

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



The logo of the Sociedade Brasileira de Física (SBF) consists of a stylized red and black graphic resembling an eye or a lens, followed by the acronym 'SBF' in bold black letters and the full name 'SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA' in smaller black letters below.



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS GRADUAÇÃO
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL NO ENSINO DE FÍSICA**

**ENSINO DE FÍSICA POR MEIO DE ESTRATÉGIAS DE GAMIFICAÇÃO: O BAILE
DOS *MASSACARADOS***

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

IVANÊ FERREIRA DOS SANTOS

VITÓRIA DA CONQUISTA – BA

Outubro 2023

IVANÊ FERREIRA DOS SANTOS

**ENSINO DE FÍSICA POR MEIO DE ESTRATÉGIAS DE GAMIFICAÇÃO: O BAILE
DOS MASSACARADOS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao programa de Pós-Graduação (PPG) da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB) no curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Wagner Duarte José
Coorientador: Prof. Dr. Carlos Alexandre dos Santos
Batista

VITÓRIA DA CONQUISTA – BA

Outubro 2023

S233e

Santos, Ivanê Ferreira dos.

Ensino de física por meio de estratégias de gamificação: o baile dos massacrados. / Ivanê Ferreira dos Santos, 2023.

124f. il.

Orientador (a): Dr. Wagner Duarte José.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-graduação do Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF, Vitória da Conquista, 2023.

Inclui referência F. 124.

1. Gamificação - Jogos no Ensino de Física. 2. Física Moderna e Contemporânea. 3. Física de Partículas Elementares e Modelo Padrão. I. José, Wagner Duarte. II. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física- MNPEF. IV. T.

CDD 530.07

Catálogo na fonte: Juliana Teixeira de Assunção – CRB 5/1890

Bibliotecária UESB – Campus Vitória da Conquista -BA



ATA DE BANCA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Aos 7 (sete) dias do mês de dezembro de 2023 (dois mil e vinte e três), às 9h00, por meio da plataforma virtual *Google Meet*, de conta institucional da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, campus de Vitória da Conquista, instalou-se a Banca Examinadora para avaliação da dissertação intitulada “*Ensino de física por meio de estratégias de gamificação: o baile dos massacrados*”, de autoria de Ivanê Ferreira dos Santos, discente do Programa de Pós-Graduação Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. A banca examinadora foi presidida pelo professor Dr. Wagner Duarte José, orientador da mestranda e contou com a participação dos professores Dra. Cristina Porto Gonçalves e Dr. Danilo Sande Santos, na condição de examinadores; tendo sido APROVADA. Entretanto, para que o respectivo título possa ser concedido, com as prerrogativas legais dele advindas, o exemplar definitivo da referida dissertação deverá ser entregue (enviada), na secretaria do mestrado, em um prazo máximo de 60 (sessenta) dias, com as alterações e/ou correções sugeridas pelos membros da banca, para que possa ser homologado pelas instâncias competentes da UESB.



Documento assinado eletronicamente por **Wagner Duarte Jose, Professor Pleno**, em 07/12/2023, às 10:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 13º, Incisos I e II, do [Decreto nº 15.805, de 30 de dezembro de 2014](#).



Documento assinado eletronicamente por **Danilo Sande Santos, Usuário Externo**, em 07/12/2023, às 11:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 13º, Incisos I e II, do [Decreto nº 15.805, de 30 de dezembro de 2014](#).



Documento assinado eletronicamente por **Cristina Porto Gonçalves, Professor Titular**, em 07/12/2023, às 12:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 13º, Incisos I e II, do [Decreto nº 15.805, de 30 de dezembro de 2014](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ivanê Ferreira dos Santos, Usuário Externo**, em 07/12/2023, às 15:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 13º, Incisos I e II, do [Decreto nº 15.805, de 30 de dezembro de 2014](#).



Documento assinado eletronicamente por **Carlos Alexandre dos Santos Batista, Vice-coordenador(a) do Programa**, em 07/12/2023, às 18:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 13º, Incisos I e II, do [Decreto nº 15.805, de 30 de dezembro de 2014](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://seibahia.ba.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **00080504101** e o código CRC **32DEFE7D**.



ENSINO DE FÍSICA POR MEIO DE ESTRATÉGIAS DE GAMIFICAÇÃO: O BAILE DOS MASSACARADOS

AUTOR(A): IVANÊ FERREIRA DOS SANTOS

DATA DE APROVAÇÃO: 7 de dezembro de 2023

Este exemplar corresponde à versão final da Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, em convênio com a Sociedade Brasileira de Física – SBF, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Área de concentração: Ensino de Física.

COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr. Wagner Duarte José
Presidente da Banca Examinadora/Orientador

Prof. Dr. Carlos Alexandre dos Santos Batista
Co-orientador

Profa. Dra. Cristina Porto Gonçalves
Examinadora interna

Prof. Dr. Danilo Sande Santos
Examinador externo

2023

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conduzir pelos melhores caminhos, prevalecendo sempre a sua vontade.

Aos meus pais, Dinalva e Claudionor, por me darem a vida, pelo amor incondicional, por todos os ensinamentos, valores, princípios, proteção e por me permitir “voar” em busca dos meus sonhos, desde sempre.

A meu esposo, Tiago, pelo incentivo, presença e compreensão em todos os momentos.

A meu filho, Bento, sua chegada inesperada no meio do percurso deixou a minha vida mais alegre, leve e colorida, meu menino abençoado!

A minha irmã, Anelice, pelo companheirismo de uma vida toda e por me presentear com os melhores sobrinhos, Davi Luca e Levi Heliab.

Ao Prof^o. Dr^o Wagner Duarte José, meu orientador, pelo acolhimento, paciência, dedicação, competência e palavras de afirmação. Suas contribuições foram primordiais para o início, meio e fim desta dissertação.

Ao Prof^o Dr^o Carlos Alexandre, meu coorientador, pelas sugestões e correções tão relevantes dadas na construção deste trabalho.

Aos professores do MNPEF-UESB, Jornandes, Wagner, Sérgio, Jorge Anderson, Cristina, Luiz Darcy por me ajudarem nessa travessia em busca de conhecimento, luz e reflexão.

Aos meus colegas de Mestrado, Anderson, Ayrton, Égilo, Fernando, José Nilton, Marciano, Mariana, Nelson, Raike e Vilma, pela troca de saberes e experiências durante o curso.

Aos meus alunos do 2^o ano 02 - EEAVP/2023 por abraçarem junto comigo essa experiência, sem o SIM de vocês esta realização não seria possível.

Ademais, o presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

APRESENTAÇÃO

Esta dissertação utiliza o livro *Alice no país do Quantum* de Gilmore (1998) como alicerce para o desenvolvimento teórico-metodológico. Este pode ser considerado “um parque de diversões intelectual menor que um átomo, onde todos os desafios, jogos e atrações demonstram um diferente aspecto da mecânica quântica” (Gilmore, 1998). Ao longo da narrativa, *Alice* passa por várias aventuras em um mundo imaginário, fazendo analogias sobre os conceitos da física quântica que, embora, não representa a realidade concreta, o leitor terá oportunidade de conhecer de maneira acessível e divertida alguns conteúdos da física quântica, dentre eles a física de partículas elementares presente no capítulo *o baile dos massacrados das partículas*, que foi o tema abordado neste trabalho.

A estratégia metodológica empregada foi pensada em explorar as potencialidades da gamificação como ferramenta de ensino, podendo contribuir satisfatoriamente para engajar e motivar o estudante no processo de ensino aprendizagem, resgatar o brio do estudante com práticas educativas que permitam o seu empoderamento, valorizando seus conhecimentos e suas expressões e, conseqüentemente, participar ativamente da construção do seu próprio conhecimento, se tornando protagonista da sua aprendizagem.

Esta dissertação está dividida em quatro capítulos, o capítulo I traz a justificativa, a pergunta de investigação e os objetivos gerais e específicos. O capítulo II aborda os pressupostos teóricos referenciados na gamificação do ensino de física. O capítulo III descreve um estudo sobre o desenvolvimento histórico desde o início da concepção atômica até a descoberta dos quarks e do Bóson de Higgs. O Capítulo IV apresenta o percurso metodológico, o *locus* e os sujeitos da pesquisa, bem como a sequência didática (SD). O capítulo V traz os resultados e discussões da SD, com os dados que serviram de análise do percurso adotado. O capítulo VI tece as considerações finais desta dissertação.

