERO, L.; MOSINATHI, G.	Problematização da física de partículas elementares e o uso de notícias da imprensa/Enseñanza de las Ciencias	EM	2017
3	BOFF, C. A.; BASTOS, R. O.; MELQUIADES, F. L.	Práticas experimentais no ensino de física nuclear utilizando material de baixo custo/Caderno Brasileiro de Ensino de Física	EM e ES	2017
4	PEREIRA, M. M.; CARDOSO, S. P.; MARINO, T. M.	Caça ao Higgs: um jogo para ensinar sobre física de partículas/Enseñanza de las Ciencias	EM	2017
5	VIDEIRA, A. A. P.; FRANCISQUINI, M. F. B.	A instituição da “Física de Partículas Elementares” como disciplina científica e sua relação com a formação de professores/Caderno Brasileiro de Ensino de Física	ES	2018
6	NEVES, D. R. M.; PEREIRA, B. A.; PEREIRA, S. A.; FORATO, T. C. M.; BIANCO, A. A. G.	Uma proposta de baixo custo para experimentos com raios catódicos/Caderno Brasileiro de Ensino de Física	EM	2019
7	FERREIRA, D. C.; DE SOUZA FILHO, M. P.	O experimento virtual da dupla fenda ao nível do ensino médio (Parte II): uma análise quântica do comportamento corpuscular e ondulatório da luz/Caderno Brasileiro de Ensino de Física	EM	2019
8	SCHÄFFER, D.; SCHUMACKER, F. K.; ORENGO, G.	Uma introdução à física de partículas para o ensino médio: uma tradução adaptada do texto de Bettelli, Bianchi-Streit e Giacomelli/Revista Brasileira de Ensino de Física	EM	2020
9	OLIVEIRA, I. N.; RAMOS, J. A. P.; SILVA, W. L.; CHAVES, V. D.; DE MELO, C. A.	Construção de uma maquete experimental automatizada para a determinação da constante de Planck com o auxílio da plataforma Arduino/Caderno Brasileiro de Ensino de Física	EM	2020

	O.			
10	DORSCH, G. C.; CUNHA GUIO, T. C.	Física de partículas no ensino médio parte I: eletrodinâmica quântica/Revista Brasileira de Ensino de Física	EM	2021
11	MILNITSKY, R.; GURGEL, I.; MUNHOZ, M. G.	O quark como objeto de análise histórica e epistemológica: a física de partículas elementares em uma perspectiva bachelardiana/Caderno Brasileiro de Ensino de Física	EM	2021
12	NEVES, D. R. M.; FORATO, T. C. M.; PEREIRA, B. A.; PEREIRA, S. A.; BIANCO, A. A. G.	Debates, contextos e lacunas no desenvolvimento coletivo da teoria sobre raios catódicos/Caderno Brasileiro de Ensino de Física	ES	2021
13	TSCHÁ, S. H.; CARMO, A. B. DO	Uma proposta de sequência didática para trabalhar a natureza da ciência: a pesquisa brasileira sobre raios cósmicos/Caderno Brasileiro de Ensino de Física	EM	2022
14	GUIO, T. C. C.; DORSCH, G. C.	Física de Partículas no ensino médio parte II: física nuclear/Revista Brasileira de Ensino de Física	EM	2023
15	GOMES, F. E.; ALVARENGA, F. G.	Uma UEPS para a física de neutrinos aplicada em tempos de pandemia/Vitruvian Cogitationes	EM	2023
16	RANGEL GUIMARÃES, R.; MASSONI, N. T.	O uso do modelo padrão de argumentação de Stephen Toulmin no ensino de ciências no âmbito da disciplina de física/Investigações em Ensino de Ciências	EM	2020
17	BASTOS, K. L.; GONÇALVES, K. M.; CABRAL, J. S.	Modelo padrão: uma análise dos livros didáticos do PNLD para identificar conceitos relacionados à física de partículas elementares/Revista Brasileira de Ensino de Física	EM	2022
18	DE JESUS, R. T.; DE AMORIM, R. G. G.	Proposta de uma unidade de ensino potencialmente significativa para ensinar física de partículas por meio de jogos de cartas/Revista do Professor de Física	EM	2019

Fonte: autoria própria (2026).

Legenda: EM = Ensino médio; ES = Ensino superior.

A partir do Quadro 2, é possível notar a predominância de publicações voltadas ao EM e provenientes da revista Caderno Brasileiro de Ensino de Física, com sete trabalhos, e a Revista Brasileira de Ensino de Física, com cinco. A Figura 12 apresenta a distribuição das publicações por ano.

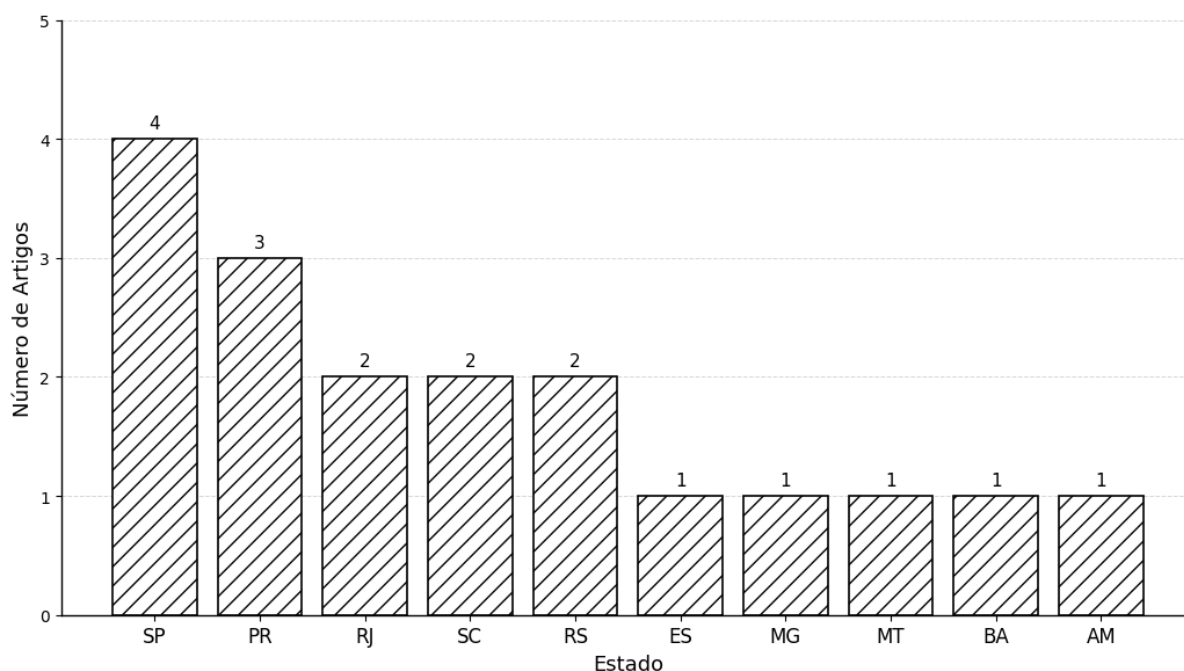
Figura 12 - Distribuição de artigos sobre ensino de FPE por ano.

Fonte: Autoria própria

Observa-se na Figura 12 que o ano de 2017 apresentou o maior número de publicações, com cinco artigos, seguido por 2019, com quatro artigos. Nos demais anos, o número de produções manteve-se reduzido, variando entre uma e três publicações anuais. Essa irregularidade na distribuição sugere que o interesse pelo tema ainda é pontual, possivelmente vinculado a grupos ou projetos específicos de pesquisa sobre o ensino de tópicos de FMC, como o caso da FPE.

Apesar das oscilações, é possível notar que a temática se mantém presente ao longo do período analisado, indicando uma continuidade de interesse, ainda que restrita a um número limitado de trabalhos. Esse dado reforça a ideia de que o ensino de FPE, embora reconhecido como relevante para a atualização curricular e para a promoção da Aprendizagem Significativa, ainda enfrenta dificuldades de consolidação nas práticas pedagógicas e nas investigações acadêmicas.

No que se refere à distribuição regional (Figura 13), observa-se predominância da Região Sudeste, responsável por 8 das 18 publicações, com destaque para o estado do Paraná, que apresentou três artigos, sendo este o principal representante da Região Sul, seguido por São Paulo, com quatro. A presença de produções também foi identificada nos estados do Espírito Santo (1), Rio de Janeiro (2), Minas Gerais (1), Santa Catarina (2), Bahia (1), Mato Grosso (1) e Amazonas (1).

Figura 13 - Distribuição de artigos sobre ensino de FPE por estado.

Fonte: gráfico gerado a partir de dados do levantamento.

Essa concentração nas regiões Sudeste e Sul reflete o cenário mais amplo da produção científica brasileira, historicamente concentrada em estados com maior número de programas de pós-graduação consolidados e grupos de pesquisa em ensino de Ciências e Física. Ainda assim, a presença de trabalhos em estados das regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste aponta uma expansão gradual do interesse pela temática, o que pode indicar um movimento de interiorização e descentralização da pesquisa em ensino de FMC.

De forma geral, os resultados obtidos evidenciam que o ensino de FPE vem sendo explorado em diferentes contextos, embora de forma ainda incipiente e concentrada regionalmente. Essa constatação reforça a necessidade de ampliar o debate e as iniciativas que busquem integrar a FPE aos currículos escolares, explorando metodologias que favoreçam a compreensão conceitual e o uso de TICs como mediadoras no processo de ensino e aprendizagem.

Os resultados desse levantamento forneceram subsídios importantes para o delineamento da presente pesquisa, uma vez que evidenciaram a escassez de materiais didáticos voltados ao ensino conceitual da FPE, especialmente no nível médio, e reforçaram a necessidade de propostas pedagógicas contextualizadas que promovam a compreensão significativa de conceitos fundamentais do MP.

4.2 Resultados do *Kahoot* como diagnóstico inicial

O uso do *Kahoot* neste contexto possibilitou levantar, de forma lúdica e dinâmica, o nível de familiaridade dos alunos com conceitos fundamentais como átomo, núcleo, prótons, nêutrons, elétrons e partículas elementares, servindo como diagnóstico inicial de aprendizagem. As perguntas aplicadas, apresentadas no Quadro 1 (p. 45), abordaram ideias sobre a indivisibilidade dos prótons e nêutrons, a composição do núcleo atômico, o conceito de partícula elementar e suas principais características. Esse levantamento inicial foi fundamental para identificar possíveis conceitos alternativos ou lacunas de compreensão acerca do tema, permitindo ajustar a sequência didática às necessidades reais da turma.

Além disso, o uso de uma TDIC como o *Kahoot* contribuiu para tornar o processo diagnóstico mais atrativo, aproximando o conteúdo de FMC do cotidiano digital dos estudantes e estimulando uma postura mais participativa diante do conhecimento científico. O relatório gerado pela plataforma apresenta os percentuais de acertos em cada questão, permitindo identificar quais conceitos já estavam consolidados e quais apresentaram maior índice de erro, indicando a presença de conceitos alternativos ou lacunas de compreensão. Essa análise é essencial dentro da perspectiva da Aprendizagem Significativa (Moreira, 2011), uma vez que o ensino deve partir dos conhecimentos prévios do estudante para promover a ancoragem de novos significados.

