

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

EXPLORANDO A FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO: UMA PROPOSTA DE
SEQUÊNCIA DIDÁTICA COM ENFOQUE EM HISTÓRIA E FILOSOFIA DA
CIÊNCIA

LUIZ CARLOS GARBO GONÇALVES

ARARAS - SP

2024

LUIZ CARLOS GARBO GONÇALVES

EXPLORANDO A FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO: UMA PROPOSTA DE
SEQUÊNCIA DIDÁTICA COM ENFOQUE EM HISTÓRIA DA CIÊNCIA

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como requisito parcial para a obtenção do
título de licenciado em Física pela
Universidade Federal de São Carlos.

Orientadora: Profa. Dra. Elaine Gomes
Matheus Furlan

ARARAS - SP

2024

EXPLORANDO A FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO: UMA PROPOSTA DE
SEQUÊNCIA DIDÁTICA COM ENFOQUE EM HISTÓRIA DA CIÊNCIA

LUIZ CARLOS GARBO GONÇALVES

Trabalho de conclusão de curso
apresentado como requisito parcial para a
obtenção do título de licenciado em Física
pela Universidade Federal de São Carlos.

Aprovado em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora

Profa. Dra. Elaine Gomes Matheus Furlan
UFSCar

Membro da banca (1)

Prof. Dr. João Teles de Carvalho Neto
UFSCar

Membro da banca (2)

Me. João Pedro Martins Coelho Júnior
UFSCar

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Solange e José Luiz, sem os quais nada disso seria possível. Independente de minhas escolhas eu sempre tenho o apoio e incentivo desses que vibram a cada pequena conquista minha; acreditaram em mim desde o início e lutaram para que eu pudesse me tornar o que sou hoje. Foi preciso enfrentar anos marcados pela saudade, amenizada por visitas e ligações que, ainda que fossem ininterruptas, não substituiriam o instante de um único e simples abraço.

Agradeço à minha companheira de vida Júlia, que me acompanhou em toda essa jornada, tornando-a mais leve e prazerosa, foi quem me deu esperanças nos momentos difíceis, e sempre me apoiou em todos os momentos. Nós construímos pontes indestrutíveis, creio que ao seu lado tudo posso.

Agradeço especialmente à professora e orientadora Elaine, por toda sua paciência e inestimáveis ensinamentos durante toda a graduação.

Agradeço a todos os professores, técnicos, colegas e profissionais da universidade que contribuíram para tornar esse processo tão valioso.

Agradeço também aos meus melhores amigos, Flock e Lucke, que estiveram ao meu lado em todas as madrugadas em claro e me encham de alegria diariamente.

Se a História fosse vista como um repositório para algo mais do que anedotas ou cronologias, poderia produzir uma transformação decisiva na imagem de ciência que atualmente nos domina.

- Thomas Kuhn

RESUMO

O ensino de Física no Ensino Médio, quando conduzido de maneira tradicional, frequentemente desvincula o conteúdo científico da realidade dos alunos, o que pode dificultar a compreensão dos conceitos e, por consequência, gerar desmotivação. Para enfrentar esse desafio, este estudo propõe uma sequência didática que integra a Física Moderna e Contemporânea ao currículo escolar, utilizando a História e a Filosofia da Ciência como ferramentas centrais no processo de ensino-aprendizagem. A sequência didática segue a metodologia dos Três Momentos Pedagógicos, promovendo a contextualização histórica dos conteúdos e evidenciando como as descobertas científicas foram moldadas por fatores sociais e culturais. A proposta foi elaborada com o objetivo de despertar o interesse dos alunos, incentivando o pensamento crítico e estimulando sua participação ativa no processo de aprendizagem. Acredita-se que a aplicação dessa metodologia possa contribuir para uma educação científica mais significativa e envolvente, promovendo uma compreensão crítica e reflexiva da ciência e de seus impactos sociais.

Palavras-chave: História da ciência; Física Moderna; Ensino de ciência; Ensino médio.

ABSTRACT

The teaching of Physics in high school, when conducted in a traditional manner, often disconnects scientific content from students' realities, which can hinder the understanding of concepts and, consequently, lead to demotivation. To address this challenge, this study proposes a didactic sequence that integrates Modern and Contemporary Physics into the school curriculum, using the History and Philosophy of Science as central tools in the teaching-learning process. The didactic sequence follows the methodology of the Three Pedagogical Moments, promoting the historical contextualization of the content and highlighting how scientific discoveries were shaped by social and cultural factors. The proposal was designed to spark students' interest, encouraging critical thinking and stimulating their active participation in the learning process. It is believed that the application of this methodology can contribute to a more meaningful and engaging science education, fostering a critical and reflective understanding of science and its social impacts.

Keywords: History of science; Modern physics; Science education; High school.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	8
2. OBJETIVOS.....	10
2.1 Objetivo geral.....	10
2.2 Objetivos específicos.....	10
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	11
3.1 HFC no ensino de Física.....	11
3.2. Ensino de FMC no ensino médio.....	13
3.3 Desafios e potencialidades da integração curricular.....	14
4. METODOLOGIA.....	17
4.1. Problematização inicial (PI): primeira etapa do desenvolvimento curricular .	18
4.2. Organização do Conhecimento (OC): segunda etapa do desenvolvimento curricular.....	18
4.3. Aplicação do Conhecimento (AC): terceira etapa do desenvolvimento curricular.....	19
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	20
5.1 Tópico programático I - Grécia antiga e o conceito de matéria.....	21
5.2 Tópico programático II - Atomismo.....	25
5.3 Tópico programático III - Física de partículas.....	35
6. CONCLUSÃO.....	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46

1. INTRODUÇÃO

Um dos principais desafios enfrentados no ensino de ciências é a superação da visão epistemológica absolutista e positivista, que concebe o conhecimento científico como uma construção linear e cumulativa. Essa abordagem tende a restringir a compreensão dos alunos, levando-os a enxergar a ciência apenas como um conjunto de equações isoladas, frequentemente desvinculadas da realidade dos educandos (Teixeira; Freire Jr.; El-hani, 2009).

Dessa forma, os estudantes frequentemente se sentem desinteressados e desencorajados em relação aos conteúdos científicos, resultando na falta de engajamento no processo educativo. Parte desse desinteresse está relacionada à forma em que os conteúdos são apresentados, sendo na maioria das vezes, tratados de forma distante de suas próprias realidades, o que os leva a acreditar que a ciência é desenvolvida apenas por gênios isolados, ignorando o fato de que a ciência é construída através da colaboração de diversos indivíduos que também cometem erros e questionam as teorias vigentes (Hülsendeger, 2007; Vital; Guerra, 2018). A criação de concepções sobre a ciência irrealistas e inacessíveis como essas, são nocivas para o processo de ensino-aprendizagem no geral.

Considerando-se uma perspectiva mais ampliada do ensino de ciências, torna-se relevante que o professor intervenha sobre essas visões deformadas de cientista, e da empreitada científica, no intuito de contribuir para a (re)construção das mesmas, tendo em vista o desenvolvimento da criticidade dos educandos diante de questões que envolvam a ciência (Ribeiro; Silva, 2018, p. 133).

Assim, como apontam Ribeiro e Silva (2018), uma parte do processo de solução dessa problemática, é a incorporação de uma abordagem contextualizada, relacionando os conteúdos científicos com o cotidiano dos alunos, demonstrando como a ciência está presente em suas vidas e como pode ser relacionada para resolver problemas reais (Vital; Guerra, 2018). Além disso, é essencial promover o pensamento crítico, incentivando os alunos a questionar teorias e a participar ativamente do processo científico (Hülsendeger, 2007; Vital; Guerra, 2018).

A integração da História e Filosofia da Ciência (HFC) nos currículos de educação científica é uma abordagem que auxilia na aproximação do conteúdo lecionado à realidade dos educandos, o que contribui para que os alunos obtenham uma visão mais abrangente do que é a ciência, quem a desenvolve e como ocorrem

os avanços científicos (Melo; Rocha, 2017; Ribeiro; Silva, 2018). Essa abordagem promove a superação de alguns dos diversos desafios enfrentados pelos professores que buscam promover o pensamento crítico no processo de ensino-aprendizagem (Neubert; Rodrigues; Mugnaini, 2021; Vidal; Porto, 2012).

Rouxinol e Pietrocola (2004, p.11) trazem uma análise dessa problemática com foco no ensino de Física e destacam que “O ensino de Física é ainda extremamente conteudista e abordado como ahistórico e muitas vezes sem vínculo com a realidade dos estudantes”. Em decorrência de séculos enfocando o ensino de Física a partir de uma abordagem centrada em conteúdos muitos elementos valiosos para o aprimoramento da literacia científica foram gradualmente negligenciados. Aliado a isso, acentua-se a distância do educando com o conteúdo ao se reforçar a visão deturpada de ciência e cientistas promovida pela interpretação unilateral da história da ciência, que atribui os avanços científicos e tecnológicos a aqueles que se incubiram de relatar a história (Gomes; Lorenzetti; Aparecida, 2022).

A partir disso, este trabalho tem como finalidade elaborar uma proposta de sequência didática voltada para o ensino médio que trabalhe questões de Física Moderna e Contemporânea (FMC), História e Filosofia da Ciência (HFC), bem como, elementos de interdisciplinaridade, conectando os conceitos físicos com contextos históricos, sociais e tecnológicos. Essa abordagem busca não apenas fornecer uma compreensão profunda dos princípios fundamentais da FMC, como também promover uma visão crítica sobre o desenvolvimento da ciência e suas implicações na sociedade. A sequência didática será estruturada de forma a engajar os estudantes por meio de atividades de debate e projetos interdisciplinares, estimulando uma visão integrada da ciência, reconhecendo sua natureza dinâmica e sua relação com diversos campos do conhecimento.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

- Desenvolver uma sequência didática, com o apoio da metodologia dos três momentos pedagógicos, que desenvolva o conteúdo de Física de Partículas no ensino médio inserindo elementos de História e Filosofia da Ciência.

2.2 Objetivos específicos

- Analisar as contribuições da HFC no ensino de Ciências, destacando a importância de sua integração no processo de ensino-aprendizagem, especialmente no contexto do ensino de Física.
- Desenvolver uma proposta que relacione os princípios da Física de Partículas e seu contexto histórico/social, estimulando o pensamento crítico e a reflexão sobre o desenvolvimento científico.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 HFC no ensino de Física

A partir da publicação de "A Estrutura das Revoluções Científicas" de Thomas Kuhn em 1962, houve uma ressignificação nos conceitos de ciência, revelando a importância dos contextos externos para os avanços científicos. Em decorrência desta reestruturação na forma de pensar sobre a ciência, fatores como época, sociedade, política e cultura em que as teorias científicas emergiram tornaram-se relevantes para compreendê-las melhor. A partir dessa nova visão, que a HFC ganha destaque nas pesquisas e no cenário acadêmico geral, passando a ser entendida como uma atividade social que surge de um processo histórico específico e com forte influência social (Silva *et al.*, 2008).

A história da ciência fornece um contexto para a compreensão dos conceitos físicos, destacando como as ideias científicas evoluíram ao longo do tempo e como diferentes culturas e indivíduos contribuíram para o desenvolvimento do conhecimento científico (Weingart, 2015). Já a filosofia da ciência envolve a reflexão crítica sobre os métodos, fundamentos e implicações da ciência, além de analisar o desenvolvimento de teorias e experimentos (Weingart, 2015; Friedman, 2008).

Segundo Brush (1989), a ciência está constantemente envolvida em questões filosóficas e morais, as quais são mais bem discutidas quando contextualizadas historicamente. Assim, atribuir um contexto histórico aos fatos científicos contribui significativamente para uma visão mais abrangente da ciência, contrapondo a tendência comum de julgar a Ciência apenas por suas aplicações práticas.

Diante do cenário atual, tem-se testemunhado um progresso significativo em pesquisas relacionadas à HFC. Porém, pequena parcela destes estudos busca entender e analisar os fatores envolvidos na integração da mesma em ambientes educacionais formais e/ou informais (Oliveira; Carvalho Neto, 2022). Essa inserção da HFC na aprendizagem de ciências é de grande valia para que os estudantes desenvolvam a criticidade quanto ao conteúdo trabalhado e compreendam de maneira mais ampla o que é a ciência, quem são os cientistas e como os estudantes podem contribuir para os futuros avanços.

A literatura revela que a incorporação da HFC nas salas de aula está relacionada a uma compreensão aprimorada das ciências e a um maior envolvimento dos alunos com a matéria, motivando seus estudos (Rodrigues; Zimmermann;

Hartmann, 2012; Silva, 2013). Ainda, segundo Garritz (2006, p.137, tradução nossa) “os esforços para aprimorar as concepções dos alunos foram bem-sucedidos quando aspectos históricos do conhecimento científico foram incluídos ou receberam atenção direta”. Uma das características mais reveladoras no ensino de HFC é a compreensão dos contextos mais abrangentes da ciência que o exame de sua história pode proporcionar de maneira única. Gooday *et al.* (2008, p.326, tradução nossa) destaca que o papel fundamental da história da ciência é

[...] é caracterizar as complexidades de como a ciência muda. Muitos livros didáticos de ciências cultivam inutilmente – e acima de tudo de forma imprecisa – uma imagem bastante estática das disciplinas científicas, como se elas fossem concluídas com uma certeza abrangente (Gooday *et al.*, 2008, p.326, tradução nossa).

Nesse sentido, os estudantes, na maioria das vezes não compreendem de que forma conseguem contribuir para com o avanço científico, uma vez que lhes é designada uma imagem de ciência pronta na qual estes devem apenas compreender e reproduzir as hipóteses e teorias formuladas a priori. Desta maneira

[...] o uso da história da ciência para enriquecer o ensino de Física e tornar mais interessante seu aprendizado, aproximando os aspectos científicos dos acontecimentos históricos, possibilita a visão da ciência como uma construção humana (Brasil, 2006, p.64).