RESUMO

A leitura do capítulo o *baile dos mascarados* do livro *Alice no país do quantum*, a construção de um jogo didático e as possíveis contribuições de uma sequência didática forjada na perspectiva da gamificação são temas centrais desta dissertação. A sequência foi desenvolvida junto aos alunos do 2º ano do Novo Ensino Médio da Escola Estadual Alberto Vicente Pereira, no município de Divisópolis-MG. Para o desenvolvimento das atividades utilizamos estratégias pedagógicas variadas como leitura, jogos digitais e online, resolução de enigmas, vídeos, hipermídia e construção coletiva da tabela do modelo padrão, pensadas na perspectiva da gamificação. A partir dos pressupostos teóricos analisamos os dados da pesquisa, do tipo estudo de caso, coletados com o auxílio das gravações de áudios e diários de bordo, atividades realizadas pelos estudantes e aplicação de questionário sobre o desenvolvimento da SD. Com base na análise dos resultados verificamos que, apesar de encontramos obstáculos para concluir atividades de leitura e interpretação, há indícios de que o uso de estratégias gamificadas possui muitas potencialidades de aplicação podendo ser uma solução eficiente para engajar os estudantes e, conseqüentemente, aumentar a interação social, motivar a ação e promover aprendizagem. Assim, acreditamos que a operacionalização da gamificação desenvolvida neste trabalho tem o potencial de contribuir com o desenvolvimento da estrutura conceitual sobre o modelo de partículas elementares.

Palavras-chave: Gamificação, Jogos no Ensino de Física, Física Moderna e Contemporânea, Física de Partículas Elementares e Modelo Padrão.

ABSTRACT

The reading of the chapter *The Particle MASSquerade* of the book *Alice in Quantumland*, the construction of a didactic game and the possible contributions of a didactic sequence forged in the perspective of gamification are the central themes of this thesis. The sequence was developed along with the second grade students of the *Novo Ensino Médio* (New Highschool) of the Escola Estadual Alberto Vicente Pereira, in the prefecture of Divisópolis - MG. For the development of the activities we made use of varied pedagogical strategies such as reading, digital online games, puzzle-solving, videos, hipermedia, and the collective construction of the standard model table structured in the gamification perspective. Fundamented on the theoretical presuppositions we analyzed the research data, of a case study nature, collected through audio recordings and logbooks, activities performed by the students and the application of a quiz about the development of the SD. Based on the result analysis we verified that, despite the obstacles found in the realization of reading and comprehension activities, evidence suggests that the use of gamified strategies possesses much potential of application, being able to be an effective solution in the students engagement and subsequently increasing social interaction, motivation and promoting learning. Therefore, we believe that the use of gamification developed in this work has the potential to contribute to the development of the conceptual structure on the Model of Elementary Particles.

Keywords: Gamification, Games in the Teaching of Physics, Modern and Contemporary Physics, Elementary Particle Physics and Standard Model.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação esquemática dos elementos interconectados no jogo.....	20
Figura 2: Aparato experimental utilizado por Rutherford	33
Figura 3: Representação pictórica do modelo atômico de Bohr.....	35
Figura 4: Efeito fotoelétrico e efeito Compton	37
Figura 5: Estrutura do LHC	43
Figura 6: Síntese das quatro forças fundamentais e suas interações.....	46
Figura 7: Representação esquemática do chuveiro de partículas de raios cósmicos.....	51
Figura 8: Octeto Bariônico.....	54
Figura 9: Decuplete Bariônico.....	55
Figura 10: Síntese do modelo padrão das partículas elementares.....	60
Figura 11: Fachada de Escola Estadual Alberto Vicente Pereira	64
Figura 12: Alunos reunidos para a leitura do capítulo 9: O baile dos mascarados das partículas.....	68
Figura 13: Divisão dos grupos na ferramenta Roda Aleatória.....	68
Figura 14: Enigma referente a partícula Up	69
Figura 15: Layout do jogo.....	69
Figura 16: "Para saber mais" da questão 3 (figura 14)	70
Figura 17: Caça das Partículas	71
Figura 18: A aventura das partículas	72
Figura 19: Alunos confeccionando as imagens da tabela do modelo padrão	73
Figura 20: Octeto Bariônico	76
Figura 21: Resultado do Jogo.....	79
Figura 22: Classificação do jogo "Caça das Partículas".....	84
Figura 23: Atividade Colaborativa	87

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Levantamento bibliográfico das dissertações no MNPEF sobre Física de Partículas Elementares.....	24
Quadro 2 - Grupo de partículas organizados por simetria	53
Quadro 3 - Alguns tipos de bárions atualmente conhecidos.	56
Quadro 4 - Alguns tipos de mésons atualmente conhecidos.	56
Quadro 5 - Família dos léptons.....	57
Quadro 6 - Família dos quarks.....	58
Quadro 7 - Resumo do número total de partículas elementares do Modelo Padrão	59
Quadro 8 - Síntese da sequência didática aplicada	66
Quadro 9 - A leitura do capítulo “O baile dos mascarados” despertou curiosidades/interesses sobre a Física de Partículas Elementares? Explique	77
Quadro 10 - Respostas dos estudantes na AH.....	85
Quadro 11 - Sugestões apresentadas pelos alunos sobre o desenvolvimento da Sequência Didática	87

LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

AEE - Atendimento Educacional Especializado
AH - Atividade Hipermediática
BNCC - Base Nacional Curricular Comum
CERN - Organização Europeia para Pesquisa Nuclear
CMS – (Compact Muon Solenoid)
CRMG - Currículo Referência de Minas Gerais
EEAVP - Escola Estadual Alberto Vicente Pereira
EJA - Educação de Jovens e Adultos
ENEM - Exame Nacional do Ensino Médio
FERMILAB - Fermi National Accelerator Laboratory
FMC - Física Moderna e contemporânea
FPE - Física de Partículas Elementares
LHC - Large Hadron Collider
MNPEF - Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física
NEM - Novo Ensino Médio
PPP - Projeto Político Pedagógico
PROEB - Programa de Avaliação da Rede Pública de Educação Básica
QED - Quantum Electrodynamics
QCD - Cromodinâmica Quântica
RPG - Role-Playing Game
SD - sequência didática
SLAC - Stanford Linear Accelerator Center
SRE - Superintendência Regional de Ensino
TIC - Tecnologia da Informação e Comunicação
UEL - Universidade Estadual de Londrina
UEPS - Unidade de Ensino Potencialmente Significativa
UFLA - Universidade Federal de Lavras
UFMT - Universidade Federal de Mato Grosso
UFRR - Universidade Federal de Roraima
UNIR - Universidade Federal de Rondônia
UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 Potencialidades do uso de jogos na educação	15
2.2 A gamificação no ensino: engajamento e interação social	19
2.3 Jogos, Gamificação e ensino de física de partículas no MNPEF	23
3 ASPECTOS HISTÓRICOS E DIDÁTICOS SOBRE A FÍSICA DE PARTÍCULAS ELEMENTARES	31
3.1 Breve contextualização didática sobre os modelos atômicos	31
3.2 Descoberta das primeiras partículas subatômicas	36
3.3 Detecção das partículas	40
3.4 As quatro forças fundamentais e suas interações	44
3.5 Em direção ao modelo padrão	46
3.6 Descoberta dos quarks e Bóson de Higgs	55
4 PERCURSO E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	61
4.1 <i>Lócus</i> e participantes da pesquisa	62
4.2 Sequência didática	65
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	73
5.1 Interesse pela leitura/divulgação científica	73
5.2 Engajamento por meio do jogo digital: o baile dos mascarados	76
5.3 Resolução da situação problema na atividade hipermediática	83
5.4 Atividade colaborativa: Modelo Padrão das Partículas Elementares	85
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	88
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
APÊNDICES	97
Apêndice A – Termos de autorização	97
Apêndice B – Questionário da Sequência Didática	100
Apêndice C – Produto Educacional	102

1 INTRODUÇÃO

Na atualidade, a aprendizagem no ensino de física está fincada na construção e no domínio crítico de conhecimentos científicos e tecnológicos, a partir da realidade da classe estudantil. Por essa razão, é importante recuperar o sentido identitário do Ensino Médio, mudando o seu foco e colocando o estudante como protagonista da sua aprendizagem (Dayrell; Carrano; Maia, 2014).

Nesse sentido, a recuperação do sentido identitário significa trabalhar na perspectiva de uma formação básica para exercício da cidadania, para o mundo do trabalho e continuação dos estudos, a partir de uma concepção de desenvolvimento humano integral. Já a mudança de foco implica em redirecionar os objetivos do ensino e da aprendizagem, os quais atualmente estão voltados exclusivamente para certificação em provas, exames e vestibulares, mediante treinamento de resolução de exercícios a lápis e papel, sem nenhum questionamento da sociedade.

Além disso, observa-se também a extrema necessidade de atualização do currículo escolar, haja vista a persistente permanência de conteúdos da física clássica, como a mecânica newtoniana, a termodinâmica, óptica geométrica, eletromagnetismo, deixando de fora a física envolvida em uma série de novas descobertas, que estão presentes em situações da vida real, voltada para o exercício da cidadania (Moreira, 2018).

A inserção de tópicos de Física Moderna e contemporânea (FMC) no Ensino Médio vem sendo amplamente discutida e defendida nas últimas décadas por vários pesquisadores na área de ensino, como Zanetic (1989, 1999), Terrazan (1992), Valadares & Moreira (1998), Ostermann & Moreira (2001), Brockington (2005), Siqueira (2006), Moreira (2007; 2017; 2018) como uma forma de atualização do currículo escolar.

