



**UNIVERSIDADE REGIONAL DO CARIRI – URCA**  
**CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE FÍSICA**  
**MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**  
**POLO 31**

**JOSÉ EDUARDO MELO DOS SANTOS**

**FÍSICA DE PARTÍCULAS: EXPLORANDO O UNIVERSO SUBATÔMICO POR  
MEIO DE JOGOS NA PERSPECTIVA DE VYGOTSKY EM UMA ESCOLA DO  
ENSINO MÉDIO NA CIDADE DE GRANJEIRO-CE**

**JUAZEIRO DE NORTE – CE**

**2024**

JOSÉ EDUARDO MELO DOS SANTOS

FÍSICA DE PARTÍCULAS: EXPLORANDO O UNIVERSO SUBATÔMICO POR MEIO  
DE JOGOS NA PERSPECTIVA DE VYGOTSKY EM UMA ESCOLA DO ENSINO MÉDIO  
NA CIDADE DE GRANJEIRO-CE

Dissertação apresentada ao Polo 31 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Regional do Cariri como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Ensino de Física

**Orientador:** José Arcenio dos Santos  
Lourenço

**Coorientador:** Job Saraiva Furtado Neto

**JUAZEIRO DO NORTE – CE**

**2024**

## **FICHA CATALOGRAFICA**

JOSÉ EDUARDO MELO DOS SANTOS

FÍSICA DE PARTÍCULAS: EXPLORANDO O UNIVERSO SUBATÔMICO POR MEIO  
DE JOGOS NA PERSPECTIVA DE VYGOTSKY EM UMA ESCOLA DO ENSINO MÉDIO  
NA CIDADE DE GRANJEIRO-CE

Dissertação apresentada ao Polo 31 do  
Programa de Mestrado Nacional Profissional  
em Ensino de Física da Universidade Regional  
do Cariri como requisito parcial à obtenção do  
título de Mestre em Ensino de Física. Área de  
concentração: Ensino de Física

Aprovada em 20 de dezembro de 2024.

BANCA EXAMINADORA

---

Dr. José Arcenio dos Santos Lourenço - Orientador  
Universidade regional do Cariri – URCA

---

Dr. Jamil Saade  
Universidade regional do Cariri – URCA

---

Dr. Francisco de Assis de Brito  
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

Dedico aos meus pais, pelo incentivo constante e pelo exemplo de dedicação e resiliência que sempre me inspiraram.

Dedico este trabalho a mim mesmo, pela coragem de enfrentar os desafios, pela resiliência diante das dificuldades e pelo compromisso em buscar sempre o melhor. Este percurso foi repleto de aprendizados, e cada passo dado representa o esforço e a determinação que me trouxeram até aqui. Que esta conquista seja um lembrete do meu potencial e da minha capacidade de superar limites.

Que este trabalho possa contribuir para o desenvolvimento de uma educação mais significativa e transformadora.

## AGRADECIMENTOS

A meus pais, Francisca Melo e José Batista, pelo apoio incondicional e compreensão em todos os momentos, especialmente nos dias mais desafiadores. Vocês são minha base e minha inspiração.

À minha amada Luana Ferreira, pelo apoio, paciência e compreensão ao longo desta jornada. Sua presença fez toda a diferença nos momentos de desafios e conquistas. Sou grato por cada conversa, por cada palavra de motivação e por estar sempre ao meu lado.

Aos meus irmãos Maria, Danielle, Lucas e Caio, por terem tornado a caminhada mais leve e pelas brincadeiras constantes que me faz ver o real sentido da vida.

Aos meus orientadores Dr. Arcenio Lourenço e Job Furtado, pela paciência, orientação e compartilhamento de conhecimento, que foram essenciais para a realização deste trabalho.

Aos meus amigos e colegas, Claudio Reinke, Marcelo, Elayne, Cleydson e Clemilson, pela parceria, palavras de incentivo e pelas conversas que trouxeram leveza e motivação ao longo do caminho. Em especial a minha amiga de longa data, Keli Ferreira, por ser minha parceira de estudos. Sou grato por cada palavra de encorajamento e pela confiança depositada em mim durante todo esse processo.

O presente trabalho foi realizado com apoio a da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior (CAPES) – código do financiamento 001.

Por fim, agradeço a mim mesmo, pela determinação, esforço e perseverança que me permitiram transformar sonhos em realidade. Cada etapa desta caminhada foi um aprendizado valioso, e sou grato por ter dado o meu melhor.

## RESUMO

Esta pesquisa investiga a aprendizagem sobre Física de Partículas (FP) por meio de jogos educativos na perspectiva da Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) de Vygotsky. O estudo parte da necessidade de tornar a FP acessível aos alunos, contextualizando sua importância na compreensão do Universo e explorando estratégias didáticas que favoreçam a construção ativa do conhecimento. O objetivo geral dessa pesquisa é investigar a aprendizagem sobre física das partículas usando jogos na perspectiva da ZDP, explorando a interação social dos alunos a partir da troca de conhecimento deles adquiridos a cada vivência em sala de aula. Para alcançar esse objetivo, foi construída e aplicada uma Sequência de Ensino sobre FP, destinada a introduzir os principais conceitos dessa área de forma acessível aos alunos do Ensino Médio através de jogos. A pesquisa adotou uma Sequência de Ensino estruturada em atividades lúdicas, promovendo desafios progressivos para estimular o aprendizado colaborativo. Trata-se de uma pesquisa qualitativa na qual a Sequência de Ensino foi aplicada na Escola EEMTI Miguel Saraiva Pinheiro em Granjeiro-Ce. A aplicação ocorreu conforme planejado, e os resultados indicam que o uso dos jogos facilitou a assimilação dos conceitos, favorecendo o engajamento e a participação ativa dos alunos. Houve avanço na compreensão do Modelo Padrão da Física de Partículas (MPFP), com os estudantes demonstrando maior interesse e capacidade de relacionar os temas abordados ao conhecimento científico mais amplo. O estudo reforça a eficácia dos jogos no ensino de conceitos abstratos e sugere seu potencial como recurso didático na educação básica.

**Palavras chaves:** Jogos educativos; Ensino de Física; Vygotsky; Modelo Padrão das Partículas;

## ABSTRACT

This research investigates the learning of Particle Physics (PF) through educational games from the perspective of Vygotsky's Zone of Proximal Development (ZPD) in a high school class at a public school in Granjeiro-CE. The study is based on the need to make PF accessible to students, contextualizing its importance in understanding the Universe and exploring teaching strategies that favor the active construction of knowledge. The general objective of this research is to investigate the learning of particle physics using games from the perspective of the ZPD, exploring the social interaction of students based on the exchange of knowledge acquired by them in each classroom experience. To achieve this objective, a Teaching Sequence on PF was constructed and implemented, aimed at introducing the main concepts of this area in an accessible way to high school students through games. The search adopted a Teaching Sequence structured in playful activities, promoting progressive challenges to stimulate collaborative learning. This is a qualitative study in which the Teaching Sequence was applied at the EEMTI Miguel Saraiva Pinheiro School in Granjeiro-Ce. The application occurred as planned, and the results indicate that the use of games facilitated the assimilation of concepts, favoring the engagement and active participation of students. There was progress in the understanding of the Standard Model of Particle Physics (MPFP), with students demonstrating greater interest and ability to relate the topics covered to broader scientific knowledge. The study reinforces the effectiveness of games in teaching abstract concepts and suggests their potential as a didactic resource in basic education.

Keywords: Educational games; Physics teaching; Vygotsky; Standard Model of particles;

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

EF	Ensino de Física
FMC	Física Moderna e Contemporânea
FP	Física de Partículas
MP	Modelo Padrão
MPFP	Modelo Padrão de Física das Partículas
ZDP	Zona de Desenvolvimento Proximal

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 :</b> O átomo de Dalton – modelo da bola de bilhar. ....	24
<b>Figura 2:</b> O átomo de Thomson – modelo do pudim de passas. ....	25
<b>Figura 3:</b> O átomo de Rutherford – modelo planetário .....	25
<b>Figura 4:</b> Emissão de um fóton numa transição de estado inicial E1 para um estado final E2 em um átomo de Bohr.....	27
<b>Figura 5:</b> Modelo Padrão das Partículas elementares .....	28
<b>Figura 6:</b> Sistema de coordenadas XY (em azul) em rotação .....	30
<b>Figura 7:</b> SU(3): tripletos de quarks e antiquarks com os respectivos números quânticos de hipercarga Y e projeção de isospin I .....	37
<b>Figura 8:</b> Piquenique realizado com os alunos e jogo de perguntas e respostas.....	59
<b>Figura 9:</b> Jogo da memória. a) Distribuição do jogo da memória. b) Aplicação do jogo da memória.....	60
<b>Figura 10:</b> Experimento 4 forças fundamentais. a) Força magnética, b) força elétrica, c) força nuclear.....	63
<b>Figura 11:</b> Explicação caça ao tesouro.....	68
<b>Figura 12:</b> Jogo mestre nuclear.....	70
<b>Figura 13:</b> Jogando o jogo Quantum Quest: o desafio das partículas.....	72
<b>Figura 14:</b> Jogo impresso.....	73
<b>Figura 15:</b> Tabuleiro Quantum Quest.....	96
<b>Figura 16:</b> Cartas do jogo, quarks, léptons e bósons respectivamente. ....	97
<b>Figura 17:</b> carta próton/elétron.....	98
<b>Figura 18:</b> Casa do tabuleiro referente ao laboratório de radiação .....	99
<b>Figura 19:</b> Acelerador de partículas .....	99

## **LISTA DE TABELA**

<b>Tabela 1:</b> Cronograma das atividades a serem desenvolvidas.....	78
---	----

## SUMÁRIO

<b>CAPITULO 1</b> .....	<b>13</b>
1 INTRODUÇÃO .....	<b>13</b>
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>22</b>
2. DA HIPÓTESE ATÔMICA AO MODELO PADRÃO DAS PARTÍCULAS ELEMENTARES.....	<b>22</b>
2.1 MODELOS ATÔMICOS .....	22
2.2 MODELO PADRÃO DAS PARTÍCULAS.....	27
2.3 TEORIA DE GRUPOS E O PAPEL DAS SIMETRIAS EM FÍSICA .....	29
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>41</b>
3. A TEORIA SOCIOCULTURAL DE VYGOTSKY.....	<b>41</b>
3.1 O PAPEL DA LINGUAGEM NO PROCESSO DE FORMAÇÃO DOS CONCEITOS.....	43
3.2 O DESENVOLVIMENTO DOS CONHECIMENTOS CIENTÍFICOS .....	44
3.3 O PAPEL DO PROFESSOR NA FORMAÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO .....	47
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>50</b>
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	<b>50</b>
4.1 O CONTEXTO DA PESQUISA: VIVÊNCIA NA ESCOLA. ....	50
4.2 SEQUÊNCIA DE ENSINO SOBRE FP .....	51
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>57</b>
<b>5. RESULTADOS</b> .....	<b>57</b>
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>73</b>
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>73</b>
<b>7. REFERÊNCIAS</b> .....	<b>75</b>
<b>8. CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO</b> .....	<b>78</b>
<b>APÊNDICE A</b> .....	<b>79</b>
<b>APENDICE B</b> .....	<b>100</b>

## CAPITULO 1

### 1 INTRODUÇÃO

Este estudo teve origem em uma frustração pessoal ocorrida durante o Ensino Médio. Em uma aula sobre estudo do átomo e cargas elétricas, foi questionado ao professor sobre o motivo pelo qual o elétron não colapsa no núcleo ou por que o núcleo não explode, já que ambas as situações deveriam ocorrer devido o princípio de atração de repulsão das cargas elétricas. O professor não pôde explicar, indicando que esse tópico não era abordado no Ensino Médio. Desde então, houve dedicação a estudar Física de Partículas (FP) com intuito de apresentar conceitos considerados difíceis, mas essenciais para compreensão da matéria, de forma acessível no nível do Ensino Médio.

O objetivo geral dessa pesquisa investigar a aprendizagem sobre física das partículas usando jogos na perspectiva da ZDP em uma turma do Ensino Médio de uma escola pública da cidade de Granjeiro-Ce, explorando a interação social dos alunos a partir da troca de conhecimento deles adquiridos a cada vivência em sala de aula. Assim, possibilitando que os alunos tem conhecimento dessa “física nova” que abre portas para um conhecimento atual, e que ainda é um tabu a sua introdução no ensino básico.

Para alcançar esse objetivo, foi construída e aplicada uma Sequência de Ensino sobre FP, destinada a introduzir os principais conceitos dessa área de forma acessível aos alunos do Ensino Médio através de jogos. Para tal finalidade, foi preciso desenvolver o entendimento dos conceitos físicos por meio da interação social e do uso de ferramentas culturais, promovendo a construção ativa do conhecimento pelos alunos. A elaboração dessa Sequência de Ensino nos permitirá responder à seguinte pergunta: Como podemos ensinar FP de maneira eficaz aos estudantes do Ensino Médio?

A Ciência tem desempenhado um papel cada vez mais relevante em nossas vidas, proporcionando avanços tecnológicos e conforto à humanidade. No entanto, muitas pessoas ainda têm pouco entendimento sobre como e por que essa tecnologia é gerada, o que resulta em uma falta de compreensão das novas ferramentas tecnológicas. Segundo Ostermann e Ricci (2002), uma das razões para essa lacuna é o ensino de ciências nas escolas, que muitas vezes se mostra ultrapassado, seja devido à metodologia tradicional empregada ou ao conteúdo que não reflete adequadamente a sociedade moderna. Esse ensino desatualizado não consegue se conectar com a realidade dos estudantes, tornando a ciência apresentada pouco relevante para

o crescimento e desenvolvimento dos jovens na sociedade e falhando em despertar seu interesse (NETO et al 2019).

Além disso, a sociedade contemporânea está se tornando cada vez mais competitiva, demandando indivíduos altamente qualificados e bem informados. Nesse sentido, espera-se que o sistema educacional também siga essa mesma linha, proporcionando um ensino de qualidade que verdadeiramente contribua para a formação de cidadãos bem preparados e atualizados.

Nos últimos vinte anos, a questão da atualização curricular tem sido objeto de intenso debate no campo do Ensino de Física (EF) por pesquisadores como Neto et al (2019), Ostermann, (1998) e Castiblanco e Otero (2016). Estes estudos têm se dedicado a explorar a viabilidade e a importância de introduzir tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) no currículo do Ensino Médio. No entanto, a maioria dessas pesquisas tem se concentrado principalmente em justificar o motivo pelo qual essa atualização é necessária e se é possível implementá-la, deixando de lado a questão crucial de como efetivamente realizar essa mudança.

Segundo Ostermann (2000), a introdução da FMC possibilitará uma maior aproximação dos jovens com a ciência moderna, permitindo uma compreensão mais profunda do funcionamento dos aparelhos modernos e do desenvolvimento da ciência ao longo do tempo. Além disso, essa abordagem proporcionará aos jovens a capacidade de compreender as discussões sobre fatos e eventos contemporâneos divulgados pela mídia.

Nesse sentido, observamos uma necessidade tanto nacional quanto internacional de atualizar o currículo de Física. No entanto, são poucas as propostas que realmente implementam FMC na sala de aula. Há uma carência de diretrizes que apontem as metodologias mais eficazes para essa inclusão, identifiquem obstáculos potenciais e forneçam dados que possam contribuir para o desenvolvimento de novas abordagens (OSTERMANN, 2000).

Tendo em vista a importância do conhecimento científico acerca da FP, nesta dissertação, será desenvolvido e aplicado uma Sequência de Ensino acerca da constituição microscópica da matéria, com ênfase no MPFP.

Físicos eminentes como Lord Kelvin, após a formulação das quatro equações de Maxwell, acreditavam que a física havia atingido seu ápice, limitando-se à física clássica e ao eletromagnetismo. No entanto, a descoberta da física de partículas representou um afastamento significativo da física clássica em direção à física quântica. Essa área trouxe inúmeras contribuições, sendo o MP considerado por muitos físicos como a teoria mais robusta e amplamente aceita na comunidade científica, marcando o início do estudo do mundo quântico

(MOREIRA, 2006). O modelo da física de partículas é a base de muitos conceitos abordados no ensino básico e na formação de professores, como eletricidade, termodinâmica, entre outros, embora geralmente não receba a devida atenção.

Ao término do século XX e início do século XXI, é evidente que houve pouca evolução no ensino de Física do Ensino Médio no Brasil. A abordagem atual da Física escolar ainda se baseia principalmente nos princípios desenvolvidos entre os séculos XVII e XIX. Estamos lidando com uma Física que remonta a cerca de dois séculos atrás, que se limita principalmente à Cinemática, Leis de Newton, Termologia, Óptica geométrica, Eletricidade (frequentemente restrita à eletrostática, com pouco ou nenhum enfoque na corrente elétrica) e Circuitos elétricos simples (com ênfase em resistores ou capacitores) (SIQUEIRA, 2006).

Portanto, é crucial repensar o currículo de Física atualmente em vigor em nossas escolas. É necessário reformulá-lo de modo a contribuir de forma mais eficaz para a formação integral dos jovens, considerando as demandas da sociedade moderna e a necessidade de compreensão do mundo ao seu redor (OTERO, ARLEGO E PRODANOFF, 2015).

Otero, Arlego e Prodanoff (2015), Castiblanco e Otero (2016) e Ostermann (2000), pontuam que a reformulação do currículo, visando à sua atualização e modernização, proporcionará aos alunos uma abordagem renovada da Física. Isso permitirá que eles entrem em contato com um mundo novo, levando o EF a está mais alinhado com os desafios e realidades do seu tempo e do cotidiano dos alunos. Essa abordagem atualizada tem o potencial de despertar um maior interesse dos alunos pelo assunto. E mostrará aos alunos que a Física é uma ciência mutável, novas descobertas acontecem o tempo todo, e com o atual currículo, parece que já está pronta e acabada.

No Ensino Básico brasileiro e em alguns outros países, os conteúdos relacionados à ciência estudados são em sua maioria originados até o século XIX (OSTERMANN; RICCI, 2002), com a exclusão de temas contemporâneos como os relacionados à FMC. Segundo Pinheiro e Silva (2007, p. 9), a inclusão destes conteúdos "ajuda os alunos a perceberem que a ciência possui um caráter dinâmico e renovador, não sendo estática como frequentemente é concebida por eles".

Essa preocupação tem sido expressa ao longo de vários anos por diversos pesquisadores no campo do ensino, tanto em nível internacional, como demonstrado por Arriaseq, Cayul e Greca (2017); quanto em nível nacional, conforme evidenciado por Moreira (2000, 2001), Pinheiro e Silva (2007) e Ostermann (1998).. Essa discussão tem sido levada adiante em encontros, simpósios e artigos em revistas especializadas na área de EF.

Esses pesquisadores destacam a importância da inserção da FMC como fundamental para que os jovens possam compreender os fenômenos relacionados às situações que vivenciam em seu cotidiano. Isso inclui fenômenos modernos que estão intrinsecamente ligados à sua realidade, contribuindo assim para o desenvolvimento do seu senso de cidadania.

Nesse contexto, Pinheiro e Silva (2007) ressaltam que a ausência de abordagem dos conteúdos relacionados às teorias científicas modernas durante a formação dos estudantes do ensino básico pode resultar em um atraso científico para o país. Além disso, essa omissão pode desmotivar os alunos a seguirem carreiras acadêmicas no campo das ciências, uma vez que são precisamente as teorias modernas que mais despertam fascínio entre os jovens.

Dessa forma, esses argumentos destacam a necessidade dos conteúdos de FMC possibilitarem o entendimento e a participação ativa dos jovens no mundo contemporâneo. Isso evidencia que o entendimento do mundo criado pelo homem atual, incluindo dispositivos e artefatos tecnológicos, só pode ser alcançado por meio do ensino de tópicos relacionados a essa área. Em outras palavras, se desejamos que os nossos jovens compreendam o funcionamento da tecnologia contemporânea, é fundamental ensinar a Física que a ela está relacionada (NETO, SIQUEIRA E VIEIRA, 2019).

A defesa da inserção da FMC no Ensino Médio não se limita apenas aos argumentos mencionados anteriormente. Também pode contribuir para uma visão mais apropriada da ciência. A introdução de conceitos atuais de Física pode contribuir significativamente para proporcionar uma imagem mais precisa dessa ciência e da natureza do trabalho científico em si. (SANTOS, et al, 2023).

Além dessas duas vertentes de argumentação sobre a inserção FMC, há outra que pode ser ainda mais atrativa e cativante para o aluno. Ao explorar os conceitos da FMC, os jovens podem ter a oportunidade de enxergar o mundo com uma perspectiva diferente e mais ampla (NETO et al 2019).

Com isso, se torna necessária para proporcionar aos jovens uma nova perspectiva sobre a natureza, contrastando com a visão tradicional baseada na Física Clássica. Essa abordagem pode ser um ponto favorável ao ensino da FMC no Ensino Médio, pois através dela é possível revelar uma outra faceta da natureza, até então desconhecida pelos jovens, tornando-a mais atrativa por ser ainda inexplorada. Além disso, a FMC pode contribuir para uma visão menos linear e definitiva da Física, que geralmente é transmitida aos alunos (OSTERMANN, 2000).

Fica claro que há argumentos convincentes para a inclusão da FMC no Ensino Médio, e embora possam surgir obstáculos como a falta de material ou a formação dos professores,

estes podem ser superados. Além disso, é importante delinear quais tópicos devem ser abordados, o que ajudará nas propostas futuras, garantindo que esses aspectos sejam levados em consideração.

Nesse viés, os jogos surgem como ferramenta cultural poderosa para implementação de FMC no Ensino médio. Sabendo que é uma ferramenta atual e presente na vida dos brasileiros, percebe-se que existem formas de potencializar a aprendizagem em diversas áreas do conhecimento (AZEVEDO e BOMFOCO, 2012) e que existe uma área denominada *Digital Game-Based Learning* (DGBL) que, um dos focos está a aplicação e utilização de jogos na aprendizagem de determinados conteúdo.

Nesse contexto, nasce um novo termo chamado de gamificação, que consiste na utilização de mecânicas, estratégias e pensamentos encontrados em games, a aplicar esses elementos fora deles, com a finalidade de motivar, auxiliar na resolução de problemas e promover aprendizagens (KAPP, 2012).

O conceito de gamificação refere-se à integração de elementos típicos de jogos em atividades que originalmente não são jogos. Embora o termo tenha sido cunhado pela primeira vez em 2010, a prática da gamificação já existe há bastante tempo. Na área educacional, por exemplo, as crianças costumavam ter seu desempenho reconhecido com estrelinhas (como recompensa), ou as palavras do ditado da professora tornavam-se progressivamente mais desafiadoras, adaptando-se aos níveis de habilidade dos alunos.