No que tange à relação entre ciência e sociedade, a HFC releva o contexto social e econômico na qual a ciência foi desenvolvida, auxiliando, desta maneira a compreender a influência que estes fatores exercem nas evoluções das teorias (Forato; Pietrocola; Martins, 2011; Ribeiro; Silva, 2018).

Ainda, quando se discute ciência em países latino-americanos e periféricos, há uma interpretação distorcida e estereotipada sobre quem são os cientistas por trás dos grandes avanços científicos e tecnológicos (Silva *et al.*, 2008). Esta perspectiva hegemônica surge com a ascensão da ciência moderna, na qual a imagem de que a pesquisa científica é resultado de esforços individuais de acadêmicos europeus e norte-americanos, essa interpretação se revela prejudicial no contexto do ensino de ciências (Silva *et al.*, 2008; Santos; Baiardi, 2007).

Como resultado, as crises nos campos científico e educacional afetam os países que não se alinham ao padrão hegemônico estabelecido pelos escritores da história, e isso é atribuído, em parte, à ausência de uma cultura científica consolidada nesses países (Silva *et al.*, 2009). Nessa perspectiva, o conceito de cultura científica

proposto por Santos e Baiardi (2007), diz respeito aos processos de produção e compartilhamento do conhecimento. Assim, analisar a cultura e a identidade científica torna-se crucial para compreender como reverter esse cenário histórico. Em concordância, já estava previsto nos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM) que “A Física também deve ser entendida como cultura, na medida em que a escola tem o dever de assegurar o acesso da população a uma parcela dos saberes produzidos” (Brasil, 2006, p.54).

3.2. Ensino de FMC no ensino médio

A Física é comumente separada em três períodos; a Física clássica, que engloba as principais teorias até o início do século XX, a Física Moderna que surge com a mecânica quântica e a teoria da relatividade especial e a Física contemporânea, período que se inicia após a segunda guerra mundial e que permanece em vigência, tratando das descobertas e questões mais recentes na área (Dominguini, 2012; Pereira, 2016).

O conteúdo de Física lecionado no ensino médio atualmente é - em grande parte - destinado à Física desenvolvida anteriormente ao século XX (Franco, 2018; Oliveira; Vianna; Gerbassi, 2007). Em sua maioria, os temas trabalhados reduzem-se apenas à Física clássica, e desenvolver temas que contemplem os avanços científicos e tecnológicos atuais é crucial, uma vez que possibilita manter os educando atualizados diante das rápidas transformações da sociedade contemporânea, proporcionando uma compreensão acerca das inovações em curso (Silva; Arengi; Lino, 2013; Oliveira; Vianna; Gerbassi, 2007; Ostermann; Ferreira; Cavalcanti, 1998). Ostermann e Cavalcanti ao discutirem sobre a inserção de FMC no EM, destacam que

[...] 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. Além disso, uma boa formação científica faz parte de um pleno exercício da cidadania. (Ostermann; Cavalcanti, 1999, p. 267).

O interesse e entusiasmo para estudar Física é outro ponto que deve ser ponderado, uma vez que na visão geral dos educandos, a Física é uma disciplina entediante e de difícil compreensão (Ricardo; Freire, 2007; Vital; Guerra, 2018). Nesse sentido, a inserção de FMC nos conteúdos escolares proporciona uma visão mais atual e cativante da Física, uma vez que esclarece o resultado de pesquisas mais recentes, quais seus impactos na realidade em que os educandos estão

inseridos e quais questões científicas ainda não foram respondidas. Paulo Neto, Oliveira e Siqueira (2019, p. 68) corroboram com esta visão, afirmando que “os conhecimentos de FMC podem despertar a curiosidade científica dos alunos e os motivar para aprender Física, e desta forma, compreender fenômenos que ocorrem ao seu redor”. Ostermann e Moreira (1998) realizaram um estudo investigativo com físicos, pesquisadores em ensino de Física e professores de Física de nível médio acerca dos tópicos que deveriam ser incluídos nos currículos de Física das escolas brasileiras e obtiveram resultados favoráveis à inclusão de FMC; os principais tópicos apresentados pelos especialistas consultados foram:

Efeito fotoelétrico, átomo de Bohr, leis de conservação, radioatividade, dualidade onda-partícula, fissão e fusão nuclear, origem do universo, raios X, metais e isolantes, semicondutores, laser, supercondutores, partículas elementares, relatividade restrita, Big Bang, estrutura molecular, fibras ópticas (Ostermann; Moreira, 1998, p.150).

A inserção de tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) envolve os educandos em conhecimentos que conectam a ciência ao seu cotidiano, contribuindo de maneira significativa para o ensino de Física (Freitas, 2018; Maia, 2011; Oliveira; Vianna; Gerbassi, 2007; Siqueira; Pietrocola, 2006). Entre os temas da FMC, a escolha pela Física de partículas para este estudo, se destaca devido à sua relevância crescente tanto na literatura acadêmica quanto no cenário científico atual (Alves; Alanis; Costa, 2010; Banheza; Jardim, 2015; Freitas, 2018; Siqueira; Pietrocola, 2006). Além de ser um campo de intensa pesquisa, a Física de partículas oferece oportunidades para explorar conceitos fundamentais sobre a natureza da matéria e do universo, despertando o interesse dos alunos e proporcionando uma compreensão mais profunda e contextualizada da ciência.

3.3 Desafios e potencialidades da integração curricular

A Base Nacional Curricular Comum (BNCC), documento de caráter normativo que define as competências e habilidades a serem exploradas no ensino básico nacional, explicita que “a contextualização social, histórica e cultural da ciência e da tecnologia é fundamental para que elas sejam compreendidas como empreendimentos humanos e sociais” (Brasil, 2018, p. 549).

Portanto, entende-se que a importância da contextualização histórica e social do conhecimento científico, ainda que pouco desenvolvida em salas de aula, é

reconhecida como fundamental para a associação dos saberes pelos educandos. Porém, é necessária cautela ao tratarmos desta questão, uma vez que é possível reforçar a ideologia positivista na qual a ciência é tratada de forma absoluta e sem considerar seu caráter coletivo (Guarnieri *et al.*, 2021; Magalhães, 2018; Vidal; Porto, 2012).

De modo geral, a BNCC propõe a interdisciplinaridade como uma das principais características para o processo de ensino-aprendizagem; porém, com relação à Ciências da Natureza e suas Tecnologias, o documento trata apenas sobre algumas poucas interações possíveis entre as próprias disciplinas incluídas nesta área de conhecimento (Física, Química e Biologia), não vislumbrando as interações possíveis com a área de Ciências Humanas e Sociais Aplicadas, que possibilitaria uma melhor contextualização histórica e filosófica das ciências (Arruda; Azevedo; Basso, 2022).

Os conteúdos de FMC, por outro lado, não são mencionados explicitamente na BNCC. No entanto, há alguns elementos que dialogam com essa área específica, como: estrutura da matéria, fusão e fissão nucleares e efeitos biológicos da radiação ionizante, na competência específica 1 de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, que possui como objetivos:

Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global (Brasil, 2018, p.554).

Os Parâmetros Nacionais Curriculares para o Ensino Médio (PCNEM), documento também de caráter normativo, publicado em 2006 e que já indicava como principais objetivos, expor os princípios da reforma curricular proposta e nortear os professores às novas metodologias e abordagens educacionais, também discute sobre a utilização de HFC como um elemento favorável à educação científica. Dentre os trechos do documento que analisam seu uso no EM, destaca-se a consideração de que

[...] um tratamento didático apropriado é a utilização da história e da filosofia da ciência para contextualizar o problema, sua origem e as tentativas de solução que levaram à proposição de modelos teóricos, a fim de que o aluno tenha noção de que houve um caminho percorrido para se chegar a esse saber. Há, então, uma contextualização, que é própria do processo do ensino na escola (Brasil, 2006, p.50).

Quanto à FMC nos PNCEM a inserção pode ser vislumbrada a partir do tema estruturador 5, originário do PCN+ e exposto como: Matéria e radiação (matéria e suas propriedades, radiações e suas interações, energia nuclear e radioatividade, eletrônica e informática). O documento de 2006, porém, não traz nenhuma outra consideração quanto à elementos de FMC.

De forma geral, tanto a HC quanto a FMC vem sendo inseridas nos documentos que norteiam o currículo do ensino médio nacional, ainda que de forma concisa, ou indireta. Porém, há atualmente alguns entraves para que a HFC seja devidamente contextualizada em conteúdos escolares, considerando os exemplos citados, dentre outros aspectos, focalizando orientações mais recentes como a BNCC e os PNCEM; alguns dos mais significativos entraves são: a insuficiência ou inexistência de abordagens adequadas na formação inicial dos educadores, assim como de materiais didáticos; e as exigências feitas pelos vestibulares e escolas nacionais, em se reter a maior quantidade de conteúdos específicos da matéria, sem que haja incentivo ao pensamento crítico (Guarnieri *et al.*, 2021; Martins, 2007; Schirmer; Sauerwein, 2014). Com base nessa discussão a apresentação de uma proposta pedagógica, o objetivo principal deste estudo visa, através dos três momentos pedagógicos, integrar a Física de Partículas com elementos de História e Filosofia da Ciência, se fundamentando em vários aspectos críticos e pedagógicos, discutidos no contexto do ensino de Física Moderna e Contemporânea (FMC).

Portanto, a justificativa para a proposta pedagógica baseia-se na necessidade de modernizar e contextualizar o ensino de Física, promover o ensino da HFC e despertar o interesse dos alunos pela ciência, preparando-os para os desafios do mundo contemporâneo e incentivando uma compreensão crítica e reflexiva da ciência e da tecnologia.

4. METODOLOGIA

A criação de uma sequência didática centrada no ensino da HFC é fundamental do ponto de vista pedagógico, pois permite aos alunos compreender as bases históricas que subjazem ao desenvolvimento científico e tecnológico, promovendo o desenvolvimento do processo de discernimento em relação à evolução das ideias e teorias científicas. Além de buscar a desconstrução de estereótipos e contribuir para o processo de ressignificação do conceito que os educandos têm de ciência e cientistas (Delizoicov, 1983).

A sequência didática (SD) elaborada neste trabalho baseia-se no conceito definido por Zabala (1998, p.18), como “um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos, tanto pelos professores como pelos alunos”. Aliado a isto, a SD estruturou-se também na metodologia ativa dos três momentos pedagógicos (3MP), inicialmente proposta nas obras “Física” (Delizoicov; Angotti, 1990a) e “Metodologia do Ensino de Ciências” (Delizoicov; Angotti, 1990b) em que o desenvolvimento curricular é fundamentado em três etapas: Problematização Inicial (PI); Organização do Conhecimento (OC) e Aplicação do Conhecimento (AC).

A utilização da metodologia dos 3MP como elemento estruturante da SD foi definida tendo em vista que

[...] a partir da utilização dos 3MP como estruturantes de currículos, bem como ferramenta metodológica, educador e educandos encontram-se numa relação horizontal de diálogo e saberes, sendo que o conhecimento apresentado por ambos é fundamental no processo de ensino-aprendizagem (Araújo, 2015, p. 105).

De forma geral, os objetivos desta sequência são introduzir os conceitos básicos sobre Física de partículas e articular o conteúdo científico com o contexto histórico e filosófico.

4.1. Problematização inicial (PI): primeira etapa do desenvolvimento curricular

Esta primeira fase caracteriza-se como o momento em que, a partir de uma postura problematizadora, o educador propõe e introduz o tema de discussão, é neste momento em que o educador analisa de forma geral o conhecimento prévio da turma sobre o tema proposto. Além disso, são propostas diversas questões com o objetivo de estimular os alunos a se envolverem mais profundamente com o assunto, incentivando a investigação e promovendo um ambiente de aprendizado motivador, no qual os educandos são instigados a adquirirem o conhecimento a fim de responder aos questionamentos e a situação inicial proposta (Albuquerque *et al.*, 2015).

Para tal postura requerida, durante o processo, cabe ressaltar a diferença - muitas vezes ignorada - entre perguntar e problematizar, a qual, Muenchen (2010, p.158) ressalta que

O papel do professor problematizador não é descrever os conceitos/conteúdos e sim desvelá-los para que os educandos queiram conhecer. Entende-se que a problematização é uma forma de desvelamento, é ela que provoca a curiosidade, o querer conhecer.

Em linhas gerais, esta etapa de problematização, define importantes processos, como a importância do desenvolvimento dialógico em sala, o estímulo ao trabalho coletivo, valorização dos conhecimentos cotidianos atrelados à realidade vivenciada pelos educandos e o desenvolvimento das questões problematizadoras (Albuquerque, 2015).

4.2. Organização do Conhecimento (OC): segunda etapa do desenvolvimento curricular

Em continuidade a problematização, a segunda etapa refere-se à organização do conhecimento, que se concentra em como o conhecimento é estruturado e apresentado, a fim de facilitar a compreensão e aprendizagem. O papel do educador nesta etapa é incorporar através da problematização inicial os conhecimentos científicos necessários para maior compreensão dos alunos.

Os conhecimentos de Física necessários para a compreensão do tema central e da problematização inicial serão sistematicamente estudados neste momento sob orientação do professor. Definições, conceitos, relações, leis, apresentadas no texto introdutório, serão agora aprofundados. [...] Serão ressaltados pontos importantes e sugeridas atividades, com as quais se poderá trabalhar para organizar a aprendizagem (Delizoicov; Angotti, 1990a, p. 29)

Neste sentido, o educador deverá utilizar materiais para consulta, atividades, textos e todos os recursos necessários para que seja possível sistematizar os conhecimentos trabalhados, a qual, através desses meios se torna possível o desenvolvimento dos saberes científicos. É importante que durante este processo de organização do conhecimento, os alunos passem a entender essa perspectiva como um fator que está sempre em estudos e evolução e não um processo acabado como é comum ocorrer quando se trata de desenvolvimentos científicos. (Muenchen, 2010).