A seguir, são discutidos os resultados obtidos nas onze questões aplicadas, com base no desempenho da turma e nas possíveis interpretações sobre as dificuldades conceituais apresentadas (Figura 14).

Figura 14 - Questões na gamificação do *Kahoot*.

1	Átomos são as menores coisas que existem!	Verdadeiro ou falso	 43%
2	O núcleo do átomo é formado por...?	Quiz	 14%
3	Prótons e Nêutrons são indivisíveis!	Verdadeiro ou falso	 21%
4	O que é menor que um átomo?	Quiz	 7%
5	O que são Partículas Elementares?	Quiz	 14%
6	Todas as partículas são elementares!	Verdadeiro ou falso	 50%
7	Os prótons são partículas elementares!	Verdadeiro ou falso	 36%
8	Os Prótons são formados por partículas chamadas...?	Quiz	 21%
9	O elétron é uma partícula elementar!	Verdadeiro ou falso	 57%
10	Qual dessas NÃO é uma característica de uma partícula elementar?	Quiz	 29%
11	Qual teoria classifica em tabela as partículas e suas características?	Quiz	 21%

Fonte: Recorte da plataforma *Kahoot*.

A Figura 14 apresenta que o menor percentual de acerto (7%) foi para a pergunta 4, “O que é menor que um átomo?”, enquanto o maior percentual (57%) foi observado para a pergunta 9, “O elétron é uma partícula elementar?”. Esses resultados sugerem que o conhecimento dos estudantes se restringe, em grande parte, aos modelos atômicos clássicos, sem a compreensão da natureza mais fundamental da matéria. Tal constatação é coerente com o que defende Moreira (2011), ao apontar que o processo de Aprendizagem Significativa requer a existência de conceitos subsunçores que possam servir de base para a assimilação de novos conteúdos. No caso da FPE, a ausência de tais subsunçores dificulta a construção de significados estáveis e inter-relacionados.

Além disso, foram identificadas concepções alternativas recorrentes, como a ideia de que o elétron é formado por partículas menores, a confusão entre partículas elementares e partículas subatômicas, e o entendimento de que o termo “modelo” se refere apenas a representações simplificadas, e não a uma estrutura teórica explicativa. Tais concepções são indicativas de aprendizagens mecânicas ou memorizadas, que não estabelecem conexões significativas com o conhecimento científico.

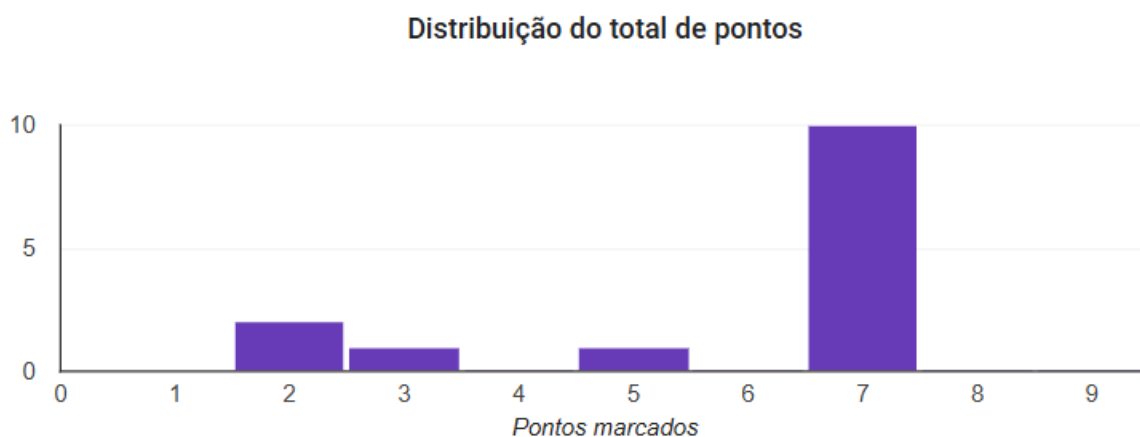
É possível compreender o panorama inicial de conhecimentos e concepções dos estudantes sobre as partículas elementares e o MP. Esse diagnóstico serviu como base comparativa para a análise dos resultados finais, apresentados ao término deste capítulo, permitindo observar possíveis indícios de Aprendizagem Significativa a partir das atividades desenvolvidas ao longo da sequência didática.

4.3 Análise das respostas ao questionário

Após a aplicação da sequência didática, os participantes responderam a um questionário composto por nove questões objetivas, elaborado com o propósito de avaliar a compreensão dos conceitos fundamentais abordados sobre FPE. O instrumento foi construído no *Google Forms*, e visou verificar possíveis mudanças conceituais em relação ao diagnóstico inicial, aplicado por meio do *Kahoot*. As perguntas (Quadro 1, p. 45) contemplavam aspectos centrais do conteúdo, como a estrutura subatômica, a distinção entre partículas elementares e compostas, bem como a identificação de teorias que descrevem o comportamento das partículas fundamentais.

Essa etapa da pesquisa permitiu identificar evidências de Aprendizagem Significativa, conforme proposta por Ausubel (2003), uma vez que os resultados revelam como os novos conceitos foram incorporados à estrutura cognitiva dos alunos, a partir dos conhecimentos prévios levantados no início da sequência. A seguir (Figura 15), são apresentados e discutidos os resultados obtidos, considerando o desempenho geral dos estudantes e a distribuição de acertos no questionário.

Figura 15 - Pontuação geral do questionário do *Google Forms*.



Fonte: Relatório gerado na plataforma *Google Forms*.

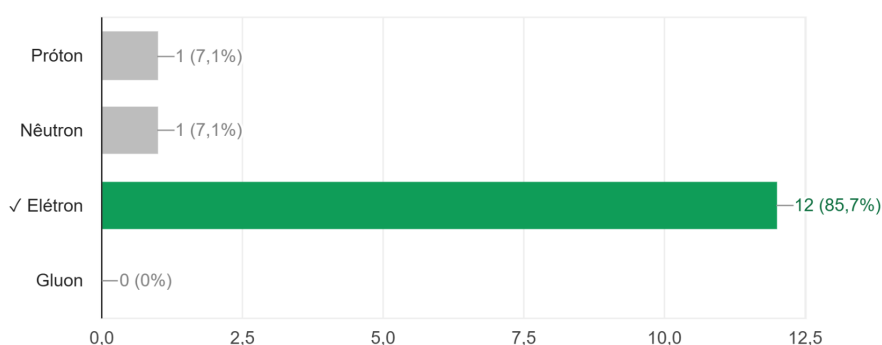
Com base nos resultados gerais apresentados na Figura 15, no qual a maior parte dos alunos obteve um total de sete acertos em dez questões, torna-se relevante realizar uma análise mais detalhada de algumas perguntas específicas do questionário, que se mostraram particularmente significativas para compreender o nível de assimilação conceitual dos alunos.

Essas questões foram selecionadas por evidenciarem tanto os avanços na compreensão, quanto as dificuldades persistentes relacionadas aos conceitos fundamentais da FPE. Assim, a seguir, serão discutidas as respostas a essas perguntas, buscando interpretar os dados à luz da TAS e dos objetivos estabelecidos na proposta didática. Vamos começar pelas duas primeiras perguntas, que se referem à estrutura atômica (Figuras 16 e 17).

Figura 16 - Respostas para a questão 1 do *Google Forms*.

A matéria que conhecemos é formada por átomos, e sabemos que estes átomos são formados por um núcleo e a eletrosfera, qual a partícula elementar que reside na eletrosfera?

12 / 14 respostas corretas



Fonte: Relatório gerado na plataforma *Google Forms*.

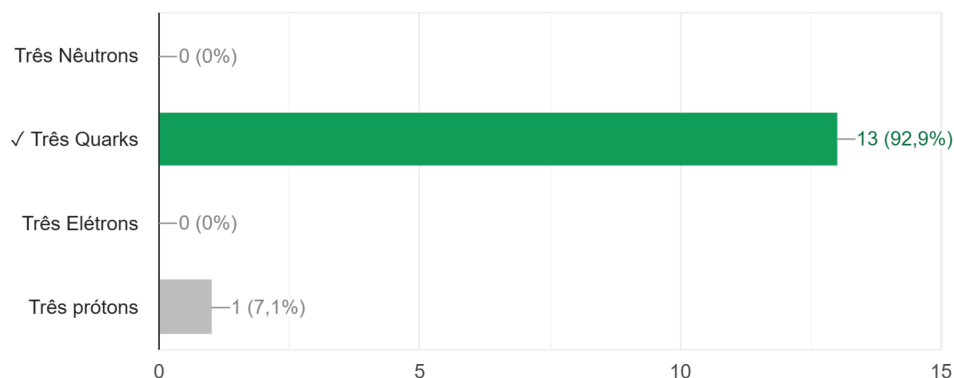
A primeira questão apresentada aos alunos buscava verificar a compreensão sobre a partícula elementar que ocupa a eletrosfera do átomo. Conforme mostra a Figura 16, 85,7% dos participantes identificaram corretamente o elétron como a partícula responsável por essa região, enquanto 14,2% ainda confundiram o conceito, assinalando próton ou nêutron. Esse resultado evidencia que a maioria dos estudantes assimilou adequadamente a distinção entre as regiões do átomo, reconhecendo a distribuição das partículas subatômicas e suas respectivas funções.

A pequena parcela de respostas incorretas pode estar associada à concepção tradicional do átomo como uma entidade indivisível ou à dificuldade de compreender a organização interna da matéria em níveis mais profundos. Além disso, o resultado corrobora o que foi discutido anteriormente, para as concepções prévias, onde fica evidente que os participantes apresentam um conhecimento inicial sobre os modelos atômicos tradicionais.

Figura 17 - Respostas para a questão 2 do *Google Forms*.

O próton é uma partícula composta por...?

13 / 14 respostas corretas



Fonte: Relatório gerado na plataforma *Google Forms*.

Na Figura 17, a questão referente à composição do próton revelou um desempenho ainda mais expressivo: 92,9% dos alunos indicaram corretamente que o próton é formado por três quarks, enquanto apenas um participante (7,1%) apresentou erro. Esse dado é particularmente relevante, pois mostra que, após a intervenção didática mediada por TDICs, os alunos foram capazes de transcender à noção clássica de partículas subatômicas indivisíveis, avançando para uma compreensão mais moderna, alinhada ao MP. Essa apropriação conceitual indica um processo de diferenciação progressiva (Ausubel, 2003), no qual novas informações foram integradas à estrutura cognitiva prévia dos estudantes, possibilitando a reformulação de conceitos sobre a constituição da matéria.