Vianna et al. (2013) afirmam que a gamificação engloba a aplicação de mecanismos de jogos para resolver problemas, motivar e envolver um público específico. Segundo os autores, isso não implica necessariamente a participação em um jogo, mas sim a utilização eficaz de elementos como mecânicas, dinâmicas e estética para replicar os mesmos benefícios associados ao ato de jogar. Conforme destacado por Zichermann e Cunningham (2011), a gamificação investiga os níveis de envolvimento das pessoas na resolução de problemas.

O objetivo é visualizar um problema e pensar soluções assim como no jogo virtual. Porém, a gamificação não consiste em criar um jogo que aborde determinado problema, assim, recriando o contexto dentro de um mundo virtual ou imaginário, mas sim em usar as mesmas estratégias, métodos, pensamentos e elementos para resolver problemas no mundo dos games situações do mundo real (Vianna et al, 2023)

Em uma revisão de literatura sobre o emprego educacional de jogos no ensino de Física, Yamazaki e Yamazaki (2014) concluem que, de maneira geral, os jogos desenvolvidos e utilizados em salas de aula de Ciências (Física, Química e Biologia) carecem de fundamentos

teóricos tanto em sua concepção quanto na avaliação dos resultados (Yamazaki e Yamazaki, 2014, p. 159). Os autores apontam que o uso de jogos para fins didáticos no ensino representa um desafio, pois essa estratégia pedagógica tem sido empregada com excessiva arbitrariedade teórico-metodológica, baseando-se em proposições empíricas. Isso, segundo eles, não possibilita a construção de unidades de análise apropriadas nem o compartilhamento dessas experiências em um contexto mais delimitado e compreensível para outros professores.

Os jogos educacionais voltados para a Física podem ser bastante simples como os de exercícios e práticas, mas podem ser ambientes de aprendizagem ricos e complexos. Os jogos educacionais, são boas ferramentas de ensino para estudantes que tenham dificuldades de aprendizagem, pois estes, vão gradativamente modificando a imagem negativa do ato de conhecer, tendo uma experiência em que aprender é uma atividade interessante e desafiadora (PEREIRA;FUSINATO; NEVES, 2009).

O jogo desempenha uma contribuição significativa no processo de aprendizagem, visto que se trata de uma atividade rica e altamente impactante, atendendo às necessidades intelectuais, afetivas e sociais. Segundo Vygotsky (1991), o jogo desperta a curiosidade no aluno, promove a aquisição de iniciativa, autoconfiança, aprendizado de ações, e propicia o desenvolvimento da linguagem, do pensamento e da concentração.

A capacidade de mobilizar as funções cognitivas superiores (atenção, concentração, comparação, raciocínio lógico, etc.) depende de um mediador apropriado, o que por sua vez utiliza-se da interação social (VYGOTSKY, 1991). Assim, as capacidades cognitivas superiores precisam serem completadas com habilidades como empatia, expressão de sentimentos, mediação de conflitos, assertividade, falar em público, civilidade, dentre outras.

Entretanto, é importante reconhecer que os jogos não devem ser considerados a única ferramenta eficaz para aprimorar o ensino básico nas escolas, mas sim encarados como um recurso complementar ao processo de aprendizagem. Ademais, é fundamental aproveitar ao máximo os benefícios que os jogos proporcionam. Não se trata apenas de jogar casualmente, como em momentos de lazer. Tanto alunos quanto professores precisam compreender que se trata de uma colaboração mútua entre diversão e aprendizado. Não se pretende eliminar completamente as práticas usuais da sala de aula, como aulas expositivas, leituras e exercícios (que também têm sua importância), mas sim destacar a possibilidade de integrar o ensino tradicional com atividades extracurriculares, como os jogos.

A respeito dos jogos no EF, Ferreira (2019, pg.20), afirma que,

As formas como os conteúdos de Física são apresentadas nas instituições de ensino acabam engessando a maneira como se trabalha junto aos alunos, excluindo as possibilidades de eles obterem um desenvolvimento mais pleno e uma aprendizagem mais eficaz. Isso apenas provoca no aluno um sentimento de que o ensino de Física não contribui em nada para a vida dele, o que acaba minando o interesse pela cultura científica.

Considerando esse aspecto, os jogos concebidos para o EF têm como propósito principal motivar os alunos. Dessa forma, desenvolve-se uma ferramenta que tende a aumentar significativamente as chances de os alunos absorverem os conceitos e os conteúdos relacionados a cada tema abordado em sala de aula. Como mencionado anteriormente, os jogos possuem um imenso potencial para despertar o interesse dos alunos pelos assuntos, transformando o que antes parecia tedioso em uma experiência de aprendizado mais envolvente, superando as metodologias ultrapassadas que limitam a participação dos alunos nas aulas.

O ensino de Física de Partículas no nível médio enfrenta desafios relacionados à abstração dos conceitos e à falta de materiais didáticos acessíveis aos estudantes (MARTINS, 2017). Nesse contexto, diversos autores têm explorado o uso de jogos como estratégia pedagógica para tornar esses conceitos mais compreensíveis e motivadores. Esta seção apresenta uma revisão de pesquisas que utilizam jogos para o ensino de Física de Partículas e estabelece um diálogo entre essas abordagens e a presente dissertação.

Caliari (2018), traz em seu trabalho uma metodologia de ensino que busca o uso de jogo de tabuleiro para o aprendizado de FP no Ensino Médio. O método baseia-se na aprendizagem significativa com auxílio de mapas conceituais com objetivo de desenvolver um ensino lúdico na qual o aluno tenha disposição de aprender. O autor, assim como nós, resalta a falta de produto educacional relacionado ao tema, surgindo a necessidade de criarmos métodos eficazes para implementação desses conteúdos no Ensino Básico.

De Ré (2016) desenvolveu um jogo de tabuleiro contendo perguntas e desafios sobre Física de Partículas, com foco no Grande Colisor de Hádrões (LHC). O autor destaca que o jogo se mostrou eficiente na ampliação do interesse dos alunos e na retenção dos conceitos discutidos. A pesquisa sugere que a gamificação pode criar um ambiente motivador e favorecer o aprendizado de conteúdos complexos.

Araújo (2018) criou o "Quantopoly", um jogo de tabuleiro inspirado no Monopoly, voltado para o ensino de conceitos da Física Quântica. O autor destaca que, além da ludicidade, o jogo contribuiu para o desenvolvimento da autonomia dos estudantes na compreensão dos

tópicos abordados. A análise qualitativa indicou que os alunos demonstraram maior engajamento e facilidade na associação de conceitos abstratos com situações cotidianas.

Oliveira (2018) desenvolveu um jogo digital para a plataforma Scratch, visando o ensino de Partículas Elementares. O jogo, estruturado em forma de RPG, foi utilizado em dois momentos: inicialmente como ferramenta introdutória e posteriormente como estratégia revisional. A pesquisa demonstrou que jogos digitais podem ser eficientes no ensino de conteúdos científicos, especialmente ao considerar as características dos "nativos digitais".

A presente dissertação dialoga com essas pesquisas ao adotar os jogos como ferramenta pedagógica para o ensino de Física de Partículas. No entanto, diferencia-se ao fundamentar-se na perspectiva sociocultural de Vygotsky, enfatizando o papel da interação social e da mediação no processo de aprendizagem. Enquanto os trabalhos citados se concentram na ludicidade e na gamificação para facilitar a compreensão conceitual, este estudo investiga como a interação entre os alunos e o uso de jogos pode potencializar o desenvolvimento da Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), promovendo uma aprendizagem colaborativa e significativa.

Além disso, ao ser aplicado em uma escola do ensino médio na cidade de Granjeiro-CE, este estudo contribui para a discussão sobre a adaptação de estratégias pedagógicas a contextos educacionais específicos. Dessa forma, além de corroborar os resultados positivos apontados pelos estudos anteriores, amplia a compreensão do impacto dos jogos na aprendizagem de Física de Partículas por meio da interação social mediada.

No capítulo 2 foi desenvolvido um levantamento dos pressupostos teóricos de Física para fornecer embasamento teórico de Física para a dissertação. Trata-se de uma revisão de caráter descritivo e exploratório sobre as hipóteses atômicas propostas pelos antigos gregos, perpassando pelos modelos atômicos, quatro forças fundamentais, o Modelo Padrão (MP), mostrando as famílias e grupos de quarks, léptons, os bósons, sejam eles, glúons, fótons, Higgs, W e Z, as quatro forças naturais e finalizando na álgebra de Lie para explicar a simetria do Modelo Padrão de Física de Partículas (MPFP) geradas a partir da interação dos bósons. No capítulo 3 estão os pressupostos de Ensino Aprendizagem da teoria sociocultural de Lev Vygotsky, com a finalidade de destacar a importância do papel do professor na construção do conhecimento científico e ancorar a Sequência de Ensino as ideias dele. No capítulo 4, realizamos uma explicação minuciosa e exata das ações desenvolvidas no método do trabalho de pesquisa, descrevendo o tipo de pesquisa, caracterizando a abordagem metodológica adotada. É nesta seção que é trazido o contexto da pesquisa, a vivência na escola e a Sequência

de Ensino ancorada e fundamentada na teoria de Vygotsky. No capítulo 5 está apresentando os resultados da pesquisa, como a Sequência de Ensino criada e disposta no capítulo 4 foi recebida pelos alunos, e como o jogo de tabuleiro contribuiu para fixação do conteúdo. Para finalizar o corpo do texto do trabalho, o capítulo 6 encerra mostrando as contribuições desta pesquisa no ensino de física de partículas no Ensino Médio.

A revisão de literatura apresentada no capítulo seguinte tem por objetivo situar o leitor acerca do estudo histórico e conceitual de forma ampla e cautelosa referente a nossa atual compreensão sobre o átomo e seus constituintes fundamentais. Assim como, mostrar a álgebra de Lie para simetria de FP.

## CAPÍTULO 2

### 2. DA HIPÓTESE ATÔMICA AO MODELO PADRÃO DAS PARTÍCULAS ELEMENTARES

#### 2.1 MODELOS ATÔMICOS

A busca pelo conhecimento da natureza é inerente ao homem, isso vem desde os primórdios. E o estudo adequado de episódios históricos permite compreender as inter-relações entre ciência, tecnologia e sociedade, sendo a ciência uma construção humana (ARAGÃO, 2008).

Para Fleck (2010), as ideias trafegam entre estilos de pensamentos criados pelos diferentes coletivos de pensamento sem rupturas radicais, de forma mais evolutiva. O que constitui a matéria? Tudo que está vendo, do que é feito? Desde a antiguidade, essas foram as perguntas que o homem mais buscou encontrar respostas, para entender a natureza e tudo que o cercava. Foi na busca pela compreensão da natureza que o filósofo grego Tales de Mileto supôs que à água era a causa material, ou seja, o “elemento” que da origem a toda matéria (SILVA e PAZINATO, 2021).

Após a hipótese de Tales, outros filósofos gregos propuseram a existência de mais três elementos, na qual constituía tudo à volta, a matéria. Anaxímenes no século VI a. C, propôs que o ar seria o elemento primordial, do qual toda matéria se origina. Heráclito (540 - 480 a. C) considerou que a natureza estava em constante mudança, então o “elemento” essencial para tal mudança seria o fogo, assim propondo que o mesmo seria o elemento básico (SILVA e PAZINATO, 2021). Empédocles (490 - 430 a. C), concluiu que toda a matéria do universo era constituída não somente por um, dois ou três, e sim quatro elementos. Assim acrescentou a terra. Essas ideias foram documentadas e aprimoradas posteriormente por Aristóteles (469 - 399 a. C). Segundo ele, as entidades simples seriam: terra, ar, água e fogo, acompanhadas pelas qualidades opostas: úmido/seco e quente/frio (NISENBAUM, 2010).

A formulação da constituinte da matéria por Aristóteles, os gregos antigos achavam que a resposta para a pergunta: de que somos feitos? Já estava pronta e acabada. Isso fez com que essa ideia persistisse como principal base do pensamento. Entretanto, uma nova hipótese surgiu, o atomismo.

Para Porto (2013), o atomismo foi uma doutrina filosófica formulado por Leucipo e seu discípulo Demócrito. Uma resposta do entendimento do caráter mutável do universo, no qual trazia a resolução do que constituía a matéria, e por que as coisas estariam em mudanças.

Demócrito foi além da percepção de Leucipo, ele visualizou a matéria sendo feito por entidades elementares, denominadas átomos. Tratava-se então da primeira tentativa na história do homem de reconduzir o conhecimento fenomenológico a seus constituintes primários (NISENBAUM, 2010). Denominava-se entidades elementares, pois não poderiam ser divididas infinitamente. Ou seja, se pegássemos um bastão de metal de um metro e dividirmos em dez partes iguais, em seguida realizando mesmo procedimento com uma das partes, assim repetindo o processo, teria um limite, e este limite são os átomos, uma entidade indivisível. Segundo Porto (2013, p. 4601-2), para Demócrito, “o mundo material é composto por infinitos átomos nos quais são incriáveis e indestrutíveis, que se movem incessantemente por um vazio, que não possuem características além de tamanho e forma geométrica”, onde se juntam formando a matéria. E seriam essas diferenças que explicavam todas as diversidades de coisas que vemos ao nosso redor.

A ideia de que a matéria é constituída por átomos, que são descritos como a menor partícula, indivisível e que compõe tudo que está à nossa volta, foi proposta na Grécia antiga por Demócrito e Leucipo. Porém, essa hipótese permaneceu na sombra por mais de 20 séculos, devido que foram encobertas pelo modelo de entidades simples, o mais aceito na época, que seria os quatro elementos formulados por Aristóteles, conseqüentemente a palavra “átomo” ficando de lado.

Apenas em 1801 que John Dalton em estudos realizados em comportamentos dos gases e das massas dos elementos propostos por Lavoisier em 1785, que Dalton começou seus estudos baseados na atomística. Em 1803, usando a hipótese atômica prevista pelos gregos, Dalton tenta explicar o comportamento dos gases que constituem a atmosfera e das misturas gasosas (VIANA, 2007).

Dalton afirma que os átomos são as menores partículas que constituem o todo, as chamadas elementares, pois para ele os átomos eram uma bola maciça, indivisível e nem podem ser transformados em outros (MELZER e AIRES, 2015).

**Figura 1** :O átomo de Dalton – modelo da bola de bilhar.



Fonte: Autor

Alicerçado nas leis Ponderais de Proust e Lavoisier, segundo Peduzzi (2008, p.45)

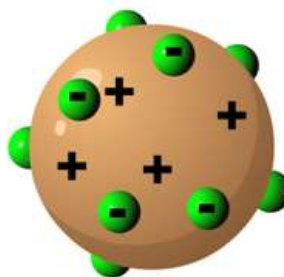
Dalton estabeleceu os seguintes postulados:

- Os átomos são corpúsculos materiais indivisíveis e indestrutíveis;
- Os átomos de um mesmo elemento são idênticos em todos os aspectos;
- Os átomos de diferentes elementos possuem propriedades distintas quanto ao peso, tamanho, afinidade, etc;
- Os compostos são formados pela reunião de átomos de diferentes elementos, segundo proporções numéricas simples, tais como 1:1, 1:2, 2:3, etc.

Dalton representa um novo recomeço para hipótese atômica, a história do átomo de Dalton começou uma das revoluções mais importantes para a física. A ideia parecia ser boa, só que não explicava o eletromagnetismo.

Após estudos realizados com ampola de Crookes culminando na descoberta do elétron, e alicerçado nos trabalhos de Eugene Goldstein, Thomson na tentativa de compreender a distribuição dos elétrons com os cálculos de carga e massa do elétron, seus estudos culminaram em sua proposta atômica (LOPES, 2009). Este seria então o primeiro modelo que unificaria a química e o eletromagnetismo. Segundo Lopes (2009) e Oliveira e Fernandes (2006), para Thomson o átomo seria uma esfera uniforme e gelatinosa com carga total positiva. O raio seria de aproximadamente  $10^{-8}$  cm, e os elétrons estavam incrustados na “bolha gelatinosa”, assim a carga total do átomo sendo zero, como mostra a figura 1.2. Por estas características o modelo ficou conhecido como “pudim de passas”.

**Figura 2:** O átomo de Thomson – modelo do pudim de passas.

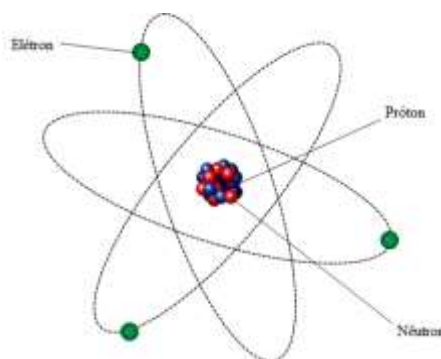


Fonte: Autor

Em 07 de março de 1911 o físico e químico Ernest Rutherford (1871 – 1937) anunciou a descoberta do núcleo atômico, na reunião da sociedade Filosófica e Literária de Manchester (Inglaterra) em 7 de março de 1911.

Com a descoberta do núcleo atômico, Rutherford propôs o átomo com núcleo carregado positivamente ocupando um pequeno volume, mas detendo a maior parte da massa do átomo e com elétrons girando ao redor com distâncias relativamente grandes, como mostra figura 3.

**Figura 3 :**O átomo de Rutherford – modelo planetário



Fonte: Autor

Mesmo supondo órbitas circulares para os elétrons, Rutherford não consegue assegurar a estabilidade do átomo, problema este, que colocava à prova a teoria clássica. Com o elétron girando em torno do núcleo atômico, teria aceleração centrípeta em direção ao núcleo e, portanto, deveria emitir radiação o tempo todo como prever a teoria do eletromagnetismo. Desta forma, a energia cinética do elétron iria diminuir continuamente e a órbita tornando-se cada vez menor a ponto de o elétron colidir com o núcleo do átomo. Para um átomo de diâmetro  $10^{-10}$ m,

o tempo de colapso pode ser calculado e o resultado é que em aproximadamente  $10^{-12}$ s o elétron cairia sobre o núcleo desfazendo o átomo (PARENTE, SANTOS, TORT, 2013).

Segundo Parente, Santos e Tort (2013), vale destacar três previsões erradas da teoria clássica sobre os modelos atômicos:

- Os átomos deveriam emitir luz continuamente;
- A luz emitida pelos átomos deveria ter um espectro contínuo;
- Os átomos deveriam ser instáveis.

Esses três problemas motivariam a formulação de um modelo quântico bastante simples para explicar a estrutura atômica. Uma característica básica do modelo bastante bem-sucedido, proposto por Niels Bohr em 1913, era a previsão do espectro da radiação emitida por certos átomos (CARUZO e OGURI, 2006). Com a finalidade de recuperar a estabilidade do átomo, Bohr, alicerçado na mecânica quântica, produziu um modelo atômico com dados experimentais a partir do espectro do átomo. Segundo Peduzzi (2008, pg. 180) em 1913 Bohr criou um modelo baseado em seus postulados, sendo eles:

I. Um sistema atômico emite (ou absorve) energia apenas quando passa de um estado estacionário (estado de energia fixa) a outro.

II. Nos estados estacionários, o equilíbrio dinâmico de um sistema é regido pelas leis da mecânica clássica. Essas leis não são válidas nas transições entre diferentes estados.

III. A radiação emitida durante a transição de um sistema de um estado estacionário a outro é homogênea. A relação entre a frequência,  $f$ , e a energia emitida,  $E$ , é

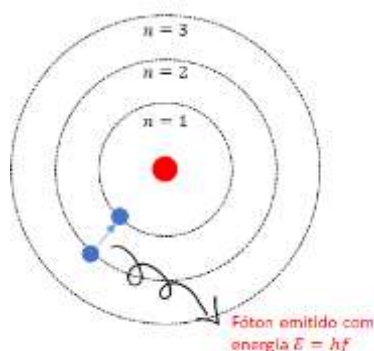
$$E = hf, \quad 2.1$$

onde  $h$  é a constante de Planck.

IV. Os diferentes estados estacionários de um sistema simples, como o de um elétron que gira em torno de um núcleo positivo, são determinados pela condição de que a razão entre a energia total emitida na formação da configuração e a frequência de revolução do elétron seja um múltiplo inteiro de  $h/2$ . Admitindo que a órbita do elétron é circular, essa hipótese equivale a supor que o momento angular do elétron em torno do núcleo é um múltiplo inteiro de  $h/2\pi$ .

V. O estado permanente de um sistema atômico, isto é, o estado no qual a energia emitida é máxima, é determinado pela condição de que o momento angular de cada elétron em torno do centro de sua órbita seja igual a  $h/2\pi$ .

**Figura 4:** Emissão de um fóton numa transição de estado inicial E1 para um estado final E2 em um átomo de Bohr.



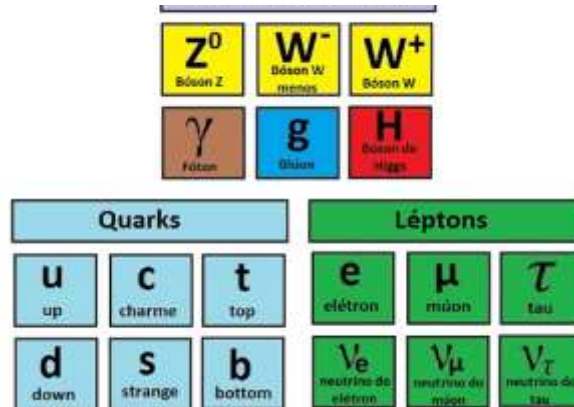
Fonte: Autor

## 2.2 MODELO PADRÃO DAS PARTÍCULAS

O chamado MPFP não é propriamente um modelo, é uma teoria. É a melhor teoria que descreve os blocos construtores do nosso universo, as partículas elementares. E para grande parte dos físicos, a melhor sobre a constituição da matéria, (MOREIRA, 2009).

Nesse modelo, existem os férmions que são os léptons e os quarks, como também, os bósons. São ditas as partículas elementares, ou seja, não tem estrutura interna, são indivisíveis. Há seis léptons: elétron, múon, tau, neutrino do elétron, neutrino do tau e neutrino do múon, e seis sabores de quarks: up (u), down (d), charm (c), strange (s), top (t) e o bottom (b). No qual descrevem o universo, sendo o elétron, quarks up e down os mais famosos, pois apenas eles são necessários para formar toda a matéria visível que conhecemos. Entretanto, para cada partícula existe sua correspondente antipartícula, existem então 12 léptons, e os quarks têm uma propriedade chamada cor, e podendo assim cada um apresentar três cores, contudo com essa propriedade e o seu par de antipartículas, podemos dizer que existem 36 quarks.

**Figura 5:** Modelo Padrão das Partículas elementares



Fonte: Scientific Figure on ResearchGate.

Na natureza existem 4 interações fundamentais: gravitacional, eletromagnética, forte e fraca com propriedades da matéria, massa, carga elétrica, cor e carga fraca respectivamente. Todas as forças restantes como: elástica, atrito, entre outras, provem dessas quatro forças fundamentais. E essa interação se dá devido a partículas mediadoras, ou podemos chamar de partículas de força. Essa interação é como se essas partículas “trocassem” partículas entre si. Pode-se dizer que os léptons, quarks e hádrons interagem trocando essas partículas mediadoras. (OSTERMANN, 2001; ABDALLA, 2016).