4.3. Aplicação do Conhecimento (AC): terceira etapa do desenvolvimento curricular

A última etapa é caracterizada pela aplicação do conhecimento, a qual os alunos são desafiados a realizar uma análise e interpretações das situações discutidas, assim como questões indiretamente relacionadas ao tema. Neste momento, portanto,

Destina-se, sobretudo, abordar sistematicamente o conhecimento que vem sendo incorporado pelo aluno, para analisar e interpretar tanto as situações iniciais que determinaram o seu estudo, como outras situações que não estejam diretamente ligadas ao motivo inicial mas que são explicadas pelo mesmo conhecimento (Delizoicov; Angotti, 1990a. p. 29).

É crucial que os alunos sejam incentivados a adotar e/ou desenvolver uma postura crítica durante os processos de problematização do tema ou outro processo que apresente relevância para o aprendizado. Além de que, durante esta fase é importante que o professor continue desempenhando um papel problematizador, apresentando questionamentos que talvez não tenham sido levantados, assim como compartilhar situações que surgiram durante os momentos pedagógicos determinados.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A discussão acerca da inserção da FMC, bem como os parâmetros curriculares, foi fundamental para a elaboração de uma sequência didática disposta a seguir, baseada nos três momentos pedagógicos que visam introduzir o estudo de partículas elementares e interações fundamentais aos educandos do EM.

Autores como Kato (2007) e Lôbo *et al.* (2024) descrevem que os processos de ensino investigativo, a partir da problematização, desperta nos alunos interesses e curiosidades, além de ser uma parte fundamental para o desenvolvimento de processos como planejamento, análise de dados e situações, construções de argumentos e resoluções de problemas. Nesse sentido, o ensino de ciências dentro do processo problematizador favorece questões didáticas, trazendo a ideia de que as questões científicas estão presentes no cotidiano dos alunos, envolvendo não só discentes como também toda a comunidade.

Ao tratar da temática utilizando textos de divulgação científica, busca-se desenvolver um senso crítico sobre o papel da ciência em nossa sociedade e de que forma estas descobertas foram divulgadas e reconhecidas no passado (Melo; Hosoume, 2023).

Dessa maneira, a sequência didática disposta a seguir foi elaborada com o objetivo de proporcionar aos alunos uma compreensão aprofundada de como as ideias científicas evoluíram ao longo do tempo. Ao explorar desde as primeiras especulações filosóficas na Grécia Antiga até as descobertas científicas modernas, os alunos poderão perceber que o conhecimento científico é construído de forma cumulativa e frequentemente revisitado à luz de novas evidências. Essa perspectiva histórica não só amplia o entendimento sobre a constituição da matéria, mas também destaca a importância do pensamento crítico e da investigação científica na construção do conhecimento.

Além disso, a proposta busca instigar nos alunos uma apreciação pelo processo contínuo de desenvolvimento da ciência, mostrando como teorias aparentemente simples podem evoluir para explicações complexas e sofisticadas. Ao entender as motivações, os desafios e as revoluções intelectuais que moldaram a teoria atômica, os alunos podem refletir sobre a natureza da ciência como um esforço humano dinâmico, repleto de debates, incertezas e momentos de grande avanço.

Esse entendimento pode incentivar uma visão mais madura e crítica da ciência, reconhecendo tanto suas conquistas quanto suas limitações ao longo da história.

5.1 Tópico programático I - Grécia antiga e o conceito de matéria

O objetivo principal do primeiro tópico é caracterizar as ideias que antecederam a concepção atomística, destacando a evolução dos pensamentos científicos e as razões que levaram às reformulações nas explicações sobre a constituição da matéria. Sendo possível dessa maneira explorar com os educandos a influência que diferentes aspectos históricos e sociais exercem sobre as teorias científicas. Sugere-se para este tópico, no mínimo 2 aulas de 50 minutos.

Problematização inicial: Inicialmente, serão formulados alguns questionamentos acerca da matéria e sua constituição, a fim de investigar o que os alunos entendem/imaginam sobre esses conceitos. Alguns pontos de discussão são apresentados aos educandos, para que estes possam refletir e discutir sobre o tema proposto e assim, avaliarem seus conhecimentos prévios sobre a temática.

- O que você entende por "matéria"? Como podemos definir a matéria no contexto da ciência?
- Existe alguma matéria fundamental? Algo que esteja em tudo que existe?
- A matéria é contínua? Se cortarmos um pedaço de papel ao meio repetidamente, o que aconteceria?
- Vocês já ouviram falar sobre os primeiros filósofos que tentaram explicar a constituição da matéria? Quem foram eles e o que propuseram?

Organização do conhecimento: De que é constituída a matéria? Essa é uma das questões que mais intrigam filósofos e cientistas desde a antiguidade.

A história da ciência, perpassando por sua fértil construção ocidental com os gregos antigos, proporciona o conhecimento de diversas composições que o mundo já teve, não porque a natureza da matéria se modificou, mas pela numerosa gama de pensadores que refletiram sobre os constituintes primordiais do ambiente que os rodeava a partir de múltiplas perspectivas (Lorenzetti; Raicik; Peduzzi, 2024, p.5).

Na Grécia, do século VI ao II AEC foram formuladas as primeiras hipóteses sobre o que poderia ser constituída a matéria, as principais foram: a hipótese dos elementos, a hipótese dos elementos da figura e a hipótese atomística.

A hipótese dos elementos, desenvolvida inicialmente na região jônica da Grécia antiga, parte do ideal de que exista um elemento fundamental que está presente em todas as matérias, essa teoria é denominada monismo.

Para contextualizar social e geograficamente essa corrente de pensamentos, é necessário compreender a natureza das crenças religiosas desse povo e sua localização.

Os deuses jônicos possuíam duas interessantes características: primeiro, eles personificavam a natureza (característica encontrada somente nos deuses gregos) e segundo, os deuses tinham metas humanas e revelavam comportamentos também humanos (por exemplo, usavam da lisonja e do suborno). Dessa forma, os deuses eram compreensíveis para os humanos (como nenhum deus de outra cultura), e como eles personificavam cada aspecto da natureza, o entendimento dos jônicos dos seus deuses foi transferido para os fenômenos naturais (Almeida, 1983, p. 53).

Quanto à localização geográfica, o território jônico integrava o território da atual Turquia e era banhado pelo mar Egeu, importante ponto de comércio.

Thales de Mileto, que viveu entre 640 AEC e 562 AEC na Jônia, foi quem primeiro se propôs a responder à pergunta inicial: “De que é constituída a matéria?” Para Thales, a água era a substância essencial, da qual todo o resto era constituído.

Como nenhum outro escrito de Thales sobreviveu, dependemos dos escritos de outros filósofos para saber as razões que o levaram a escolher a água como substância fundamental do mundo. Provavelmente ele observou que a água estava presente no céu, na terra e nos oceanos, além de estar contida na comida, plantas, animais e solo. Também é a única substância conhecida pelos homens daquele tempo capaz de existir nos três estados da matéria: gás, líquido e sólido (Almeida, 1983, p.54).

Esse pensamento sofre influência religiosa do povo jônico, assim como de suas características geográficas, uma vez que:

Thales vivia na região jônica da Grécia antiga, onde possuía contato cotidiano com a água, seja em suas caminhadas na costa do mar Egeu, quer seja pelo seu conhecimento das cheias do rio Nilo. Existem poucos registros preservados desse filósofo, contudo é bastante razoável supor que a sua proposta não veio de uma tabula rasa; isto é, sua proposição surgiu carregada de pressupostos; não é neutra, foi influenciada por seu contexto geográfico e intelectual (Lorenzetti; Raicik; Peduzzi, 2024, p.5).

Anaximandro de Mileto (611-545 AEC), discípulo de Thales, contestou a teoria de que a água é o elemento primordial, seu principal questionamento é sobre como

poderia a água formar elementos secos. Ele acreditava que o princípio primordial do universo não era um elemento definido como a água, mas sim uma substância infinita, indefinida e imortal, que ele chamou de ápeiron. Segundo Anaximandro, o ápeiron era a origem de todas as coisas e estava além das qualidades específicas dos elementos conhecidos, como o quente e o frio, o seco e o úmido.

Anaximandro criticou a perspectiva de Thales, pois para ele se a Terra fosse sustentada pela água, esta deveria estar sustentada sobre outra coisa, que também precisaria de outra sustentação e assim por diante. Dessa forma, o Apeiron, que permeia tudo infinitamente, resolveria o problema da regressão ao infinito (Lorenzetti; Raicik; Peduzzi, 2024, p.5).

Posteriormente, Anaxímenes de Mileto (585-528 AEC) retorna à linha de raciocínio monista de Thales; para Anaxímenes, o elemento constituidor de todas as coisas seria o ar.

Assim, o que explicaria a multiplicidade das formas e suas características seria a rarefação desse elemento: o fogo seria um ar muito rarefeito, enquanto os sólidos seriam um ar pouco rarefeito ou condensado. Das qualidades frio-quente e úmido-seco, opostos que a matéria assumia em determinadas proporções, ele explicou apenas a primeira com êxito: a característica “frio” e “quente” seria elucidada pela movimentação do ar. Anaxímenes visualizou esse fenômeno a partir da saída de ar pela boca: quando o ar é soprado com a boca muito aberta, ele sai lentamente e quente; quando o ar é soprado com a boca quase fechada, ele sai com mais pressão (mais rápido) e frio (Lorenzetti; Raicik; Peduzzi, 2024, p.5).

Heráclito de Éfeso (579-480 AEC) argumenta que o fogo é a origem de todas as coisas.

Entretanto, diferentemente dos filósofos citados anteriormente, Heráclito entendia o fogo mais como um representante da dinamicidade da matéria, de sua constante mudança, do que de sua constituição propriamente dita (Lorenzetti; Raicik; Peduzzi, 2024, p.6).

Xenófanos de Cólofon (570-460 AEC), por sua vez, dizia ser a Terra o elemento primordial.

A partir dela, que dava sustentação a tudo, a diversidade das substâncias seria explicada. Xenófanos tentou não recair no problema da regressão ao infinito dizendo que a Terra era sustentada pela substância terra que continuava infinitamente abaixo de seu chão. Entretanto, essa conjectura entrou em conflito com uma perspectiva grega bastante corrente da época: a de que a Terra era finita e esférica (Lorenzetti; Raicik; Peduzzi, 2024, p.6).

Estes são alguns dos principais pensadores que formularam teorias monistas, é importante analisar a associação entre as

[...] características sensíveis e qualitativas dessas substâncias com as coisas que eles podiam observar ao seu redor, como Thales observando a grande massa de água do mar Egeu e a vida nascendo da terra proporcionada pela fertilidade oriunda das cheias do rio Nilo; ou Anaxímenes utilizando experiências do seu cotidiano para generalizar a explicação de um comportamento da matéria (a saída de ar pela boca) (Lorenzetti; Raicik; Peduzzi, 2024, p.6).

Empédocles de Agrigento (492-432 AEC), sugeriu que a complexidade e variedade de todas as coisas não poderia ser explicada a partir de um único elemento como base, mas sim uma combinação desses. Com isso, propôs que a matéria seria formada por uma combinação de quatro elementos: água, terra, fogo e ar, em diferentes proporções.

Aristóteles (384-322 AEC) defendeu o pensamento de Empédocles e acrescentou à teoria um quinto elemento: o éter. Segundo o filósofo, o elemento “constituiria os corpos do mundo supralunar, ou seja, os corpos celestes que estão acima da Lua, enquanto que os outros quatro elementos formariam o mundo sublunar, por isso chamados de elementos terrestres” (Lorenzetti *et al.*, 2024, p.6).

Aplicação do conhecimento:

Para esse tópico, as seguintes perguntas abordadas na problematização inicial serão refeitas:

- Existe alguma matéria fundamental? Algo que esteja em tudo que existe?
- A matéria é contínua? Se cortarmos um pedaço de papel ao meio repetidamente, o que aconteceria?

A fim de que os alunos repensem as questões após a organização do conhecimento e verifiquem se suas ideias foram alteradas por este, também serão dirigidas novas perguntas para reflexão sobre a evolução dos modelos atômicos, como:

- O que motivou os filósofos gregos a buscar explicações para a constituição da matéria?
- Como o contexto cultural e filosófico da época influenciou suas teorias?

E juntamente com a realização de uma discussão aberta sobre como a compreensão da matéria mudou ao longo do tempo. Além disso, será proposto um

exercício de registro pessoal, onde os alunos poderão documentar suas concepções e conhecimentos prévios sobre o tema, antes de iniciar as discussões acerca das teorias clássicas e posteriormente as contemporâneas.

A partir desses registros iniciais, os alunos serão incentivados a explorar diferentes formas de pensar sobre a constituição da matéria, levando em consideração tanto as visões dos filósofos gregos quanto as influências culturais e filosóficas da época. Durante o desenvolvimento das aulas, será feita uma comparação entre os registros iniciais dos alunos e as concepções adquiridas após a organização e aprofundamento do conhecimento, analisando como suas ideias são diferentes.

5.2 Tópico programático II - Atomismo

O objetivo deste tópico é realizar uma análise crítica e aprofundada sobre a elaboração da concepção do átomo, explorando a evolução dessa teoria desde os primórdios do atomismo. Assim como examinar o contexto histórico, cultural e filosófico que influenciou as diferentes etapas dessa evolução, identificando as principais mudanças paradigmáticas e os fatores que levaram à reformulação e expansão da teoria atômica ao longo do tempo. Sugere-se para este tópico, no mínimo 2 aulas de 50 minutos.