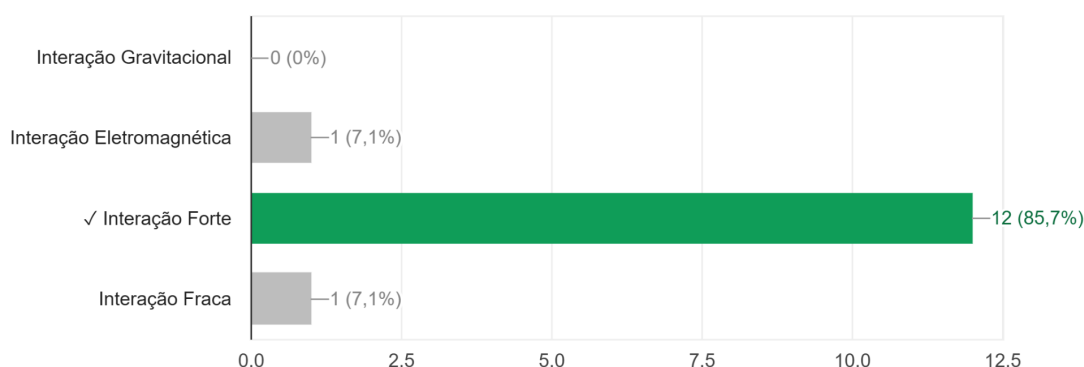
Dessa forma, as respostas obtidas nessas duas questões indicam que a compreensão da estrutura atômica foi satisfatoriamente contemplada ao longo da sequência didática. Os alunos demonstraram reconhecer tanto a organização interna do átomo quanto a natureza composta de algumas partículas subatômicas, evidenciando uma ampliação conceitual. Esse resultado sugere que os objetivos relacionados à introdução dos conceitos fundamentais da FPE, especialmente no que se refere à constituição da matéria e às distinções entre partículas elementares e compostas, foram alcançados de maneira consistente.

Na sequência, serão apresentadas duas questões que abordam o tema das interações fundamentais da natureza, conceito central no estudo da FPE (Figuras 18 e 19).

Figura 18 - Respostas para a questão 3 do *Google Forms*.

Qual a interação responsável por manter os Quarks unidos, formando Prótons e Nêutrons?

12 / 14 respostas corretas



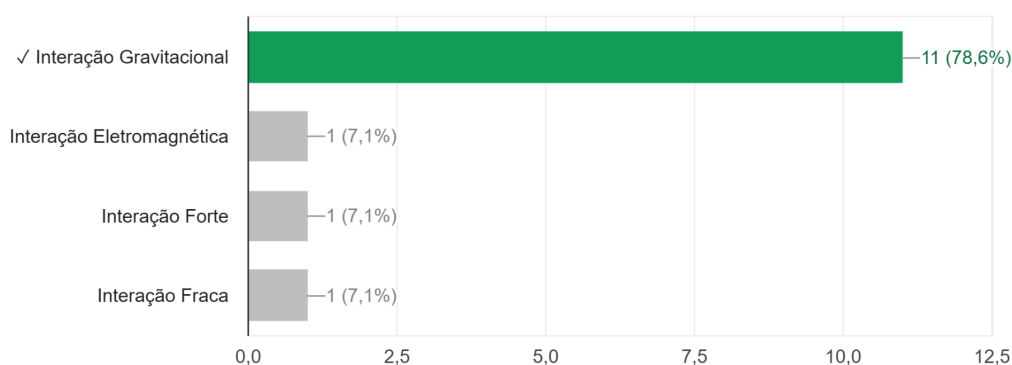
Fonte: Relatório gerado na plataforma Google Forms.

Na primeira questão, ilustrada na Figura 18, que tratava da interação responsável por manter os quarks unidos, formando prótons e nêutrons, a maioria dos alunos (85,7%) respondeu corretamente que se tratava da Interação Forte. Esse resultado demonstra uma boa compreensão acerca do papel dessa força na coesão dos hádrons, evidenciando que o conceito foi assimilado, porém, devido a limitações desta pesquisa que serão expostas, não podemos afirmar se ocorreu de forma significativa (Ausubel, 2003).

Figura 19 - Respostas para a questão 4 do *Google Forms*.

Qual a interação fundamental cuja partícula ainda não foi encontrada experimentalmente?

11 / 14 respostas corretas



Fonte: Relatório gerado na plataforma Google Forms.

Já na segunda questão, ilustrada na Figura 19, que perguntava sobre a interação cuja partícula mediadora ainda não foi detectada experimentalmente, 78,6% dos estudantes

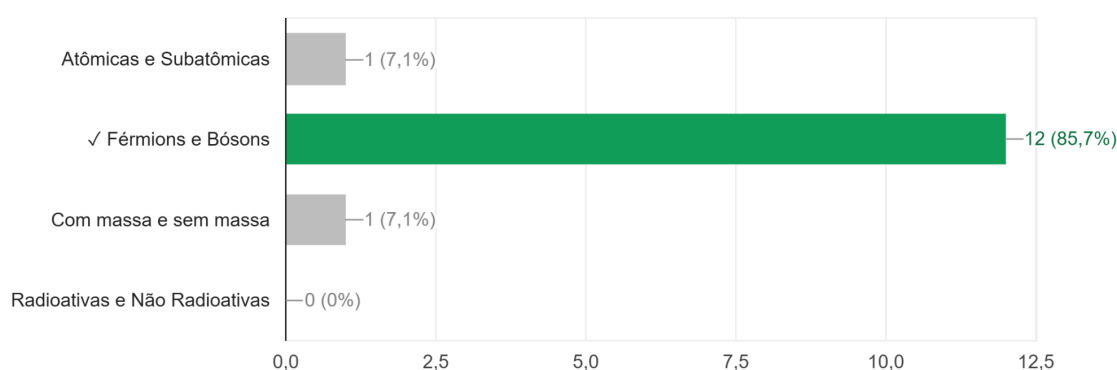
acertaram ao indicar a Interação Gravitacional, cuja partícula hipotética é o gráviton. Essa taxa de acerto também reflete um entendimento satisfatório sobre as limitações atuais da Física na busca pela unificação das interações fundamentais.

Na sequência, foram analisadas duas questões referentes à classificação das partículas elementares (Figuras 20 e 21).

Figura 20 - Respostas para a questão 5 do *Google Forms*.

Quais as duas classes de partículas existentes na tabela do Modelo Padrão?

12 / 14 respostas corretas



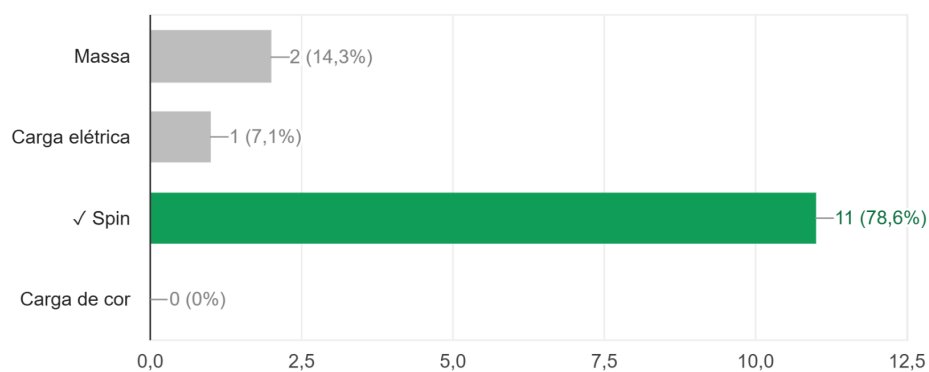
Fonte: Relatório gerado na plataforma Google Forms.

Na questão ilustrada na Figura 20, que abordou as duas classes fundamentais de partículas, observou-se que 85% dos participantes responderam corretamente que são os férmions e bósons, demonstrando boa compreensão sobre a organização básica do MP.

Figura 21 - Respostas para a questão 6 do *Google Forms*.

O que diferencia os Férmions dos Bósons?

11 / 14 respostas corretas



Fonte: Relatório gerado na plataforma Google Forms.

Na questão seguinte, ilustrada na Figura 21, que tratava da característica que diferencia essas classes, 78% dos estudantes identificaram corretamente o spin como o principal fator distintivo, sendo os férmions associados a spins semi-inteiros e os bósons a spins inteiros.

De modo geral, a análise das respostas evidencia que os estudantes foram capazes de compreender os conceitos centrais do MP, especialmente no que se refere às interações fundamentais e à classificação das partículas elementares. Os resultados apontam para uma assimilação significativa dos conteúdos (Ausubel, 2003), indicando que o uso das TDICs e das atividades propostas favoreceu o envolvimento e a construção conceitual por parte dos alunos.

Por fim, vale destacar que o formulário contendo o questionário completo encontra-se disponível no Apêndice B, ao final deste trabalho, permitindo uma visão integral das questões aplicadas e dos dados coletados.

4.4 Análise dos mapas conceituais

A elaboração dos mapas conceituais pelos estudantes foi compreendida como uma forma de *retextualização do conhecimento científico*. Assim, nesse estudo, cada mapa representa não apenas a compreensão conceitual dos alunos sobre o MP, como também a forma singular com que eles traduziram esse conhecimento em uma nova linguagem visual e gráfica.

Nesse contexto, a elaboração dos mapas conceituais foi compreendida como uma reconstrução discursiva do conteúdo sobre o MP de FPE, mediada pelas interações e pelas ferramentas digitais utilizadas ao longo das aulas. Assim, cada mapa representa não apenas a compreensão conceitual do estudante, mas também a forma como ele reorganiza e traduz o discurso científico para uma nova linguagem, gráfica e conceitual, mais próxima de sua própria estrutura cognitiva.

A partir dessa perspectiva, a análise buscou identificar indícios de Aprendizagem Significativa (Ausubel, 2003), observando como os conceitos foram hierarquizados, relacionados e conectados de maneira coerente, evidenciando os processos de ancoragem entre os novos conhecimentos e os subsunçores já existentes.

De acordo com Moreira (2011, p. 23), a Aprendizagem Significativa ocorre quando “novas informações interagem de maneira não arbitrária e substantiva com o que o aprendiz já sabe”. Nesse sentido, a estrutura dos mapas conceituais permite visualizar as relações hierárquicas e conceituais que indicam o processo de ancoragem de novos significados, conforme os princípios da teoria de Ausubel (2003).

Os critérios de análise adotados neste trabalho foram inspirados nas dimensões propostas por Moreira (2012) para a interpretação de mapas conceituais. Assim, buscou-se compreender não apenas o domínio conceitual dos alunos sobre o MP, mas também a forma como reorganizaram e expressaram esses conhecimentos com suas próprias palavras e representações visuais.

Os principais critérios considerados foram: organização hierárquica, ou seja, a análise da disposição dos conceitos, partindo dos mais gerais até os mais específicos. Segundo Moreira (2012), a hierarquia conceitual reflete o nível de compreensão e de estruturação cognitiva do estudante.

4.4.1 Organização dos mapas conceituais

Para a análise dos mapas conceituais elaborados pelos alunos, optou-se por apresentar os resultados de forma progressiva, iniciando-se pelos mapas que apresentam estruturas mais simples e conceitualmente fragmentadas, até aqueles que demonstram maior complexidade, hierarquização e coerência interna. Essa organização segue a lógica da TAS (Ausubel, 2003), segundo a qual, conforme já mencionado, a aprendizagem ocorre por meio de um processo de diferenciação progressiva e reconciliação integradora, no qual novos conceitos são gradualmente incorporados e reorganizados dentro da estrutura cognitiva do aprendiz.

Cabe destacar que, embora tenha sido realizada a instrução sobre como elaborar os mapas conceituais, os participantes da pesquisa não utilizaram as palavras de ligação ou palavras-chave. Segundo Moreira (2012), o uso das palavras-chave é imprescindível e deve ser motivado, pois elas auxiliam a explicar a relação entre dois conceitos. Assim, os mapas que serão apresentados se aproximam mais a diagramas ou mapas mentais do que mapas conceituais, na perspectiva da Aprendizagem Significativa. Por outro lado, escolheu-se manter a nomenclatura mapas conceituais, tendo em vista a análise que será realizada.