Ostermann (2000) apresenta algumas justificativas sobre a necessidade de abordar FMC nas escolas em nível médio: despertar a curiosidade dos estudantes e ajudá-los a compreender a física como um empreendimento humano, próxima a eles; aproximar os estudantes com as ideias revolucionárias que mudaram a ciência totalmente, a partir do século XX; atrair os jovens para as carreiras científicas, pois eles serão os futuros professores e pesquisadores; considerar a física moderna

conceitualmente mais difícil e abstrata do que a física clássica, contrariando as estatísticas apontadas pelas pesquisas em ensino de física.

Reforçando tais justificativas, Moreira (2007) considera que é urgente a inclusão de tópicos de FMC, de modo que o currículo de física de educação básica seja atualizado.

Na verdade, não tem sentido que, em pleno século XXI, a Física que se ensina nas escolas se restrinja a Física (clássica) que vai apenas até o século XIX [...] O argumento de que tais tópicos requerem habilidades e ou/capacidades que os estudantes de ensino fundamental e médio ainda não têm é insustentável, pois outros tópicos que são ensinados como a Cinemática, por exemplo, requerem tantas ou mais capacidades/habilidades cognitivas do que Partículas Elementares (Moreira, 2007, p.20).

Ao apresentar a FMC para o estudante, tem-se a oportunidade de compreender o mundo que nos cerca com um outro olhar, percebendo que a física não é estática e acabada, como normalmente é transmitido nos moldes de ensino tradicional, e sim, uma construção humana, que deve ser ensinada de forma acessível, de modo que a classe estudantil seja seduzida por ela, e não rejeitada (Brockington, 2005).

Em outras palavras é preciso desenvolver um ensino de física centrado na contextualização do conhecimento científico, de modo a contemplar a formação e o desenvolvimento humano integral da classe estudantil, compreendendo a complexidade e não linearidade desse desenvolvimento, é o que almeja os especialistas em educação (Brasil, 2018).

Entretanto, este tem sido um grande desafio para o ensino de ciências da educação básica, uma vez que nos deparamos com a falta de valorização dos professores, más condições de trabalho, salários baixos, carga horária de ensino elevada (Moreira, 2017). Além disso, houve uma redução da carga horária da disciplina, passando de duas aulas semanais para apenas uma, tornando um grande desafio para nós professores, direcionarmos os conteúdos que mais se relacionam com o perfil e realidade da classe estudantil.

Enquanto professora, acredito que a educação precisa de investimento, pesquisa, ação, valorização dos professores, condições favoráveis de ensino e

aprendizagem, amparando os estudantes enquanto sujeitos que podem mudar a sociedade em que vivem, por meio do conhecimento.

Dentro deste cenário de incertezas, sem nenhuma garantia de aprendizagem efetiva por parte dos estudantes, somos motivados a repensar nossa prática pedagógica em sala de aula, de modo que possamos provocar nossos alunos a serem protagonistas dentro e fora do espaço escolar, por meio de estratégias de ensino que os motivam a enfrentar os desafios da vida, da realidade cotidiana e do mundo do trabalho.

Em razão disso, é imperativo pensarmos em estratégias de ensino-aprendizagem que propiciem aos alunos o desenvolvimento dos conhecimentos necessários para fomentar esse protagonismo, ao colaborar para uma maior compreensão acerca do mundo contemporâneo, despertando no aluno o interesse de perceber que a Física está presente no seu cotidiano e contribuindo na sua formação científica e cultural.

Nessa perspectiva, a inovação nas práticas pedagógicas torna-se cada vez mais necessária perante a sociedade atual, uma vez que os estudantes já estão inseridos no meio digital antes mesmo de iniciarem a sua vida escolar. Nesse contexto, a educação tradicional, com os alunos sendo sujeitos receptores de conhecimento, perde o seu espaço para uma educação com foco no aluno.

No entanto, o uso de metodologias de ensino centradas na participação efetiva dos estudantes sendo responsáveis por sua aprendizagem ainda é uma realidade distante, na grande maioria das escolas (Bacich; Moran, 2018). Fatores como a falta de recursos materiais, apoio da gestão escolar, planejamento adequado e formação inicial e continuada dos professores que não estão conectados com as novas metodologias de ensino interferem diretamente no avanço de novas práticas pedagógicas.

Em razão disso, acredita-se que a gamificação pode ser uma boa alternativa para o ensino de física, uma vez que, além de estarem presentes no cotidiano estudantil, são capazes de produzir o engajamento, a interação social, concentração

e motivação na sala de aula, colaborando para uma participação ativa e, por conseguinte, diminuir as dificuldades de compreensão do conteúdo.