Problematização inicial:

Para iniciar a análise sobre a evolução da teoria atômica, é interessante explorar algumas questões acerca dos conhecimentos prévios dos alunos.

- O que é um átomo? é indivisível? Se não, como vocês imaginam que ocorra essa divisão?
- Quantas partículas existem dentro de um átomo, e como elas estão organizadas?

Essa problematização incentiva os alunos a refletirem sobre a teoria atômica e promove a inquietação quanto ao tema proposto.

Organização do conhecimento:

O conceito de átomo teve seu surgimento atribuído ao filósofo Leucipo de Mileto (460-370 AEC) e seu discípulo, Demócrito de Abdera (470-380 AEC); sua teoria era de que a matéria não era contínua, mas sim constituída por minúsculas partículas que não conseguimos enxergar, duras e indestrutíveis, sendo estas partículas como a menor subdivisão possível da matéria e a nomeou “átomo”, palavra grega que significa justamente “não divisível”.

A teoria atômica da matéria é mais uma notável invenção grega. [...] O aparecimento dessa concepção é parte integrante de uma cultura científica que, desde o século VI a.C., com Thales de Mileto (640-562 a.C.), começa a dar os primeiros passos na tentativa de compreender racionalmente o mundo natural (Peduzzi, 2008, p.11).

Foram então aprimorando a teoria atomista, ajustando seus conceitos e hipóteses para que fosse possível formular explicações mais detalhadas e consistentes da realidade “Os átomos de Demócrito são todos feitos de uma mesma substância. Diferem em tamanho, forma, movimentos e arranjos geométricos, sendo a diversidade de todas as coisas explicadas por essas diferenças” (Peduzzi, 2008, p.16). Os sabores, por exemplo, eram explicados através da geometria dos átomos dos quais os alimentos eram compostos, quanto mais redondo e liso, melhor o sabor. Assim com a rigidez de um material, que era associada à quanto os átomos deste eram compactados (Peduzzi, 2008).

A teoria atômica, porém, teve grande resistência entre os pensadores da Grécia antiga e também pelos outros povos - ocidentais e orientais - que tiveram ciência da teoria através dos escritos de Leucipo e seus discípulos (Almeida, 1983; Lorenzetti; Raicik; Peduzzi, 2024).

Apesar de ter sofrido alguns desenvolvimentos posteriores, a teoria atomista não se manteve como fonte de interpretação da matéria entre os estudiosos. Com raras exceções, a grande maioria deles adotou uma visão aristotélica de matéria e de mundo, que foi perpetuada por séculos na Europa, principalmente depois de ter sido adaptada pela Igreja Católica (Lorenzetti; Raicik; Peduzzi, 2024, p.7).

O atomismo não foi visto como uma teoria relevante, pelo menos até o final do século XIV, cerca de 14 séculos após seu surgimento com Leucipo e Demócrito, sendo que parte dessa negação era determinada pelo entendimento de que os atomistas não conseguiam explicar de forma satisfatória a existência do vácuo, ou seja, lugares nos quais não há matéria (Almeida, 1983). A teoria ressurgiu então a partir da

revolução científica, iniciada no século XVI, na qual houve uma renovação do pensamento científico, impulsionada por Copérnico, Galileu e Newton. Esse período foi marcado por um retorno ao empirismo e ao uso do método científico, o que levou ao redescobrimto de ideias antigas e ao questionamento das doutrinas estabelecidas.(Peduzzi, 2008; Pereira; Silva, 2018)

Em 1647, o filósofo e matemático francês Pierre Gassendi (1592-1655) escreveu, pela primeira vez, um texto em que havia uma distinção entre átomo e molécula (Siqueira, 2006).

Em sua concepção, nos corpos, os átomos se reúnem em grupos, aos quais denominou de moléculas (diminutivo da palavra latim moles, que significa massa ou quantidade de matéria) e, parecia propor que o átomo seria uma parte real da substância, porém invisível e indivisível (Siqueira, 2006, p.23).

Robert Boyle (1627-1691), filósofo natural, químico e físico irlandês, deu seguimento aos estudos que desenvolveram o atomismo, sendo um dos primeiros a combinar a teoria atômica com a experimentação, lançando as bases para a química moderna. Seus experimentos proporcionaram aos cientistas da época a oportunidade de investigar fenômenos como o som, o vácuo, a respiração, a combustão, entre outros (Peduzzi, 2008).

Este renascimento da teoria atômica culminou no século XIX com os estudos de John Dalton (1766-1844), que formalizou a teoria atômica moderna, explicando as leis da química com base na existência de átomos, redefinindo a compreensão da matéria e das interações químicas. Dalton apoiado pela lei da conservação de massa de Lavoisier (1789), e das proporções fixas e definidas de Proust (1802), elaborou o primeiro modelo científico atômico, no qual o átomo foi descrito como uma esfera maciça, invisível e neutra. Suas contribuições também envolvem a determinação do conceito de peso atômico, na qual cada elemento químico é relacionado a um tipo de átomo, que por sua vez, é identificado pelo seu peso atômico (Siqueira, 2006; Oki, 2009).

As contribuições de Dalton para com o estudo do átomo foram de grande valia, e deu o primeiro passo para que se iniciasse o atomismo científico. A partir de seus estudos.

[...] vários outros cientistas, como o francês Joseph-Louis Gay-Lussac (1778-1850) e o italiano Amadeo Avogadro (1776-1856), começaram a investigar melhor as substâncias, com a finalidade de determinar as massas dos átomos e seus volumes. Desta forma, foram formuladas algumas leis que ajudaram a classificar melhor as substâncias na tabela periódica. Foi então, que em 1869 o russo Dimitri Ivanovich Mendeleiev (1834-1907) e em 1870, o alemão

Julius Lothar Meyer (1830-1895) chegaram, independentemente, a tabela periódica dos 63 elementos, relacionando o peso atômico com suas propriedades (Siqueira, 2006, p.24).

Na época, imaginava-se que os 63 elementos organizados na tabela periódica seriam fundamentais e a partir deles poderia se estruturar toda e qualquer matéria. Hoje a tabela periódica conta com 118 elementos químicos.

Em 1835, o físico e químico britânico, Michael Faraday realizou experimentos a fim de investigar como a eletricidade interagia com diferentes materiais e em diversas condições, incluindo a passagem de correntes elétricas através de gases. Em um de seus experimentos mais conhecidos, Faraday estudou descargas elétricas em tubos de vidro contendo gases a baixa pressão. Quando aplicava uma alta tensão entre dois eletrodos dentro do tubo, ele observava a formação de um brilho no interior do tubo, um fenômeno que hoje conhecemos como descarga elétrica em gases. Esse brilho era o resultado da ionização do gás pelo campo elétrico, que fazia com que os átomos do gás perdessem ou ganhassem elétrons, criando íons capazes de conduzir eletricidade e emitirem luz. Faraday, também notou que a cor da luz emitida variava dependendo do tipo de gás dentro do tubo, o que mais tarde ajudaria a entender que diferentes elementos têm assinaturas espectrais distintas. Além disso, suas observações sobre a natureza dos raios catódicos (feixes de elétrons) e a interação desses com campos magnéticos contribuíram para o desenvolvimento posterior da Física de partículas (Peduzzi, 2010; Siqueira; Pietrocola, 2006; Ferreira, 2013).

Após Faraday, diversos outros cientistas realizaram pesquisas semelhantes, na busca de explicações sobre o fenômeno observado.

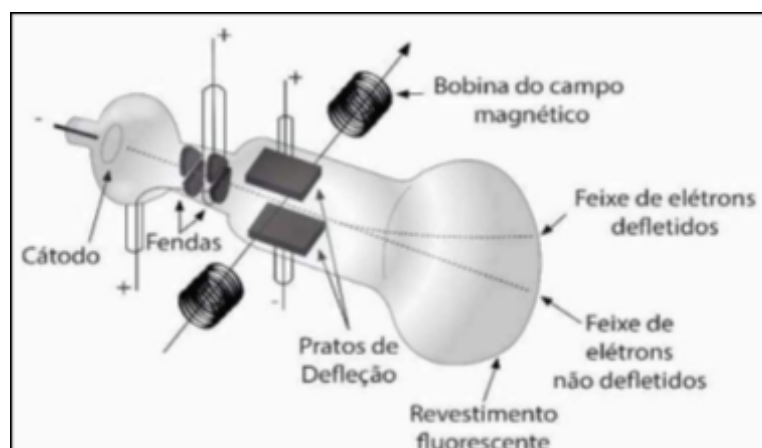
Em 1858, o físico alemão Julius Plücker, ao aproximar um ímã de um recipiente similar, viu as manchas fosforescentes se deslocarem nas paredes do vidro. Seu aluno Johann Hittorf, em 1869, observando a sombra projetada sobre a parede de vidro por um objeto colocado diante do cátodo, mostrou que as emissões dele emanadas se deslocavam em linha reta, o que foi denominado "raios catódicos". O inglês William Crookes, em 1879, retomou essas experiências, de forma mais precisa, com um tubo aperfeiçoado por ele e com alto vácuo em seu interior. Em 1895, Jean Perrin concluiu que os raios catódicos são jatos de partículas e mostrou que têm carga elétrica negativa (Ferreira, 2013, p. 119).

Todas essas experiências contribuíram para que em 1897, o físico britânico Joseph John Thomson (1856-1940), realizasse o experimento que tornou evidente a existência do que hoje conhecemos como elétron. O experimento de Thomson, é semelhante aos realizados por Crookes e Perrin, no qual era gerada uma alta tensão

entre os eletrodos de um tubo de raios catódicos, um dispositivo de vidro selado que continha gás a baixa pressão e dois eletrodos: um cátodo (eletrodo negativo) e um ânodo (eletrodo positivo). Ao aplicar a tensão, um feixe de luz verde-azulada, conhecido como raios catódicos, era emitido do cátodo e viajava pelo tubo em direção ao ânodo (Figura 1) (Silva; Santos; Dias, 2011).

Procurando entender a natureza desses raios, Thomson observou que os raios catódicos eram desviados por campos elétricos e magnéticos, sugerindo que eram compostos de partículas carregadas negativamente. Portanto, analisando a magnitude do desvio em relação à intensidade do campo, pode-se calcular a relação entre a carga e a massa (carga/massa) dessas partículas (Silva *et al.*, 2011).

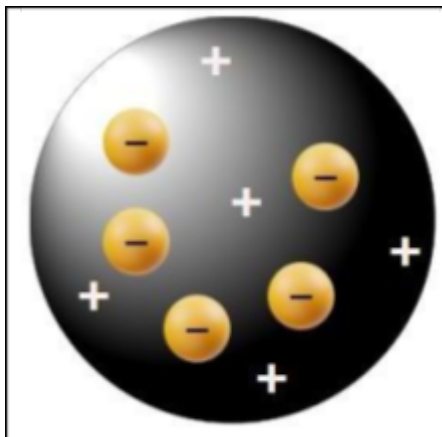
Figura 1: Representação esquemática do experimento de Thomson.



Fonte: Neves *et al.*, 2019.

Com estes resultados, Thomson concluiu que os raios catódicos eram formados por partículas mais leves do que qualquer átomo conhecido, sendo assim, essas partículas poderiam ser um componente fundamental em todos os átomos. Ele as chamou de "corpúsculos", mas elas ficaram conhecidas posteriormente como elétrons. O modelo atômico de Thomson assumia o átomo com uma esfera de carga positiva, com estes "corpúsculos" de carga negativa incrustados na esfera (Figura 2) (Marchesi; Custodio, 2023).

Figura 2: Representação do modelo atômico de Thomson.



Fonte: Próprio autor, 2024.

A descoberta de Thomson foi revolucionária, mudando a compreensão da estrutura atômica, uma vez que, antes desse experimento, acreditava-se que os átomos eram indivisíveis e constituíam as menores unidades da matéria. No entanto, Thomson, demonstrou que os átomos tinham uma estrutura interna e que continham partículas subatômicas, o que levou ao desenvolvimento de novos modelos atômicos e a um avanço significativo na Física Moderna.

Cabe ressaltar que a descoberta do elétron é produto de uma série de experimentos e de concepções sobre a estrutura da matéria geradas por cientistas de vários países. A identificação do elétron não foi, portanto, o produto de um ato de descoberta súbita e individual (Ferreira, 2013, p. 120).

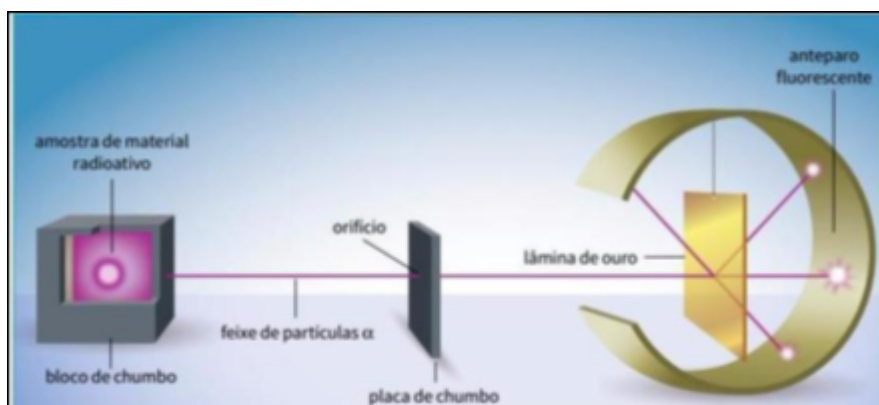
As experiências envolvendo descargas elétricas em gases também revelaram a presença de partículas com cargas positivas.