As quatro partículas mediadoras das forças de interação (nuclear forte, nuclear fraca, eletromagnética e gravitacional), denominadas bósons, sendo elas respectivamente: glúons, W, Z, fótons e grávitons, na qual a última partícula mencionada não foi encontrada experimentalmente, Moreira (2009). As partículas das interações podem não ter massa, entretanto tem energia, o que quer dizer que elas emitem pulsos de energia. Deve-se ser levado em consideração que as partículas que têm mais de uma carga, podem experimentar várias interações, entretanto pode haver um domínio de uma determinada interação, assim tornando a outra força irrelevante.

O bóson de Higgs é a partícula para explicar a origem da massa das outras partículas elementares da natureza. Foi predita em 1964 por Peter Higgs, e somente com o grande colisor de hádrons do CERN ( Organização Europeia para a investigação Nuclear) em 2008, existiam aparatos tecnológicos suficientes para tal feito. Em 4 de julho de 2012, cientistas do CERN anunciaram a grande descoberta do bóson de Higgs, após 50 anos de estudos (PIMENTA, et. al. 2013).

## 2.3 TEORIA DE GRUPOS E O PAPEL DAS SIMETRIAS EM FÍSICA

No alvorecer do Século XX, o avanço da Mecânica Quântica e da Teoria da Relatividade desencadeou uma revolução científica que nos levou a avançar ainda mais na busca pela resposta à questão fundamental: do que são constituídas as coisas? A Mecânica Quântica delimitou o alcance da Física Newtoniana para corpos de dimensões macroscópicas, enquanto a Teoria da Relatividade Restrita restringiu a aplicação da Mecânica Clássica a velocidades baixas. Na tentativa de compreender a natureza do elétron e sua estrutura interna, caracterizada pelo conceito de spin, Dirac propôs uma teoria quântica relativística para descrever esse fenômeno (FURTADO E NETO, 2021).

A simetria de um objeto refere-se às operações que o mantêm inalterado em seu estado original. Isso implica que um elemento permanece invariante ou não sofre mudanças sob uma determinada transformação. Geralmente, essas transformações incluem rotações, translações, inversões e reflexões. Por exemplo, a igualdade entre os lados esquerdo e direito do corpo humano se assemelha à constância quando refletido no plano vertical que divide os dois lados. Neste contexto, a mudança ocorre ao inverter as posições espaciais dos pontos do sistema em relação ao plano de simetria. Essa definição amplia a concepção comum de simetria de um objeto ao descrevê-la em termos de transformações.

No entanto, para compreender melhor esse conceito e aplicá-lo a objetos estéticos, como flores e cristais, ou a conceitos numéricos, como leis físicas e equações polinomiais, é necessário aprofundá-lo e dotá-lo de uma abordagem matemática. A ideia é explorar a estrutura subjacente desses elementos. Portanto, a Teoria de Grupos surge como a abordagem mais adequada para estudar as transformações de simetria de maneira precisa e sistemática.

Em termos gerais, a teoria de grupos é um ramo da matemática que estuda as propriedades dos conjuntos de elementos (ou operadores) que obedecem a certas regras de composição, como a multiplicação. Um grupo matemático é definido por um conjunto de elementos e uma operação (geralmente a multiplicação) que satisfaz certas propriedades, como associatividade, existência de elemento neutro e inverso para cada elemento.

Um grupo é um conjunto  $G$  não vazio dotado de uma operação  $*$  tal que

$$(x, y) \mapsto x * y, \forall x, y \in G, \quad 2.2$$

e que se sujeita aos seguintes axiomas:

- i)  $\forall a, b \in G, a * b = c, c \in G$  (condição de fechamento);
- ii)  $\forall a, b, c \in G, (a * b) * c = a(b * c)$  (associatividade);

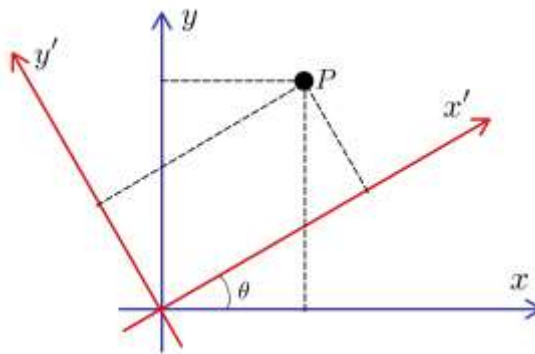
- iii)  $\exists I \in G, a \in G$ , então  $a * I = I * a$ , sendo  $I$  o elemento identidade do grupo;  
 iv)  $\forall a \in G$ , deve existir uma  $a^{-1} \in G$ , tal que  $a * a^{-1} = I$ , elemento inverso.

O elemento identidade do grupo é dado por

$$I = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad 2.3$$

Além dessas condições, pode haver também a propriedade de comutatividade, onde para todo  $\forall a, b \in G, a * b = b * a$ . A presença dessa característica define os grupos chamados Abelianos. Conseqüentemente, um grupo não-Abeliano não obedece à condição de comutatividade. Como por exemplo, abaixo está descrito a prova da existência do grupo  $O(2)$  de rotações. Para obter a matriz unitária de rotação  $2 \times 2$  a partir da rotação dos eixos  $x$  e  $y$  em torno de  $z$ , dependendo de um ângulo  $\theta$ , podemos usar a composição das rotações elementares.

**Figura 6:** Quando o Sistema de coordenadas  $XY$  (em azul) é girado em um ângulo  $\theta$  por meio de uma matriz de rotação, experimenta uma mudança, agora referida como eixo  $X'Y'$  (em vermelho).



Fonte: Autor

Quando rotacionado, os eixos  $x$  e  $y$  terão coordenadas  $x'$  e  $y'$ :

$$\begin{cases} x' = x \cos \theta + y \sin \theta, \\ y' = -x \sin \theta + y \cos \theta. \end{cases} \quad 2.3.1$$

Na forma matricial, temos

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}. \quad 2.3.2$$

Logo  $\vec{r}' = \vec{r}R(\theta)$ , onde

$$R(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}, R(\theta) \in \mathbb{R}^2. \quad 2.3.3$$

Em geral, esses elementos são matrizes 2x2 que dependem de um ou mais ângulos, como  $\theta$ ,  $\phi$ ,  $\gamma$ , etc. A operação realizada aqui é a multiplicação de matrizes.

$$O(2) = \{R(\theta), R(\phi), R(\gamma), \dots, *\}. \quad 2.3.4$$

### 2.2.1 Aplicação da teoria de grupos em física das partículas

Na física de partículas, a teoria de grupos é aplicada para analisar a simetria das equações que descrevem as interações fundamentais entre as partículas elementares e na classificação dos diferentes estados quânticos das partículas. A simetria é uma propriedade fundamental do universo, e as leis da física são invariantes sob transformações de simetria. Por exemplo, as equações que descrevem as interações entre as partículas devem permanecer inalteradas sob certas transformações, como rotações, reflexões ou mudanças de coordenadas.

Existem diferentes grupos de simetria que desempenham papéis importantes na física de partículas. Alguns dos mais comuns incluem:

**Grupo de Rotação SO(2):** O grupo SO(2), ou Grupo Ortogonal Especial de Matriz 2x2, está intrinsecamente ligado à física de partículas, especialmente na descrição de sistemas com simetria rotacional. Este grupo descreve as transformações de rotação em um plano bidimensional. Na física de partículas, especialmente na teoria de campos, muitos sistemas exibem essa simetria, onde as propriedades físicas permanecem invariantes sob rotações.

Por exemplo, considere uma partícula subatômica com carga elétrica. O comportamento dessa partícula em um campo magnético pode ser descrito por uma simetria rotacional, onde as leis da física permanecem as mesmas, independentemente da orientação do sistema em relação ao campo magnético. Aqui, o grupo SO(2) desempenha um papel fundamental ao descrever essa simetria rotacional.

Além disso, na teoria de campos, os campos de partículas muitas vezes obedecem a equações diferenciais que são invariantes sob transformações de rotação, o que também está intimamente ligado ao grupo SO(2). Essa simetria rotacional é crucial na construção de modelos físicos precisos e na compreensão das interações entre partículas.

Portanto, o grupo SO(2) desempenha um papel central na física de partículas, fornecendo uma estrutura matemática essencial para descrever simetrias rotacionais e fundamentais para a compreensão das propriedades e interações das partículas subatômicas

A ação do grupo  $SO(2)$  é realizada através da multiplicação de matrizes  $(\cdot)$ . Definição:

$$SO(2) = \{R \in \mathbb{R}^2 | R^{-1} = R^T, \det R = 1\}. \quad 2.4$$

É fundamental destacar que, o surgimento do grupo  $SO(2)$  decorre da imposição de uma invariância no produto escalar. Uma vez que o produto escalar entre dois vetores está relacionado a módulos e ângulos, é natural que a matriz de rotação seja uma possível representação do grupo  $SO(2)$ , também conhecido como grupo de rotações em duas dimensões. Isso ocorre porque a rotação de dois vetores pelo mesmo ângulo preserva o produto escalar entre eles.

A matriz de rotação  $R(\theta)$  em duas dimensões é,

$$R(\theta) = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix}, R(\theta) \in \mathbb{R}^2. \quad 2.5$$

Ao calcular a determinante da matriz  $R(\theta)$  (onde  $\cos^2 \theta + \sin^2 \theta = 1$ ), torna-se evidente que  $\det R = +1$ . A condição de ortogonalidade estabelece que se multiplicarmos os elementos da linha 1 e os somarmos com o produto dos elementos da linha 2, o resultado deve ser zero. Este mesmo princípio se aplica aos elementos das colunas. Portanto,

$$\begin{cases} a_{11}a_{12} + a_{21}a_{22}, \\ a_{11}a_{21} + a_{12}a_{22}. \end{cases} \quad 2.5.1$$

De acordo com  $R(\theta)$ :

$$\begin{cases} \cos \theta \sin \theta - \sin \theta \cos \theta = 0, \\ -\cos \theta \sin \theta = \sin \theta \cos \theta = 0, \end{cases} \quad 2.5.2$$

ou seja,  $R(\theta)$  satisfaz a condição de ortogonalidade.

Note que a matriz inversa é equivalente a matriz transposta ( $R^t$ )

$$R^{-1} = R^t, \quad 2.5.3$$

assim sendo,

$$R(\theta)R(\theta)^{-1} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}. \quad 2.5.4$$

Observe também que a identidade não está presente no conjunto, o que explicita a falta de estrutura de grupo. Além disso, qualquer elemento do grupo ainda pode ser expresso como

$$R(\theta)R(\theta)^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad 2.5.5$$

onde,

$$\begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} = R(\theta)^t. \quad 2.5.6$$

Nesse sentido, a seguir os elementos da matriz de rotação na forma exponencial

$$R(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 \\ 0 & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & \sin \theta \\ -\sin \theta & 0 \end{bmatrix}, \quad 2.5.7$$

$$R(\theta) = \cos \theta \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} + \sin \theta \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}, \quad 2.5.8$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} = \mathcal{E}. \quad 2.5.9$$

A matriz  $\mathcal{E}$ , conhecida como matriz simplética, e o que chamamos de gerador do grupo,

$$R(\theta) = e^{\theta \mathcal{E}}. \quad 2.5.10$$

**Grupo SU(2):** Desempenha um papel importante na teoria eletrofraca, que unifica as interações eletromagnética e fraca. Este grupo está associado à quebra espontânea de simetria que dá massa às partículas elementares.

Este grupo é um subgrupo dos grupos unitários de grau "n". A letra "S" é adicionada porque este subgrupo é considerado especial (Special). Assim, o SU(2) é um grupo unitário especial, onde seus vetores possuem dimensão 2 no espaço complexo. Os elementos que geram este grupo são conhecidos como matrizes de Pauli, que, por exemplo, são usadas para estudar a interação entre o spin de uma partícula e o campo eletromagnético externo ao qual ela está submetida. A definição geral do grupo,

$$SU(2) = \{M \in \mathbb{C}^2 \mid \det(M) = +1, M^\dagger = M^{-1}\}. \quad 2.6$$

Sendo o espaço complexo bidimensional  $\mathbb{C}^2$ , com coordenadas  $\vec{Z} = (z_1, z_2)$  e seu conjugado  $\vec{\bar{Z}} = (\bar{z}_1, \bar{z}_2)$ ,  $\vec{W} = (w_1, w_2)$  e  $\vec{\bar{W}} = (\bar{w}_1, \bar{w}_2)$ . Assim,

$$\vec{Z} \cdot \vec{\bar{Z}} = (z_1 z_2) \cdot (\bar{z}_1, \bar{z}_2) = |\vec{Z}|, \quad 2.6.1$$

$$\vec{Z} \cdot \vec{W} = (z_1 z_2) \cdot (w_1, w_2) = z_1 w_1 + z_2 w_2 = \bar{w}_1 z_1 + \bar{w}_2 z_2, \quad 2.6.2$$

$$\vec{Z} \cdot \vec{W} = \vec{\bar{W}} \cdot \vec{Z}. \quad 2.6.3$$

Na forma matricial, temos

$$\vec{Z} = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \end{bmatrix}, \vec{\bar{Z}} = \begin{bmatrix} \bar{z}_1 \\ \bar{z}_2 \end{bmatrix}, \quad 2.6.3.1$$

$$\vec{W} = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \end{bmatrix}, \vec{\bar{W}} = \begin{bmatrix} \bar{w}_1 \\ \bar{w}_2 \end{bmatrix}. \quad 2.6.3.2$$

A transformação de rotação no plano complexo ocorre nos eixos  $z_1$  e  $z_2$ , com um ângulo  $\theta$ . De acordo com a matriz de rotação  $\mathbb{U}$ :

$$Z' = \mathbb{U}.Z, \quad 2.6.4$$

$$W' = \mathbb{U}.W, \quad 2.6.5$$

$$W^{\dagger'} = \mathbb{U}^{\dagger}.W^{\dagger}, \quad 2.6.6$$

$$\mathbb{U}\mathbb{U}^{\dagger} = 1, \quad 2.6.7$$

$$\mathbb{U}^{\dagger} = \mathbb{U}^{-1}, \quad 2.6.8$$

sendo assim,

$$\det(\mathbb{U}^{\dagger}.\mathbb{U}) = \det(1),$$

$$\det\mathbb{U}^{\dagger}\det\mathbb{U} = 1,$$

$$\det\mathbb{U}^*\det\mathbb{U} = 1,$$

$$|\det\mathbb{U}|^2 = 1. \quad 2.6.9$$

O produto entre eles é +1, portanto, se  $|\det\mathbb{U}|^2 = 1$ , isso implica que  $\det\mathbb{U}$  pode ser  $\pm 1$ . O que define o subgrupo  $SU(2)$  é a escolha de  $\det\mathbb{U} = +1$ . Em geral, as matrizes pertencentes a este grupo são denotadas por  $M$ , onde  $M$  pertence ao conjunto das matrizes complexas  $2 \times 2$ . Estas matrizes possuem  $\det(M) = +1$  e  $M^{\dagger} = M^{-1}$ , conforme estabelecido pela definição geral do grupo  $SU(2)$ . Agora, retornando às matrizes de rotação e considerando uma forma genérica

$$\mathbb{U} = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \text{ com } a, b, c, d \in \mathbb{C}. \quad 2.6.10$$

Logo,  $\det \mathbb{U} = ad - bc = 1$ . A matriz inversa e o conjugado, respectivamente

$$\mathbb{U}^{-1} = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}^{-1}, \quad 2.6.11$$

$$= \frac{1}{\det\mathbb{U}} \begin{bmatrix} d & -b \\ -c & a \end{bmatrix},$$

$$\mathbb{U}^{\dagger} = \begin{bmatrix} a^* & c^* \\ b^* & d^* \end{bmatrix}, \quad 2.6.12$$

$$\begin{bmatrix} a^* & c^* \\ b^* & d^* \end{bmatrix} = \frac{1}{\det\mathbb{U}} \begin{bmatrix} d & -b \\ -c & a \end{bmatrix}. \quad 2.6.13$$

Por igualdade de matrizes, temos,

$$\begin{cases} a = \det\mathbb{U}d^*, \\ b = \det\mathbb{U}c^*, \\ c = \det\mathbb{U}b^*, \\ d = \det\mathbb{U}a^*. \end{cases} \quad 2.6.14$$

Reescrevendo  $U$  e em seguida escrever uma matriz  $M$  com componentes reais e imaginárias:

$$M = \begin{bmatrix} a_r + ia_i & b_r + ib_i \\ -b_r + ib_i & a_r - ia_i \end{bmatrix}. \quad 2.6.15$$

Se calcularmos a  $\det(M)$ , temos  $a_r^2 + a_i^2 + b_r^2 + b_i^2 = 1$ . E, podemos escrever  $M$  da seguinte forma:

$$M = a_r \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} + ia_i \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} + b_r \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} + ib_i \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad 2.6.16$$

ou

$$M = a_r \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} + ia_i \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} + ib_r \begin{bmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{bmatrix} + ib_i \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}. \quad 2.6.17$$

Escrevendo as matrizes de Pauli como:

$$\sigma_1 = \sigma_x = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad 2.6.18$$

$$\sigma_2 = \sigma_y = \begin{bmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{bmatrix}, \quad 2.6.19$$

$$\sigma_3 = \sigma_z = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}. \quad 2..6.20$$

As matrizes de Pauli são elementos essenciais no contexto do grupo  $SU(2)$  dentro da teoria eletrofraca, uma parte integrante do Modelo Padrão da física de partículas. Nesse âmbito, o grupo  $SU(2)$  está associado à simetria do isospin fraco, sendo as matrizes de Pauli os geradores fundamentais desse grupo.

Especificamente, as matrizes de Pauli são empregadas na descrição das interações fracas que afetam partículas como quarks e léptons. Elas surgem na formulação do campo de gauge associado ao  $SU(2)$ , que constitui uma das componentes da interação eletrofraca, em conjunto com o grupo  $U(1)$ . Essas matrizes são fundamentais para a construção das correntes de interação, que determinam a forma como os bósons mediadores da força fraca, como os  $W$  e  $Z$ , interagem com outras partículas.

Dentro do grupo  $SU(2)$ , as matrizes de Pauli correspondem aos geradores das transformações de isospin fraco, desempenhando um papel análogo ao das rotações em espaços tridimensionais, mas aplicadas ao espaço interno das simetrias de gauge que descrevem a interação fraca. Portanto, elas são essenciais para a compreensão das interações unificadas das partículas carregadas e neutras no contexto da teoria eletrofraca.

**Grupo SU(3):** É o grupo de simetria associado à cromodinâmica quântica (QCD), a teoria que descreve as interações entre os quarks e glúons, os constituintes fundamentais dos hádrons (como prótons e nêutrons). Este grupo é responsável por descrever a cor e os sabores das partículas. Matematicamente, o grupo SU(3) é um grupo de Lie, que é um grupo contínuo de transformações lineares que preserva a estrutura de um espaço vetorial complexo.

Ne'eman e Goldberg propuseram um modelo alternativo no qual os hádrons não seriam mais considerados como partículas elementares, mas sim como combinações ligadas de constituintes fundamentais com um número bariônico de  $1/3$ . Este modelo buscava explicar a contabilidade dos estados de bárions, onde o número bariônico seria igual a 1 para bárions e 0 para mésons. Especificamente, Ne'eman e Goldberg propuseram que cada partícula do octeto de bárions, como prótons e nêutrons, fosse composta por três dessas componentes fundamentais. No entanto, essa teoria não recebeu atenção imediata, principalmente devido a resultados experimentais incorretos. Consequentemente, as propostas de Goldberg e Ne'eman foram amplamente ignoradas.

Através do grupo SU(3), é possível desenvolver as características dos hádrons, os quais são compostos pelos quarks  $u$ ,  $d$  e  $s$ . Esses quarks são representações elementares essenciais dentro desse grupo.

$$u = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad d = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad s = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}. \quad 2.7$$

O grupo referido como SU(3) de sabor permite a análise conjunta dos números quânticos hipercarga ( $Y$ ) e isospin ( $I_3$ ). A hipercarga está diretamente ligada aos diferentes sabores dos quarks, e sua expressão é determinada por:

$$Y = S + C + B + T + B, \quad 2.8$$

O isospin  $I_3$  é um número quântico que está associado à interação forte. Quando desconsideramos a carga elétrica, o próton e o nêutron se assemelham bastante, o que nos permite considerá-los como diferentes estados de uma mesma partícula, chamada nucleon. O conceito de isospin foi introduzido para distinguir esses dois estados distintos do nucleon.

A hipercarga e o isospin têm uma relação significativa com a carga elétrica, expressa pela fórmula de Gell-Mann-Nishijima.

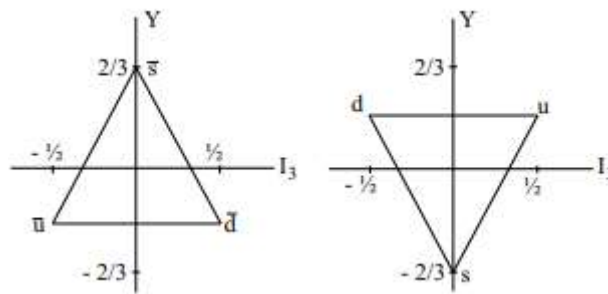
$$Q = I_3 + \frac{1}{2}Y. \quad 2.8.1$$

O grupo SU(3) de sabor é fundamental para descrever a estrutura dos hádrons, compostos pelos quarks  $u$ ,  $d$  e  $s$ . No entanto, uma limitação desse modelo é a discrepância nas

massas dos quarks. Enquanto a diferença de massa entre os quarks  $u$  e  $d$  é relativamente pequena e não causa grandes problemas, o quark  $s$  apresenta uma diferença de massa significativa, da ordem de 100 MeV, em comparação com os outros dois quarks. Essa disparidade não pode ser negligenciada. Assim, o grupo  $SU(3)$  de sabor, por si só, é uma aproximação.

Os números quânticos dos quarks  $u$ ,  $d$  e  $s$  são apresentados na Tabela 1. É importante observar que os estados dos quarks mencionados na Figura 1 e na Tabela 1 podem ser caracterizados por dois números quânticos: a projeção do isospin ( $I_3$ ) e a estranheza ( $E$ ). A carga e a hipercarga são expressas em termos desses números quânticos. Nesse sentido, a carga elétrica de um quark é uma manifestação de seus estados de isospin e estranheza, lembrando que todos os quarks têm número bariônico  $B = 1/3$ .

**Figura 7:**  $SU(3)$ : tripletos de quarks e antiquarks com os respectivos números quânticos de hipercarga  $Y$  e projeção de isospin  $I$ .