Dessa forma, a sequência escolhida busca evidenciar o percurso de desenvolvimento conceitual dos estudantes, permitindo visualizar como suas representações iniciais, muitas vezes baseadas em concepções espontâneas ou incompletas, foram sendo reelaboradas à

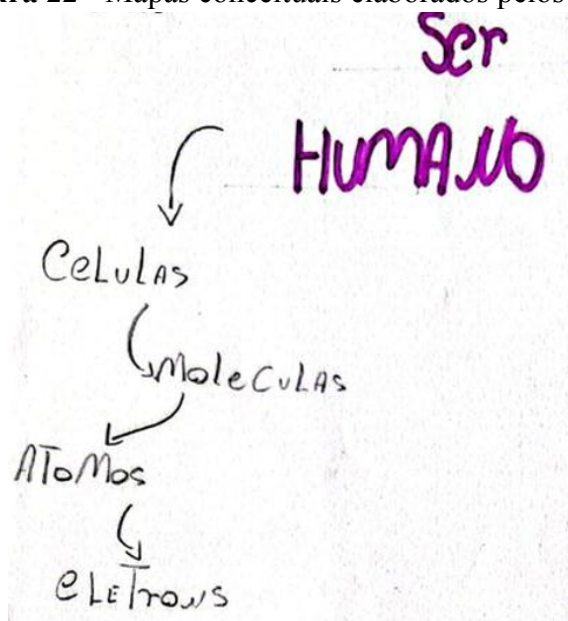
medida que o conteúdo foi trabalhado. Além disso, tal ordenação facilita a identificação de indícios de retextualização (Cabral, 2019), entendida como o processo de transformação de informações de natureza científica em novas formas discursivas produzidas pelos alunos, neste caso, representadas graficamente nos mapas conceituais. Assim, os mapas mais simples refletem uma retextualização inicial, enquanto os mais elaborados demonstram maior domínio dos conceitos e das relações entre as partículas elementares no contexto do MP.

Essa abordagem permite, portanto, observar de forma qualitativa a evolução cognitiva dos participantes, destacando evidências de Aprendizagem Significativa promovida pela proposta didática mediada pelo uso das TDICs e pela retextualização como estratégia de expressão e consolidação do conhecimento.

4.4.2 Dos mapas conceituais iniciais

Os primeiros mapas conceituais apresentam uma estrutura linear e hierarquicamente simples, partindo do conceito “Ser humano” e descendo até “Elétrons”. Observa-se que o estudante organiza os conceitos de forma encadeada, “ser humano → células → moléculas → átomos → elétrons”, evidenciando uma compreensão básica da constituição da matéria, mas ainda sem estabelecer relações conceituais mais amplas ou de natureza explicativa.

Figura 22 - Mapas conceituais elaborados pelos participantes



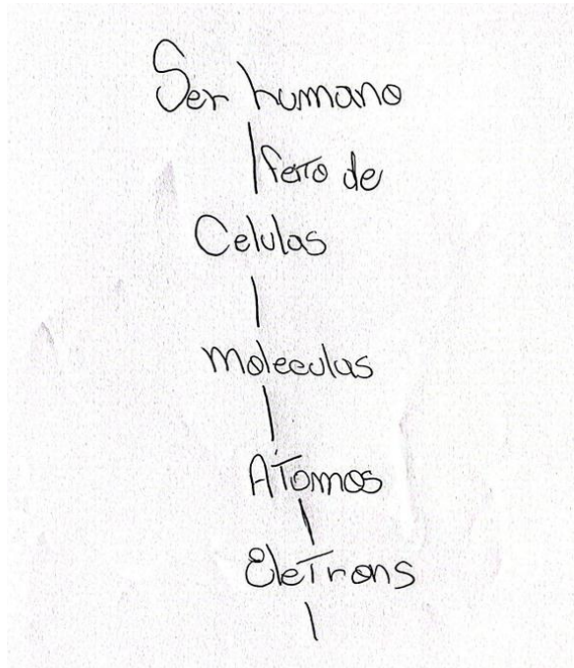
Fonte: Produção dos participantes.

Trata-se de uma representação que reflete um pensamento essencialmente descritivo e cotidiano, sem indícios de uma apropriação dos conceitos próprios da FPE. O mapa não faz

referência, por exemplo, às partículas subatômicas (prótons, nêutrons, quarks, léptons) nem às interações fundamentais, demonstrando que o aluno ainda se encontra em um estágio inicial de elaboração conceitual. Os conceitos selecionados foram utilizados durante a explicação pelo docente, a fim de introduzir o assunto. Vale ressaltar, ainda, que não foram estabelecidos previamente quais conceitos os alunos deveriam utilizar e que a tabela do MP ficou disponível para consulta durante a atividade de elaboração dos mapas conceituais.

Assim, a retextualização, nesse caso, não abarcou todos os elementos que foram discutidos durante as aulas. Assim como apontam Calheiro e Garcia (2014), no momento de elaboração de mapas livres (sem a indicação de quais conceitos deveriam ser utilizados), pode-se inferir que o aluno em questão não apresentava subsunções pertinentes, que possibilitassem o estabelecimento de relações entre esses e os conceitos discutidos. Na Figura 23 é ilustrado outro exemplo.

Figura 23 - Mapas conceituais elaborados pelos participantes



Fonte: Produção dos participantes.

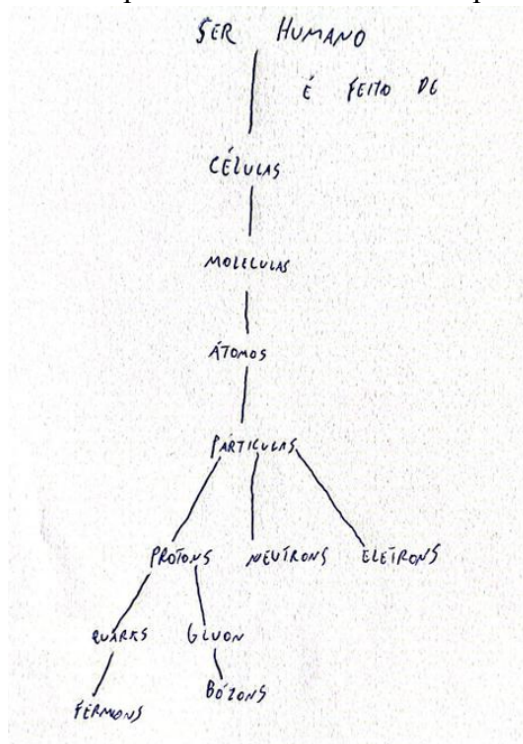
Do ponto de vista da retextualização, o mapa mostra uma tentativa de traduzir a linguagem científica em uma forma gráfica simples e pessoal, porém, com limitações em termos de precisão conceitual, assim como discutido para o mapa da Figura 22. Por outro lado, há a presença de palavras de ligação (Moreira, 2012), “feito de”, que indica a ocorrência de uma proposição, unindo os conceitos “ser humano” e “células”, “moléculas”, “átomos” e “elétrons”. Assim como Calheiro e Garcia (2014) nota-se uma evolução na aprendizagem, a

partir da compreensão da composição básica da matéria. Assim, este é um registro valioso por representar o ponto de partida da aprendizagem, permitindo identificar os conceitos representados como possíveis subsunçores (Ausubel, 2003) que servirão de base para a construção de novos significados.

Entre os mapas conceituais produzidos na coleta de dados ao final da aula, observa-se que alguns, como o apresentado, não evidenciam características relacionadas ao MP. Nesse exemplo específico, a organização conceitual permanece em níveis mais gerais da estrutura da matéria, sem estabelecer conexões com as partículas fundamentais e suas interações. Isso sugere que, embora o estudante tenha participado das atividades propostas, a Aprendizagem Significativa sobre o tema pode não ter se consolidado, indicando a necessidade de estratégias adicionais de mediação para favorecer a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora dos novos conceitos.

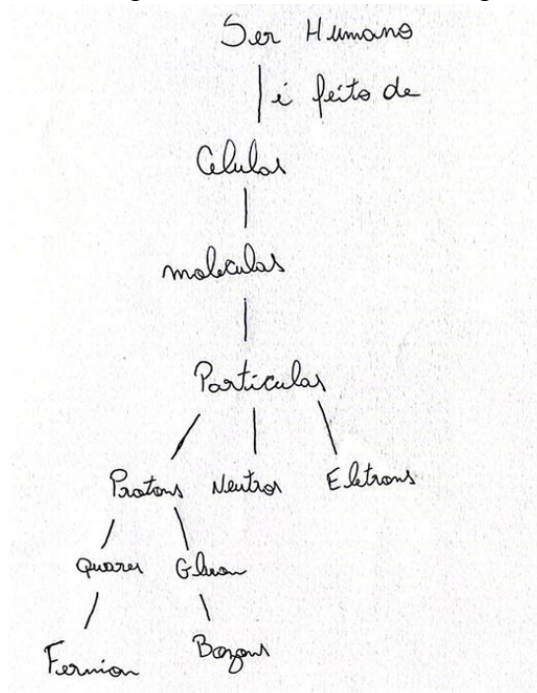
4.4.3 Dos mapas conceituais intermediários (reorganização parcial)

Nos mapas conceituais classificados como intermediários, observa-se um avanço em relação aos iniciais, principalmente no que diz respeito à ampliação e diversificação dos conceitos representados. Embora ainda apresentem algumas lacunas conceituais e relações imprecisas, esses mapas já demonstram uma tentativa mais clara de articular elementos pertencentes ao MP, indicando um processo de diferenciação progressiva em curso. Os estudantes passam a incluir termos como “partículas fundamentais”, “prótons”, “nêutrons” e “quarks”, evidenciando uma transição entre o conhecimento cotidiano sobre a constituição da matéria e o conhecimento científico sistematizado abordado durante a sequência didática. O primeiro mapa assim classificado está ilustrado na Figura 24.

Figura 24 - Mapas conceituais elaborados pelos participantes

Fonte: Produção dos participantes.

Ao comparar o mapa da Figura 24 com os anteriores, observa-se uma progressão evidente na forma como o estudante organiza os conceitos e estabelece relações entre eles. Enquanto o primeiro mapa apresentava apenas uma sequência linear de termos, como “ser humano”, “células”, “moléculas”, “átomos” e “elétrons”, sem explicitar relações conceituais ou níveis de abstração, o presente mapa revela um esforço de hierarquização e de categorização mais elaborado. Na retextualização, o estudante passa a incluir conceitos centrais do MP, como quarks, glúons, férmions e bósons, o que indica a assimilação de conteúdos trabalhados durante a sequência didática e a emergência de uma compreensão mais sistêmica sobre a constituição da matéria. Nota-se, ainda, assim como no mapa observado na Figura 23, o uso das palavras de ligação (Moreira, 2012), “é feito de”, completando a proposição que envolve estas e os conceitos “ser humano” e “células”. Outro mapa como este pode ser observado na Figura 25.

Figura 25 - Mapas conceituais elaborados pelos participantes

Fonte: Produção dos participantes.