No início do século XX, haviam dois principais modelos atômicos que dividiam opiniões na comunidade científica. O de Thompson e o modelo do japonês Hantaro Nagaoka (1865-1950), divulgado em 1904, no qual “o átomo era formado por um caroço central positivo rodeado de anéis de elétrons girando com a mesma velocidade angular, semelhante ao planeta Saturno (por isso, ficou conhecido como modelo saturniano)” (Siqueira, 2006, p.16).

Em 1908, o neozelandês Ernest Rutherford, o inglês Ernest Marsden e o alemão Hans Geiger realizaram um importante experimento, com objetivo de estudar o espalhamento de partículas alfa (α) emitidas por materiais radioativos. Neste experimento, uma folha muito fina de ouro, com espessura de 6.10^{-6} m era bombardeada por um feixe de partículas α . Em torno dessa folha de ouro foi colocado

um anteparo revestido com uma camada de sulfeto de zinco (ZnS), no qual ficavam marcadas as posições que estas partículas atingiam após entrarem em contato com a folha de ouro (Figura 3) (Brugliato, Almeida, 2017; Peduzzi, 2008).

Figura 3: Representação esquemática do experimento de Rutherford.



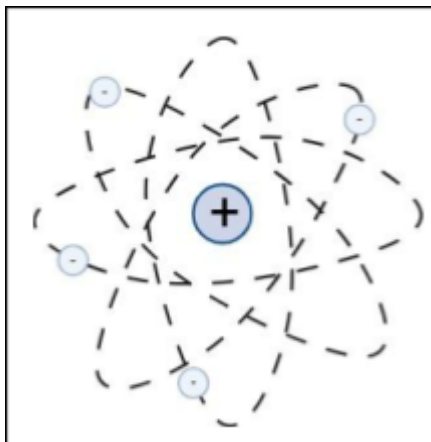
Fonte: Chang, 1994, p.39.

O resultado obtido demonstrou que a maior parte das partículas sofreram desvios pequenos, o que é condizente com o modelo atômico de Thomson, no qual essa alteração na trajetória do feixe é resultado da interação entre o núcleo e a partícula α , ambos com carga positiva. Porém, foram notadas também algumas poucas partículas que sofreram desvios maiores que 90° (Novais; Antunes, 2016).

Rutherford pensou que se a carga positiva do átomo estivesse concentrada em uma única região, a força de repulsão seria muito grande para “impactos” frontais. Concluiu então, que os grandes desvios observados só poderiam resultar do encontro de uma partícula α com uma carga positiva concentrada em uma pequena região do átomo (Siqueira, 2006, p.16).

Em 1911, Rutherford propôs um novo modelo atômico, no qual existe um núcleo que concentra a maior parte da massa do átomo e ao seu redor circundam os elétrons, na região que denominou eletrosfera (Figura 4). Com isso, o modelo atômico de Thomson foi refutado (Peduzzi, 2008).

Figura 4: Representação esquemática do modelo atômico de Rutherford.



fonte: Próprio autor, 2024.

Dois anos depois, Rutherford concluiu, a partir dos resultados de experimentos semelhantes ao da folha de ouro, envolvendo a dispersão de partículas alfa em gases, que o átomo de hidrogênio tem a estrutura mais simples possível, de um núcleo com uma carga unitária. Rutherford e a comunidade científica da época nomeou essa partícula como “próton”. “O termo em si é derivado do grego "protos" (primeiro), e Samuel Glasstone observou que já havia sido usado desde 1908 ou antes como um termo geral para uma unidade a partir da qual todos os elementos foram construídos” (Peake, 1989, p.738, tradução nossa).

No modelo de Thomson, os elétrons estão ao redor do núcleo e tem carga contrária a esse, portanto, se estiverem em repouso, serão atraídos pelo núcleo, como solução a esse problema, Thomson definiu que os elétrons estão em constante movimento na eletrosfera. Porém, a eletrodinâmica prevê que uma partícula carregada em movimento acelerado, como os elétrons em órbita, deveria emitir radiação eletromagnética. Essa perda contínua de energia também levaria a uma colisão entre o elétron e o núcleo, em um movimento espiralado, o que significaria que o átomo deveria colapsar rapidamente (Siqueira, 2006).

O físico dinamaquês Niels Bohr foi quem, em 1913 propôs um modelo que solucionava estas problemáticas do modelo atômico de Rutherford. “Baseando-se na teoria quântica de Max Planck (1885-1957), Bohr sugere alguns postulados para o movimento do elétron, aperfeiçoando o modelo de Rutherford” (Siqueira, 2006, p.17). Esses postulados são:

- O elétron em um átomo hidrogenóide se move em torno do núcleo em uma trajetória circular, sob a ação da força de Coulomb entre cargas puntiformes e segue as leis da mecânica clássica.
- Os elétrons se movem ao redor do núcleo em órbitas circulares específicas, não emitindo nem absorvendo energia (Figura 5).
- Esses orbitais são quantizados, ou seja, apenas determinados orbitais com valores de energia específicos são permitidos. O momento angular dos elétrons nessas órbitas é dado pela Eq. (1).

$$L = n\hbar = n \frac{h}{2\pi} \quad (1)$$

Onde, L é o momento angular do elétron, n é o número quântico principal (um número inteiro positivo), h é a constante de Planck e \hbar é a constante de Planck reduzida

- Os elétrons podem mudar de uma órbita estacionária para outra absorvendo ou emitindo fótons (quantum de luz). A energia do fóton é igual à diferença de energia entre as duas órbitas, dada pela equação (2).

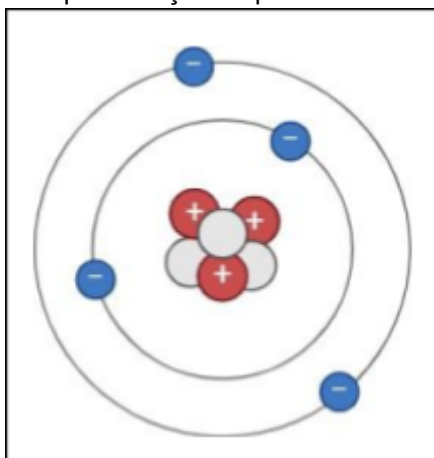
$$\Delta E = E_f - E_i = h\nu \quad (2)$$

Onde, ΔE é a diferença de energia entre as duas órbitas, E_f é a energia final (órbita de destino), E_i é a energia inicial (órbita de origem), h é a constante de Planck, e ν é a frequência do fóton emitido ou absorvido.

Apesar das corretas previsões, os modelos de Bohr e Sommerfeld ainda apresentavam inconsistências que eram alvo de críticas, tais como a instabilidade mecânica do sistema, a não aplicabilidade para sistemas não periódicos ou para átomos com maior número de elétrons, e, por um viés mais filosófico, a insatisfação com o conceito de salto quântico introduzido por Bohr (Marchesi; Custódio, 2023, p.4).

Em 1920 Rutherford havia apresentado à Royal Society a teoria de que houvesse uma nova partícula no núcleo atômico. Segundo Peduzzi (2010, p.31), Rutherford descreveu essa partícula como sendo constituída por “[...] um próton e por um elétron girante (algo como um átomo de hidrogênio em escala nuclear); portanto teria carga nula e massa muito próxima a do próton”.

Figura 5: Representação esquemática do átomo de Bohr



Fonte: Próprio autor, 2024.

As previsões de Rutherford começam a ganhar forma em 1930, após Walther Bothe e Herbert Becker bombardearam berílio com partículas alfa (núcleos de hélio) e observarem que o berílio emitia uma radiação altamente penetrante. Essa radiação foi inicialmente interpretada como raios gama de alta energia (Peduzzi, 2010).

Em 1932, o casal de cientistas franceses Irène e Frédéric Joliot-Curie continuaram os experimentos para investigar essa radiação, descobrindo que, quando ela atingia parafina ou outros compostos ricos em hidrogênio, produzia uma grande quantidade de prótons com alta energia. Eles também acreditaram que se tratava de raios gama de alta energia, mas essa interpretação não era suficiente para explicar as observações (Caruso; Oguri, 1997; Marchesi; Custodio, 2023).

No mesmo ano, James Chadwick teve contato com as pesquisas de Irene e Frédéric e propôs uma nova interpretação: ele sugeriu que essa radiação não era devida a raios gama, mas sim a uma nova partícula até então desconhecida, que tinha uma massa semelhante à do próton, mas sem carga elétrica. Ele então repetiu os experimentos no laboratório Cavendish, medindo as energias das partículas emitidas ao bombardear elementos com as mesmas partículas alfa. Os resultados confirmaram que a partícula descoberta tinha uma massa aproximadamente igual à do próton, mas, como previsto, era eletricamente neutra. “Em carta enviada à revista Nature em 17 de fevereiro de 1932, Chadwick chamou essa nova partícula de nêutron” (Peduzzi, 2010, p. 34).

Aplicação do conhecimento:

É importante que nesta etapa os alunos compreendam que as concepções sobre os átomos não surgiram de maneira isolada, mas foram moldadas por contextos culturais, filosóficos e científicos únicos em cada época. Assim, serão formulados pontos de discussões importantes como:

- Com base no que foi discutido até agora, de que maneira a ideia de que toda matéria é composta de átomos desenvolveu-se ao longo do tempo?
- Como essas teorias poderiam ter sido diferentes caso outras culturas ou filosofias tivessem mais influência no desenvolvimento da ciência?
- Como o diálogo entre cientistas e a sociedade moldou a compreensão do átomo?

A partir dessas questões, é possível promover uma reflexão crítica sobre como o conhecimento científico é construído, revisado e reformulado. Os alunos poderão consultar os registros elaborados nas aulas anteriores e desenvolverem novos registros acerca do entendimento dos modelos atômicos e seu processo de desenvolvimento.

5. 3 Tópico programático III - Física de partículas

Este tópico é determinante para a compreensão do desenvolvimento da teoria atômica atual e suas implicações na sociedade contemporânea. Seu desenvolvimento fornece aos alunos uma compreensão sólida dos conceitos fundamentais e em desenvolvimento da ciência, assim como promove uma reflexão crítica sobre os processos históricos e filosóficos dessas ideias. Sugere-se no mínimo 3 aulas de 50 minutos para este tópico.

Problematização inicial:

Alguns pontos de discussão são apresentados aos educandos, para que estes, em primeiro momento, reunidos em um pequeno grupo (3 a 4 alunos) possam refletir e discutir sobre o proposto e assim, avaliem seus conhecimentos prévios sobre a temática.

- Quais partículas vocês conhecem além de prótons, nêutrons e elétrons?
- Como vocês imaginam que essas partículas interagem entre si?
- Como é possível manter diversas partículas (prótons, nêutrons e elétrons) próximas entre si, se há uma força de repulsão/atração entre estes?

Após a discussão acerca desses questionamentos, no qual os educandos já expuseram os ideais de que cada um tem sobre as partículas atômicas, é apresentado o trecho do artigo “As danças do núcleo atômico”, escrito por José Tadeu Arantes e publicado em maio de 2001 na edição 64 da revista pesquisa FAPESP (figura 6).

Figura 6: Trecho do artigo “As danças do núcleo atômico”.



Fonte: Arantes, 2001, p.28.

Após a leitura proposta, lançam-se novos questionamentos com o intuito de que os educandos percebam o contraste entre a noção que tinham do modelo atômico

e o que é tido como mais aceito hoje. Assim como a não linearidade das teorias científicas, uma vez que o modelo atômico desenvolvido na década de 1910 e atribuído a Niels Bohr foi substituído por uma teoria que melhor explicasse os fenômenos e problemáticas recentes; o caráter coletivo das pesquisas científicas; e a estrutura atômica atual.

O intuito desses questionamentos na primeira etapa é possibilitar que o aluno desenvolva uma compreensão sobre a composição da matéria e, subsequentemente, os princípios que regem as estruturas e movimentos atômicos. Para facilitar a formulação do entendimento sobre átomos, outros materiais de apoio podem ser integrados à aula, incluindo registros com observações a partir das reflexões dos alunos.

Organização do conhecimento:

Após os resultados de Rutherford e Chadwick, o átomo tem sua estrutura bem definida, na qual elétrons orbitam em torno do núcleo, que contém em seu interior nêutrons e prótons. As órbitas nucleares e níveis de energia foram definidos por Bohr e tudo parece se encaixar bem na estrutura atômica. Porém, uma das grandes questões em aberto é: a força elétrica de repulsão, ditada pela lei de Coulomb, que age entre dois prótons no núcleo, é cerca de 10^{37} vezes maior que a força de atração gravitacional entre eles. Então, como é possível que vários prótons permaneçam unidos de forma estável no núcleo atômico?

Uma hipótese plausível é que, além das forças magnética e elétrica, exista uma força adicional atuando sobre as partículas atômicas. Essa força, se realmente existir, provavelmente se manifesta apenas em escala atômica, o que explicaria o fato de não ser observada no mundo macroscópico (Peduzzi, 2010; Caruso, Oguri, 1997).

Sabe-se hoje que estas forças de fato existem e levam o nome de forças nucleares ou ainda de forças fortes. Desta nova interação depende a constituição dos núcleos atômicos e ela é realmente muito intensa. Uma estimativa muito crua nos indica que ela é da ordem de 2000 vezes maior do que a força eletromagnética, cuja intensidade é dada pela constante de estrutura fina eletromagnética, $\alpha = 1/137$, introduzida por Sommerfeld. (Caruso, Oguri, 1997, p.328)

O início do século XX data o desenvolvimento inicial da Física Moderna, com base nas teorias revolucionárias, como a mecânica quântica e a teoria da relatividade, esse e outros ramos da Física foram determinados. Em especial, a Física de partículas que tem como principal interesse o estudo das partículas fundamentais que compõem

a matéria e as forças que regem suas interações, como por exemplo a força forte que é responsável pela estabilidade do núcleo atômico. Contudo, outras descobertas foram determinantes para ampliar significativamente o conhecimento sobre a estrutura fundamental do universo (Moreira, 2009).