Fonte: Autor

Pense em um espaço vetorial tridimensional complexo que tenha um produto escalar definido, no qual os vetores de base, compostos por entradas complexas, são

$$u = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix}, v = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{bmatrix}, w = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \end{bmatrix}. \quad 2.9$$

O produto vetorial entre dois vetores é definido como

$$u \cdot v \equiv \sum_{i=1}^3 (u_i^*)^t \cdot v_i, \quad 2.9.1$$

Onde " $t$ " denota a transposição, já que o produto escalar entre dois vetores, expresso na forma matricial, só pode ser realizado usando essa operação. Para simplificar a notação, adotaremos a regra de Einstein, na qual índices repetidos implicam em soma, significando que se um índice aparecer duas vezes em uma expressão, ele deve ser somado em todas as suas ocorrências.

$$u \cdot v \equiv (u_i^*)^t \cdot v_i. \quad 2.9.2$$

Busca-se encontrar transformações lineares no espaço tridimensional complexo que mantenham inalterado o produto escalar entre dois vetores. Considere as seguintes transformações lineares:

$$\begin{aligned} u' &= R \cdot u, \\ v' &= R \cdot v. \end{aligned} \quad 2.9.3$$

Onde R, que é responsável pela transformação dos vetores u e v, é uma matriz 3×3 com entradas complexas. Queremos garantir que, após a transformação, os vetores mantenham o produto escalar invariante, ou seja,

$$\begin{aligned} u' \cdot v' &= u \cdot v, \\ (u'^*)^t \cdot v' &= (R^* u^*)^t \cdot Rv, \\ &= (u^*)^t (R^*)^t \cdot Rv, \\ &= u^\dagger R^\dagger \cdot Rv. \end{aligned} \quad 2.9.4$$

A condição para manter o produto escalar é assegurada pelo conjugado hermitiano, que é uma operação definida pela conjugação seguida da transposição, simbolizada por "†".

$$R^\dagger \cdot R = I \text{ (unitariedade)}. \quad 2.9.5.1$$

Multiplicando a equação acima à direita nos dois lados da equação por  $R^{-1}$ , a transformação unitária forma um grupo. Veja-as abaixo

$$R_1^\dagger \cdot R_1 = I, \quad 2.9.5.2$$

$$R_2^\dagger \cdot R_2 = I. \quad 2.9.5.3$$

Como supracitado para o grupo SU(2), a álgebra que governa o grupo das matrizes especiais unitárias é regida por matrizes hermitianas. No caso do grupo SU(3), a matriz  $\Omega$ , cuja exponenciação dará origem aos elementos do grupo SU(3) é igual a hermitiniana, de tal forma que

$$\Omega = \begin{pmatrix} a & b & c \\ b^* & e & f \\ c^* & f^* & i \end{pmatrix}. \quad 2.9.6$$

A restrição da hermiticidade de  $\Omega$  implica que os elementos {a, e, i} estão em  $\mathbb{R}$ , enquanto os elementos {b,c,f} estão em  $\mathbb{C}$ . Portanto, podemos expressar a matriz  $\Omega$  de forma mais geral como:

$$\Omega = \begin{pmatrix} a & \beta_1 - i\beta_2 & \gamma_1 - i\gamma_2 \\ \beta_1 + i\beta_2 & e & \phi_1 - i\phi_2 \\ \gamma_1 + i\gamma_2 & \phi_1 + i\phi_2 & i \end{pmatrix}. \quad 2.9.6.1$$

Existe uma certa arbitrariedade na construção da matriz  $\Omega$ . Aqui, optamos pela abordagem mais comumente utilizada na física de partículas, que envolve definir  $b = \beta_1 - i\beta_2$ ,  $c = \gamma_1 - i\gamma_2$  e  $f = \phi_1 - i\phi_2$ . Escrevendo a matriz  $\Omega$  como uma soma de seus geradores  $\lambda_i$ , temos

$$\Omega = \beta_1\lambda_1 + \beta_2\lambda_2 + a\lambda_3 + \gamma_1\lambda_4 + \gamma_2\lambda_5 + \phi_1\lambda_6 + \phi_2\lambda_7 + e\lambda_8. \quad 2.9.6.2$$

Com a introdução de um novo número quântico aditivo, devido a um novo tipo de quark, além de  $I_3$ , seria natural tentar incorporar essa nova simetria em um grupo maior. Ao generalizar a simetria do isospin, descobriu-se que o formalismo adequado para descrever os possíveis estados ligados (interações) dessas partículas deveria ser unitário e representado pelo grupo SU(3). Os geradores desse grupo são as oito matrizes de Gell-Mann (SAKURAI, 2012).

$$\lambda_1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \lambda_2 = \begin{pmatrix} 0 & -i & 0 \\ i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \lambda_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \lambda_4 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad 2.10$$

$$\lambda_5 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -i \\ 0 & 0 & 0 \\ i & 0 & 0 \end{pmatrix}, \lambda_6 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, \lambda_7 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -i \\ 0 & i & 0 \end{pmatrix}, \lambda_8 = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -2 \end{pmatrix}. \quad 2.11$$

Sendo que,  $1/\sqrt{3}$  no gerador 8 foi posto para manter a propriedade

$$\text{tr} \lambda_i \lambda_j = 2\delta_{ij}. \quad 2.12$$

$i, j = \{1, 2, \dots, 8\}$ . Assim como as matrizes de Pauli, todas as matrizes  $\lambda_i$ , são hermitianas e tem traço nulo, estabelecendo ortogonalidade em SU(3).

No modelo de Gell-Mann, a sugestão da simetria SU(3) para os hádrons está relacionada aos três tipos ou "sabores" de quarks de menor massa na época, denominados up (u), down (d) e strange (s). Cada quark possui um spin de 1/2. As características desses quarks estão detalhadas na Tabela 1. É importante observar que para cada quark existe um antiquark correspondente, com números quânticos opostos. Segundo o modelo dos quarks, os mésons são compostos por um quark e um antiquark, enquanto os bárions são formados por três quarks. Por exemplo, prótons e nêutrons são constituídos apenas por quarks u e d.

O SU(3) refere-se a um grupo de simetria que descreve as transformações de cor dos quarks. A cor é uma propriedade intrínseca dos quarks, mas não deve ser interpretada

literalmente como a cor visual; é apenas um rótulo usado na teoria para denotar diferentes estados de carga. Assim como os elétrons têm carga elétrica, os quarks têm carga de cor.

## CAPÍTULO 3

### 3. A TEORIA SOCIOCULTURAL DE VYGOTSKY

Vygotsky introduz os conceitos do educador como mediador, que, por meio de instrumentos e signos, facilita o desenvolvimento de funções cognitivas superiores e promove a construção do conhecimento. Ao discorrer sobre a mediação, Vygotsky (2007, p. 73) enfatiza que:

O uso de meios artificiais – a transição para a atividade mediada – muda, fundamentalmente, todas as operações psicológicas, assim como o uso de instrumentos amplia de forma ilimitada a gama de atividades em cujo interior as novas funções psicológicas podem operar. Nesse contexto, podemos usar o termo função psicológica superior, ou comportamento superior com referência à combinação entre o instrumento e o signo na atividade psicológica.

Essa afirmação revela a base teórica para a criação de um produto educacional que ofereça suporte ao processo de ensino-aprendizagem dos alunos, capacitando-os a alcançar seu potencial máximo de desenvolvimento, com a mediação da ZDP. Na ZDP, os processos de aprendizagem estão em curso, porém estão em um estágio de amadurecimento e desenvolvimento.

Nesta perspectiva, a importância do papel do educador e da linguagem utilizada é fundamental para facilitar a comunicação de pensamentos e conceitos que promovam o desenvolvimento das habilidades mentais mais complexas. E a respeito desse assunto, como destacado por Lucci (2006),

Nesse sentido, a linguagem é o principal mediador na formação e no desenvolvimento das funções psicológicas superiores. Ela constitui um sistema simbólico, elaborado no curso da história social do homem, que organiza os signos em estruturas complexas permitindo, por exemplo, nomear objetos, destacar suas qualidades e estabelecer relações entre os próprios objetos. O surgimento da linguagem, como já foi dito anteriormente, representa um salto qualitativo no psiquismo, originando três grandes mudanças. A primeira está relacionada ao fato de que ela permite lidar com objetos externos não presentes. A segunda permite abstrair, analisar e generalizar características dos objetos, situações e eventos. Já a terceira se refere a sua função comunicativa... (LUCCI, 2006, p.08-09).

Para desenvolver uma linguagem pedagógica relevante e eficaz na transmissão e compreensão dos conhecimentos científicos presentes e futuros, é crucial entender as

construções e interações socioculturais dos alunos do Ensino Médio em uma instituição educacional específica.

Lev Vygotsky introduz quatro conceitos fundamentais em suas ideias: interação, mediação, internalização e ZDP. Segundo este teórico, para aprimorar o processo de aprendizagem, é crucial que o indivíduo não apenas aja sobre o meio, mas que também interaja com ele. Vygotsky ressalta que todo conhecimento adquirido pelo sujeito emerge das relações interpessoais e das trocas estabelecidas com o ambiente, justificando assim o termo "interativo". De acordo com Vygotsky (2007), aquilo que aparenta ser individual na pessoa é, na realidade, resultado da construção de sua relação com o outro, um "outro" que reflete a influência coletiva da cultura. É na interação através da linguagem, dos símbolos e das metáforas escolhidas que ocorre a mediação entre o indivíduo e a cultura.

Vygotsky argumenta que as funções mentais superiores são moldadas socialmente e transmitidas culturalmente através da linguagem. Ele sustenta que, embora um indivíduo possa ter potencial biológico para desenvolver-se, esse desenvolvimento não ocorrerá plenamente se não houver interação com os outros. Segundo ele, é por meio das representações simbólicas que a cultura atribui significado às coisas, mediando a compreensão entre um objeto ou realidade e o sujeito. Essa mediação funciona como uma forma de tradução, conforme discutido por Camillo e Medeiros (2018).

Outro conceito fundamental defendido por Vygotsky (2007) é o da internalização, que representa o estágio final da aprendizagem. Nesse momento, ao refletir sobre o nome e o significado do objeto, o indivíduo internaliza esses elementos, permitindo que ele abstraia o conceito e o torne universal, por meio da mediação da linguagem e da interação com os outros. É dessa forma que se adquirem conhecimentos, papéis sociais e valores.

Segundo Vygotsky (2007), ele propõe a existência de zonas de desenvolvimento que se dividem em três categorias distintas: o nível de desenvolvimento real, que representa as etapas já alcançadas pelo indivíduo e que possibilitam a resolução independente de problemas; o nível de desenvolvimento potencial, que denota a capacidade do indivíduo de desempenhar tarefas com mediação; e a zona de desenvolvimento proximal, que se define como a distância entre os níveis de desenvolvimento real e potencial, representando o percurso necessário para alcançar o amadurecimento e a consolidação das funções superiores.

Para aprofundar sua teoria, Vygotsky (1998) introduz o conceito de ZDP. Em outras palavras, a ZDP pode ser entendida como o ponto de transição entre o que o indivíduo é capaz de aprender de forma independente e a intervenção sociocultural necessária por meio da

interação com outros agentes. Segundo essa perspectiva, as estratégias educacionais serão mais eficazes quando considerarem a subjetividade, a transformação cognitiva contextualizada no ambiente social e a interdisciplinaridade como um elo essencial para integrar e valorizar uma variedade de conhecimentos científicos e culturais.

Na ZDP, a mediação desempenha um papel crucial como ferramenta impulsionadora que capacita o indivíduo a otimizar sua aprendizagem e expandir suas percepções. Esse processo é essencial para permitir que ele avance e enriqueça seus conhecimentos, e isso também é evidente no desenvolvimento da competência em informação.

### **3.1 O PAPEL DA LINGUAGEM NO PROCESSO DE FORMAÇÃO DOS CONCEITOS.**

O ser humano é um ser social que se destaca pela capacidade de criar símbolos e ferramentas culturais para atender às suas necessidades emocionais, educacionais e biológicas. Seu desenvolvimento ocorre através da utilização e domínio das ferramentas de trabalho, um processo que o humaniza ao longo do tempo, à medida que ele assimila o conhecimento acumulado pela sociedade ao longo da história. Segundo Saviani (2015), o ato educativo consiste em cultivar, de forma direta e intencional, a humanidade em cada indivíduo, uma humanidade que é construída coletivamente ao longo do tempo. Os instrumentos de trabalho podem ser divididos em dois tipos: os físicos, ligados às atividades práticas, e os simbólicos, relacionados ao desenvolvimento das capacidades mentais.

A linguagem, enquanto sistema organizado de símbolos e signos, desempenha um papel fundamental como meio de comunicação e é crucial para o desenvolvimento psicológico. Ao utilizar esse instrumento simbólico de comunicação, os seres humanos o transformam conforme suas necessidades, demonstrando sua capacidade de modificar os elementos culturais. O signo possibilita uma representação alternativa dos objetos e fenômenos da realidade, através do uso consciente da palavra, e também serve como ferramenta para resolver desafios psicológicos, como o auxílio à memória. É importante ressaltar que:

É importante destacar que o uso consciente da palavra implica na compreensão mental do signo e do significado, conforme afirmado por Mendonça (2017), a capacidade simbólica transforma profundamente as interações entre os seres humanos. A partir de gestos e sons, formas primitivas de comunicação, que são refinadas e evoluídas socialmente, emerge a linguagem humana. Esta linguagem não apenas transmite informações auditivas e visuais, mas

também carrega consigo um significado simbólico, essencialmente ligado à sua interpretação. Em outras palavras, cada palavra contém um conceito em si mesma.

Assim, a linguagem possibilita a assimilação de um vasto conjunto de ideias e informações, sendo o meio pelo qual o indivíduo internaliza o conhecimento das diversas áreas científicas elaborado ao longo da história. Nesse sentido, é crucial que os professores atuem como mediadores das relações estabelecidas com a linguagem na sala de aula, orientando os alunos a analisar e refletir sobre os conteúdos aprendidos no ambiente escolar. Esse processo é fundamental para a formação de um sujeito crítico e reflexivo, capaz de utilizar os conceitos de forma consciente.

### **3.2 O DESENVOLVIMENTO DOS CONHECIMENTOS CIENTÍFICOS**

Influenciado profundamente pela filosofia de Hegel, pelas ideias de Karl Marx e pelas concepções darwinianas, Vygotsky procura compreender o desenvolvimento cognitivo humano de uma maneira mais abrangente, indo além dos aspectos biológicos e psicológicos. A partir desses fundamentos teóricos, as concepções de Vygotsky levam em conta a racionalidade dialética, a organização e as interações dos indivíduos na sociedade, bem como os princípios de transmutação de espécies, seleção natural e evolução. Dentro desse contexto, a perspectiva vygotskyana argumenta que as estruturas das funções psicológicas superiores são estabelecidas e desenvolvidas por meio de interações socioculturais.

Vygotsky (2007) argumenta que o processo de aprendizado de um indivíduo está intrinsecamente ligado ao contexto histórico, social e cultural em que ele está imerso. Segundo ele, para adquirir conhecimento e se desenvolver pessoalmente, o ser humano necessita interagir com outros membros da sociedade, com o ambiente ao seu redor e com a cultura em geral. O autor ressalta que as relações sociais desempenham um papel fundamental no processo de aprendizagem, atuando como mediadoras entre o sujeito e o objeto do conhecimento. Para que essa interação ocorra, é essencial utilizar instrumentos criados ao longo da história da humanidade pelas sociedades, os quais moldam o contexto social e influenciam o desenvolvimento cultural, além de fazer uso de símbolos, como a linguagem, a escrita e o sistema numérico.

De acordo com a Teoria Histórico-Cultural, o ser humano se distingue dos animais por sua natureza social e sua capacidade de criar signos e instrumentos culturais para atender suas necessidades biológicas, afetivas e culturais. Os signos desempenham um papel fundamental

na qualificação do psiquismo humano, permitindo uma representação abstrata da realidade concreta e a elaboração de uma imagem subjetiva da realidade objetiva.

A educação, por sua vez, é vista como uma prática social complexa cujo objetivo é promover a humanização dos indivíduos e a construção de conceitos científicos. Através da transmissão dos conhecimentos historicamente elaborados, a educação funciona como uma instituição social que identifica e organiza os conhecimentos necessários para a formação e emancipação dos indivíduos.

A escola desempenha um papel crucial na transmissão dos conhecimentos clássicos, como leitura, escrita, matemática, história e geografia. É através da escola que os indivíduos têm acesso a esses conteúdos fundamentais. Esses conhecimentos não apenas modificam a estrutura cognitiva dos alunos, mas também promovem a evolução das funções psicológicas básicas para funções psicológicas mais complexas e para o desenvolvimento de conceitos científicos.

Além disso, é importante destacar que somente através do conhecimento historicamente elaborado é que o indivíduo adquire as ferramentas necessárias para uma participação crítica na sociedade.

O pensamento é um produto da interação histórico-cultural dos indivíduos, refletindo a capacidade humana de manipular a natureza para atender às suas necessidades. Nos primeiros meses de vida, o pensamento assume uma forma prática e rudimentar, limitando-se principalmente a questões afetivas e biológicas. Nesse estágio, a criança não é capaz de ter consciência de sua atividade mental. Por exemplo, um recém-nascido chora automaticamente ao sentir fome, sem ter consciência do processo mental por trás desse choro.

Conforme o indivíduo acumula experiências histórico-sociais, o processo de pensar se aprofunda, refletindo a complexidade crescente do psiquismo. Essa complexificação do psiquismo ocorre principalmente no ambiente escolar, onde o pensamento é progressivamente estruturado em conceitos. Vygotsky argumenta que:

O pensamento em conceitos é o meio mais adequado para conhecer a realidade porque penetra na essência interna dos objetos, já que a sua natureza não se revela na contemplação direta de um ou outro objeto isoladamente, [...]. O vínculo interno das coisas se descobre com a ajuda do pensamento por conceitos, já que elaborar um conceito sobre algum objeto significa descobrir uma série de nexos e relações do objeto dado com toda a realidade, significa incluí-lo no complexo sistema de fenômenos que o sustenta (VIGOTSKY, 1996, p. 79).

Os conceitos espontâneos são produtos naturais do pensamento, surgindo de forma inconsciente e involuntária através das experiências do dia a dia dos indivíduos. Por outro lado,

a formação dos conceitos científicos é um processo complexo que envolve um sistema hierárquico de inter-relações e exige um certo nível de desenvolvimento mental. Antes que a criança possa se tornar consciente da atividade mental e ter controle consciente sobre os conceitos, é necessário que ela tenha desenvolvido as funções psicológicas superiores.

Os conceitos científicos desempenham o papel de integrar os conceitos espontâneos em relações mais amplas e abstratas, através de um processo de autorregulação que é influenciado por fatores tanto internos quanto externos no processo de desenvolvimento. De acordo com Vygotsky:

Os conceitos científicos, com suas atitudes totalmente distintas para o objeto, mediados através de outros conceitos com seu sistema hierárquico interno de relações mútuas, constituem a esfera em que a tomada de consciência dos conceitos, ou seja, sua generalização e domínio, surgem, ao que parece, em primeiro lugar. Uma vez que a nova estrutura da generalização surge em uma esfera do pensamento, se transfere depois, como qualquer estrutura [...] (VIGOTSKY, 1982, p. 213).

Os conceitos científicos são desenvolvidos no ambiente escolar de forma intencional, direcionada e sistematizada. No entanto, tanto os conceitos científicos quanto os espontâneos desempenham um papel fundamental na aquisição das estruturas psicológicas que promovem o desenvolvimento intelectual infantil. Por exemplo, através da experiência e interação com o meio social, a criança assimila conceitos como "animal" (peixe, gato, pássaro, jacaré). À medida que a criança é exposta ao conhecimento sistematizado, ocorre o desenvolvimento, complexificação e classificação desse conhecimento. Por exemplo, a criança pode aprender sobre diferentes tipos de animais, como terrestres, aquáticos, aéreos, carnívoros, onívoros, e assim por diante.

Além disso, como mencionado por Martins, "O processo de desenvolvimento de conceitos, afirmou Vygotsky, exige e articula-se a uma série de funções, a exemplo da percepção acurada, da atenção voluntária, da memória lógica, da comparação, generalização [...]" (MARTINS, 2016, p. 23). Portanto, o desenvolvimento dos conceitos científicos está intrinsecamente ligado ao desenvolvimento das funções psicológicas superiores.

Com o desenvolvimento das funções psicológicas superiores, o ser humano adquire a capacidade de internalizar um sistema de símbolos e signos, bem como de generalizar e abstrair o pensamento. Essas funções se caracterizam pela capacidade de atenção, memória, comportamento consciente, pensamento abstrato, raciocínio dedutivo e capacidade de planejamento. Elas promovem um processo de intelectualização do pensamento e complexificação do psiquismo. Dessa forma, possibilitam ao indivíduo adquirir habilidades de comunicação mais complexas e, conseqüentemente, uma maior independência.

As funções psicológicas superiores desempenham um papel fundamental no processo de formação dos conceitos científicos, pois estabelecem os mecanismos necessários para o surgimento da consciência e do controle sobre os próprios processos mentais. É importante ressaltar que transmitir os conceitos científicos de forma estéril é impossível, pois o desenvolvimento desses conceitos requer que a criança se torne consciente de seus próprios processos mentais, o que contribui significativamente para o processo de ensino-aprendizagem.

Destaca-se que ao adquirir os conceitos científicos, a criança desenvolve a capacidade de relacionar os conhecimentos adquiridos na experiência cotidiana com os conhecimentos historicamente elaborados. Nesse sentido, compreender o desenvolvimento dos conceitos científicos na mente da criança é fundamental para criar métodos eficientes de instrução para crianças em idade escolar no que diz respeito ao conhecimento sistemático, como afirmou Vygotsky: "Para se criar métodos eficientes para a instrução das crianças em idade escolar no conhecimento sistemático, é necessário entender o desenvolvimento dos conceitos científicos na mente da criança" (VYGOTSKY, 1998, p. 103).

### **3.3 O PAPEL DO PROFESSOR NA FORMAÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO**

De acordo com Martins (2016), a escola desempenha o papel fundamental de transmitir um conjunto de conhecimentos sistematizados e organizados conforme os objetivos de aprendizagem. O professor, por sua vez, é o profissional responsável por conduzir esse processo de aquisição do conhecimento e transmissão dos conceitos.

[...] a escolarização impõe-se como uma das condições decisivas para o desenvolvimento da capacidade de abstração, na ausência da qual os sujeitos permanecem reféns do sincretismo, sustentando suas ações pelas aparências dos fenômenos e não por aquilo que realmente são (MARTINS, 2016, p. 29).

O acesso a uma educação de qualidade é crucial para que o indivíduo possa atuar de forma crítica na sociedade. O conhecimento historicamente elaborado proporciona ao indivíduo a capacidade de abstração e reflexão sobre os fenômenos, permitindo análises mais amplas e profundas. Sem acesso a esse conhecimento, as ações dos indivíduos tendem a se limitar apenas à aparência externa dos fenômenos, impedindo o desenvolvimento de uma compreensão mais aprofundada.