É importante destacar que a gamificação é caracterizada como um fenômeno emergente e nas últimas décadas, tem-se destacado pela quantidade de trabalhos desenvolvidos no contexto educacional. Por definição, a gamificação se apropria dos elementos dos games em contextos que não são, necessariamente, focados em games com o objetivo de promover a motivação para garantir os mesmos benefícios que se atinge com o ato de jogar no comportamento do indivíduo (Raguze; Silva, 2016).

Studart (2015) considera que o uso das tecnologias digitais em educação contribui para tornar o aprendiz mais motivado, engajado e colaborativo e, conseqüentemente, transformar o processo de ensino e aprendizagem mais efetivos. Embora o uso da tecnologia não seja um requisito necessário para aplicar a gamificação, Fardo (2013) acredita que esse recurso pode potencializar a aprendizagem.

Diante desta perspectiva, o uso da gamificação como ferramenta de ensino pode contribuir significativamente para que a classe estudantil se torne ativa no processo de ensino aprendizagem, desenvolvendo mais interesse em participar das aulas, tornando, assim, protagonista do seu conhecimento. Segundo Fardo (2013), a gamificação tem a capacidade de resolver problemas e potencializar as aprendizagens nas diversas áreas do conhecimento e na vida dos indivíduos.

Com base nas potencialidades da gamificação, tem-se como hipótese a ideia de que é possível promover uma compreensão estudantil da estrutura conceitual, a nível de ensino médio, do modelo padrão de partículas elementares mediante a operacionalização de um jogo didático. Desse modo, a questão que norteou esta investigação foi a seguinte: que contribuições uma sequência didática para o ensino médio de física, forjada na perspectiva da gamificação, pode fornecer para a compreensão estudantil do modelo padrão de partículas elementares?

Para tanto, essa pergunta suscitou o seguinte objetivo geral *investigar que possíveis contribuições uma sequência didática para o ensino médio de física, forjada na perspectiva da gamificação, pode fornecer para a compreensão estudantil sobre o modelo padrão de partículas elementares.*

Para alcançar esse objetivo, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Analisar a literatura sobre a temática física de partículas elementares, na perspectiva da gamificação no ensino de física;
- b) Contextualizar aspectos da história conceitual do modelo padrão de partículas elementares;
- c) Elaborar e implementar uma sequência didática (SD) sobre o modelo padrão, forjada com o aporte digital da gamificação;
- d) Avaliar as potencialidades da SD para promover a compreensão estudantil sobre a estrutura e organização conceitual do modelo padrão.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta uma reflexão sobre as potencialidades dos jogos na educação, a importância da gamificação no ensino para melhorar o engajamento e a interação social bem como estudo sobre o ensino de física de partículas elementares no Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) e como esses tópicos interagem entre si.

2.1 Potencialidades do uso de jogos na educação

Etimologicamente, a palavra jogo vem do latim, "*jocus*", e significa entretenimento. Em uma perspectiva cultural, alguns autores consideram que o jogo é uma função da vida, cuja definição não se limita a aspectos lógicos, biológicos e/ou estéticos (Huizinga, 1980; Brito, 2020).

"A ideia ou noção de jogo é definida e mesmo limitada pela palavra que utilizamos para expressá-la, pois sua origem não parte de um pensamento científico, mas sim de diferentes línguas, no interior da linguagem de diferentes culturas" (Gallo, 2007, p.16). É natural utilizarmos palavras distintas para definir a noção de jogo, de acordo com a região que este entretenimento está inserido, posto que ele possui características culturais próprias inerentes do seu país. O ato de jogar pode ser considerado um fenômeno antropológico, visto que desde a antiguidade está presente em todas as fases de desenvolvimento humano, mediando a interação dos diferentes grupos sociais (Murcia, 2005).

O conceito de jogo é subjetivo e diferente de todas as outras formas de pensamento por meio das quais exprimimos a estrutura da vida espiritual e social. Portanto, ficamos restritos a descrever suas principais características, que são comuns a todas as atividades consideradas como jogo, por exemplo, a participação voluntária, meta, regras e um sistema de feedback (Huizinga, 2000).

De acordo com Navarro (2013, p.11), a origem do jogo pode ser pensada "como conceito e atividade inseridos na dimensão macro da vida, que ultrapassa as noções de sociedade, civilização e cultura". A busca pelo prazer, o desafio, o desejo de

superação gerado pelo entretenimento, é um dos principais fatores motivacionais de quem joga. No entanto, o jogo com caráter exclusivo de distração tem sido repensado, uma vez que há indícios da sua importância para o desenvolvimento sensorial, psicomotor e cognitivo do indivíduo (Navarro, 2013).