A evolução observada nos mapas ilustrados nas Figuras 24 e 25 é coerente com o que Cabral (2019) descreve como retextualização, processo pelo qual o aprendiz reformula informações provenientes de diferentes linguagens e contextos, textos, vídeos, discussões orais, animações, em uma nova forma de expressão, no caso, o mapa conceitual. Essa retextualização permite visualizar a passagem de uma compreensão empírica e fragmentada para uma organização mais conceitual e relacional, característica da Aprendizagem Significativa (Ausubel, 2003).

É possível observar nos dois mapas que, embora o estudante tenha incluído no mapa conceitos importantes como quarks e glúons, as relações estabelecidas parecem concentrar-se principalmente na estrutura do próton, enquanto o nêutron aparece de forma periférica ou pouco desenvolvida. Essa tendência pode estar relacionada à forma como os exemplos foram conduzidos durante a sequência didática, com maior ênfase nas composições do próton, o que possivelmente dificultou aos alunos generalizarem o raciocínio para o caso do nêutron. Tal constatação reforça a importância de equilibrar os exemplos e analogias apresentadas, de modo a favorecer uma compreensão mais abrangente das partículas compostas e das interações fundamentais previstas pelo MP.

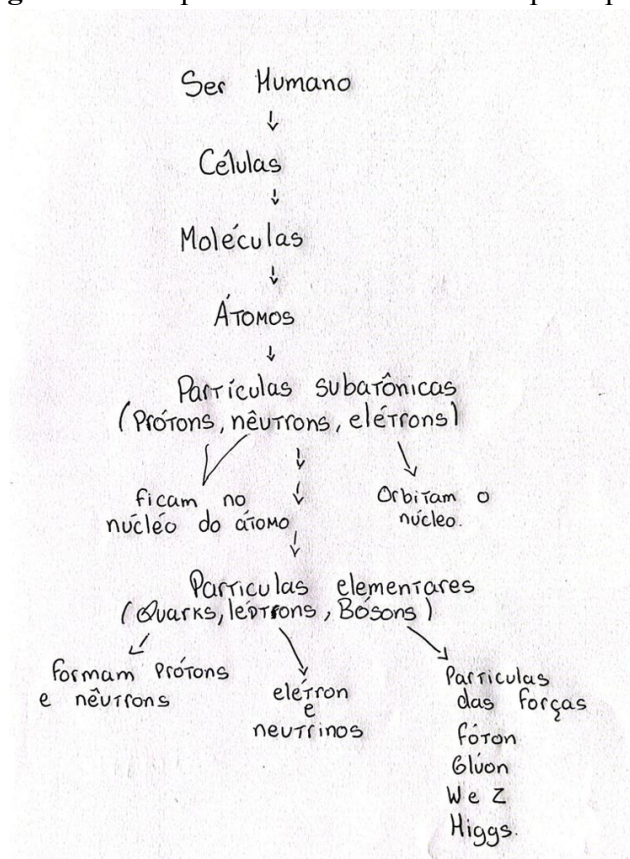
Em síntese, o mapa conceitual intermediário representa uma etapa de transição entre a memorização inicial e a construção efetiva de significados. Ainda que apresente lacunas,

como a ausência de proposições claras e de conexões mais explícitas entre as categorias do MP, o avanço conceitual é notável e indica que o processo de ensino possibilitou ao estudante organizar cognitivamente o conteúdo de forma mais próxima à estrutura científica da FPE.

4.4.4 Mapas conceituais finais (estrutura complexa)

Nesta etapa, apresentamos o mapa conceitual que evidencia uma compreensão mais ampla e articulada do conteúdo abordado. Diferentemente dos exemplos anteriores, que ainda apresentavam lacunas conceituais ou relações parciais entre os elementos do MP, o mapa a seguir demonstra um avanço significativo na estrutura hierárquica e nas conexões estabelecidas entre os conceitos (Figura 26).

Figura 26 - Mapas conceituais elaborados pelos participantes



Fonte: Produção dos participantes.

Observa-se a presença de diferentes níveis de organização da matéria, do ser humano às partículas elementares, bem como a distinção entre partículas subatômicas e partículas fundamentais, aspecto essencial para a compreensão da constituição da matéria segundo o MP. Essa evolução sugere que o processo de aprendizagem foi significativo no sentido

ausubeliano (Ausubel, 2003), possibilitando ao estudante uma retextualização mais completa do conteúdo trabalhado, transformando informações recebidas em uma nova forma de expressão conceitual (Cabral, 2019). Por outro lado, percebe-se uma inversão na organização do mapa, visto que as palavras de ligação (Moreira, 2012) encontram-se no lugar dos conceitos e vice-versa. Por exemplo, os conceitos “partículas subatômicas” e “prótons”, “nêutrons” e “elétrons”, deveriam estar no lugar das palavras de ligação “ficam no núcleo do átomo” e “orbitam o núcleo”.

Ao analisar este mapa conceitual, nota-se uma clara evolução em relação aos exemplos anteriores. O estudante demonstra compreender não apenas a estrutura hierárquica da matéria, indo do nível macroscópico (“Ser humano”) ao nível subatômico e, finalmente, às partículas elementares, mas também apresenta distinções coerentes entre partículas subatômicas (prótons, nêutrons e elétrons) e partículas fundamentais (quarks, léptons e bósons). Essa diferenciação é um avanço importante, pois reflete uma retextualização bem-sucedida do conteúdo, na medida em que o aluno reconstrói os significados de forma integrada, demonstrando compreensão das relações que estruturam o MP.

Comparativamente, observa-se que os mapas iniciais careciam de profundidade conceitual, restringindo-se à composição da matéria até o nível atômico, sem incluir o domínio das partículas elementares. Já os mapas intermediários apresentaram tentativas de inserção de conceitos como quarks e glúons, mas ainda de forma incompleta ou desconectada da hierarquia geral. O presente mapa, entretanto, articula esses conceitos de modo mais sistemático, revelando a internalização progressiva do conhecimento (Ausubel, 2003). Assim como no trabalho de Calheiro e Garcia (2014), notam-se indícios da aprendizagem significativa, a partir da evolução conceitual.

É importante considerar que a complexidade inerente à FPE e ao MP exige um tempo de assimilação mais extenso. O curto período da sequência didática pode ter limitado a consolidação dos conceitos, sobretudo no que se refere à compreensão das interações fundamentais e das partículas mediadoras das forças. Como destaca Ausubel (2003), a Aprendizagem Significativa demanda tempo para que novos conceitos se integrem à estrutura cognitiva pré-existente. Assim, ainda que o progresso observado seja notável, é plausível supor que uma ampliação do tempo de trabalho com o tema possibilitaria resultados ainda mais consistentes e aprofundados.

De modo geral, a análise dos mapas conceituais evidencia um processo gradual de Aprendizagem Significativa (Ausubel, 2003), no qual os estudantes passam de representações mais superficiais e lineares para construções conceituais mais integradas e hierarquizadas.

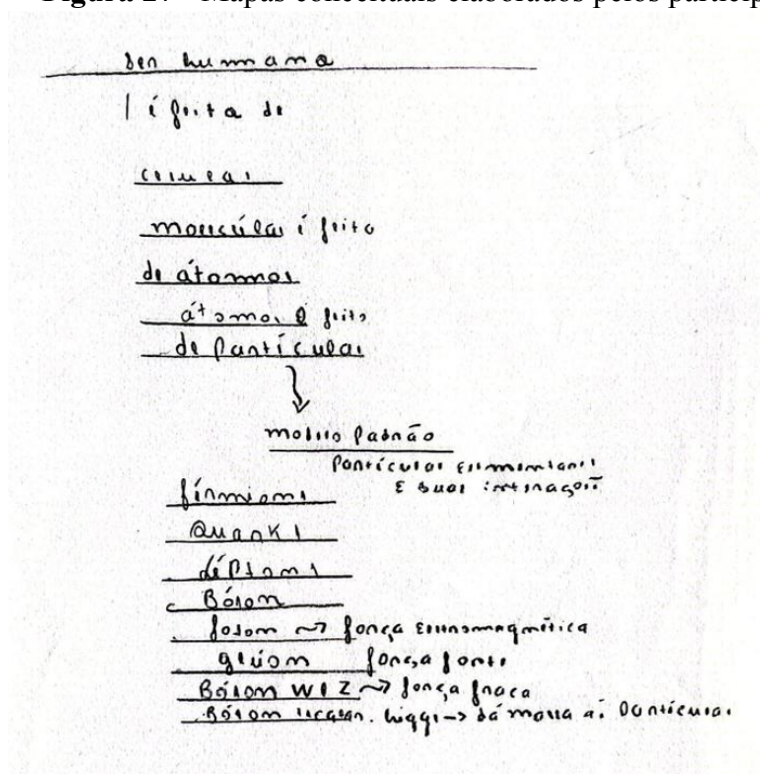
Nota-se que, ao longo da sequência didática, houve um movimento crescente de incorporação de termos e relações associadas ao MP, especialmente no que diz respeito à distinção entre partículas elementares. Ainda que alguns mapas não tenham atingido o nível de abstração esperado, o conjunto indica que os alunos foram capazes de retextualizar as informações trabalhadas, reorganizando o conhecimento em novas formas de representação (Cabral, 2019).

Entretanto, também se identificaram produções que não seguem o mesmo padrão organizacional observado nos demais, seja por apresentarem caminhos conceituais alternativos, seja por explorarem relações diferentes da estrutura tradicional da matéria. Por esse motivo, tais exemplos foram reservados para o próximo subtópico, intitulado “Mapas Alternativos”, onde serão analisados com maior detalhe, buscando compreender como essas variações podem também refletir diferentes modos de construção de sentido sobre o tema.

4.4.5 Mapas conceituais alternativos

Durante a análise dos mapas conceituais produzidos pelos estudantes, foi possível identificar um pequeno grupo de representações que se diferenciam significativamente do padrão observado nas demais produções. Não é possível afirmar com precisão o motivo dessa divergência estrutural, podendo ela estar associada tanto a um movimento de maior independência criativa dos participantes quanto a um possível não entendimento completo do formato de mapa solicitado na atividade.

Apesar dessa variação formal, a análise desses registros ainda se mostra relevante, pois permite verificar a veracidade das relações conceituais estabelecidas e o nível de profundidade cognitiva alcançado pelos alunos, especialmente quando comparados aos mapas anteriores. Como destaca Cabral (2019), a retextualização de conteúdos científicos em diferentes formatos pode revelar dimensões significativas do processo de aprendizagem, evidenciando tanto compreensões quanto lacunas conceituais. Assim, a observação desses mapas alternativos contribui para uma visão mais ampla dos modos de apropriação dos conceitos do MP por parte dos estudantes (Figura 27).

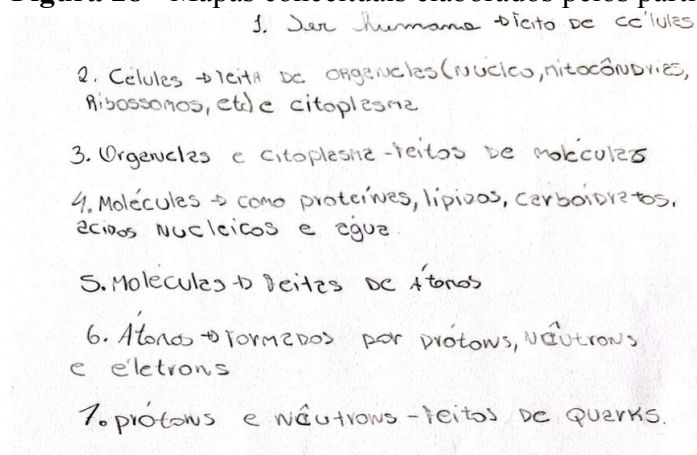
Figura 27 - Mapas conceituais elaborados pelos participantes

Fonte: Produção dos participantes.