O ato de mediação direciona-se pela intencionalidade da ação e pela modificação da situação estimuladora. É através desse processo que o contato humano com a realidade progride

do plano prático e sensorial para o teórico e abstrato. Por meio da mediação, o homem desenvolve o intelecto e evolui das funções psicológicas elementares para as funções psicológicas superiores. Portanto, o ato de mediação durante o processo de ensino-aprendizagem na escola promove a ascensão e complexificação do psiquismo.

O processo de ensino-aprendizagem assume grande importância por oferecer aos alunos um método mediado e direcionado de organização e sistematização dos conceitos. No entanto, é crucial destacar que nem todo trabalho pedagógico orienta o desenvolvimento das pessoas em direção ao seu máximo potencial (MARTINS, 2016, p. 36).

Um trabalho pedagógico eficaz deve ser adequadamente estruturado e alinhado aos objetivos de aprendizagem dos alunos, além de ser fundamentado em conhecimentos científicos. O professor desempenha um papel central nesse processo, sendo responsável por selecionar os conteúdos, os recursos didáticos e metodológicos utilizados, e por oferecer aos alunos uma ampla gama de experiências culturais.

O processo de formação dos conceitos científicos é uma jornada contínua que envolve a apropriação gradual do conhecimento e dos padrões de comportamento humanos. Isso destaca a importância crucial do professor e do processo de mediação na educação. O professor deve atuar como um mediador da aprendizagem dos alunos, identificando os conhecimentos prévios das crianças e buscando alcançar todo o potencial desse conhecimento. Isso é feito relacionando os conteúdos aprendidos na escola com as experiências externas da criança, criando assim conexões significativas que promovem um aprendizado mais profundo e duradouro.

O professor desempenha um papel fundamental ao identificar o que o aluno já conhece, permitindo-lhe assim determinar, definir e guiar o aluno em direção ao que ele é capaz de conhecer. Quanto maior a zona de desenvolvimento proximal da criança, ou seja, a distância entre o nível de desenvolvimento atual do aluno e o nível de desenvolvimento potencial, maior é o seu potencial de aprendizado. Conforme afirmou Vygotsky: "A experiência nos mostrou que a criança com uma zona maior de desenvolvimento proximal terá um aproveitamento muito melhor na escola" (VYGOTSKY, 1998, p. 128). Isso destaca a importância de se reconhecer e nutrir essa zona de desenvolvimento proximal para promover um aprendizado eficaz e significativo.

Portanto, a instituição escolar assume a responsabilidade de transmitir uma variedade de conhecimentos que impulsionam o avanço do psiquismo e o desenvolvimento de conceitos científicos, cabendo ao professor a condução desse processo de aquisição e formação do conhecimento. Como mencionado anteriormente, as experiências do dia a dia exercem

influência nesse processo. É relevante ressaltar que a aprendizagem escolar precede o desenvolvimento, visando a construção de um conjunto de habilidades e conceitos ainda não adquiridos pela criança. Assim, a aprendizagem escolar desempenha um papel crucial na aquisição dos conceitos científicos, ao proporcionar à criança uma percepção generalizada que é mediada desde o início por conceitos prévios, contribuindo para que, mais tarde, a criança se torne consciente de seus próprios processos mentais.

No próximo capítulo, apresenta-se uma explicação detalhada e precisa das etapas realizadas no método de pesquisa, incluindo a descrição do tipo de pesquisa e a caracterização da abordagem metodológica utilizada. Nesta parte, são abordados o contexto da pesquisa, as experiências vivenciadas na escola, assim como a Sequência de Ensino, que está fundamentada e apoiada na teoria de Vygotsky.

## CAPÍTULO 4

### 4. METODOLOGIA

Esta pesquisa é classificada como pesquisa de caráter qualitativa, pois segundo as ideias de Gil (2007), criamos uma Sequência de Ensino e aplicamos no Ensino Médio com a finalidade de testar a eficácia de jogos no ensino de FP ancorada nos pressupostos teóricos de Vygotsky. E podemos destacar com base em seus objetivos como: exploratória, que segundo Gil (2007), este tipo de pesquisa proporciona familiaridade com o tema, afim, de torná-lo mais simples, explícito, ou a construir hipóteses. Nesse caso, busca-se explicitar a **natureza do micro** com a descrição das características da evolução do modelo padrão.

Vale ressaltar que os jogos confeccionados foram de criação do autor, na qual a única referência foram as dinâmicas de jogos clássicos já existentes como jogo da memória e banco imobiliário. Porém, tudo relacionado a designer e construção dos jogos são totalmente autorais. Outro ponto a ser tratado são os relatos dos alunos, no qual os alunos davam seu feedback após o término da aula por meio de áudio no WhatsApp e alguns foram coletados durante a aula e trazidos para o texto.

Para orientar nossa abordagem e análise dos dados coletados, recorreremos à literatura em busca de uma teoria que se adequasse ao nosso trabalho e **à ferramenta de análise** escolhida foi a **teoria** da construção do conhecimento científico de Lev Vygotsky. Acredita-se que essa teoria oferece uma estrutura sólida para coletar dados de forma rigorosa e explorar diversas maneiras de abordar o ensino de Física de Partículas no contexto do Ensino Médio.

#### 4.1 O CONTEXTO DA PESQUISA: VIVÊNCIA NA ESCOLA.

A Sequência de Ensino desenvolvida neste trabalho, será aplicada a um grupo de 30 estudantes da Escola de Ensino Médio em Tempo Integral (EEMTI) Miguel Saraiva Pinheiro, no município de Granjeiro, no estado do Ceará. Os estudantes compunham uma turma mista de estudantes das 1ª, 2ª e 3ª séries do Ensino Médio (EM). Essa divisão se deu devido a componente curricular eletiva integrado ao Novo Ensino Médio (NEM), intitulada física moderna e contemporânea.

Os encontros na escola tiveram duração de 100 minutos durante, e ocorrerá entre os meses de fevereiro e março de 2024, totalizando uma carga horária de 10 horas de atividade de FP desenvolvidas com os alunos.

## 4.2 SEQUÊNCIA DE ENSINO SOBRE FP

A seguir apresenta-se uma proposta de Sequência de Ensino sobre FP, evidenciando os momentos elaborados e a proposta metodológica para cada aula que compõe a sequência, e tratando de forma minuciosa o passo a passo da aula. Vale ressaltar que as imagens, animações, vídeos e simulações utilizadas, estarão dispostas em anexo incluindo explicações didáticas sobre a temática para servir de material de apoio para professores e alunos.

### 1º encontro – Exploração dos modelos atômicos: uma breve introdução a FP

#### Princípio Vygotskyano: ZDP

Objetivos:

1. Introduzir o conceito de partículas subatômicas.
2. Apresentar em forma de maquete os modelos atômicos.
3. Estimular a curiosidade dos alunos pela Física das Partículas.
4. Promover a participação ativa dos estudantes sobre experiências diárias na área, estimulando os alunos a compartilharem suas ideias.

Duração – 1h:40min

#### *Momento 1- Mapa de palavras e discussão em grupo*

As primeiras duas aulas da sequência têm como foco uma introdução a respeito das partículas subatômicas. Inicialmente, através de um mapa de palavras o professor irá perguntar aos alunos o que eles entendem por átomo, assim, promovendo a interação social entre os alunos. Essa interação permite que os alunos compartilhem suas ideias e construam conhecimento coletivamente, alinhando com a ideia de aprendizagem colaborativa de Vygotsky.

#### *Momento 2- Promoção do Debate e Discussão sobre Epistemologia e Ciência*

Após essa breve dinâmica, é fundamental esclarecer aos alunos a origem do conceito de átomo, a diferença entre as concepções grega, moderna e contemporânea desse termo, bem como as evidências empíricas que sustentam o atomismo. Mais do que simplesmente aceitar a ideia de átomo, é importante capacitar os estudantes a persuadir outras pessoas de que a hipótese atomista fornece uma excelente descrição do comportamento da matéria. Além disso, seria interessante promover uma discussão sobre as evidências que corroboram essa hipótese,

estimulando um debate saudável sobre epistemologia e ciência, e explorando as condições necessárias para que uma hipótese seja validada pela comunidade científica.

### *Momento 3- Introdução dos Modelos Atômicos com Maquetes e Animações*

Para instigar o aluno sobre a concepção atomista, o professor deve questionar, por exemplo: o que aconteceria se cortasse uma folha de papel várias e várias vezes? Mesmo com uma tesoura microscópica, existiria um limite na qual não conseguiria cortar? Se sim, qual é esse limite? Após essa breve discussão, com ajuda de maquetes ou animações sobre os modelos atômicos, o professor iria introduzir historicamente as ideias dos cientistas que os formularam.

### *Momento 4- Disputa entre grupos e jogo da memória*

Com intuito de contextualizar a importância da FP no entendimento da estrutura fundamental da matéria, e introduzir mesmo que de forma superficial, conceitos que serão abordados com maior nível de detalhe futuramente, será realizado uma disputa entre grupos de alunos. A disputa será guiada por perguntas (o jogo de perguntas segue em anexo), o professor ficará responsável de fazer perguntas desafiadoras relacionadas ao tema no estilo “passa ou repassa”, os grupos terão um tempo determinado para pesquisar e responder as perguntas.

Para finalizar a aula o professor distribui para os grupos o jogo da memória (Apêndice), com intuito de fixar o conteúdo.

## **2º Encontro- Compreendendo as quatro forças da natureza**

Objetivo da Aula: Compreender as quatro forças fundamentais da natureza de forma dinâmica e interativa.

Duração: 1h e 40min

Nessa aula, os alunos irão mergulhar no fascinante mundo das quatro forças fundamentais da natureza. Ao longo desta jornada, explorarão a gravitacional, a eletromagnética, a nuclear fraca e a nuclear forte, desvendando sua importância e influência em nosso universo.

### *Momento 1- Exploração em grupo e atividades práticas*

Começaremos nossa jornada com uma breve introdução sobre as quatro forças, destacando suas características distintas e como cada uma delas desempenha um papel essencial

em nossa compreensão do mundo ao nosso redor. Em seguida, mergulharemos em uma atividade prática que nos permitirá experimentar cada uma dessas forças de maneira tangível.

Divididos em grupos, terão a oportunidade de explorar cada uma das forças atribuídas. Utilizando materiais simples, como bolas de diferentes materiais, ímãs e modelos de moléculas ou átomos, investigaremos como essas forças se manifestam e interagem no mundo real. Por meio de experimentos, observações e discussões em grupo, poderão compreender melhor os efeitos e implicações de cada uma dessas forças.

### *Momento 2- Discussões em grupo e reflexões coletivas*

Ao compartilhar as descobertas com a turma, terão a chance de ampliar o conhecimento coletivo sobre as forças da natureza e sua importância em nosso cotidiano. Além disso, será feita uma reflexão sobre como essas forças estão presentes em fenômenos naturais e em nossas próprias vidas, promovendo uma compreensão mais profunda e significativa do universo.

Ao final da aula, espera-se que todos saiam com uma nova apreciação e compreensão das forças que moldam o mundo ao nosso redor. Através dessa experiência dinâmica e interativa, estarão mais preparados para enfrentar os desafios e maravilhas da física moderna que os aguardam.

### 3º Encontro – Exploração guiada: uma jornada em busca das partículas

Objetivos:

1. Entender o modelo padrão e como classifica as partículas;
2. Compreender o que significa o termo “partícula elementar”;
3. Discutir sobre cada grupo de partículas;

Duração – 1h:40min

#### *Momento 1- Tabela do MP como recurso visual e mediação do professor*

Antes da aula iniciar, é de suma importância que o professor imprima a tabela do modelo padrão, para que deixe exposta durante o restante do curso, deixando de forma bem visível, servindo de recurso visual para que os alunos sempre possam recorrer a tabela durante os estudos.

Em primeiro momento o professor deve explicar que partícula elementar é uma partícula que não tem subestrutura, ou seja, é indivisível. Essa breve explicação deve ser linkada com a pergunta da aula anterior, se existe um limite da matéria, ao cortar uma folha de papel inúmeras vezes. Em seguida, de forma expositiva o professor explica o modelo padrão disposto na tabela, de acordo com suas classificações.

#### *Momento 2- Atividade de caça ao tesouro em grupo*

Para aprofundamento da explicação do MP, os alunos serão instruídos a se dividirem nos grupos, onde irão participar de um caça ao tesouro. Esse caça ao tesouro acontecerá em sala de aula. Começando por distribuir os enigmas para cada grupo. Lembrem-se de discutir entre si e registrar suas respostas. Os enigmas abordarão conceitos importantes, como os diferentes tipos de partículas, as forças fundamentais e suas interações. Após resolverem todos os enigmas e encontrarem as pistas escondidas, nos reuniremos para discutir as respostas e revisar os principais pontos do Modelo Padrão das Partículas Elementares. Será uma oportunidade para compartilharmos nossas descobertas e esclarecermos quaisquer dúvidas que possam surgir.

Segue a seguir a lista dos enigmas:

**Enigma 1:** Sou uma partícula elementar com carga elétrica negativa, encontrada em torno do núcleo do átomo. Quem sou eu?

**Enigma 2:** Sou uma partícula elementar com carga elétrica positiva, encontrada no núcleo do átomo. Juntos com meus amigos, formamos prótons. Quem sou eu?

**Enigma 3:** Somos as menores partículas subatômicas conhecidas. Nós existimos em diferentes "sabores" e "cores". Quem somos nós?

**Enigma 4:** Sou uma força fundamental responsável pela coesão dos núcleos atômicos. A força que me medeia é transmitida por partículas conhecidas como "glúons". Quem sou eu?

**Enigma 5:** Sou uma partícula elementar neutra, encontrada no núcleo do átomo junto com os prótons. Apesar de não ter carga elétrica, minha presença é crucial para a estabilidade do núcleo. Quem sou eu?

**Enigma 6:** Sou um dos quarks mais comuns, encontrado em prótons e nêutrons. Fui nomeado em homenagem a um famoso cientista. Quem sou eu?

**Enigma 7:** Sou uma partícula elementar que medeia a força responsável pela radioatividade beta. Meu nome é uma homenagem a um físico famoso. Quem sou eu?

**Enigma 8:** Sou uma partícula elementar que medeia a força responsável pela força nuclear forte. Meu nome é derivado do termo latino para "cola". Quem sou eu?

**Enigma 9:** Sou uma partícula elementar com carga elétrica negativa, mas não tenho massa. Eu viajo à velocidade da luz e sou a mediadora da força eletromagnética. Quem sou eu?

**Enigma 10:** Sou uma partícula elementar com carga elétrica positiva, mas tenho uma massa muito pequena. Fui descoberto recentemente e minha existência é crucial para explicar o mecanismo pelo qual outras partículas obtêm sua massa. Quem sou eu?

**Enigma 11:** Sou uma família de partículas elementares que inclui elétrons, múons e táons. Quem somos nós?

#### **4º Encontro – Experimento de física de partículas e jogo de tabuleiro sobre fissão e fusão nuclear**

##### **Princípio Vygotskyano: Linguagem como Ferramenta para o Pensamento**

Objetivos:

1. Apresentar experimentos clássicos de física de partículas;
2. Discutir aplicações práticas de física partículas em áreas distintas.
3. Jogar o jogo “mestre nuclear”

Duração: 1h:40min

Através simulações irão ser apresentado experimentos clássicos em física de partículas, como por exemplo, o espalhamento de Rutherford. Para esse experimento, será utilizado o

simulador phet, que é um simulador gratuito que contempla física, química, biologia, matemática e ciência da terra. A simulação em questão é intitulada de “espalhamento de Rutherford” e o link estará disposto na nota de rodapé. O objetivo é abordar tópicos da estrutura atômica, descrevendo qualitativamente a diferença entre o espalhamento das partículas alfas no “modelo planetário” e “pudim de passas”. O professor pode tá fazendo uso de vídeo com sobre o funcionamento básico dos aceleradores de partículas e sua importância na ciência para auxiliar durante a aula.

Para finalizar o conteúdo sobre aplicações da FP, os alunos irão jogar um jogo de tabuleiro denominado “mestre nuclear”, cujo criadores são Silva, Edgar e Rocha (2021).

## **5º Encontro – Quantum quest: o desafio das partículas**

### **Princípio Vygotskyano: Uso de Ferramentas Culturais**

Objetivos:

1. Contribuir na construção do conhecimento do aluno em FP de forma lúdica;
2. Oferecer uma experiência interativa e divertida para aprender sobre FP;
3. Explorar e apreciar a fascinante natureza do mundo subatômico de uma forma lúdica e educativa.

Duração: 1h:40min

Essa aula será dedicada para aplicação do jogo de tabuleiro, que é o foco principal do produto educacional dessa pesquisa.

O professor iniciará dividindo a sala em 4 a 5 equipes, o intuito é que todos os alunos joguem. Por conseguinte, o professor irá explicar as regras do jogo para os alunos, de forma que fique claro qual objetivo principal do jogo. Então o jogo começa.

## CAPÍTULO 5

### 5. RESULTADOS

Neste capítulo, serão apresentados e analisados os resultados obtidos ao longo da pesquisa. Os dados coletados são discutidos à luz dos objetivos propostos, permitindo uma avaliação detalhada do impacto das intervenções realizadas. A análise procura identificar tendências, padrões e reflexões dos alunos que contribuam para uma compreensão mais ampla do tema em estudo, além de possibilitar o impacto da aplicação da Sequência de Ensino. Vale ressaltar que cada encontro consiste em duas aulas germinadas (consecutivas), e que foram realizadas entre os meses de fevereiro e março de 2024.

Para preservar a identidade dos alunos, os mesmos serão representados por nomes fictícios referente a nome de cientistas. O primeiro encontro foi realizado no dia 20 de fevereiro, A aula de introdução às partículas subatômicas atingiu seus objetivos. Os alunos demonstraram interesse e engajamento ao longo do encontro. Desde o início, a proposta dinâmica mostrou-se eficaz em despertar o interesse dos estudantes e facilitar a compreensão do tema.

#### Primeiro encontro

Iniciamos a aula com uma atividade de brainstorming que é um mapa de palavras para explorar o conceito de átomo. Os alunos participantes compartilharam suas ideias e percepções sobre o assunto. Em seguida, procedemos com uma discussão sobre a origem do conceito de átomo, abordando as diferentes concepções ao longo da história e as evidências empíricas que sustentam o atomismo. Os alunos se mantiveram envolvidos em debates elevados sobre epistemologia e ciência, demonstrando uma compreensão sólida dos princípios fundamentais.

Sobre o mapa de palavras, a aluna Marie indagou: “A aula foi muito interessante e me fez pensar de uma forma diferente sobre os átomos. Gostei muito do mapa de palavras no começo, porque ajudou a organizar as ideias que eu já tinha e a aprender coisas novas. Agora consigo entender melhor como os cientistas chegaram à ideia de que a matéria não é contínua, mas sim composta por pequenas partículas.” Essa percepção evidencia a importância das metodologias ativas no ensino de Física, conforme destacam autores como Huizinga (2012), ao enfatizar que a gamificação e a organização do conhecimento por meio de estratégias visuais favorecem a aprendizagem significativa.

Para instigar ainda mais a curiosidade dos alunos, foram utilizadas perguntas provocativas, como o clássico exemplo de cortar uma folha de papel várias vezes. As respostas dos alunos revelaram um pensamento crítico e uma compreensão crescente da concepção atomista. Introduzir os modelos atômicos históricos também se mostrou eficaz, proporcionando aos alunos uma visão panorâmica da evolução do pensamento científico. Essa abordagem está alinhada com a teoria de Vygotsky (1978), que enfatiza a aprendizagem como um processo mediado pela interação social e pelo papel fundamental do professor como mediador na construção do conhecimento. O desenvolvimento conceitual se deu na Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), onde os alunos puderam avançar em sua compreensão por meio da colaboração e do debate.

A respeito do debate sobre a constituição da matéria, o aluno Newton declara: “Eu achei que a aula foi muito bem planejada. A discussão sobre a história do conceito de átomo me ajudou a entender como o conhecimento foi se desenvolvendo ao longo do tempo. Antes eu achava que os modelos atômicos eram apenas desenhos diferentes, mas agora percebo que cada um reflete uma descoberta científica importante.” O aluno Einstein afirma: “A aula me ajudou a entender melhor o conceito de átomo e a evolução dos modelos científicos. Nunca tinha parado para pensar que o modelo atômico de Bohr explica por que os átomos emitem luz em cores específicas.” Essas falas demonstram que a compreensão dos alunos não se limitou a uma memorização de modelos, mas sim à percepção de que eles representam avanços científicos, um princípio defendido por autores como Matthews (1994) no ensino de ciências.

A atividade de disputa entre grupos foi um ponto alto da aula, já que, para esse momento, os alunos foram conduzidos para fora da sala de aula, onde um piquenique os esperava. Então, o jogo de perguntas e respostas foi sendo conduzido, e os alunos demonstraram cooperação e trabalho em equipe para obter as respostas certas. As perguntas estimularam a pesquisa e o raciocínio rápido, consolidando o conhecimento adquirido de forma divertida e interativa. Vale destacar que, para a realização do piquenique, houve ajuda da coordenação escolar e de alguns alunos para montagem, enquanto outro momento ocorria em sala de aula.