No contexto escolar, a motivação é indispensável no processo de ensino aprendizagem. Com base na teoria da motivação, Vroom (1964), propõe duas definições de motivação, intrínseca e extrínseca. A motivação intrínseca envolve pessoas realizando uma atividade por iniciativa própria, sentindo satisfação espontânea no desempenho de tal atividade. Por sua vez, a motivação extrínseca sugere o ganho entre o sujeito e a atividade desenvolvida, como uma recompensa externa, seja ela, verbais ou materiais (Carmo; Leal; Miranda, 2012).

A motivação intrínseca e extrínseca é a base da Teoria da Autodeterminação desenvolvida por Deci e Ryan (1991). Essa teoria é caracterizada pela necessidade que os indivíduos têm em sentirem competentes e autodeterminados para estarem motivados intrinsecamente. Indicando que essa motivação esteja condicionada a fatores externos e internos, refletindo diferentes efeitos sobre o comportamento do indivíduo (Albuquerque *et al.*, 2016).

Nas palavras de Gallo (2007), o jogo também se manifesta como um fenômeno da cultura, um meio de comunicação. Cada tipo de jogo possui seu próprio caráter socializante que pode adquirir o direito de cidadania na vida coletiva. O aspecto de sociabilidade que o jogo proporciona é tão forte que, mesmo depois que ele acaba, algumas comunidades de jogadores podem tornar-se constantes.

A possibilidade de estar ao mesmo tempo junto e separado, de compartilhar sensações e emoções em um contexto especial, suspenso da vida ordinária e com regras e dinâmicas próprias cultiva seu fascínio e sua magia para muito além da duração de cada jogo. (Gallo, 2007, p. 19)

Todavia, o jogo se apresenta como uma atividade temporária, um complemento que pode ser integrado na vida do ser humano, de modo geral, sua prática e aplicação fazem parte da cultura social, tornando a vida culturalmente mais ampla. Nesse contexto, torna-se indispensável "tanto para o indivíduo, como função vital, quanto para a sociedade, devido ao sentido que encerra, a sua significação, seu valor

expressivo, suas associações espirituais e sociais, em resumo, como função cultural” (Huizinga, 2000, pp. 10-11).

Devido ao seu caráter lúdico, o jogo não deve ser concebido como uma tarefa e/ou ofício, mas como uma atividade voluntária, que respeita limites de tempo e espaço para ser exercida. Assim, este trata-se de uma fuga temporária da vida real com orientação própria. Adjacente a isso, a consciência do imaginário no jogo não impede que ele seja jogado com seriedade, posto que a qualquer momento, todo jogo é capaz de envolver inteiramente o jogador ou a jogadora (Huizinga, 2000).

“O ato de brincar é visto como uma condição fundamental para o desenvolvimento da aprendizagem do ser humano, a brincadeira é, portanto, uma atividade lúdica que ocorre voluntariamente” (Viana, 2013, p. 25). Em posse desses pressupostos, é importante atentar para as possibilidades de interação propostas pelos jogos e suas possíveis aplicações no cotidiano, considerando a multiplicidade de gêneros e interfaces.

Dentre as diversas categorias de jogos existentes, destacam-se dois, os analógicos e o digitais. Os jogos analógicos podem ser definidos como aqueles que utilizam recursos físicos e/ou mecânicos-não digitais. Como, por exemplo, os jogos de tabuleiro, dama, gamão, dominó, banco imobiliário, jogo da vida, jogo de cartas, jogos de mesa, jogo de dados, jogo de caneta e papel, jogo de campo, quadra de esportes, etc. - que são praticados individualmente, em dupla ou equipe/grupo, respeitando as características de cada um.

Já os jogos digitais necessitam de uma interação com um sistema computacional, podem ser exemplificados pelas diversas modalidades de games. Por exemplo, jogos de simulação, aventura, realidade aumentada, esportes, estratégia, dentre outros. Observa-se que essa categoria tem experimentado um crescimento exponencial nas últimas décadas. Isso por que a indústria de game tem investido tanto na criação de jogos comerciais, desenvolvidos exclusivamente para o entretenimento das pessoas, e tem se tornado cada vez mais popular, tendo em vista a facilidade de acesso nas mais variadas plataformas, sejam elas videogames, computadores ou smartphones.