A partir dessas descobertas, é então formulado o modelo padrão, uma teoria que descreve as partículas fundamentais – como quarks, léptons e bósons mediadores – e as forças que as governam, com exceção da gravidade (figura 7). Este modelo se tornou um dos pilares da Física Moderna, e atualmente há diversos pesquisadores em busca de novas partículas e interações que possam ir além do que o Modelo Padrão atualmente explica. Kane (2003, p.70, tradução nossa) descreve o Modelo Padrão como

[...] uma conclusão incorporada na teoria matemática da natureza mais sofisticada da história, o Modelo Padrão da Física de partículas. Apesar da palavra “modelo” em seu nome, o Modelo Padrão é uma teoria abrangente que identifica as partículas básicas e específicas como elas interagem. Tudo o que acontece no nosso mundo (excepto os efeitos da gravidade) resulta da interação de partículas do Modelo Padrão de acordo com as suas regras e equações.

Os avanços na área e a descoberta de diversas partículas subatômicas teve como marco inicial o ano de 1928, quando Paul Dirac, tendo como base tanto a mecânica quântica quanto a teoria da relatividade, formulou uma teoria que dava conta de descrever, com precisão, o comportamento do elétron incorporando o princípio da relatividade. As soluções da equação de Dirac, porém, indicaram a existência de uma partícula até então desconhecida, com as mesmas características do elétron e de carga oposta. Essa partícula que se assemelhava a um elétron e tinha carga positiva, foi denominado como pósitron. Dirac definiu o pósitron como a antipartícula do elétron, ou seja, uma partícula com a mesma massa e carga contrária e sugeriu que para cada partícula de matéria conhecida, existe uma antipartícula correspondente (Caruso; Oguri, 1997; Moreira, 2009).

A previsão de Dirac foi confirmada experimentalmente em 1932, quando Carl D. Anderson registrou empiricamente a existência do pósitron, por meio de raios cósmicos. A partir dessa descoberta, é formulada a proposta teórica da existência de antipartículas, que posteriormente daria origem ao modelo padrão e à Física de partículas (Moreira, 2009). Após a demonstração da existência de pósitrons,

[...] outras partículas foram sendo detectadas, dentre elas a partícula proposta por Hideki Yukawa (1907-1981), chamada de pión, em 1947, através de estudos de chuviros atmosféricos gerados por raios cósmicos. Entre 1950 e 1960, surgiram aceleradores de partículas que permitiram a realização de reações muito mais energéticas. Uma nova propriedade das partículas foi descoberta: a estranheza, que é uma característica intrínseca da partícula, como sua massa e sua carga elétrica, por exemplo. Dessa forma, a lista de partículas conhecidas cresceu substancialmente. Com a descoberta de mais partículas, começou a ficar claro que existia uma nova ordem em meio à abundância de partículas observadas (Silva; Natti, 2007, p. 176).

Segundo Moreira (2009), já foram detectadas cerca de 300 partículas em aceleradores/colisores de partículas ou em raios cósmicos. Todas podem ser divididas em léptons e quarks, partículas elementares que não possuem estrutura interna e são consideradas como blocos fundamentais da composição de toda matéria observável do universo; e hádrons, partículas não fundamentais, que são formadas de quarks.

Hoje, tem-se o conhecimento de seis partículas léptons (elétron, múon, tau, neutrino do elétron, neutrino do múon e neutrino do tau) e seis quarks (quark *up* (*u*), quark *down* (*d*), quark *strange* (*s*), quark *charm* (*c*), quark *top* (*t*) e quark *bottom* (*b*)), esses são também denominados sabores dos quarks, e definem sua massa. Porém, os quarks contam ainda com uma propriedade chamada de cor e podem, cada um, apresentar três cores (vermelho, verde e azul) e a cada partícula há uma antipartícula correspondente. Portanto, são no total 12 léptons e 36 quarks. E dois tipos de hádrons: os bárions, formados por três quarks e três antiquarks; e os mésons, constituídos por um quark e um antiquark. As combinações entre essas partículas formam tudo o que conhecemos (Moreira, 2009).

Sabemos que a carga elétrica de um quark pode ser de $+\frac{2}{3}e$ ou $-\frac{1}{3}e$, ou seja, ela é uma fração da carga de um elétron. Isso violaria a hipótese de que a carga elétrica é quantizada e, portanto, assume apenas valores múltiplos inteiros de e . Porém, nunca obteve-se um registro de um único quark isolado, eles estão sempre combinados no interior de hádrons de forma que a soma algébrica resulte em um múltiplo inteiro de e . Como exemplo, temos os prótons, que são formados por dois quarks *up* de carga $+\frac{2}{3}e$ e um *down* de carga $-\frac{1}{3}e$ (*uud*). Portanto, sua carga elétrica total é calculada através da soma algébrica descrita na equação (3):

$$+\frac{2}{3}e + \frac{2}{3}e - \frac{1}{3}e = +e \quad (3)$$

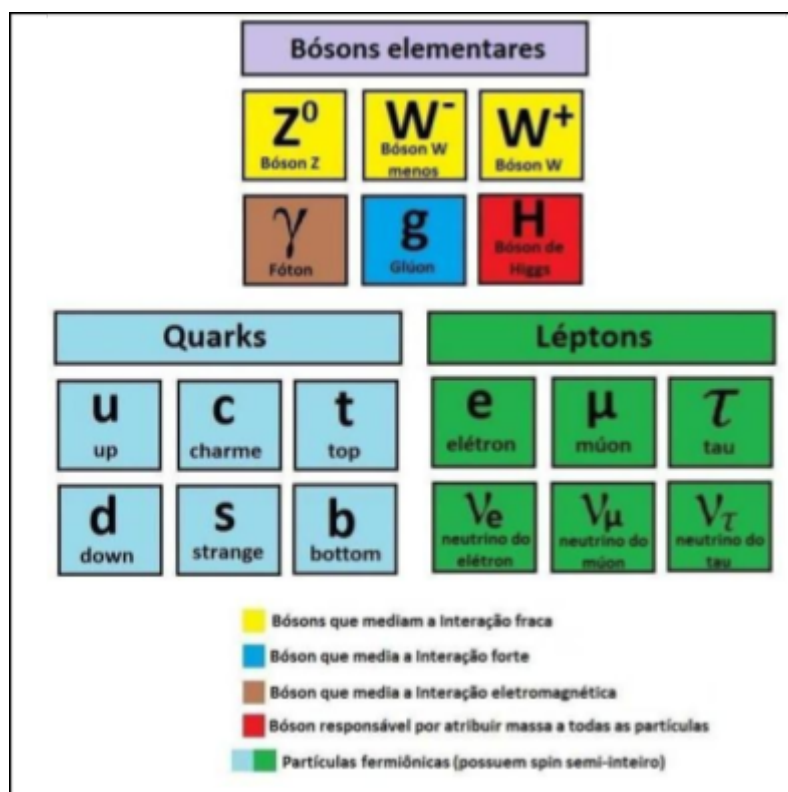
Seguindo esse raciocínio, os nêutrons devem ser compostos por uma combinação de um *up* e dois *down* (*udd*), que resulta em carga nula.

Além dos léptons, quarks e hádrons, há também os bósons. Dentre os bósons, há aqueles que mediam as forças fundamentais da natureza, são:

- Fóton (γ) : Mediador da força eletromagnética.
- Glúon (g): Mediador da força nuclear forte.
- Bósons W^+ , W^- e Z^0 : Mediadores da força nuclear fraca.
- Bóson de Higgs (H): Associado ao campo de Higgs, responsável por dar massa às partículas fundamentais.

Além dos bósons mediadores das forças, outras partículas como os mésons também são considerados bósons. No entanto, essas partículas não são fundamentais, pois são compostas de quarks.

Figura 7: Modelo padrão da Física de partículas



Fonte: Souza *et al.*, 2018, p.4.

Dentre todas essas partículas subatômicas, abordaremos mais detalhadamente o méson pi, que fornece a explicação para o questionamento inicial da estabilidade atômica. Para tanto, temos que primeiro compreender conceitos sobre o fóton e os processos que levaram à sua descoberta.

No final do século XIX, a termodinâmica possuía algumas questões em aberto, uma delas era sobre a radiação emitida por um corpo negro. Um corpo negro é um objeto hipotético que absorve toda a radiação eletromagnética que nele incide. Um corpo negro não reflete nem transmite nenhuma luz ou radiação; porém, emite

radiação, como todo e qualquer corpo a uma temperatura maior que 0 Kelvin (Mozena, 2003).

O problema enfrentado pelos cientistas da época é de que, as teorias da Física clássica até então previam que, à medida que o comprimento de onda da radiação diminuía, a energia emitida por um corpo negro deveria aumentar continuamente. O que significaria que para comprimentos de onda muito curtos (como o ultravioleta), a energia tenderia ao infinito, o que não era observado experimentalmente. Esse problema foi denominado como “catástrofe do ultravioleta” (Silva, 2015; Mozena, 2003).

Em 1900, o físico alemão Max Planck propôs como solução a teoria de que a energia da radiação era emitida em "pacotes", ou quanta, e não de maneira contínua como era previsto até então, e a quantidade de energia associada a cada quantum é proporcional à frequência da radiação, dada pela equação (4) (Dionisio, 2005; Caruso; Oguri, 2016):

$$E = hf \tag{4}$$

Na qual, E é a energia do quantum, h a constante de Planck ($6,626 \cdot 10^{-34}$ J.s) e f é a frequência da radiação.

Essa teoria foi parte da solução da “catástrofe do ultravioleta”, ao assumir que a energia emitida é quantizada e varia linearmente com a frequência da radiação. Dessa forma, para emitir radiação de frequências muito altas, é necessário uma quantidade também muito grande de energia. Esse foi o primeiro passo para a hipótese de que a luz não se comportava apenas como uma onda, mas também como partícula (Mozena, 2003; Dionisio, 2005).

Em 1905, Albert Einstein utilizou dos conceitos apresentados por Planck e propôs que a luz fosse composta por quanta de energia, mais tarde esses “pacotes” de luz receberam o nome de fótons (Dionisio, 2005).

A descoberta do fóton levou a uma reformulação da teoria eletromagnética de Maxwell, e se percebeu que a força entre duas cargas elétricas pode ser imaginada como sendo devida à troca, entre as partículas, de fótons emitidos por uma e absorvidas por outra (Hamburger, 1988).

Em 1935, o físico japonês Hideki Yukawa propôs a hipótese de que a força entre nêutrons e prótons no núcleo atômico pudesse ser originada da mesma forma que a força entre cargas magnéticas, ou seja, assim como existe uma partícula associada às forças eletromagnéticas (fóton), talvez tenha alguma partícula associada à força nuclear (Hamburger, 1988).

Para Yukawa, portanto, uma nova força na Natureza – a força forte – é que mantém os nucleons confinados no núcleo, força essa de curto alcance (10-15 m) e resultante da emissão e absorção de “elétrons pesados” (os mésons, com massa da ordem de $150 \text{ MeV}/c^2$), por parte dos nucleons. Por outro lado, em 1936, Anderson e Seth Henry Neddermeyer, ao fazerem fotografias de raios cósmicos em câmara de Wilson, descobriram novas partículas de massa intermediária entre a do elétron e a do próton, denominadas por eles de mésostrons. Em consequência, a grande questão que então surgiu foi a de saber se os mésostrons andersonianos eram os mésons yukawianos (Bassalo, 1990).

Em 1941, um grupo de cientistas determinou a massa da partícula detectada por Anderson e Seth; durante o mesmo ano, outro grupo determinou sua vida média (Bassalo, 1990). Em 1947, o curitibano César Lattes, que havia recentemente se graduado em Física pela Universidade de São Paulo em 1943, teve ciência dos resultados anteriores envolvendo a partícula e procurou produzi-la artificialmente em um sincrocíclotron, um tipo de acelerador de partículas. É então que em 1948, Lattes em conjunto com Eugene Gardner, produzem os primeiros mésons pi negativos e no ano seguinte produzem os mésons pi positivos, com a participação de John Burfening no grupo dos cientistas (Bassalo, 1990).

Figura 8: Trecho do artigo “A descoberta do brasileiro Cesar Lattes”.

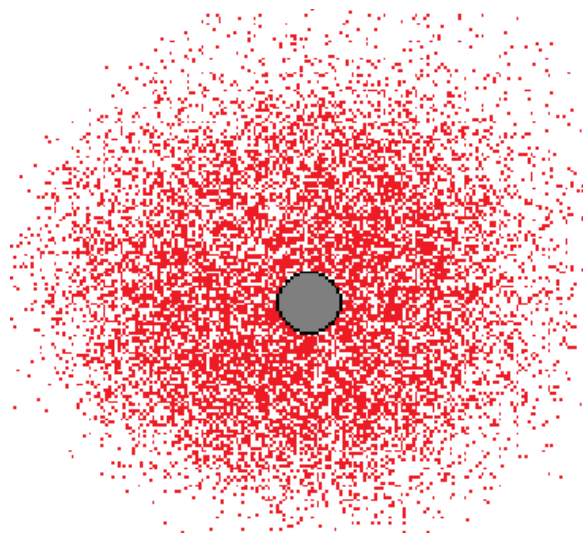


Fonte: Correio da Manhã, 21 de mar. de 1948, p.3

Por fim, com os avanços da Física de partículas e a descoberta de diversas novas partículas elementares, fez-se necessário a formulação de um novo modelo atômico, mais complexo e sofisticado, o modelo atômico quântico (Figura 9).