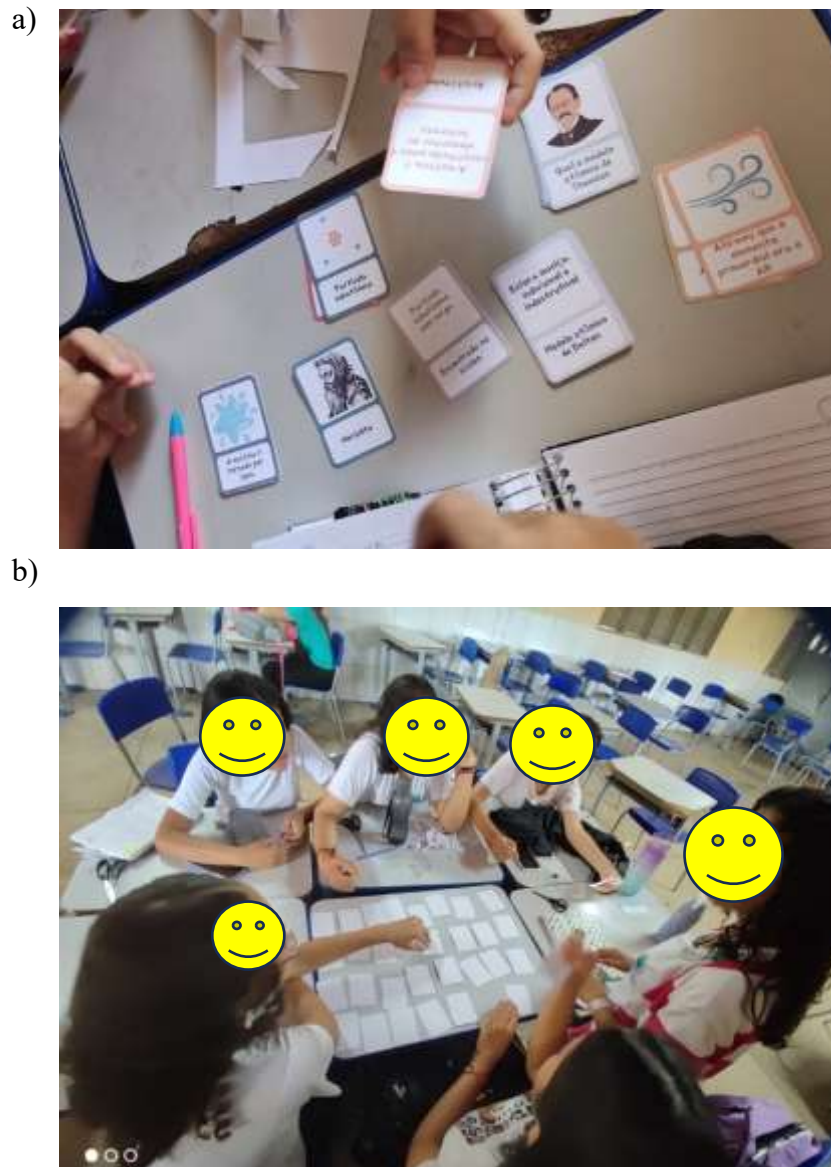
**Figura 8:** Piquenique realizado com os alunos e jogo de perguntas e respostas



A disputa entre grupos foi o que mais chamou atenção dos alunos, visto que teve um piquenique. Einstein relata: “A parte que mais gostei foi o piquenique com o jogo de perguntas e respostas, porque além de divertido, foi desafiador e fez a gente discutir bastante para acertar. Algumas perguntas me fizeram pensar melhor sobre como os elétrons se organizam nos átomos e como isso afeta as propriedades dos elementos químicos.”

Ainda sobre a disputa de grupos e o jogo da memória, Planck afirma: “A competição entre os grupos também foi ótima, foi bom ver todos colaborando e aprendendo juntos. O jogo da memória foi uma boa ideia para relembrar o que vimos. Agora ficou mais claro para mim por que os átomos de diferentes elementos têm massas diferentes.”

**Figura 9:** Jogo da memória. a) Distribuição do jogo da memória. b) Aplicação do jogo da memória.



Essas atividades dialogam diretamente com o potencial dos jogos didáticos no ensino de Física. De acordo com Kishimoto (2003), os jogos são ferramentas que favorecem a motivação, engajamento e interação entre os alunos, promovendo uma aprendizagem mais significativa. Além disso, a proposta de uma abordagem lúdica permite que os estudantes se apropriem dos conceitos científicos de maneira mais intuitiva e eficaz. Por fim, a inclusão de temas da Física Moderna e Contemporânea no ensino médio, como discutido por Moreira (2010), é fundamental para aproximar os alunos das descobertas mais recentes da ciência, estimulando o pensamento crítico e o interesse pela área.

Em síntese, as duas primeiras aulas da sequência atenderam aos objetivos propostos, oferecendo aos alunos uma experiência de aprendizagem relevante. O feedback positivo dos estudantes como supracitado, confirma a eficácia das estratégias aplicadas, e a continuidade do tema nas próximas aulas será uma oportunidade de aprofundamento.

Essa aula pode ser fundamentada nas ideias de Vygotsky, especialmente em sua teoria sociocultural, que destaca a importância da interação social e da zona de desenvolvimento proximal na aprendizagem dos alunos. A aula está vinculada às ideias de Vygotsky da seguinte forma:

**Mapa de Palavras e Discussão em Grupo:** Ao iniciar a aula com um mapa de palavras e uma discussão em grupo sobre o conceito de átomo, o professor está promovendo a interação social entre os alunos. Essa interação permite que os alunos compartilhem suas ideias e construam conhecimento coletivamente, o que está alinhado com a ideia de aprendizagem colaborativa de Vygotsky.

**Promoção do Debate e Discussão :** Ao estimular os alunos a discutirem as diferentes concepções de átomo e as evidências que corroboram o atomismo, o professor está incentivando a reflexão crítica e o debate saudável sobre questões epistemológicas. Essa abordagem promove o desenvolvimento do pensamento crítico e da capacidade de argumentação dos alunos, conforme preconizado por Vygotsky.

**Disputa entre Grupos e Jogo da Memória:** A disputa entre grupos guiada por perguntas desafiadoras e o jogo da memória são atividades que promovem a interação social e colaboração entre os alunos. Essas atividades proporcionam oportunidades para os alunos trabalharem juntos para resolver problemas e consolidarem o que aprenderam. Além disso, o professor atua como mediador, oferecendo suporte e orientação conforme necessário, o que é central na teoria de Vygotsky.

Portanto, essa aula enfatiza a importância da interação social, da colaboração e da mediação do professor na aprendizagem dos alunos, aspectos fundamentais da teoria sociocultural de Vygotsky. Ao promover um ambiente de aprendizagem rico em interações sociais e oportunidades de colaboração, o professor está facilitando o desenvolvimento cognitivo e acadêmico dos alunos, conforme preconizado por Vygotsky.

## Segundo encontro

O segundo encontro foi realizado no dia 27/02. Nesta aula, os alunos participaram de uma exploração dos conceitos que permeiam o universo. Desde o início, houve um interesse contínuo por parte dos estudantes em compreender as forças que influenciam o mundo ao seu redor. Devido à programação da aula anterior, os alunos mostravam grande expectativa para a aula que estava por vir. Nesse sentido, o aluno Ptolomeu comentou: “Estou muito empolgado para essa aula porque na última a gente aprendeu de um jeito diferente e super dinâmico. Quero saber agora como as forças que regem o universo realmente funcionam e como podemos perceber isso no dia a dia”.

Iniciamos a aula com uma introdução sobre as quatro forças fundamentais: a gravitacional, a eletromagnética, a nuclear fraca e a nuclear forte. Os alunos demonstraram interesse ao aprender sobre as características únicas de cada uma dessas forças e como elas interagem em diferentes contextos. Essa base teórica sólida preparou o terreno para as atividades práticas que estavam por vir.

Durante a discussão, a aluna Marie questionou por que o núcleo atômico não colapsa devido à força de repulsão dos prótons, ao que o aluno Newton acrescentou perguntando o motivo de os elétrons não caírem no núcleo. Esses questionamentos conduziram o debate sobre as quatro forças e impulsionaram a pesquisa dos alunos, permitindo a construção ativa do conhecimento. Esses questionamentos refletem a importância da curiosidade científica e ilustram como a física moderna busca responder a tais dilemas, como fez a mecânica quântica ao explicar a estabilidade do átomo.

A atividade prática proporcionou aos alunos uma oportunidade de experimentar as quatro forças de maneira tangível. Divididos em grupos, os estudantes exploraram cada uma das forças atribuídas, utilizando materiais simples, como bolas de diferentes materiais, ímãs magnéticos e maquetes de moléculas e átomos. Durante a exploração, os alunos testaram as forças em diversas situações e discutiram suas implicações. Por meio de observações e discussões animadas em grupo, os alunos puderam compreender melhor os efeitos das forças fundamentais da natureza. As imagens 10a, 10b e 10c mostram os experimentos feitos pelos alunos com os materiais que foram distribuídos, lembrando que alguns alunos adaptaram com materiais próprios.

**Figura 10:** Experimento 4 forças fundamentais. a) Força magnética, b) força elétrica, c) força nuclear.

a)



b)



10 c)



Fonte: Autor

Ao compartilhar suas descobertas com a turma, os alunos enriqueceram o conhecimento coletivo sobre as forças da natureza, destacando exemplos concretos de como essas forças estão presentes em fenômenos naturais e no cotidiano. Essa troca de informações promoveu uma compreensão mais profunda do universo, estimulando reflexões sobre o papel das forças fundamentais.

O aluno Planck afirmou: “A aula me surpreendeu positivamente. A introdução sobre as forças fundamentais foi clara, e as atividades práticas realmente tornaram o aprendizado mais objetivo. Eu não sabia que forças como a nuclear forte eram responsáveis por manter os núcleos atômicos estáveis. Agora vejo como essas forças são essenciais para a estrutura da matéria”. Essa fala demonstra o impacto da abordagem didática na aprendizagem, pois evidencia a construção ativa do conhecimento ao relacionar o conteúdo teórico com exemplos concretos.

Ptolomeu relatou que a aula "foi muito interessante e me ajudou a entender melhor as quatro forças fundamentais. Gostei da atividade prática, porque pude visualizar como essas forças funcionam de verdade. Agora, fico curioso para entender como essas forças atuam além do mundo microscópico, por exemplo, na formação das galáxias e no funcionamento do universo". Esse questionamento amplia o escopo do aprendizado e incentiva a exploração de temas mais avançados da física.

Nesta aula, os princípios de Vygotsky podem ser aplicados para promover uma compreensão mais profunda e interativa das quatro forças fundamentais da natureza. Pode-se dizer que a aula está fundamentada nas ideias de Vygotsky da seguinte maneira:

**Exploração em Grupo e Atividades Práticas:** Ao dividir os alunos em grupos para explorar cada uma das quatro forças fundamentais da natureza, a aula promove a interação social e a colaboração entre os alunos. Essa interação proporciona oportunidades para os alunos compartilharem conhecimentos, experiências e estratégias de resolução de problemas, o que está alinhado com a ideia de aprendizagem colaborativa de Vygotsky.

**Discussões em Grupo e Reflexão Coletiva:** Durante a atividade prática, os alunos têm a oportunidade de discutir suas observações e descobertas em grupo. Essas discussões permitem que os alunos expressem suas ideias, compreensões e dúvidas, promovendo a construção coletiva de conhecimento. Além disso, a reflexão coletiva sobre como as forças da natureza estão presentes em fenômenos naturais e em suas próprias vidas proporciona uma compreensão mais profunda e significativa do universo, conforme preconizado por Vygotsky.

**Mediação do Professor:** O professor desempenha um papel importante como mediador durante toda a aula, fornecendo suporte, orientação e feedback aos alunos conforme necessário.

Ao oferecer instrução direta, modelagem de estratégias e facilitação de discussões, o professor ajuda os alunos a avançarem em sua compreensão das quatro forças fundamentais da natureza. Essa mediação é essencial para garantir que os alunos alcancem seu potencial máximo de aprendizagem, conforme sugerido pela zona de desenvolvimento proximal de Vygotsky.

**Construção Coletiva de Conhecimento:** Ao compartilhar suas descobertas com a turma e participar de uma reflexão final sobre as implicações das forças da natureza, os alunos estão contribuindo para a construção coletiva de conhecimento. Essa abordagem enfatiza a importância da interação social e da troca de ideias na construção do entendimento dos alunos sobre o tema, aspectos fundamentais da teoria sociocultural de Vygotsky.

Portanto, essa aula proporciona uma experiência de aprendizado dinâmica e interativa que promove a colaboração, a reflexão e a construção coletiva de conhecimento, aspectos centrais da teoria de Vygotsky. Ao aplicar os princípios de Vygotsky, os alunos estão mais preparados para compreender as complexidades das forças fundamentais da natureza e enfrentar os desafios da física moderna de maneira mais eficaz.

### **Terceiro encontro**

A aula sobre o Modelo Padrão das Partículas Elementares, realizada no dia 05/03, foi notavelmente produtiva, proporcionando aos alunos uma experiência de aprendizagem dinâmica e interativa. Desde o início, o uso de recursos visuais, como a tabela do Modelo Padrão, foi bem recebido, e as falas dos alunos durante a aula demonstraram a eficácia desse recurso. A tabela foi constantemente utilizada, o que garantiu aos alunos uma referência visual importante para consolidar o aprendizado. As falas dos alunos corroboram isso:

- Marie afirmou: “O uso da tabela visual me ajudou a fixar melhor as partículas e suas categorias.”
- Ptolomeu destacou: “A aula foi bem interessante, especialmente com a tabela do Modelo Padrão à nossa disposição. Ela foi uma referência importante para entender melhor as partículas elementares.”
- Newton acrescentou: “A explicação sobre as partículas elementares ficou mais clara com a tabela, que ajudou a visualizar o que estávamos aprendendo.”

Essas falas refletem a importância do uso de recursos visuais, um princípio fundamental da pedagogia de Vygotsky, que enfatiza a mediação de ferramentas externas para facilitar a

aprendizagem. A tabela do Modelo Padrão serviu como um mediador cognitivo, auxiliando os alunos a entenderem conceitos complexos de forma mais acessível e concreta.

A explicação inicial sobre o limite da matéria, utilizando o exemplo do corte de uma folha de papel várias vezes, despertou a curiosidade dos alunos, criando uma ponte entre conceitos abstratos e situações cotidianas. Isso é uma aplicação clara da teoria de Vygotsky, que acredita que o conhecimento se constrói através de processos de mediação, onde problemas concretos ajudam os alunos a entender conteúdos abstratos.

A abordagem expositiva do Modelo Padrão, utilizando enigmas como uma forma de incentivo à participação dos alunos, foi uma estratégia eficaz para promover a compreensão e a concentração do conteúdo. Os grupos se envolveram na caça ao tesouro, discutindo entre si e colaborando para resolver os enigmas propostos. Essa atividade proporcionou uma experiência prática e interativa, que permitiu aos alunos explorar os conceitos de forma mais concretos e significativos. A seguir a imagem 11, sobre a explicação do jogo caça ao tesouro.

**Figura 11:** Explicação caça ao tesouro



Fonte: Autor

A atividade de caça ao tesouro, utilizada como estratégia de ensino, teve um papel central na aula. Ao dividir os alunos em grupos para resolver enigmas relacionados ao Modelo Padrão, o professor incentivou a colaboração e a interação social entre os estudantes, aspectos fundamentais para a construção do conhecimento na perspectiva de Vygotsky. Como evidenciado pelas falas de Einstein: “A caça ao tesouro foi uma forma divertida de aprender, e discutir as respostas depois fez com que eu entendesse melhor o Modelo Padrão e trabalhar em grupo ajudou muito na compreensão do conteúdo.” Este momento reflete a aprendizagem colaborativa, onde os alunos discutem, compartilham ideias e constroem o conhecimento coletivamente.

A ideia de trabalhar em grupo para resolver enigmas e discutir as respostas alinha-se com a ZDP proposta por Vygotsky. Na ZDP, os alunos conseguem alcançar um maior nível de compreensão com o apoio dos colegas e do professor, o que foi claramente observado na aula. Durante a atividade, os alunos socializaram suas descobertas, o que ajudou na construção de uma compreensão mais profunda e sólida do Modelo Padrão.

Ao final da atividade, a revisão dos conceitos e a discussão das respostas dos enigmas reforçaram o entendimento coletivo sobre o tema, o que é uma demonstração clara da importância da interação social no processo de aprendizagem, conforme sugerido por Vygotsky. Durante esse momento, os alunos puderam compartilhar suas descobertas, tirar dúvidas e reforçar o conhecimento adquirido.

Em resumo, essa aula exemplifica como a teoria de Vygotsky pode ser aplicada de forma eficaz no ensino de conceitos complexos como o Modelo Padrão das Partículas Elementares. A utilização de recursos visuais, como a tabela, e a atividade interativa de caça ao tesouro proporcionaram aos alunos uma experiência de aprendizagem colaborativa e significativa. Além disso, as interações entre os alunos e a mediação do professor ajudaram a consolidar o conhecimento de forma profunda e coletiva, alinhando-se com os princípios centrais da teoria sociocultural de Vygotsky.

#### **Quarto encontro**

A aula de 12/03, dedicada aos experimentos em Física de Partículas e ao uso de um jogo de tabuleiro como ferramenta pedagógica, oferece uma rica oportunidade de analisar o uso de jogos didáticos no ensino de Física, em especial nas áreas da física moderna e contemporânea. Segundo Kishimoto (2003), jogos didáticos são frequentemente apresentados como uma abordagem eficaz para a aprendizagem ativa, promovendo um ambiente colaborativo e interativo, o que favorece a construção do conhecimento em contextos complexos. No caso da física de partículas, por sua natureza abstrata e desafiadora, o uso de simulações como o simulador PhET e o jogo “mestre nuclear” (SILVA, EDGAR e ROCHA, 2021) evidencia a aplicabilidade dos jogos no ensino dessa disciplina. A literatura sobre jogos didáticos aponta que estas ferramentas permitem que os alunos compreendam e visualizem fenômenos de física que, sem tais recursos, seriam difíceis de explorar de forma eficaz, especialmente no ensino médio, onde o acesso a equipamentos avançados de laboratório é muitas vezes restrito.

A teoria de Vygotsky, centrada na interação social e na Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), oferece um suporte teórico para entender como o uso de simulações e jogos pode contribuir para a aprendizagem dos alunos. Vygotsky enfatiza a importância da mediação do professor, que, por meio de atividades colaborativas como o jogo de tabuleiro e as discussões em grupo, pode ajudar os alunos a alcançar um nível de compreensão mais avançado. Nesse sentido, a interação entre os alunos durante o jogo "mestre nuclear" e a utilização das simulações não apenas reforçam os conceitos, mas também promovem uma compreensão mais profunda dos conteúdos. Isso se alinha com a visão vygotskiana de que a aprendizagem é mais eficaz quando ocorre de maneira colaborativa e mediada, o que é claramente observado na dinâmica de trabalho em equipe durante o jogo.

**Figura 12:** Jogo mestre nuclear



Fonte: Autor

No entanto, os relatos dos alunos, como o de Marie e Bohr, apontam para uma necessidade de maior tempo para discussão e exploração dos conceitos abordados, o que levanta a questão sobre o equilíbrio necessário entre o uso de recursos dinâmicos e a fundamentação teórica do conteúdo. Embora as simulações e o jogo sejam eficazes para ilustrar os conceitos de fissão, fusão nuclear e partículas elementares, o feedback dos alunos sugere que é fundamental que o professor promova um espaço para aprofundamento das discussões, ampliando as questões para além da Física de Partículas e conectando-as com outras áreas da física moderna e contemporânea, como a teoria quântica e a relatividade, para enriquecer ainda mais o aprendizado.

Esse ponto também dialoga com as pesquisas sobre a implementação de tópicos avançados como a Física de Partículas no ensino médio, que indicam que, apesar de sua complexidade, esses conceitos podem ser abordados de maneira acessível se forem cuidadosamente contextualizados e relacionados com o cotidiano dos alunos. Assim, ao proporcionar uma reflexão crítica sobre as aplicações do bóson de Higgs e dos aceleradores de partículas, a aula não só introduziu os estudantes à Física de Partículas, mas também os estimulou a pensar sobre os impactos dessa área na ciência e na tecnologia. Este tipo de abordagem, ao envolver a física moderna e contemporânea, promove um entendimento mais completo do campo da física e estimula os alunos a se envolverem de maneira mais ativa e crítica com os conceitos.

Em suma, a utilização de simulações e jogos didáticos como o “mestre nuclear” no ensino de física de partículas, alinhada à teoria sociocultural de Vygotsky, evidencia o potencial dessas estratégias para criar um ambiente de aprendizagem dinâmica e interativa. Contudo, como indicam os comentários dos alunos, há uma necessidade de aprimorar o tempo dedicado à reflexão e discussão, proporcionando aos estudantes uma oportunidade de aprofundar o entendimento dos conceitos e suas aplicações em contextos mais amplos, favorecendo uma aprendizagem mais eficaz e significativa.

### **Quinto encontro**

A aula do dia 19/03, voltada para a exploração da física de partículas por meio de métodos interativos, não apenas proporcionou um espaço dinâmico de aprendizado, mas também refletiu os princípios fundamentais da teoria sociocultural de Vygotsky, especialmente em relação à colaboração, interação social e mediação. O jogo de tabuleiro, utilizado como ferramenta pedagógica, possibilitou que os alunos aplicassem seus conhecimentos de forma prática, explorando conceitos avançados da física de partículas enquanto interagiam uns com os outros, um princípio crucial da teoria de Vygotsky, que enfatiza a aprendizagem mediada e a importância do contexto social no desenvolvimento cognitivo.

**Figura 13:** Jogando o jogo Quantum Quest: o desafio das partículas



Fonte: Autor

Ao final da aula, alguns relatos de alunos ajudaram a ilustrar como o jogo de tabuleiro facilitou a compreensão dos conceitos de física de partículas de maneira prática e interativa. Ptolomeu destacou a importância da aplicação dos conceitos teóricos de forma lúdica, afirmando: “Eu gostei bastante da dinâmica do jogo. Aplicar o conteúdo teórico de forma interativa fez com que eu entendesse melhor como as partículas subatômicas funcionam.” Essa observação está diretamente alinhada com a ideia de Vygotsky de que o conhecimento é construído de maneira ativa, com base em experiências concretas e na interação com os outros. Para Ptolomeu, o jogo permitiu uma aplicação direta de conceitos abstratos como o comportamento das partículas subatômicas, algo que, de outra forma, poderia parecer distante e difícil de compreender.

Por outro lado, Born, ao refletir sobre a dinâmica em equipe, mencionou: “Trabalhar em equipe foi essencial para discutirmos os conceitos, e a ajuda do professor durante o jogo foi importante para resolvermos dúvidas.” Esse comentário destaca dois pontos chave da teoria vygotskiana: a ZDP, onde os alunos são capazes de aprender com o suporte do professor e de seus colegas, e a ideia de que o aprendizado ocorre de forma mais eficaz quando mediado

socialmente. Durante o jogo, os alunos puderam compartilhar estratégias, discutir os conceitos e resolver problemas colaborativamente, o que reforçou a compreensão de temas complexos, como a interação das partículas subatômicas e as forças fundamentais.

Newton complementou a reflexão ao dizer: “A aula foi muito clara e a conversa no final foi uma boa oportunidade para refletirmos sobre o que aprendemos.” Esse relato sugere que, apesar da natureza interativa do jogo, o momento de discussão final foi crucial para consolidar o aprendizado. A conversa guiada pelo professor permitiu que os alunos conectassem as experiências vividas durante o jogo com o conhecimento científico formal, proporcionando uma reflexão mais profunda sobre os conceitos de física de partículas, como a relação entre as forças fundamentais e as interações entre partículas subatômicas.

Esses relatos dos alunos revelam a eficácia da aula em promover uma compreensão mais profunda da física de partículas, especialmente ao integrar conceitos teóricos com atividades práticas e colaborativas. Ao se depararem com questões como a natureza das interações entre partículas, a fissão e a fusão nuclear, os alunos puderam vivenciar os processos de forma mais tangível, o que, conforme Vygotsky, facilita o desenvolvimento de uma compreensão mais sólida e significativa. A importância da interação social e da mediação do professor foi claramente destacada pelos alunos, que sentiram que a troca de ideias e a orientação recebida durante o jogo foram essenciais para esclarecer dúvidas e reforçar o aprendizado.