O mapa conceitual ilustrado na Figura 27 mostra um raciocínio bem estruturado e coerente sobre a constituição da matéria, construindo uma linha de pensamento que parte do nível macroscópico (“ser humano”) até o nível subatômico, chegando ao MP. Embora a organização não seja a de um mapa conceitual tradicional, nota-se a organização hierárquica e o uso de palavras de ligação (Moreira, 2012), como “é feito de” e “é feito”, assim como nos mapas discutidos anteriormente.

A organização hierárquica é clara: o estudante parte da ideia de que o ser humano é feito de “células”, que são formadas por “moléculas”, compostas por “átomos”, que por sua vez são feitos de “partículas”. A partir desse ponto, há uma transição conceitual importante, o aluno conecta a estrutura atômica ao MP, reconhecendo que esse modelo explica as partículas fundamentais e suas interações.

Na subdivisão do MP, o estudante diferencia corretamente férmions (como quarks e léptons) e bósons (mediadores das forças fundamentais). Além disso, ele demonstra ter compreendido o papel específico de cada bóson. A seguir (Figura 28), é ilustrado o próximo mapa alternativo a ser comentado.

Figura 28 - Mapas conceituais elaborados pelos participantes

Fonte: Produção dos participantes.

O mapa conceitual da Figura 28 apresenta uma estrutura linear e hierárquica, que progride de forma lógica do nível macroscópico ao subatômico. O estudante inicia com o conceito de “ser humano”, passando por células, organelas, moléculas, átomos, e chegando finalmente aos prótons e nêutrons formados por quarks. Essa sequência demonstra uma compreensão coerente da composição da matéria em níveis crescentes de profundidade, o que evidencia uma estrutura cognitiva organizada (Ausubel, 2003).

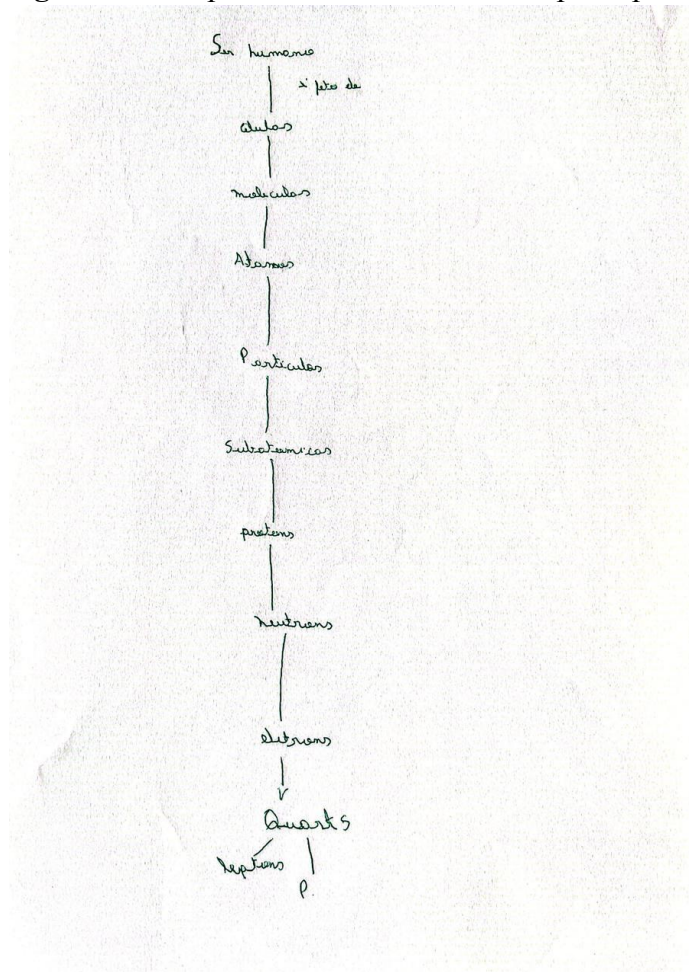
Embora o mapa não utilize palavras de ligação explícitas entre os conceitos, característica fundamental, segundo Novak e Cañas (2010) e Moreira (2012), é possível perceber a intenção de hierarquização e progressão conceitual. O estudante parece ter internalizado uma sequência lógica de composição da matéria, mas ainda com foco mais biológico que físico, possivelmente, devido à familiaridade prévia com conteúdos de biologia celular.

O aspecto mais relevante é que, mesmo sem mencionar explicitamente o MP, o mapa converge para ele ao reconhecer que prótons e nêutrons são formados por quarks, o que indica um nível de abstração avançado para o contexto do EM. Ainda assim, a ausência de conceitos relacionados às forças fundamentais e aos bósons mediadores mostra que a assimilação ainda é parcial, restrita ao nível estrutural, não abrangendo as interações que compõem o núcleo teórico do MP.

Em comparação aos mapas anteriores, este se diferencia por manter uma sequência descritiva e vertical, sem ramificações ou relações cruzadas, o que limita a representação da complexidade do tema. No entanto, considerando o tempo reduzido de aula e o caráter introdutório do conteúdo, é possível inferir que o estudante alcançou indícios de

Aprendizagem Significativa inicial, conectando conceitos novos a sua base prévia de forma coerente. O próximo mapa a ser discutido está apresentado na Figura 29.

Figura 29 - Mapas conceituais elaborados pelos participantes



Fonte: Produção dos participantes.

O mapa conceitual ilustrado na Figura 29 apresenta uma organização linear e unidirecional, iniciando pelo conceito de “ser humano” e descendo sucessivamente até os “quarks” e “léptons”. Essa estrutura revela uma tentativa de hierarquização dos níveis de composição da matéria, desde o macroscópico até o subatômico, o que denota a presença de uma estrutura cognitiva organizada, segundo a TAS (Ausubel, 2003). Nota-se, ainda, a organização hierárquica e o uso das palavras de ligação (Moreira, 2012) “é feito de”, conforme já discutidos para os mapas anteriores.

No entanto, a ausência de conectivos e de ramificações entre os demais conceitos sugere que o estudante não compreendeu plenamente o caráter relacional do mapa conceitual, limitando-se a uma listagem sequencial. Isso pode indicar uma aprendizagem mais mecânica, com foco em reproduzir uma ordem lógica conhecida, mas sem explicitar as relações de

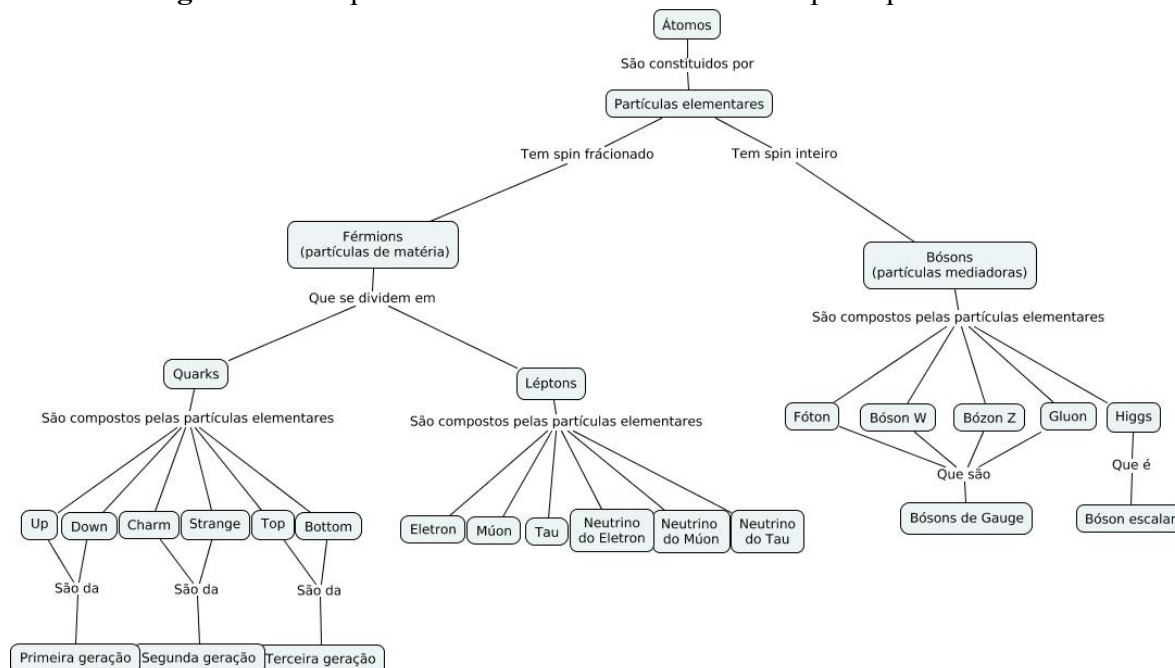
subordinação ou causalidade entre os conceitos, aspecto fundamental na elaboração de mapas significativos (Novak; Cañas, 2010).

Apesar disso, nota-se que o estudante atingiu o nível subatômico sem certa precisão conceitual, incluindo os termos “quarks” e “léptons”, porém limitando-os a uma sequência não reconhecida pelo MP, uma vez que quarks não são formados por léptons, o que demonstra assimilação parcial dos conteúdos do MP, de forma superficial. A linearidade e a ausência de explicitação das interações ou categorias (como férmions e bósons) indicam que o conhecimento ainda está em nível inicial de diferenciação progressiva.

Em comparação com os demais mapas alternativos, este evidencia as limitações impostas pelo tempo reduzido de aula e pelo caráter introdutório do conteúdo, que podem ter restringido o aprofundamento conceitual e a elaboração de relações mais complexas entre os elementos do MP.

4.5 Mapa conceitual sugerido

Na Figura 30, é apresentado um mapa conceitual representando uma possível construção ideal ao final da sequência didática, indicando as relações conceituais que se esperava que os estudantes fossem capazes de estabelecer após o processo de ensino e aprendizagem. Vale lembrar que os mapas conceituais a respeito das partículas elementares podem ser muito mais complexos, sendo este uma simplificação ao nível apresentado na sequência didática.

Figura 30 - Mapa conceitual elaborado como exemplo esperado

Fonte: Autoria própria no programa *Cmap Tools*.

Esse mapa, embora não produzido pelos estudantes, foi elaborado como referência para comparação com os mapas construídos pelos alunos. A organização hierárquica evidencia a diferenciação progressiva (Ausubel, 2003) dos conceitos, partindo da noção geral de partículas elementares e avançando para sua classificação em férmions e bósons, com base em propriedades físicas como o spin. A partir dessa distinção, o mapa explicita subdivisões relevantes, como quarks e léptons no grupo dos férmions, bem como os bósons mediadores das interações fundamentais.

Observa-se ainda a presença de palavras de ligação (Moreira, 2012), permitindo a construção de significados a partir da formação de proposições entre dois conceitos. Os estudantes não inseriram os conectores, na maior parte das vezes, por isso, os mapas conceituais produzidos podem ser considerados como diagramas, tendo uma estrutura mais simples. Assim como citado anteriormente, infere-se que este fato ocorreu devido ao tempo da sequência didática ser curto para dedicar as explicações referente a estrutura dos mapas conceituais.