No modelo quântico, são integrados, além dos conceitos de quantum, os de; dualidade onda-partícula, no qual os elétrons em torno do núcleo podem se comportar tanto como onda, quanto como partícula; equação de Schrödinger, que descreve a função de onda associada às partículas; níveis e orbitais quânticos, que associa a probabilidade de encontrar um elétron em uma região tridimensional; princípio da incerteza, que dita não ser possível calcular com precisão a velocidade e o momento do elétron simultaneamente e; princípio da exclusão de Pauli, que define as possíveis combinações dos elétrons nos átomos de acordo com seus números quânticos, e spins (Aquino Júnior, 2013; Ramos, 2018; Almeida, 2024).

Figura 9: Representação esquemática do modelo atômico quântico.



Fonte: Próprio autor, 2024.

Aplicação do conhecimento:

É importante que nesta etapa os educandos reflitam sobre os avanços científicos modernos, e de que forma esses foram sendo moldados coletivamente, por diferentes grupos. Assim, serão formulados pontos de discussões importantes como:

- Como a descoberta das partículas elementares mudou nossa compreensão do universo?
- De que maneira a Física de partículas pode contribuir para o desenvolvimento de novas tecnologias e tratamentos médicos?
- O modelo atômico quântico pode ser substituído por outro futuramente? Por quê?

Será proposta uma roda de conversa entre os estudantes para explorarem as respostas indicadas para as perguntas acima.

6. CONCLUSÃO

Esse trabalho teve como objetivo principal desenvolver uma sequência didática para o ensino de Física de Partículas no Ensino Médio, integrando elementos da HFC. Especificamente, buscou-se analisar a importância da HFC no ensino de Ciências, introduzir conceitos fundamentais de partículas elementares e interações, e conectar esses conceitos a contextos históricos e filosóficos.

Os resultados descritos buscam, através da sequência didática baseada nos 3MP, proporcionar uma estrutura eficiente para engajar os alunos, começando pela problematização inicial, que tem potencial para instigar a análise de conhecimentos prévios. A etapa de organização do conhecimento permite uma exploração aprofundada e contextualizada dos temas de Física Moderna e Contemporânea, apresentando a ciência como uma construção histórica e colaborativa. Já a aplicação do conhecimento, incentiva a reflexão crítica dos alunos sobre o desenvolvimento científico e suas implicações sociais.

A proposta também visa desconstruir estereótipos sobre a ciência e os cientistas, destacando a ciência como um processo dinâmico, influenciado por contextos sociais e culturais. Além disso, contribui para uma educação mais inclusiva e representativa, aproximando os conteúdos da realidade dos alunos.

Em síntese, acredita-se que a futura aplicação desta sequência didática poderá contribuir significativamente para o engajamento dos alunos no estudo da Física, bem como para a formação de uma visão crítica sobre o desenvolvimento científico e suas implicações sociais.

Por fim, este trabalho contribuiu de forma ampla em minha formação acadêmica, ampliando minha compreensão sobre o ensino de Física e sobre a importância de contextualizar o ensino científico de forma crítica. Além de reforçar meu compromisso com uma abordagem de ensino que valorize o pensamento crítico no desenvolvimento do conhecimento científico, entendendo esse como essencial para a formação de cidadãos capazes de refletir sobre o papel da ciência na sociedade atual.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A descoberta do brasileiro Cesar Lattes, **Correio da manhã**, Rio de Janeiro, edição B16873, 21 mar. 1948, p.3. Disponível em: https://memoria.bn.gov.br/docreader/DocReader.aspx?bib=089842_05&pagfis=40648. Acesso em: 08 jun. 2024.

ALBUQUERQUE, K. B.; SANTOS, P. J. S. DOS; FERREIRA, G. K. Os Três Momentos Pedagógicos como metodologia para o ensino de Óptica no Ensino Médio: o que é necessário para enxergarmos? **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [S.L.], v. 32, n. 2, p. 461, 17 mar. 2015. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2015v32n2p461>. Acesso em: 20 nov. 2023.

ALMEIDA, E. S. Teoria atômica grega. **Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo**, v. 5, n. 2, p. 53-59, 1983. Disponível em: <https://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/vol05a15.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2024.

ALMEIDA, G. B.; LIMA, Luciana de. A presença do modelo atômico atual nos livros didáticos aprovados no pnd de 2021. **Docentes**, Ceará, v. 9, n. 31, p. 39-51, ago. 2024. Disponível em: <https://revistadocentes.seduc.ce.gov.br/revistadocentes/article/view/731>. Acesso em: 02 set. 2024.

ALVES, M. F. S.; ALANIS, D.; COSTA, L. G. **Um mapa conceitual sobre a evolução do conceito do átomo: uma introdução à Física de partículas elementares para o Ensino Médio**. II Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia. Ponta Grossa/PR: [s. n.], 2010. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/228784923> Um mapa conceitual sobre a evolucao do conceito do atomo uma introducao a Fisica de particulas elem e ntares para o Ensino Medio. Acesso em: 19 abr. 2024.

AQUINO JUNIOR, J. L. M. **Modelo atômico quântico: uma alternativa para a introdução no ensino médio**. 2013. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ensino de Ciências Naturais, Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2013. Disponível em: <https://ri.ufmt.br/handle/1/1867>. Acesso em: 09 ago. 2024.

ARANTES, J. T. As danças do núcleo atômico. **Pesquisa FAPESP**, [s. l.], n. 64, p. 28–35, 2001. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/as-dancas-do-nucleo-atomico/>. Acesso em: 19 abr. 2024.

ARAÚJO, L. B. de. **Os três momentos pedagógicos como estruturantes de currículos**. 2015. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015. Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/6692>. Acesso em 12 nov. 2023.

ARRUDA, R. S.; AZEVEDO, M. A. R.; BASSO, L. P. O Não Lugar Da Física Moderna na BNCC: a construção de redes temáticas e a interdisciplinaridade. **Revista Prática Docente**, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 1-23, 4 fev. 2022.

<http://dx.doi.org/10.23926/rpd.2022.v7.n1.e011.id1356>. Acesso em: 12 nov. 2023.

BANHEZA, T. G.; JARDIM, M. I. A. **Física de partículas elementares no ensino médio**. X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – X ENPEC. Águas de Lindoia/SP: [s. n.], 2015. Disponível em: <https://www.abrapec.com/enpec/x-enpec/anais2015/resumos/R1135-1.PDF>. Acesso em: 20 abr. 2024.

BASSALO, J. M. F. César Lattes: um dos descobridores do então Méson Pi. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 133–148, 1990. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/9799>. Acesso em: 15 jul. 2024.

BRASIL. Ministério da Educação: Secretaria de Educação Básica. **Base Nacional Comum Curricular (BNCC)**. Brasília, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>. Acesso em: 20 nov. 2023.

BRASIL. Ministério da Educação: Secretaria de Educação Básica. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio: Ciências da natureza e suas tecnologias**. Volume 2. Brasília, 2006. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/component/tags/tag/pcnem>. Acesso em: 09 jan. 2024.

BRUGLIATO, E. T.; ALMEIDA, M. J. P. M. Leitura e mediação em aulas de Física do ensino médio: Um estudo sobre o experimento de Rutherford. **Experiências em Ensino de Ciências**, [s. l.], v. 12, n. 5, p. 223–241, 2017. Disponível em: <https://fisica.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/649/619>. Acesso em: 20 nov. 2023.

BRUSH, S. G. History of science and science education. **Interchange**, [S.L.], v. 20, n. 2, p. 60-70, Jun. 1989. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/bf01807048>. Acesso em: 20 nov. 2023.

CARUSO, F.; OGURI, V. **Física Moderna: origens clássicas e fundamentos quânticos**. 2ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

CARUSO, F.; OGURI, V. A Eterna Busca do Indivisível: do Átomo Filosófico aos Quarks e Léptons. **Química Nova**, [s. l.], v. 20, n. 3, p. 324–334, 1997. <https://doi.org/10.1590/S0100-40421997000300015>. Acesso em 20 nov 2023.

CHANG, Raymond. **Chemistry**. 5. ed. New York: McGraw Hill, 1993.

DELIZOICOV, D. Ensino de Física e a concepção freireana de educação. **Revista de Ensino de Física**, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 85-98, 1983. Disponível em: <https://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/vol05a19.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2023.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. P. **Física**. São Paulo: Cortez, 1990a.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. P. **Metodologia do ensino de ciências**. São Paulo: Cortez, 1990b.

DIONISIO, P. H. Albert Einstein e a Física quântica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [s. l.], v. 22, n. 2, p. 147–164, 2005. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6382> Acesso em: 20 jun. 2024.

DOMINGUINI, L. Física Moderna no Ensino Médio: com a palavra os autores dos livros didáticos do PNLEM. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [s. l.], v. 34, n. 2, 2012. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172012000200013&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 9 jun. 2024.

FERREIRA, L. M. **Atomismo: Um Resgate Histórico Para O Ensino De Química**. 2013. 172 f. - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/103484>. Acesso em: 20 abr. 2024.

FORATO, T. C. D. M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. D. A. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [s. l.], v. 28, n. 1, p. 27–59, 2011. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2011v28n1p27>. Acesso em: 22 abr. 2024.

FRANCO, D. L. A Importância Da Sequência Didática Como Metodologia No Ensino Da Disciplina De Física Moderna No Ensino Médio. **Revista Triângulo**, [s. l.], v. 11, n. 1, 2018. Disponível em: <http://seer.uftm.edu.br/revistaeletronica/index.php/revistatriangulo/article/view/2664>. Acesso em: 22 mai. 2024.

FREITAS, B. F. D. S. **Análise de um plano de ensino sobre Física de partículas no ensino médio**. 2018. Mestrado em Ensino de Física - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/81/81131/tde-07072017-144515/>. Acesso em: 14 jul. 2024.

FRIEDMAN, M. History and Philosophy of Science in a New Key. **Isis**, [S.L.], v. 99, n. 1, p. 125-134, mar. 2008. University of Chicago Press. <http://dx.doi.org/10.1086/587537>. Disponível em: <https://doi.org/10.1086/587537>. Acesso em: 15 maio 2024.

GARRITZ, A. Naturaleza de la ciencia e indagación: cuestiones fundamentales para la educación científica del ciudadano. **Revista Iberoamericana de Educación**, [S.L.], v. 42, p. 127-152, set. 2006. Disponível em: <https://rieoei.org/RIE/article/view/765>. Acesso em: 20 nov 2023.

GOMES, R. V.; LORENZETTI, L.; APARECIDA, J. Descolonizando a educação científica: reflexões e estratégias para a utilização da história da ciência e tecnologia e sociedade em uma abordagem decolonial. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 15, n. 2, p. 437–450, 17 dez. 2022. <https://doi.org/10.53727/rbhc.v15i2.809>. Acesso em: 22 nov 2023.

GOODAY, G.; LYNCH, J. M.; WILSON, K. G.; BARSKY, C. K.. Does Science

Education Need the History of Science? *Isis*, [S.L.], v. 99, n. 2, p. 322-330, jun. 2008. **University of Chicago Press**. <http://dx.doi.org/10.1086/588690>. Acesso em: 15 nov. 2023.

GUARNIERI, P. V.; LEITE, M. R. V.; CORTELA, B. S. C.; GATTI, S. R. T. História e filosofia da ciência na educação básica: reflexões a partir da base nacional comum curricular. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, [S.L.], v. 14, n. 2, p. 331-356, 16 nov. 2021. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). <http://dx.doi.org/10.5007/1982-5153.2021.e76590>. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/alexandria/article/view/76590>. Acesso em: 11 nov. 2023.

HAMBURGER, E. W. **40 anos de méson pi**. Trabalho apresentado em mesa redonda na reunião anual da SBPC. São Paulo: [s. n.], 1988. Disponível em: <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/20/050/20050747.pdf#page=6.33>. Acesso em: 1 set. 2024.

HÜLSENDEGER, M. J. V. C. A História da Ciência no ensino da Termodinâmica: um outro olhar sobre o ensino de Física. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 9, p. 222–237, dez. 2007. <https://doi.org/10.1590/1983-21172007090205>. Acesso em 11 nov. 2023.

KANE, G. The Dawn of physics beyond the standard model. **Scientific American**, [s. l.], v. 288, n. 6, p. 68–75, 2003. DOI:10.1038/scientificamerican0206-4sp. Acesso em: 22 nov. 2023.

KATO, D. S. **O significado pedagógico da contextualização para o ensino de ciências**: análise dos documentos curriculares oficiais e de professores. 2007. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002262329>. Acesso em: 03 abr. 2026.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. 12. ed. São Paulo: Perspectiva, 1962.

LÔBO, Í. M.; SILVA, B. H. F.; PEREIRA, J. A.; SILVANY, M. A.; ANDRADE FILHO, M. A. S.. Metodologia Ativa: Aprendizagem Baseada Em Problemas: Uma Revisão De Literatura. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, [S. l.], v. 10, n. 5, p. 116–124, 2024. DOI: 10.51891/rease.v10i5.13820. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/13820>. Acesso em: 5 set. 2023.

LORENZETTI, C. S.; RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. D. Q. Mágico-vitalismo, alquimia e outras visões de mundo: um breve estudo histórico sobre concepções de matéria até o século XVI. **ACTIO: Docência em Ciências**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 1, 2024. [10.3895/actio.v9n1.17289](https://doi.org/10.3895/actio.v9n1.17289). Acesso em: 1 set. 2024.

MAGALHÃES, G.. Por uma dialética das controvérsias: o fim do modelo positivista na história das ciências. , [S.L.], v. 32, n. 94, p. 345-361, dez. 2018. **FapUNIFESP**. <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142018.3294.0022>. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/ea/a/msgB4Zgtj7YSB9rN7RMzgFD/>. Acesso em: 15 nov. 2023.