A relação entre os relatos dos alunos e a física estudada revela que o jogo de tabuleiro não só ajudou a explicar conceitos abstratos da física de partículas, mas também incentivou os alunos a se engajarem ativamente com o conteúdo e a refletirem sobre o conhecimento adquirido. Como sugere a literatura sobre jogos didáticos no ensino de física, essa abordagem permite que os alunos explorem conceitos complexos de forma divertida e envolvente, promovendo a aprendizagem ativa e a colaboração, aspectos fundamentais para o desenvolvimento cognitivo, conforme proposto por Vygotsky.

Além disso, a reflexão pós-jogo, como indicada pelos relatos de Ptolomeu, Born e Newton, mostra que, ao aplicar esses conceitos de forma prática, os alunos foram capazes de internalizar melhor o que aprenderam sobre o mundo subatômico. Isso reforça a ideia de que a aprendizagem não se dá apenas na absorção passiva de informações, mas sim na aplicação prática e na discussão de conceitos que se tornam mais claros através da interação social e da mediação docente.

Em síntese, a aula de 19/03 foi um exemplo de como as teorias de Vygotsky podem ser implementadas eficazmente no ensino de tópicos complexos como a física de partículas, usando

jogos didáticos para promover a aprendizagem colaborativa, prática e mediada. As reflexões dos alunos demonstram como o uso de métodos interativos e colaborativos contribui para a consolidação do conhecimento e facilita a compreensão de conceitos que, à primeira vista, poderiam ser vistos como distantes e abstratos.

**Figura 14:** Jogo impresso



Fonte: Autor

Portanto, essa aula proporciona uma oportunidade para os alunos desenvolverem suas habilidades cognitivas e sociais enquanto exploram conceitos de física de partículas de forma lúdica e educativa. Ao aplicar os princípios de Vygotsky, o professor cria um ambiente de aprendizado estimulante e colaborativo, onde os alunos são os protagonistas de sua própria aprendizagem.

## CAPÍTULO 6

### 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As conclusões desta pesquisa reforçam a importância de estratégias pedagógicas inovadoras para o ensino de conceitos científicos complexos, como a FP, em turmas do Ensino Médio. O uso do jogo de tabuleiro, fundamentado na ZDP de Vygotsky, mostrou-se uma ferramenta capaz de promover a aprendizagem ativa e colaborativa. Pois, o desenvolvimento cognitivo ocorre por meio da interação social e do uso de ferramentas culturais, sendo o jogo uma dessas ferramentas que estimula a mediação entre o que o aluno já sabe e o que pode aprender com o auxílio de um mediador. Nesse sentido, o jogo proporcionou um ambiente de interação, diálogo e cooperação entre os alunos, o que favoreceu a construção conjunta de novos conhecimentos.

Os objetivos específicos da pesquisa foram alcançados, permitindo uma análise profunda das potencialidades dos jogos como instrumentos educacionais. Inicialmente, foi possível explorar o conhecimento prévio dos alunos sobre Física das Partículas, revelando tanto suas percepções quanto as lacunas no entendimento desse campo. A contextualização da Física das Partículas como uma área essencial para a compreensão do Universo ampliou a visão dos estudantes sobre a relevância do conteúdo, tornando-o mais significativo e acessível.

A interação proporcionada pelo jogo de tabuleiro permitiu que os alunos desenvolvessem os conceitos científicos de forma mais ativa e participativa. Eles foram colocados em situações onde precisaram cooperar e compartilhar estratégias para avançar no entendimento dos conceitos, em um processo que reflete o que Vygotsky define como o alcance do potencial de desenvolvimento do aluno. A construção ativa do conhecimento, mediada por essa dinâmica lúdica e interativa, mostrou-se eficaz na promoção de um aprendizado significativo, ao estimular os alunos a aplicarem e consolidarem os conceitos estudados.

Além disso, a investigação sobre a eficácia de jogos como ferramenta pedagógica revelou bons resultados. Os alunos não apenas demonstraram envolvimento durante a atividade, como também apresentaram uma melhor compreensão dos conceitos relacionados ao Modelo Padrão das partículas elementares. Os jogos atuaram como um elemento mediador entre o conhecimento formal e a capacidade dos alunos de assimilar e internalizar esses conceitos. O aspecto lúdico possibilitou que barreiras cognitivas fossem superadas, tornando o processo de aprendizagem mais acessível e menos intimidante.

Contudo, é necessário ressaltar que o uso de jogos como ferramenta educacional, embora eficaz, requer uma preparação adequada do professor e um alinhamento claro com os objetivos de aprendizagem. A mediação do educador é fundamental para garantir que a experiência lúdica contribua efetivamente para o desenvolvimento cognitivo dos alunos, aproveitando o potencial da interação social e da aprendizagem colaborativa.

Por fim, este estudo abre novas perspectivas para o uso de jogos no ensino de ciências, especialmente em áreas que tradicionalmente são percebidas como difíceis ou abstratas pelos alunos. O resultado observado nesta turma de Ensino Médio sugere que essa abordagem pode ser replicada e ampliada em diferentes contextos educacionais. Investigações futuras podem explorar como os jogos, em conjunto com outras metodologias interativas, podem contribuir para uma educação mais inclusiva, colaborativa e conectada com as realidades dos estudantes, alinhando-se às teorias de desenvolvimento cognitivo de Vygotsky e ao conceito de ensino como um processo dialógico e social.

## 7. REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, Carlos Eduardo de Farias. *Aplicação de jogos no ensino de Física Moderna e Contemporânea: uma alternativa didática potencializando o aprendizado no ensino médio*. 2018. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.
- ARRIASSECQ, Irene; CAYUL, Esther; GRECA, Ileana M. Enseñanza de la teoría general de la relatividad en la escuela secundaria: por qué, qué y cómo. **Revista de Enseñanza de la Física**, [s. l.], v. 29, n. 2, p. 33-44, 2017.
- AZEVEDO, Victor de Abreu. Jogos eletrônicos e educação: construindo um roteiro para a sua análise pedagógica. *Renote – Novas Tecnologias na Educação – UFRGS, PortoAlegre*. V. 10 nº 3, 2012.
- BOMFOCO, Marco Antônio;AZEVEDO, Victor de Abreu. Os jogos eletrônicos e suas contribuições para a aprendizagem na visão de J. P. Gee. *Renote – Novas Tecnologias na Educação – UFRGS, PortoAlegre*. V. 10 nº 3, 2012.
- Caliari, Maik Lebarck. *Física de partículas: uma abordagem lúdica com uso de jogo de tabuleiro / Maik Lebarck Caliari – 2018*.
- CAMILLO, C. M.; MEDEIROS, L. M. **Teorias da educação**. Santa Maria, RS: UFSM, NTE, 2018.
- CASTIBLANCO, Olga; OTERO, María Rita. Entrevista a María Rita Otero. *Revista Góndola Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, v. 11, n. 2, p. 152-155, 2016
- DE RÉ, Ricardo Luís. *Física de partículas na escola: um jogo educacional*. 2016. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.
- FERREIRA, Daniel Cataldo. OS JOGOS DIDÁTICOS COMO FERRAMENTA NO PROCESSO DE ENSINO DE FÍSICA NO ENSINO MÉDIO / Daniel Cataldo Ferreira ; Andréia Saguia, orientador. Niterói, 2019.
- FURTADO, J., & HELAYEL-NETO, J. A.. (2021). Teoria de Grupos e o Papel das Simetrias em Física. *Revista Brasileira De Ensino De Física*, 43, e20200338.
- HAMARI, J., KOIVISTO, J., & SARSA, H. (2014). Does Gamification Work? – A Literature Review of Empirical Studies on Gamification. In proceedings of the 47th Hawaii International Conference on System Sciences, Hawaii, USA, January 6-9, 2014.
- Huizinga, J.** (2012). *Homo Ludens: O jogo como elemento da cultura*. Perspectiva.
- KAPP, Karl. *The Gamification of Learning and Instruction: Game-based Methods and Strategies for Training and Education*. Pfeiffer, 2012.
- KISHIMOTO, Tisuko Morchida. *Jogo, brinquedo, brincadeira e a educação*. 7. ed. São Paulo: Cortez, 2003.

LUCCI, M. A Proposta de Vygotsky: A psicologia socio-histórica. Disponível em: <https://www.ugr.es/~recfpro/rev102COL2port.pdf>. Acesso em :09 de dez. de 2018. VIANNA, Ysmar; VIANNA, Maurício; MEDINA, Bruno; TANAKA, Samara. Gamification, Inc.: como reinventar empresas a partir de jogos. MJV Press: Rio de Janeiro, 2013.

MARTINS, José Roberto. *O ensino de física de partículas no ensino médio: desafios e possibilidades*. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 39, n. 4, p. 1-12, 2017.

**Matthews, M. R.** (1994). *Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science*. Routledge.

MENDONÇA, F. A linguagem escrita na trajetória formativa. In: MENDONÇA, F. A organização da atividade de ensino como processo formativo do professor alfabetizador: contribuições da Teoria Histórico-Cultural. Tese (Doutorado). Maringá: Biblioteca Central – UEM, 2017.

OLIVEIRA, Jefferson Rodrigues de. *Games digitais: uma abordagem de física de partículas elementares no ensino médio*. 2018. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

ORRICO, Alexandre. Mercado brasileiro de games já o quarto maior do mundo e deve continuar a crescer. O Estado de São Paulo, São Paulo. 08 out. 2012. D

OSTERMANN, F. Tópicos de Física Contemporânea em escolas de nível médio na formação de professores de Física. 2000. Tese (Doutorado)- Instituto de Física, UFRGS, Porto Alegre

OSTERMANN, Fernanda; RICCI, Trieste dos Santos Freire. Relatividade restrita no Ensino Médio: contração de Lorentz-Fitzgerald e aparência visual de objetos relativísticos em livros didáticos de física. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, [s. l.], v. 19, n. 2, p. 176-190, 2002.

OTERO, María Rita; ARLEGO, Marcelo; MUÑOZ GUZMÁN, Edwin A. ¿Cómo y por qué estudiar la relatividad de la simultaneidad en la escuela secundaria?. Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias, v. 14, n. 2, p. 303-321, 2019.

OTERO, María Rita; ARLEGO, Marcelo; PRODANOFF, Fabiana. Design, analysis and reformulation of a didactic sequence for teaching the special theory of relativity in high school. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 37, n. 3, 2015.

PERERIA, Ricardo & Fusinato, Polônia & Neves, Marcos. (2009). **DESENVOLVENDO UM JOGO DE TABULEIRO PARA O ENSINO DE FÍSICA DEVELOPING A TABLE GAME FOR THE PHYSICS TEACHING**.

PINHEIRO, Gustavo; SILVA, Maria de Fátima Alves da. Transição da Relatividade Galileana para Einsteiniana através das concepções alternativas. **XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física**, [s. l.], 2007.

SANTOS, José Eduardo Melo dos, FEITOSA, José Felipe Guedes, VIEIRA, Antônio Nunes Oliveira. **Uma revisão de literatura sobre a inserção de tópicos de relatividade no ensino básico: um estudo envolvendo publicações especializadas em língua portuguesa, inglesa e espanhola**. ScientiaTec: Revista de Educação, Ciência e Tecnologia do IFRS, v. 10n. 1, 2023

SAVIANI; D. Pedagogia Histórico-crítica: Primeiras Aproximações. In: SAVIANI, D. Sobre a Natureza e Especificidade da Educação. 11. ed. Campinas, SP: Autores Associados, 2011

SILVA, EDGAR & ROCHA, Alexsandro & Gomes, Érica. (2021). Roda de leitura e jogo de tabuleiro: Metodologias de sucesso para o ensino de Física no Ensino Fundamental. 19. 1. Disponível em: [https://docs.uft.edu.br/share/proxy/alfrescooauth/api/internal/shared/node/QwMyedNvRGuCty\\_WLvYegA/content/Jogo%20Mestre%20Nuclear.pdf](https://docs.uft.edu.br/share/proxy/alfrescooauth/api/internal/shared/node/QwMyedNvRGuCty_WLvYegA/content/Jogo%20Mestre%20Nuclear.pdf)

SIQUEIRA, Maxwell Roger da Purificação. **Do visível ao indivisível**: uma proposta de física de partículas elementares para o Ensino Médio. 2006. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

VIANNA, Y. ET AL. (2013) Gamification Inc.: como reinventar empresas a partir de jogos.

VIGOTSKI, L. S. O desenvolvimento dos conceitos científicos na infância. In: VIGOTSKI, L. S. L. S. Vigotski Pensamento e Linguagem. 2. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

VIGOTSKY, L. S. A formação social da mente. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente**. 7. ed. São Paulo, SP: Martins Fontes, 2007. 182 p. (Psicologia e Pedagogia).

YAMAZAKI, S.C.; YAMAZAKI R.M.O. Jogos para o ensino de física, química e biologia: elaboração e utilização espontânea ou método teoricamente fundamentado? **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, n. 1, 2014.

ZICHERMANN, Gabe; CUNNINGHAM, Christopher. Gamification by Design: Implementing Game Mechanics in Web and Mobile Apps. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, Inc. 2011.

## CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO

*Tabela 1: Cronograma das atividades a serem desenvolvidas.*

ETAPAS	DE	2023												2024												2025	
		M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F		
DESENVOLVIMENTO		X	X	X																							
Definição do Problema de Pesquisa		X	X	X																							
Estudo Bibliográfico				X	X	X	X																				
Descrição Metodológica e elaboração da proposta de intervenção							X	X	X																		
Correção do Projeto										X	X																
Desenvolvimento e apresentação da Primeira Versão do Produto Educacional											X	X	X														
Defesa do Projeto e reformulação necessária														X	X												
Intervenção Pedagógica Em Sala De Aula															X	X											
Detalhamento dos resultados obtidos com a intervenção																	X	X									
Escrita da versão final da dissertação																		X	X	X	X						
Entrega da versão final e Defesa																							X				

Fonte: Autor, 2023

**APÊNDICE A**

**MATERIAL INSTRUCIONAL**

**UNIVERSIDADE REGIONAL DO CARIRI-URCA  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM  
ENSINO DE FÍSICA POLO 31**

**JOSÉ EDUARDO MELO DOS SANTOS**

**FÍSICA DE PARTÍCULAS: EXPLORANDO O UNIVERSO SUBATÔMICO POR  
MEIO DE JOGOS NA PERSPECTIVA DE VYGOTSKY EM UMA ESCOLA DO  
ENSINO MÉDIO NA CIDADE DE GRANJEIRO-CE**

**JUAZEIRO DO NORTE**

**2024**

## 1. APRESENTAÇÃO

Prezado Professor(a):

Este material instrucional foi desenvolvido a partir de uma pesquisa fundamentada nos princípios da gamificação, com o objetivo de oferecer aos professores uma abordagem inovadora para o ensino do MPFP no Ensino Médio. A Sequência de Ensino proposta integra os fundamentos da teoria sociocultural de Vygotsky, em especial o conceito de Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), com práticas interativas e lúdicas que estimulam a construção colaborativa do conhecimento.

A Sequência de Ensino desenvolvida neste trabalho, será aplicada a um grupo de 30 estudantes da Escola de Ensino Médio em Tempo Integral Miguel Saraiva Pinheiro, no município de Granjeiro, no estado do Ceará. Os estudantes compunham uma turma mista de estudantes das 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> séries do Ensino Médio (EM). Essa divisão se deu devido a componente curricular eletiva integrado ao Novo Ensino Médio (NEM), intitulada física moderna e contemporânea.

Os encontros na escola tiveram duração de 100 minutos durante, e ocorrerá entre os meses de fevereiro e março de 2024, totalizando uma carga horária de 10 horas de atividade de FP desenvolvidas com os alunos.

A sequência foi planejada para promover o engajamento dos estudantes, estimular sua curiosidade científica e facilitar a compreensão de conceitos complexos, como partículas elementares, forças fundamentais e o MP. Cada encontro foi estruturado com objetivos claros, atividades dinâmicas e momentos de reflexão, com objetivo de garantir a aprendizagem de forma acessível a todos os alunos.

Além disso, a sequência oferece recursos diversificados, como mapas de palavras, maquetes, jogos didáticos e experimentos virtuais, que possibilitam a contextualização dos conceitos de FP em situações do cotidiano e na ciência moderna. Essa abordagem foi pensada para ir além da simples transmissão de conteúdos, incentivando os alunos a explorarem ativamente os temas, compartilharem ideias e desenvolverem um entendimento crítico e significativo da estrutura fundamental do universo.

Este material foi elaborado para servir como um guia prático para professores, detalhando cada etapa da sequência e fornecendo sugestões para sua implementação em sala de aula. Com essa proposta, esperamos contribuir para a valorização da FP no currículo escolar e

inspirar educadores a adotarem estratégias pedagógicas inovadoras que aproximem os estudantes da fascinante jornada pelo mundo subatômico.

## **2. METODOLOGIA PARA DESENVOLVIMENTO DA SEQUENCIA DIDÁTICA**

A metodologia desenvolvida para a Sequência de Ensino integra os princípios da teoria sociocultural de Vygotsky (1998), enfatizando a Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), e elementos da gamificação para tornar o processo de ensino mais interativo, colaborativo e significativo. Essa abordagem combina a mediação do professor, a interação social e o uso de ferramentas culturais com mecânicas e dinâmicas de jogos para aumentar o engajamento e a motivação dos alunos.

Dentre os fundamentos da metodologia dos princípios de Vygotsky (1998), estão: ZDP- A sequência é projetada para operar dentro da ZDP dos alunos, permitindo que novas aprendizagens sejam construídas a partir de conhecimentos prévios com o suporte do professor e dos colegas; Mediação- O professor desempenha o papel de mediador, utilizando recursos como mapas visuais, jogos e maquetes para facilitar a internalização dos conceitos; Interação Social- O aprendizado ocorre em um ambiente de colaboração, onde os alunos discutem, resolvem problemas em grupo e compartilham ideias.

A sequência explora alguns elementos da Gamificação para fazer com que o aluno se envolva na aula, assim, absorvendo os conteúdos com jogos que estão presentes no seu cotidiano. Os elementos são: Desafios Progressivos- A sequência é estruturada em níveis crescentes de complexidade, incentivando os alunos a avançarem no conteúdo; Recompensas e Feedback- Pontuações, emblemas e outras recompensas simbólicas são usadas para reconhecer o progresso e motivar os estudantes; Narrativa Envolvente- Cada encontro é apresentado como parte de uma “jornada científica”, onde os alunos assumem o papel de exploradores do mundo subatômico.

O jogo exerce um papel fundamental no processo de aprendizagem, pois é uma atividade envolvente e de grande impacto, capaz de atender às demandas intelectuais, emocionais e sociais dos alunos. De acordo com Vygotsky (1991), o jogo estimula a curiosidade, fomenta a iniciativa e a autoconfiança, além de facilitar a aprendizagem de novas habilidades e contribuir para o desenvolvimento da linguagem, do pensamento e da capacidade de concentração.

Foram utilizados materiais manipulativos, como maquetes de modelos atômicos e tabela do MP, para facilitar a mediação e contextualizar os conceitos. Além disso, jogos de tabuleiro

personalizados, quizzes interativos e simuladores virtuais, como o PhET, foram incorporados para estimular o engajamento dos alunos e tornar o aprendizado mais dinâmico e significativo.

A abordagem também incluiu desafios progressivos, estruturados em níveis de complexidade crescente, e a utilização de uma narrativa envolvente, onde os alunos assumiram papéis de exploradores do mundo subatômico. Essas estratégias foram acompanhadas de discussões mediadas pelo professor, promovendo reflexões e trocas de ideias no grupo. Como resultado, a Sequência de Ensino conectou a teoria à prática, incentivando a construção ativa do conhecimento em um ambiente participativo e criativo

## 2.1 Sequencia de ensino

### 1º encontro – Exploração dos modelos atômicos: uma breve introdução a FP

#### Princípio Vygotskyano: ZDP

Objetivos:

5. Introduzir o conceito de partículas subatômicas.
6. Apresentar em forma de maquete os modelos atômicos.
7. Estimular a curiosidade dos alunos pela Física das Partículas.
8. Promover a participação ativa dos estudantes sobre experiências diárias na área, estimulando os alunos a compartilharem suas ideias.

Duração – 1h:40min

#### *Momento 1- Mapa de palavras e discussão em grupo*

As primeiras duas aulas da sequência têm como foco uma introdução a respeito das partículas subatômicas. Inicialmente, através de um mapa de palavras o professor irá perguntar aos alunos o que eles entendem por átomo, assim, promovendo a interação social entre os alunos. Essa interação permite que os alunos compartilhem suas ideias e construam conhecimento coletivamente, alinhando com a ideia de aprendizagem colaborativa de Vygotsky.

#### *Momento 2- Promoção do Debate e Discussão sobre Epistemologia e Ciência*

Após essa breve dinâmica, é fundamental esclarecer aos alunos a origem do conceito de átomo, a diferença entre as concepções grega, moderna e contemporânea desse termo, bem como as evidências empíricas que sustentam o atomismo. Mais do que simplesmente aceitar a ideia de átomo, é importante capacitar os estudantes a persuadir outras pessoas de que a hipótese

atomista fornece uma excelente descrição do comportamento da matéria. Além disso, seria interessante promover uma discussão sobre as evidências que corroboram essa hipótese, estimulando um debate saudável sobre epistemologia e ciência, e explorando as condições necessárias para que uma hipótese seja validada pela comunidade científica.

### *Momento 3- Introdução dos Modelos Atômicos com Maquetes e Animações*

Para instigar o aluno sobre a concepção atomista, o professor deve questionar, por exemplo: o que aconteceria se cortasse uma folha de papel várias e várias vezes? Mesmo com uma tesoura microscópica, existiria um limite na qual não conseguiria cortar? Se sim, qual é esse limite? Após essa breve discussão, com ajuda de maquetes ou animações sobre os modelos atômicos, o professor iria introduzir historicamente as ideias dos cientistas que os formularam.

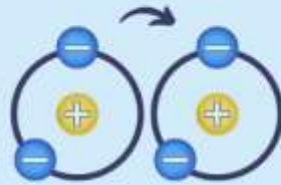
### *Momento 4- Disputa entre grupos e jogo da memória*

Com intuito de contextualizar a importância da FP no entendimento da estrutura fundamental da matéria, e introduzir mesmo que de forma superficial, conceitos que serão abordados com maior nível de detalhe futuramente, será realizado uma disputa entre grupos de alunos. A disputa será guiada por perguntas, o professor ficará responsável de fazer perguntas desafiadoras relacionadas ao tema no estilo “passa ou repassa”, os grupos terão um tempo determinado para pesquisar e responder as perguntas.

O quiz de modelos atômicos trata-se de um jogo de perguntas e respostas, onde terá um mediador que pode ser o professor, e vai puxando aleatoriamente uma carta do baralho e fazendo a pergunta para os participantes. Adiante, segue as cartas de perguntas.



O que diz o modelo atômico de Bohr?