4.6 Houve construção de aprendizagem?

A comparação entre os resultados do diagnóstico inicial, realizado via *Kahoot*, e as produções finais, os mapas conceituais, permite afirmar que houve, de fato, elaboração de

significados ao longo da sequência didática. No *Kahoot* diagnóstico observou-se um número reduzido de acertos em questões relativas às partículas elementares e à organização do MP, indicando que os conhecimentos prévios da turma estavam, em sua maioria, restritos ao nível atômico clássico. Em contraste, os mapas conceituais coletados ao término das atividades apresentaram, em muitos casos, a inclusão de termos próprios da FPE (por exemplo: quarks, léptons, bósons) e a organização hierárquica entre níveis de estrutura da matéria, evidenciando uma retextualização do conteúdo científico realizada pelos estudantes.

Esse padrão, baixo desempenho em um diagnóstico rápido, porém avanços mais expressivos em produções reflexivas, sugere que a intervenção possibilitou não apenas memorização pontual, mas reconstrução conceitual. Enquanto o *Kahoot* mapeou concepções prévias (diagnóstico pontual), os mapas conceituais revelaram a extensão e a profundidade da apropriação, mostrando que os estudantes foram capazes de reorganizar o conhecimento em uma nova linguagem visual e proposicional.

Cabe ressaltar, entretanto, que a consolidação plena dos conceitos encontra limitações práticas: o tempo dedicado à sequência foi breve diante da complexidade do tema, o que pode ter impedido que todos os estudantes alcançassem níveis mais elevados de reconciliação integradora. Ainda assim, o conjunto de evidências, sobretudo a presença de categorias do MP nos mapas, aponta para indícios de uma Aprendizagem Significativa em processo, favorecida pela mediação didática e pelas atividades de retextualização previstas na proposta. Em função disso, recomenda-se, para trabalhos futuros, ampliar o tempo de intervenção e diversificar exemplos (por exemplo, equilibrar exemplos sobre prótons e nêutrons) a fim de promover uma generalização conceitual mais ampla entre os estudantes (Moreira, 2011).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho buscou investigar a possibilidade de promover Aprendizagem Significativa acerca do MP no EM, por meio do uso de TDICs e de estratégias de retextualização conceitual, a partir da elaboração de mapas conceituais pelos estudantes. A proposta foi desenvolvida em torno de uma sequência didática fundamentada nos princípios de Ausubel (2003), com ênfase na ativação dos conhecimentos prévios e na organização hierárquica do novo conteúdo, favorecendo a ancoragem progressiva de conceitos abstratos da FPE no repertório cognitivo dos alunos.

O estudo foi antecedido por um levantamento bibliográfico que mapeou a produção nacional relacionada ao ensino de partículas elementares e ao uso de TDICs na educação científica. Esse levantamento revelou uma escassez de trabalhos voltados especificamente ao ensino do MP em contextos da educação básica, o que reforçou a relevância de explorar abordagens inovadoras que tornem o tema acessível e conceitualmente significativo para estudantes não familiarizados com a linguagem da FMC.

No desenvolvimento da proposta, os instrumentos de constituição de dados, *Kahoot*, Formulário e Mapas Conceituais, possibilitaram diferentes níveis de análise sobre a aprendizagem. O *Kahoot*, utilizado como diagnóstico inicial, evidenciou baixa familiaridade com os conceitos fundamentais da FPE, especialmente no que se refere à distinção entre partículas subatômicas e elementares. O formulário final, por sua vez, revelou avanços na compreensão conceitual e terminológica, indicando que os estudantes foram capazes de reconhecer a estrutura hierárquica da matéria e relacionar diferentes tipos de partículas a suas respectivas funções no MP.

Os mapas conceituais, elaborados ao término da sequência, constituíram o instrumento mais rico em termos de análise qualitativa. Eles mostraram que os estudantes foram capazes de representar graficamente as relações entre átomos, partículas subatômicas e partículas elementares, incorporando progressivamente noções sobre quarks, léptons e bósons, categorias fundamentais do MP. Embora nem todos os mapas tenham seguido o formato ideal proposto, sua diversidade revelou diferentes níveis de compreensão e autonomia cognitiva, demonstrando que a atividade de construção visual favoreceu a reorganização do conhecimento e a internalização gradual dos novos significados.

O uso das TDICs teve papel essencial nesse processo. Ferramentas como o *PhET*, o *Canva* e o *Kahoot* funcionaram como mediadores simbólicos que facilitaram a visualização de fenômenos invisíveis, a motivação para a aprendizagem e a participação ativa dos

estudantes. As TDICs não foram tratadas como mero recurso didático, mas como instrumentos de mediação cognitiva, capazes de conectar o conhecimento científico formal às representações dos alunos.

Apesar das limitações, especialmente o tempo reduzido de intervenção e a complexidade intrínseca do conteúdo, os resultados sugerem que houve indícios consistentes de Aprendizagem Significativa, observáveis pela evolução conceitual nos mapas e pelas respostas mais elaboradas nos formulários. Tal evidência reforça a ideia de que, quando adequadamente contextualizados e mediados, temas avançados como o MP podem ser abordados de maneira produtiva no EM, contribuindo para uma visão mais integrada da estrutura da matéria e das interações fundamentais.

Portanto, a integração entre TICs, Aprendizagem Significativa e o ensino do MP representa um caminho promissor para o ensino de Física Contemporânea, aproximando o estudante da natureza epistemológica da ciência moderna. Recomenda-se, para trabalhos futuros, o aumento do tempo de aplicação, a inclusão de novas estratégias de simulação e visualização, e a expansão da pesquisa para diferentes contextos escolares, de modo a consolidar práticas que tornem a FPE não apenas compreensível, mas também significativa do ponto de vista cognitivo e social.

É importante ressaltar que devido ao tempo de aplicação da prática ser relativamente curto para confirmar a Aprendizagem Significativa, foram observados indícios da mesma e os objetivos foram parcialmente alcançados, deixando aberturas para continuidade desta pesquisa em um projeto para o doutorado.

REFERÊNCIAS

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e retenção de conhecimentos**: uma perspectiva cognitiva. Lisboa: Plátano, 2003.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 2011.

BASTOS, K. L.; GONÇALVES, K. M.; CABRAL, J. S. Modelo padrão: uma análise dos livros didáticos do PNLD para identificar conceitos relacionados à física de partículas elementares. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 44, p. e20220153, 2022.

BOFF, C. A.; BASTOS, R. O.; MELQUIADES, F. L. Práticas experimentais no ensino de física nuclear utilizando material de baixo custo. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 1, p. 236-247, 2017.

BOHR, N. On the constitution of atoms and molecules. **The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science**, v. 26, n. 151, p. 1-25, 1913.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular (BNCC)**. Brasília: MEC, 2018. Disponível em: <https://www.basenacionalcomum.mec.gov.br/>. Acesso em: 5 nov. 2025.

CABRAL, P. F. O. **Retextualização na exposição oral acadêmica**: foco no ensino superior de química. 2019. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

CABRAL, P. F. O.; SACCHI, F. G.; QUEIROZ, S. L. Retextualização escrita-fala: o caso da exposição oral acadêmica na graduação em química. **Alexandria**, v. 13, p. 215-240, 2020.

CALHEIRO, L. B.; GARCIA, I. K. Proposta de inserção de tópicos de física de partículas integradas ao conceito de carga elétrica por meio de unidade de ensino potencialmente significativa. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 19, n. 1, p. 177-192, 2014.

CAMAVILCA, A. L. P. As TICs e sua influência na aprendizagem significativa em uma instituição educacional peruana. **Horizontes Revista de Investigación en Ciencias de la Educación**, v. 8, n. 32, p. 225–235, 2024.

CHADWICK, J. Possible existence of a neutron. **Nature**, v. 129, p. 312, 1932.

DALTON, J. **A new system of chemical philosophy**. Londres: S. Russell, 1810.

DE BROGLIE, L. A tentative theory of light quanta. **The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science**, v. 47, n. 278, p. 446–458, 1924.

DELL'ISOLA, R. L. P. **Retextualização de gêneros escritos**. São Paulo: Lucerna, 2007.

DIRAC, P. A. M. The quantum theory of the electron. **Proceedings of the Royal Society A**, v. 117, n. 778, p. 610–624, 1928.

DORSCH, G. C.; GUIO, T. C. C. Física de partículas no ensino médio parte I: eletrodinâmica quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, p. e20210083, 2021.

DOURADO, S.; RIBEIRO, E. Metodologia qualitativa e quantitativa. In: MAGALHÃES JÚNIOR, C. A. O.; BATISTA, M. C. (Org.). **Metodologia da pesquisa em educação e ensino de ciências**. maringá: Massoni, 2021. cap. 1, p. 14-34.

FERREIRA, D. C.; SOUZA FILHO, M. P. O experimento virtual da dupla fenda ao nível do ensino médio (parte II): uma análise quântica do comportamento corpuscular e ondulatório da luz. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 36, n. 1, p. 302-329, 2019.

FEYNMAN, R. P. Space-time approach to quantum electrodynamics. **Physical Review**, v. 76, n. 6, p. 769–789, 1949.

FIRMINO, E.; SÉRGIO, K. Simulador PhET Colorado no ensino da primeira lei de Newton: um relato de experiência. **Cuca (saber em foco)**, v. 1, n. 3, p. 1-13, 2025.

GELL-MANN, M. A schematic model of baryons and mesons. **Physics Letters**, v. 8, n. 3, p. 214–215, 1964.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2017.

GOMES, F. E.; ALVARENGA, F. G. Uma UEPS para a física de neutrinos aplicada em tempos de pandemia. **Vitruvian Cogitationes**, v. 4, n. extra, p. 184-201, 2023.

GOWIN, D. B. **Educating**. Ithaca. Nova Iorque: Cornell University Press, 1981.

GLASHOW, S. L. Partial symmetries of weak interactions. **Nuclear Physics**, v. 22, p. 579–588, 1961.

GRIFFITHS, D. **Introduction to elementary particles**. 2. ed. Weinheim: Wiley-VCH, 2008.

GROSS, D. J.; WILCZEK, F. Ultraviolet behavior of non-abelian gauge theories. **Physical Review Letters**, v. 30, n. 26, p. 1343–1346, 1973.

GUIO, T. C. C.; DORSCH, G. C. Física de partículas no ensino médio parte II: física nuclear. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 45, p. e20230067, 2023.

GUIMARÃES, R. R.; MASSONI, N. T. O uso do modelo padrão de argumentação de Stephen Toulmin no ensino de ciências no âmbito da disciplina de física: alguns resultados de pesquisa e reflexões a partir de debates em sala de aula. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 25, n. 3, p. 487-502, 2020.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física** - vol. 4-óptica e física moderna. 10. ed. São Paulo: LTC—Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda.: Grupo GEN, 2016.

HEISENBERG, W. Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik. **Zeitschrift für Physik**, v. 43, n. 3, p. 172-198, 1927.

JESUS, R. T.; AMORIM, R. G. G. 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.

JESUS NETO, J. T.; SILVA, H. C. Imagens sobre partículas elementares: relações entre a circulação e o âmbito escolar. **Enseñanza de las ciencias**, n. Extra, p. 3531-3536, 2017.