MAIA, M. C. **Uma abordagem do modelo padrão da Física de partículas acessível a alunos do ensino médio**. 2011. 70 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/1452>. Acesso em: 15 nov. 2023.

MARCHESI, M. Q.; CUSTODIO, R. Evolução histórica dos modelos atômicos. **Revista Chemkeys**, [s. l.], v. 5, p. e023003, 2023. <https://doi.org/10.20396/chemkeys.v5i00.18418>. Acesso em: 4 dez. 2023.

MARTINS, A. F. P. História e Filosofia da Ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Rio Grande do Norte, v. 24, n. 1, p. 112-131, abr. 2007. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/Física/article/view/6056>. Acesso em: 01 dez. 2023.

MELO, A. P.; ROCHA, D. C. Reflexões sobre a importância da História e Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências. **Revista Espaço Acadêmico**, [s. l.], v. 192, p. 69–77, 2017. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/EspacoAcademico/article/view/33078>. Acesso em: 8 dez. 2023.

MELO, W.; HOSOUME, Y. **O jornal em sala de aula: uma proposta de utilização**. Curitiba: [s. n.], 2023.

MOREIRA, M. A. O Modelo Padrão da Física de Partículas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [s. l.], v. 31, n. 1, p. 1306.1-1306.11, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172009000100006>. Acesso em: 17 dez. 2023.

MOZENA, E. R. **A solução de Planck para o problema da radiação do corpo negro (PRCN) e o ensino de Física quântica**. 2003. 144 f. Dissertação de mestrado - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/81/81131/tde-23072021-171123/publico/2003Mozena.pdf>. Acesso em: 15 maio 2024.

MUENCHEN, C. **A Disseminação Dos Três Momentos Pedagógicos**: um estudo sobre práticas docentes na região de Santa Maria/rs. 2010. 273 f. Tese (Doutorado) - Curso de Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/93822>. Acesso em: 12 nov. 2023.

NEUBERT, P. DA S.; RODRIGUES, R. S.; MUGNAINI, R. A9: Vai para onde? O destino da Ciência Latino-Americana e Caribenha. **Informação & Sociedade: Estudos**, v. 30, n. 4, p. 1–21, 22 fev. 2021. <https://doi.org/10.22478/ufpb.1809->

4783.2020v30n4.57794. Acesso em: 19 dez. 2023.

NEVES, D. R. M. D. *et al.* Uma proposta de baixo custo para experimentos com raios catódicos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [s. l.], v. 36, n. 1, p. 256–286, 2019. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2019v36n1p256>. Acesso em: 23 nov. 2023.

NOVAIS, V. L. D. de.; ANTUNES, M. T. Vivá: **Química**. Vol.1, Curitiba: Positivo, 2016.

OKI, M. D. C. M. Controvérsias sobre o atomismo no século XIX. **Química Nova**, [s. l.], v. 32, n. 4, p. 1072–1082, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000400043>. Acesso em: 13 ago. 2024.

OLIVEIRA, F. F.; VIANNA, D. M.; GERBASSI, R. S. Física Moderna no ensino médio: o que dizem os professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.L.], v. 29, n. 3, p. 447-454, 2007. **FapUNIFESP**. <http://dx.doi.org/10.1590/s1806-11172007000300016>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/rh5x6dG35fJrV87r99L5PmK/>. Acesso em: 02 nov. 2023.

OLIVEIRA, N. A. C. O.; CARVALHO NETO, J. T. **A História Da Ciência E O Ensino De Física: O Que Indicam As Produções**. Belo Horizonte: [s. n.], 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/366001209_A_HISTORIA_DA_CIENCIA_E_O_ENSINO_DE_FISICA_O_QUE_INDICAM_AS_PRODUCOES. Acesso em: 7 abr. 2024.

OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. de H. **Física Moderna e contemporânea no ensino médio**: elaboração de material didático, em forma de pôster, sobre partículas elementares e interações fundamentais. [s. l.], v. 16, n. 3, p. 267–286, 1999. <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6795>. Acesso em: 06 jun. 2024.

OSTERMANN, F.; FERREIRA, L. M.; CAVALCANTI, C. J. H. Tópicos de Física contemporânea no ensino médio: Um texto para professores sobre supercondutividade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [s. l.], v. 20, n. 3, p. 270–288, 1998. <http://hdl.handle.net/10183/116764>. Acesso em: 28 jun. 2024.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Tópicos de Física Contemporânea na escola média brasileira: um estudo com a técnica Delphi. In: **Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, 6., 1998. Atas. Florianópolis: Imprensa UFSC, 19p.

PAULO NETO, J. G.; OLIVEIRA, A. N. D.; SIQUEIRA, M. C. Ensino de Física Moderna e contemporânea no Ensino Médio: o que pensam os envolvidos?. **ScientiaTec**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 65–89, 2019. <https://doi.org/10.35819/scientiatec.v6i1.3204>. Acesso em 20 nov. 2023.

PEAKE, B. M. The discovery of the electron, proton, and neutron. **Journal of Chemical Education**, [s. l.], v. 66, n. 9, p. 738, 1989. Disponível em: <https://www.chemteam.info/AtomicStructure/Discovery-ProNeuElec.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2023.

PEDUZZI, L. O. Q. **Do átomo grego ao átomo de Bohr**. Publicação interna.

Florianópolis: Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, 2008, 204p.
https://www.if.ufrgs.br/~lang/Textos/Textos_Peduzzi/Atomo_grego_Bohr.pdf. Acesso em: 19 abr. 2024.

PEDUZZI, L. O. Q. **Do próton de Rutherford aos quarks de Gell-Mann, Nambu...** Publicação interna. Florianópolis: Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, 2010, 104p. Disponível em: https://www.if.ufrgs.br/~lang/Textos/Textos_Peduzzi/Rutherford_Gell-Mann.pdf. Acesso em: 18 ago. 2024.

PEREIRA, F. C. UMA BREVE HISTÓRIA DA FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA. **Professare**, [s.l.], v. 4, n. 3, p. 177–188, 2016. <https://doi.org/10.33362/professare.v4i3.734>. Disponível em: <https://periodicos.uniarp.edu.br/index.php/professare/article/view/734> Acesso em: 17 set 2023.

PEREIRA, L. D. S.; SILVA, J. L. D. P. B. Uma História do Antiatomismo: Possibilidades para o Ensino de Química. **Química Nova na Escola**, [s. l.], 2018. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc40_1/05-HQ-28-17.pdf. Acesso em: 2 set. 2024.

RAMOS, L. C. **OS CONCEITOS DE QUANTUM DE UMA GRANDEZA E DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA NO ENSINO DO MODELO ATÔMICO**. 2018. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ensino, Filosofia e História das Ciências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/26176>. Acesso em: 21 jul. 2024.

RIBEIRO, G.; SILVA, J. L. J. C. A imagem do cientista: impacto de uma intervenção pedagógica focalizada na história da ciência. **Investigações em Ensino de Ciências**, [S.L.], v. 23, n. 2, p. 130, 30 ago. 2018. <http://dx.doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2018v23n2p130>. Disponível em: <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/999>. Acesso em: 20 nov. 2023.

RICARDO, E. C.; FREIRE, J. C. A. A concepção dos alunos sobre a Física do ensino médio: um estudo exploratório. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [s. l.], v. 29, n. 2, p. 251–266, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172007000200010>. Acesso em: 05 ago. 2024.

RODRIGUES, E. V.; ZIMMERMANN, E.; HARTMANN, Â. M. Lei da gravitação universal e os satélites: uma abordagem histórico-temática usando multimídia. **Ciência & Educação (Bauru)**, [s. l.], v. 18, n. 3, p. 503–525, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1516-73132012000300002>. Acesso em: 17 jan. 2024.

ROUXINOL, E.; PIETROCOLA, M. **Contribuições da História da Ciência no Brasil para o Ensino de Física: Lattes e o Méson Pi**. Jaboticatubas, MG: [s. n.], 2004. Disponível em: https://sites.usp.br/nupic/wp-content/uploads/sites/293/2016/05/Estevam_Contribuicoes_da_Historia_da_Ciencia_no_Brasil_para_o_Ensino_de_Fisica.pdf. Acesso em: 10 abr. 2024.

SANTOS, A. V.; BAIARDI, A.. *Cultura Científica, Seu Papel No Desenvolvimento Da*

Ciência E Da Atividade Inovativa E Seu Fomento Na Periferia Da Ciência. In:

Encontro De Estudos Multidisciplinares Em Cultura, 3., 2007, Salvador: Faculdade de Comunicação/Ufba, 2007. p. 1-14. Disponível em: <http://cult.ufba.br/enecult2007/AlexVieiradosSantosAmilcarBaiardi.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2023.

SCHIRMER, S. B.; SAUERWEIN, I. P. S. Recursos Didáticos e História e Filosofia da Ciência em sala de aula: uma análise em periódicos de ensino nacionais. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, [s. l.], v. 14, n. 3, p. 061–077, 2014. <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4293>. Acesso em: 4 nov. 2024.

SILVA, C. P.; FIGUEIRÔA, S. F. M.; NEWERLA, V. B.; MENDES, M. I. P. Subsídios para o uso da História das Ciências no ensino: exemplos extraídos das geociências. **Ciência & Educação** (Bauru), [S.L.], v. 14, n. 3, p. 497-517, 2008. FapUNIFESP. <http://dx.doi.org/10.1590/s1516-73132008000300009>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ciedu/a/h8SpWTgmpxZDQrgCCPjn5NF/?lang=pt>. Acesso em: 10 nov. 2023.

SILVA, C. O. D.; NATTI, P. L. Modelo de quarks e sistemas multiquarks. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [s. l.], v. 29, n. 2, p. 175–187, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172007000200002>. Acesso em: 29 ago. 2024.

SILVA, G. R. História da Ciência e experimentação: perspectivas de uma abordagem para os anos iniciais do Ensino Fundamental. **Revista Brasileira de História da Ciência**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 121–132, 2013. Disponível em: https://www.sbh.org.br/arquivo/download?ID_ARQUIVO=1005. Acesso em: 28 fev. 2024.

SILVA, I. Uma nova luz sobre o conceito de fóton: Para além de imagens esquizofrênicas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [s. l.], v. 37, n. 4, p. 4204-4211, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/smz83BybLjipJbB8hncSBQx/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 25 ago. 2024.

SILVA, Joseli Maria; CHIMIN JUNIOR, Alides Baptista; NABOZNY, Almir; ORNAT, Marcio Jose; ROSSI, Rodrigo. Algumas reflexões sobre a lógica eurocêntrica da ciência geográfica e sua subversão com a emergência de saberes não hegemônicos. **Geo Uerj**, [S.L.], v. 1, n. 19, p. 1-16, 8 ago. 2009. Universidade de Estado do Rio de Janeiro. <http://dx.doi.org/10.12957/geouerj.2009.1402>. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/geouerj/article/view/1402>. Acesso em: 15 jan. 2024.

SILVA, L. C. M. D.; SANTOS, W. M. S.; DIAS, P. M. C. A carga específica do elétron: um enfoque histórico e experimental. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [s. l.], v. 33, n. 1, 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172011000100023&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 2 set. 2024.

SILVA, J. R.; ARENGHI, L. E. B.; LINO, A. Porque inserir Física Moderna e contemporânea no ensino médio? Uma revisão das justificativas dos trabalhos acadêmicos. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, [s. l.], v. 6, n.

1, 2013. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect/article/view/1170>. Acesso em: 15 jun. 2024.

SIQUEIRA, M. R. P; PIETROCOLA, M. **A Transposição Didática Aplicada A Teoria Contemporânea: A Física De Partículas Elementares No Ensino Médio**. Londrina, PR: [s. n.], 2006. Disponível em: https://www.hu.usp.br/wp-content/uploads/sites/293/2016/05/Maxwell_A_TRANSPO_SICAO_DIDATICA_APLICADA.pdf. Acesso em: 14 maio 2024.

SIQUEIRA, M. R. P. **Do Visível Ao Indivisível: Uma Proposta De Física De Partículas Elementares Para O Ensino Médio**. 2006. 257 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <http://www.sef.usp.br/wp-content/uploads/sites/293/2016/05/DissertMAXWELL.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2023.

SOUZA, M. A. M.; NASCIMENTO, A. C. S., COSTA, D. F.; FERREIRA, O. Jogo de Física de partículas: Descobrimo o bóson de Higgs. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [s. l.], v. 41, n. 2, 2018. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2018-0124>. Acesso em: 4 set. 2024

TEIXEIRA, Elder Sales; FREIRE JUNIOR, Olival; EL-HANI, Charbel Niño. A influência de uma abordagem contextual sobre as concepções acerca da natureza da ciência de estudantes de Física. **Ciência & Educação (Bauru)**, [S.L.], v. 15, n. 3, p. 529-556, 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1516-73132009000300006>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ciedu/a/C7wGtBhyrdTRtZWLZGwZ8Ym/?lang=pt>. Acesso em: 27 jan. 2024.

VIDAL, P. H. O.; PORTO, P. A. A história da ciência nos livros didáticos de química do PNLEM 2007. **Ciência & Educação**, [s. l.], v. 18, n. 2, p. 291–308, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1516-73132012000200004>. Acesso em: 12 mar. 2024.

VITAL, A.; GUERRA, A. Os Sentidos Que Os Estudantes Atribuem Ao Ensino De Física E À Sua Abordagem Histórica. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 23, n. 1, p. 130–154, 30 abr. 2018. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2018v23n1p130>. Acesso em: 26 nov. 2023.

WEINGART, S B. Finding the History and Philosophy of Science. **Erkenntnis**, 80, 201-213. 2015. <https://doi.org/10.1007/S10670-014-9621-1>. Acesso em: 26 abr. 2024.

ZABALA, A. **A prática educativa: como ensinar**. Porto Alegre: Artmed, 1998.