Qual o modelo atômico de Dalton?



Como era o modelo atômico de Thomson?

**SOBRE O ÁTOMO DE DALTON, QUAL ITEM INCORRETO?**



- a) maciço e indivisível.
- b) maciço e indestrutível
- a) maciço e sem carga elétrica
- d) com carga elétrica, porém, neutro.

**QUAL PARTÍCULA SEM CARGA ENCONTRADA NO NÚCLEO?**



- a) prótons
- b) núcleo
- c) nêutrons
- d) elétrons

**QUEM TEORIZOU A ÁGUA COMO ELEMENTO PRIMORDIAL?**



- a) Tales de Mileto
- b) Démocrito
- c) Heráclito
- d) Aristóteles



Quem descobriu o elétron?

Quem disse que a matéria era constituída pelos quatro elementos combinados?



No modelo atômico de Bohr, qual camada é mais energética, K ou Q?



Quem teorizou o ar como elemento primordial?



Em qual modelo atômico começou o estudo da eletricidade?



Quem primeiro teorizou o átomo?



- a) Démocrito
- b) Aristóteles
- c) Tales de Mileto
- d) Erastótenes

Quem teorizou o fogo como elemento primordial?

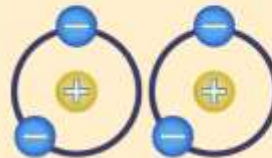


- a) Erastótenes
- b) Heráclito
- c) Anaxímenes
- d) Tales de Mileto

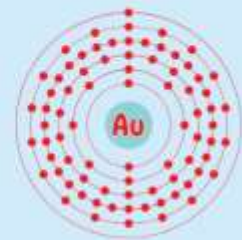


Como ficou conhecido o modelo atômico de Rutherford?

Descreva o modelo atômico de Rutherford



Qual modelo atômico trata de níveis de energia para o elétron?



**Cargas de sinais iguais se:**  
a) repelem  
b) atraem  
c) zeram  
d) somam

**Cargas de sinais diferentes se:**  
a) subtraem  
b) atraem  
c) zeram  
d) somam

**Como é dividido o átomo de acordo com o modelo atômico atual?**

**DIGA QUEM TEORIZOU O ÁTOMO A SEGUIR:**

**QUEM TEORIZOU O ÁTOMO A SEGUIR:**

**DE QUEM É O ÁTOMO A SEGUIR:**

**NO MODELO ATÔMICO DE BOHR, QUAL LETRA REPRESENTA A CAMADA 5?**

**No modelo atômico de Bohr, qual letra representa a camada 7?**

Para finalizar a aula o professor distribuiu para os grupos o jogo da memória com intuito de fixar o conteúdo.

As regras desse jogo seguem as regras do jogo da memória convencional.

1º- embaralhar todas as cartas e colocá-las sobre uma superfície, uma ao lado da outra, com o lado da figura para baixo.

2º- Escolher uma ordem para jogar

3º- Na sua vez, cada participante vira duas cartas. Se as figuras se complementarem em resposta, o jogador retira e guarda para si. Se for diferente, o jogador deve devolvê-las para a mesa na mesma ordem que retirou.

4º- ganha o jogador que tirar o maior número de pares de figuras.

 <p>O que dizia Aristóteles sobre a matéria?</p>	 <p>Démocrito</p>	 <p>Tales de Mileto</p>	 <p>Heráclito</p>
<p>A matéria é constituída pelos 4 elementos da natureza.</p> <p>Aristóteles</p>	 <p>Teorizou o átomo</p>	 <p>A matéria é formada por água.</p>	 <p>Afirmava que a matéria era formada pelo fogo.</p>
 <p>Qual o modelo atômico de Dalton?</p>	 <p>O que diz o modelo atômico de Dalton?</p>	 <p>Qual o modelo atômico de Thomson</p>	 <p>O que diz o modelo atômico de Thomson?</p>
 <p>Modelo da bola de bilhar</p>	<p>Esfera maciça, indivisível e indestrutível</p> <p>Modelo atômico de Dalton</p>	 <p>Pudim de passas</p>	<p>Esfera com cargas positivas e negativas encrustadas nela.</p> <p>Modelo atômico de Thomson.</p>

	<p>O que diz o modelo atômico de Rutherford?</p>		
<p>Qual modelo atômico de Rutherford?</p>		<p>Qual modelo atômico de Bohr?</p>	<p>O que diz o modelo atômico de Bohr?</p>
	<p>Núcleo com cargas positivas e neutras e eletrosfera com elétrons</p>		<p>Níveis fundamentais de energia</p>
<p>Modelo atômico planetário</p>	<p>Rutherford</p>	<p>Rutherford-Bohr</p>	<p>Bohr</p>
	<p>Partícula subatômica de carga positiva.</p>	<p>Partícula subatômica sem carga.</p>	
<p>Anaximenes</p>	<p>Encontrada no núcleo do átomo</p>	<p>Encontrada no núcleo</p>	<p>Partícula subatômica</p>
			<p>Partículas menores que o átomo.</p>
<p>Afirmou que o elemento primordial era o AR</p>	<p>Próton</p>	<p>Nêutron</p>	<p>Indivisíveis</p>

## **2º Encontro- Compreendendo as quatro forças da natureza**

Objetivo da Aula: Compreender as quatro forças fundamentais da natureza de forma dinâmica e interativa.

Duração: 1h e 40min

Nessa aula, os alunos irão mergulhar no fascinante mundo das quatro forças fundamentais da natureza. Ao longo desta jornada, explorarão a gravitacional, a eletromagnética, a nuclear fraca e a nuclear forte, desvendando sua importância e influência em nosso universo.

### *Momento 1- Exploração em grupo e atividades práticas*

Começaremos nossa jornada com uma breve introdução sobre as quatro forças, destacando suas características distintas e como cada uma delas desempenha um papel essencial em nossa compreensão do mundo ao nosso redor. Em seguida, mergulharemos em uma atividade prática que nos permitirá experimentar cada uma dessas forças de maneira tangível.

Divididos em grupos, terão a oportunidade de explorar cada uma das forças atribuídas. Utilizando materiais simples, como bolas de diferentes materiais, ímãs e modelos de moléculas ou átomos, investigaremos como essas forças se manifestam e interagem no mundo real. Por meio de experimentos, observações e discussões em grupo, poderão compreender melhor os efeitos e implicações de cada uma dessas forças.

### *Momento 2- Discussões em grupo e reflexões coletivas*

Ao compartilhar as descobertas com a turma, terão a chance de ampliar o conhecimento coletivo sobre as forças da natureza e sua importância em nosso cotidiano. Além disso, será feita uma reflexão sobre como essas forças estão presentes em fenômenos naturais e em nossas próprias vidas, promovendo uma compreensão mais profunda e significativa do universo.

Ao final da aula, espera-se que todos saiam com uma nova apreciação e compreensão das forças que moldam o mundo ao nosso redor. Através dessa experiência dinâmica e interativa, estarão mais preparados para enfrentar os desafios e maravilhas da física moderna que os aguardam.

### 3º Encontro – Exploração guiada: uma jornada em busca das partículas

Objetivos:

4. Entender o modelo padrão e como classifica as partículas;
5. Compreender o que significa o termo “partícula elementar”;
6. Discutir sobre cada grupo de partículas;

Duração – 1h:40min

#### *Momento 1- Tabela do MP como recurso visual e mediação do professor*

Antes da aula iniciar, é de suma importância que o professor imprima a tabela do modelo padrão, para que deixe exposta durante o restante do curso, deixando de forma bem visível, servindo de recurso visual para que os alunos sempre possam recorrer a tabela durante os estudos.

Em primeiro momento o professor deve explicar que partícula elementar é uma partícula que não tem subestrutura, ou seja, é indivisível. Essa breve explicação deve ser linkada com a pergunta da aula anterior, se existe um limite da matéria, ao cortar uma folha de papel inúmeras vezes. Em seguida, de forma expositiva o professor explica o modelo padrão disposto na tabela, de acordo com suas classificações.

#### *Momento 2- Atividade de caça ao tesouro em grupo*

Para aprofundamento da explicação do MP, os alunos serão instruídos a se dividirem nos grupos, onde irão participar de um caça ao tesouro. Esse caça ao tesouro acontecerá em sala de aula. Começando por distribuir os enigmas para cada grupo. Lembrem-se de discutir entre si e registrar suas respostas. Os enigmas abordarão conceitos importantes, como os diferentes tipos de partículas, as forças fundamentais e suas interações. Após resolverem todos os enigmas e encontrarem as pistas escondidas, nos reuniremos para discutir as respostas e revisar os principais pontos do Modelo Padrão das Partículas Elementares. Será uma oportunidade para compartilharmos nossas descobertas e esclarecermos quaisquer dúvidas que possam surgir.

Segue a seguir a lista dos enigmas:

**Enigma 1:** Sou uma partícula elementar com carga elétrica negativa, encontrada em torno do núcleo do átomo. Quem sou eu?

**Enigma 2:** Sou uma partícula elementar com carga elétrica positiva, encontrada no núcleo do átomo. Juntos com meus amigos, formamos prótons. Quem sou eu?

**Enigma 3:** Somos as menores partículas subatômicas conhecidas. Nós existimos em diferentes "sabores" e "cores". Quem somos nós?

**Enigma 4:** Sou uma força fundamental responsável pela coesão dos núcleos atômicos. A força que me medeia é transmitida por partículas conhecidas como "glúons". Quem sou eu?

**Enigma 5:** Sou uma partícula elementar neutra, encontrada no núcleo do átomo junto com os prótons. Apesar de não ter carga elétrica, minha presença é crucial para a estabilidade do núcleo. Quem sou eu?

**Enigma 6:** Sou um dos quarks mais comuns, encontrado em prótons e nêutrons. Fui nomeado em homenagem a um famoso cientista. Quem sou eu?

**Enigma 7:** Sou uma partícula elementar que medeia a força responsável pela radioatividade beta. Meu nome é uma homenagem a um físico famoso. Quem sou eu?

**Enigma 8:** Sou uma partícula elementar que medeia a força responsável pela força nuclear forte. Meu nome é derivado do termo latino para "cola". Quem sou eu?

**Enigma 9:** Sou uma partícula elementar com carga elétrica negativa, mas não tenho massa. Eu viajo à velocidade da luz e sou a mediadora da força eletromagnética. Quem sou eu?

**Enigma 10:** Sou uma partícula elementar com carga elétrica positiva, mas tenho uma massa muito pequena. Fui descoberto recentemente e minha existência é crucial para explicar o mecanismo pelo qual outras partículas obtêm sua massa. Quem sou eu?

**Enigma 11:** Sou uma família de partículas elementares que inclui elétrons, múons e táons. Quem somos nós?

#### **4º Encontro – Experimento de física de partículas e jogo de tabuleiro sobre fissão e fusão nuclear**

##### **Princípio Vygotskyano: Linguagem como Ferramenta para o Pensamento**

Objetivos:

Apresentar experimentos clássicos de física de partículas;

Discutir aplicações práticas de física partículas em áreas distintas.

Jogar o jogo “mestre nuclear”

Duração: 1h:40min

Através simulações irão ser apresentados experimentos clássicos em física de partículas, como por exemplo, o espalhamento de Rutherford. Para esse experimento, foi utilizado o simulador phet, que é um simulador gratuito que contempla física, química, biologia,

matemática e ciência da terra. A simulação em questão é intitulada de “espalhamento de Rutherford”. O objetivo é abordar tópicos da estrutura atômica, descrevendo qualitativamente a diferença entre o espalhamento das partículas alfas no “modelo planetário” e “pudim de passas”. O professor pode está utilizando de vídeos sobre o funcionamento básico dos aceleradores de partículas e sua importância na ciência para auxiliar durante a aula.

Para finalizar o conteúdo sobre aplicações da FP, os alunos irão jogar um jogo de tabuleiro denominado “mestre nuclear”, cujo criadores são Silva, Edgar e Rocha (2021).

## **5º Encontro – Quantum quest: o desafio das partículas**

### **Princípio Vygotskyano: Uso de Ferramentas Culturais**

Objetivos:

4. Contribuir na construção do conhecimento do aluno em FP de forma lúdica;
5. Oferecer uma experiência interativa e divertida para aprender sobre FP;
6. Explorar e apreciar a fascinante natureza do mundo subatômico de uma forma lúdica e educativa.

Duração: 1h:40min

Essa aula será dedicada para aplicação do jogo de tabuleiro, que é o foco principal do produto educacional dessa pesquisa.

O professor iniciará dividindo a sala em 4 a 5 equipes, o intuito é que todos os alunos joguem. Por conseguinte, o professor irá explicar as regras do jogo para os alunos, de forma que fique claro qual objetivo principal do jogo. Segue abaixo um pequeno fragmento tabuleiro confeccionado:

## Tabuleiro Quantum Quest



Fonte: Autor, 2023

**Nome do Jogo:** "Quantum Quest: O desafio das partículas"

**Descrição do Jogo:** "Quantum quest" é um jogo de tabuleiro empolgante e educativo que transporta os jogadores para o mundo emocionante da física de partículas. Cada jogador assume o papel de um cientista em uma missão para descobrir e desvendar os segredos do universo subatômico.

**Componentes do Jogo:**

**Tabuleiro:** Um tabuleiro que representa um acelerador de partículas, com um designer futurista

**Cartas de Partículas:** Um conjunto de cartas que representam diferentes grupos de partículas, como, quarks, léptons e bósons.

**Cartas de Eventos:** Um conjunto de cartas que apresentam eventos e desafios relacionados à física de partículas.

**Peões:** Cada jogador tem um peão que representa seu cientista na busca pelas partículas.

**Objetivo do Jogo:** O objetivo é coletar cartas que equivalem a pelo menos um grupo de partículas ao longo da jornada pelo mundo subatômico. Os jogadores avançam pelo tabuleiro, coletando cartas de partículas e enfrentando desafios nas estações de pesquisa. Eles

devem usar seu conhecimento sobre física de partículas e estratégias inteligentes para superar obstáculos e alcançar seus objetivos.

**1º Grupo: Quarks**

Up, Down, Charm, Strange, Bottom, Top.

**2º Grupo: Léptons**

Elétron, Muon, Tau, Neutrino do elétron, Neutrino do Muon, Neutrino do Tau.

**3º Grupo: Bósons**

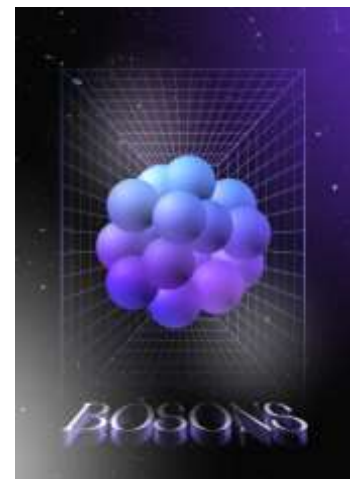
Fóton, Gluon, W, Z, Higgs, Gráviton

**Mecânica do Jogo:**

Como supracitado, o jogo possui cartas com 3 grupos de partículas e 1 carta de evento. As cartas de partículas devem ser embaralhadas e entregue 6 cartas a cada jogador, e em seguida separadas por grupo. A de evento será puxada de acordo com a casa que o jogador cairá no tabuleiro.

Os 3 grupos de partículas são representados pelas seguintes cartas

Cartas do jogo, quarks, léptons e bósons respectivamente.



Fonte: Autor

Cada participante terá que usar de suas habilidades para montar um grupo dessas cartas. Lembrando que o limite de cartas na mão são 6, ou seja, sempre que o jogador puxar uma carta ele automaticamente terá que descartar uma carta. O jogador poderá optar não rolar os dados na sua vez, para coletar a carta descartada pelo jogador anterior a ele.

A carta de evento disposta na figura 5.3, denominada próton ou elétron, tem sua função levando em consideração a carga elétrica das respectivas partículas. Quando o participante puxar e sair próton, ele terá vantagens descritas na carta, se tirar elétrons, terá desvantagens. Ou seja, poderá ser um ou outro, descobrirá apenas depois de virar a carta.

carta próton/elétron



Fonte: Autor



Se você jogador cair no laboratório de radiação terá que expôr sua mão durante o tempo de jogada dos outros participantes, na qual estes podem optar em fazer uma troca diretamente com uma carta da sua mão.

Casa do tabuleiro referente ao laboratório de radiação



Fonte: Autor

O acelerador de partículas permite você descobrir uma partícula e retirá-la automaticamente de um grupo a sua escolha.

:

## Acelerador de partículas



Fonte: Autor

O jogo continua até que todos os jogadores tenham concluído sua jornada pelo tabuleiro. O jogador que construir primeiro um dos grupos de partículas é declarado vencedor e recebe o título de "Grande Cientista da Física de Partículas".

"Quantum quest: o desafio das partículas" oferece uma experiência interativa e divertida para aprender sobre física de partículas, incentivando os jogadores a explorar e apreciar a fascinante natureza do mundo subatômico de uma forma lúdica e educativa.

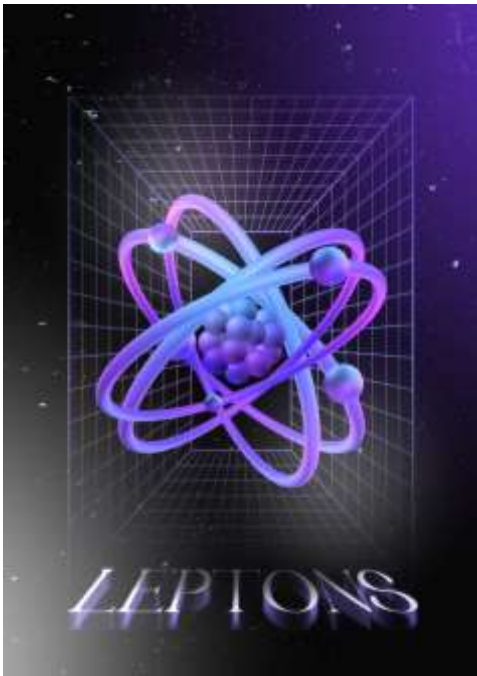
## APENDICE B

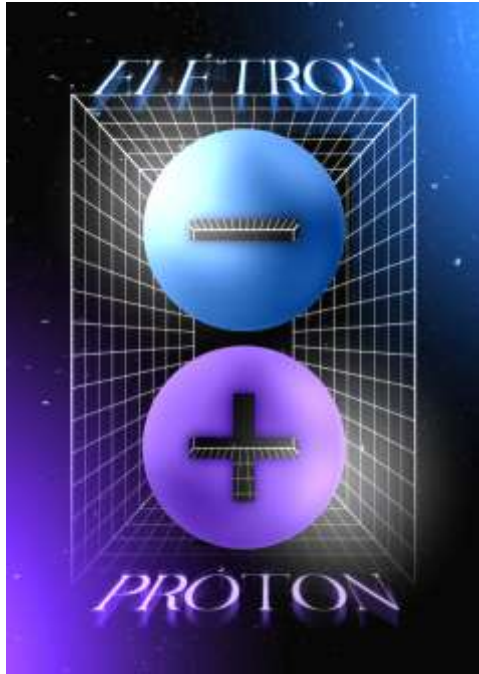
As próximas páginas estão dedicadas para o jogo de tabuleiro no layout de impressão. Vale destacar que as cartas bósons, quarks e léptons necessitam de 4 cópias cada. Já a carta de próton e elétron, destinei uma em branco para que o professor possa está utilizando de sua criatividade para criar sua própria variação da carta. É importante dizer, que o professor pode adequar a pergunta ao nível que desejar, quando o aluno cair sobre a casa de história de FP.



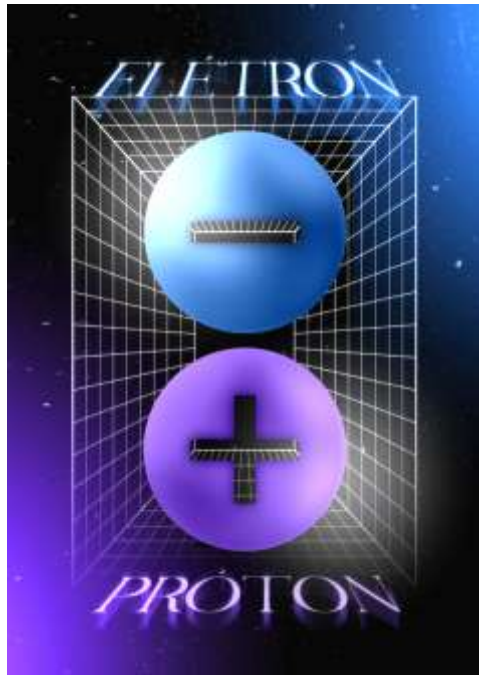
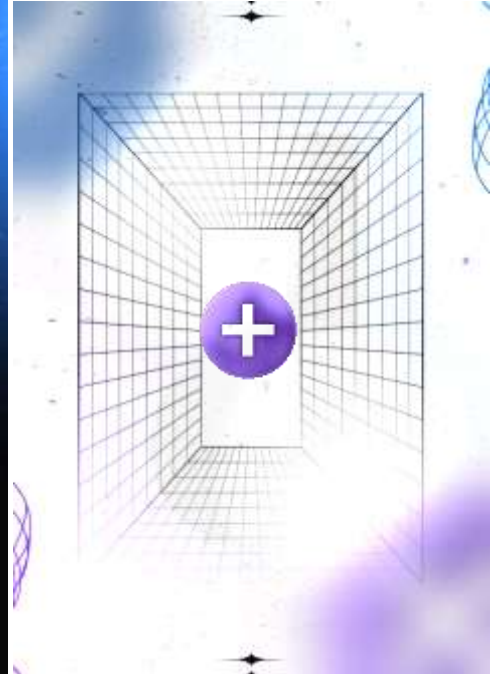
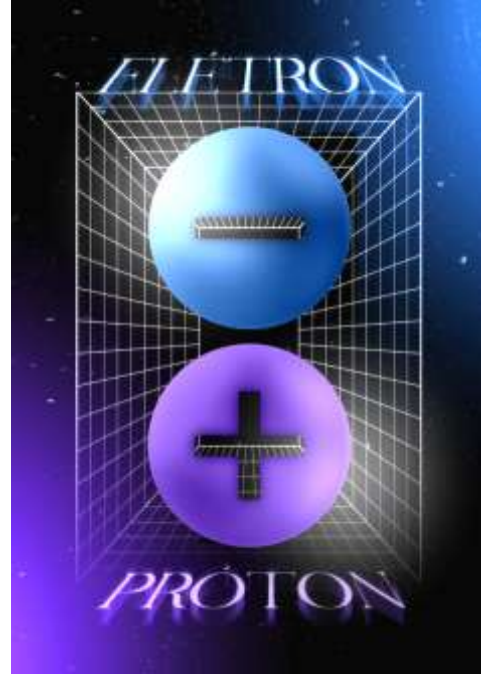








Jogue Noyamente



Troque duas cartas com as últimas descartada.