JOULE, J. P. On the mechanical equivalent of heat. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, n. 5, p. 839, 1845.

KOYRÉ, A. **Do mundo fechado ao universo infinito**. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 1986.

KRAGH, H. **Quantum generations: a history of physics in the twentieth century**. Princeton: Princeton University Press, 1999.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 1998.

LONDERO, L.; MOSINAHTI, G. A problematização da física de partículas elementares e o uso de notícias da imprensa. **Enseñanza de las Ciencias**, n. extra, p. 5225-5260, 2017.

MAIA, M. C. **Uma abordagem do modelo padrão da física de partículas acessível a alunos do ensino médio**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

MARCUSCHI, L. A. **Da fala para a escrita: atividades de retextualização**. 2 ed. São Paulo: Cortez, 2010.

MILLIKAN, R. A. The isolation of an ion, a precision measurement of its charge, and the correction of Stokes's law. **Physical Review**, v. 32, n. 4, p. 349-397, 1911.

MAXIMO PEREIRA, M.; CARDOSO, S. P.; MARINO, T. M. Caça ao Higgs: um jogo para ensinar sobre física de partículas. **Enseñanza de las ciencias**, n. Extra, p. 5071-5078, 2017.

MILNITSKY, R.; GURGEL, I. O quark como objeto de análise histórica e epistemológica: a física de partículas elementares em uma perspectiva bachelardiana. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 38, n. 2, p. 1309-1338, 2021.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Centauro, 2011.

MOREIRA, M. A. **Mapas conceituais e aprendizagem significativa**. Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, 2012.

MOREIRA, M. A. Uma análise do ensino de física. **Estudos Avançados**, v. 32, n. 94, p. 73-80, 2018.

NEVES, D. R. M. *et al.* Uma proposta de baixo custo para experimentos com raios catódicos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 36, n. 1, p. 256-286, 2019.

NEVES, D. R. M. *et al.* Debates, contextos e lacunas no desenvolvimento coletivo da teoria sobre raios catódicos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 38, n. 3, p. 1619-1649, 2021.

NÓBREGA, F. K.; MACKEDANZ, L. F. O LHC (large hadron collider) e a nossa física de cada dia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 1, p. 1-11, 2013.

NOVAK, J. D.; CAÑAS, A. J. **The theory underlying concept maps and how to construct and use them**. Pensacola: Institute for Human and Machine Cognition, 2010.

NOVAK, J. D.; GOWIN, B. **Learning how to learn**. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.

OLIVEIRA, I. N. *et al.* Construção de uma maquete experimental automatizada para a determinação da constante de Planck com o auxílio da plataforma Arduino. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 37, n. 2, p. 828-848, 2020.

OLIVEIRA, J. R. **Games digitais: uma abordagem de física de partículas elementares no ensino médio**. 2018. Dissertação (Mestrado Profissional de Ensino de Física) - Instituto de Física, Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Um pôster para ensinar física de partículas na escola. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 23, n. 3, 2001.

OSTERMANN, F. CAVALCANTI, C. J. H. **Teorias de aprendizagem**. Porto Alegre: Evangraf: UFRGS, 2011.

OSTERMANN, F. CAVALCANTI, C. J. 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.

PAIS, A. **Inward bound: of matter and forces in the physical world**. Oxford: Oxford University Press, 1986.

PLANCK, M. On the law of distribution of energy in the normal spectrum. **Annalen der Physik**, v. 4, p. 553–563, 1901.

POLITZER, H. D. Reliable perturbative results for strong interactions? **Physical Review Letters**, v. 30, n. 26, p. 1346–1349, 1973.

RUTHERFORD, E. The scattering of α and β particles by matter and the structure of the atom. **The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science**, v. 21, n. 125, p. 669–688, 1911.

SALAM, A. Weak and electromagnetic interactions. In: SVARTHOLM, N. (Ed.). **Elementary particle theory: relativistic groups and analyticity**. Stockholm: Almqvist & Wiksell, 1968. p. 367–377.

SANTOS, M.; SIMÕES, M. B. Do “faça você mesmo” ao “aprenda fazendo”: a cultura maker como propulsora da inovação na educação. **Aurum Editora (e-books)**, p. 390-398, 2025.

SCHÄFFER, D.; SCHUMACKER, F. K.; ORENGO, G. Uma introdução à física de partículas para o ensino médio: uma tradução adaptada do texto de Bettelli, Bianchi-Streit e Giacomelli. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, p. e20200018, 2020.

SCHWINGER, J. On quantum-electrodynamics and the magnetic moment of the electron. **Physical Review**, v. 73, n. 4, p. 416–417, 1948.

THOMSON, J. J. Cathode rays. **The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science**, v. 44, n. 269, p. 293–316, 1897.

THOMSON, M. **Modern Particle Physics**. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

TIPLER, P. A.; LLEWELLYN, R. A. **Física Moderna**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

TOMONAGA, S. On a relativistically invariant formulation of the quantum theory of wave fields. **Progress of Theoretical Physics**, v. 1, n. 2, p. 27–42, 1946.

TSCHÁ, S. H.; CARMO, A. B. Uma proposta de sequência didática para trabalhar a natureza da ciência: a pesquisa brasileira sobre raios cósmicos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 39, n. 1, p. 151-173, 2022.

VIDEIRA, A. A. P.; FRANCISQUINI, M. F. B. A instituição da “física de partículas elementares” como disciplina científica e sua relação com a formação de professores. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 35, n. 1, p. 81-96, 2018.

WEINBERG, S. A model of leptons. **Physical Review Letters**, v. 19, n. 21, p. 1264–1266, 1967.

ZWEIG, G. **An SU(3) model for strong interaction symmetry and its breaking**. Geneva: CERN, 1964.

APÊNDICE A - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Você está sendo convidado por Thiago Do Carmo Franco como participante da pesquisa intitulada “Partículas Elementares através da Aprendizagem Significativa: uma abordagem com uso de TIC's.”. Você não deve participar contra a sua vontade. Leia atentamente as informações abaixo e faça qualquer pergunta que desejar, para que todos os procedimentos desta pesquisa sejam esclarecidos.

Os participantes serão convidados a responder questionários e participar de uma entrevista, como etapa de otimização de obtenção de dados na pesquisa qualitativa. Isso exigirá atenção, foco e engajamento no desenvolvimento da atividade, o que pode gerar possíveis desconfortos, sendo assegurado a possibilidade de desistir de participar da pesquisa a qualquer momento. O Projeto visa contribuir com o ensino de conteúdos de física de partículas adaptado ao Ensino Médio, portanto, espera-se por meio deste, que os participantes possam interpretar a tabela do Modelo Padrão da Física de Partículas ao final da pesquisa.

Os participantes da pesquisa estão cientes que:

- Todos os esclarecimentos sobre a pesquisa serão garantidos em todas as etapas da mesma.
- Os dados coletados envolvendo as atividades propostas serão mantidos sob sigilo pelos pesquisadores, sendo utilizados somente para fins de pesquisa.
- A identificação dos participantes será mantida sob sigilo, sendo garantida toda segurança dos dados e somente os pesquisadores terão acesso.
- A participação será totalmente voluntária, sendo assim não haverá nenhuma forma de pagamento ao participar da pesquisa. Bem como não haverá nenhuma despesa ou benefício financeiro ou material dos participantes.
- A garantia de que toda e qualquer responsabilidade nas diferentes fases da pesquisa é dos pesquisadores, bem como fica assegurado que haverá ampla divulgação dos resultados finais nos meios de comunicação e nos órgãos de divulgação científica em que a mesma seja aceita.
- A garantia de que todo material resultante será usado exclusivamente para a construção da pesquisa, e ficará sob guarda dos pesquisadores.
- Riscos: os pesquisadores consideram que há riscos mínimos associados a um eventual consentimento de sua parte em participar da pesquisa, por se tratar de atividades realizadas em sala de aula. Ou seja, desconfortos e constrangimentos poderão ser informados imediatamente, caso ocorram. Além disso, riscos acerca do vazamento de dados de pesquisa coletados por meio de questionários e entrevistas também são considerados.
- Benefícios: os resultados deste trabalho poderão contribuir para a melhoria do Ensino de Ciências na área de Física, mediante a ampliação do conhecimento sobre o papel dos Mapas Conceituais na Aprendizagem Significativa, bem como fornecer subsídios para a melhora da prática de professores. Ressalta-se que não são previstos benefícios ou prejuízos financeiros na participação da pesquisa.

Destaca-se, ainda no convite, que a qualquer momento o participante poderá recusar a continuar participando da pesquisa e que também poderá retirar o seu consentimento, sem que isso lhe traga qualquer prejuízo. Garante-se que as informações conseguidas através da

sua participação não permitirão a identificação da sua pessoa, exceto aos responsáveis pela pesquisa, e que a divulgação das mencionadas informações só será feita entre os profissionais estudiosos do assunto.

Endereço d(os, as) responsável(is) pela pesquisa:

Nome: Instituição: Endereço: Telefones para contato:

O abaixo assinado _____, ____ anos, RG: _____, declara que é de livre e espontânea vontade que está como participante de uma pesquisa. Eu declaro que li cuidadosamente este Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e que, após sua leitura, tive a oportunidade de fazer perguntas sobre o seu conteúdo, como também sobre a pesquisa, e recebi explicações que responderam por completo minhas dúvidas. E declaro, ainda, estar recebendo uma via assinada deste termo.

Bauru, ____/____/____

Nome do participante da pesquisa:

Data:

Assinatura

Nome do pesquisador: Thiago do Carmo Franco

Data:

Assinatura

Nome da testemunha
(se o voluntário não souber ler)

Data:

Assinatura

Nome do profissional que aplicou o TCLE:

Data:

Assinatura

APÊNDICE B - Questionário Google Formulários

Questionário Física de Partículas

Descrição do formulário

A matéria que conhecemos é formada por átomos, e sabemos que estes átomos são formados por um núcleo e a eletrosfera, qual a partícula elementar que reside na eletrosfera?

- ☐ Próton
- ☐ Nêutron
- ☐ Elétron
- ☐ Gluon

O próton é uma partícula composta por...?

- ☐ Três Nêutrons
- ☐ Três Quarks
- ☐ Três Elétrons
- ☐ Três prótons

Como é chamada a tabela de partículas elementares mais aceita atualmente?

Texto de resposta longa

Quais as duas classes de partículas existentes na tabela do Modelo Padrão?

- ☐ Atômicas e Subatômicas
- ☐ Férmions e Bósons
- ☐ Com massa e sem massa
- ☐ Radioativas e Não Radioativas

O que diferencia os Férmions dos Bósons?

- ☐ Massa
- ☐ Carga elétrica
- ☐ Spin
- ☐ Carga de cor

Qual a interação responsável por manter os Quarks unidos, formando Prótons e Nêutrons?

- ☐ Interação Gravitacional
- ☐ Interação Eletromagnética
- ☐ Interação Forte
- ☐ Interação Fraca

Qual a interação fundamental cuja partícula ainda não foi encontrada experimentalmente?

- ☐ Interação Gravitacional
- ☐ Interação Eletromagnética
- ☐ Interação Forte
- ☐ Interação Fraca

Qual dessas partículas não tem massa?

- ☐ Quark
- ☐ Elétron
- ☐ Fóton
- ☐ Múon

O que acontece quando uma partícula encontra sua própria antipartícula?

Texto de resposta longa