Como consequência, a indústria de jogos se expandiu. Os jogos educacionais, por sua vez, aumentaram em número e qualidade em decorrência disso. O desenvolvimento dos jogos sérios (*serious games*) projetados exclusivamente para fins educacionais como ferramenta de apoio no processo de ensino e aprendizagem, se transformando em um mundo de entretenimento e diversão que atinge a grande maioria do público jovem (Studart, 2015).

Possuir um equipamento eletrônico é uma necessidade, apresentada logo na infância; e a facilidade de lidar com esses aparelhos é uma prática muito comum para essa faixa etária denominados de nativos digitais (Prensky, 2012). "Os *nativos digitais* são aqueles que nasceram e cresceram na era da tecnologia, enquanto os *imigrantes digitais* nasceram na era analógica, tendo migrado para a era digital somente na vida adulta" (Mattar, 2013, p.10).

Os nativos digitais pensam e processam informações diferentes dos imigrantes digitais, dando preferência para imagens ao invés de textos, acessam informações de maneira aleatória e conseguem fazer várias tarefas ao mesmo tempo. Indo contra a transmissão de informações passadas de modo lento, passo a passo, uma coisa por vez no sistema educacional, pelos imigrantes digitais que não estimula o desenvolvimento das habilidades da geração atual (Mattar, 2013).

Os jogos comerciais são artefatos de mídia tão bem elaborados, que envolvem seus usuários em desafios e fantasias, por longos períodos de tempo, dando a impressão de que nada é capaz de desconcentrá-los. Mesmo que os jogos sérios ainda não sejam altamente imersivos como os jogos comerciais, podem se tornar importantes recursos didáticos proporcionando práticas educacionais atrativas e inovadoras para o processo de ensino aprendizagem (Savi, 2008).

Os dispositivos eletrônicos são uma realidade dentro do espaço escolar. Por essa razão, a classe docente passa grande parte do seu tempo disputando a atenção dos alunos com os celulares. Os jovens são capazes de dedicar muitas horas do seu dia utilizando seus aplicativos e jogos eletrônicos por apresentarem um ambiente atrativo, mas dificilmente conseguem se concentrar durante os cinquenta minutos de aula no ensino tradicional. Explorar os benefícios do jogo sério pode ser um importante

aliado do professor no processo educacional, desde que a sua utilização seja planejada,

os jogos digitais devem possuir objetivos pedagógicos e sua utilização deve estar inserida em um contexto e em uma situação de ensino baseados em uma metodologia que oriente o processo, através da interação, da motivação e da descoberta, facilitando a aprendizagem de um conteúdo (Prieto, 2005, p. 10).

Além disso, os jogos sérios conseguem desenvolver algumas habilidades de raciocínio lógico, a tomada de decisões, socialização, motivação, dentre outras fundamentais para o processo de desenvolvimento estudantil. Os jogos são vistos por muitos professores como um facilitador para a aquisição de conteúdo, pois contribui para o desenvolvimento de uma grande variedade de estratégias que são importantes para a aprendizagem, por exemplo, as resoluções de problemas, raciocínio dedutivo e memorização (Savi, 2008).

Ao inserir um jogo sério com todas as suas regras e/ou domínio de habilidades, o estudante é orientado a respeitá-las, favorecendo a outros aspectos como a disciplina e a concentração, por exemplo. Jogos bem planejados geram nos jogadores intensa concentração e envolvimento entusiasmado, em que o desejo por vencer promove o desenvolvimento de novas habilidades, mantendo-os motivados e, em alguns casos, despertam o interesse pelo estudo quando atingem as metas e desafios que precisam ser vencidas para chegar ao fim do jogo (Savi, 2008).

2.2 A gamificação no ensino: engajamento e interação social

A gamificação consiste no uso de elementos dos games em um contexto que não seja de jogos, como na educação ou na publicidade, sem que o resultado final seja um game propriamente dito. Os elementos dos games são: abstração da realidade, objetivos, regras, conflito, competição, cooperação, recompensas, *feedback*, níveis, narrativa, inclusão no processo de erro, diversão, entre outros (Fardo, 2013). Para aplicar a gamificação não é preciso fazer uso de todos os seus elementos, mas é importante conhecer todas as suas funções e saber como elas interagem dentro do sistema, de modo que possam ser usados como artifícios

orientados a constituir uma relação mais próxima com outros elementos (Vianna, 2013).

No entanto, tomando como referência McGonigal (2011), Vianna (2013) destaca que metas, regras, sistema de *feedbacks* e participação voluntária são elementos fundamentais em qualquer jogo. Estes elementos devem estar interconectados, de modo que o resultado final possa produzir uma vivência próxima à de um game completo (Fardo, 2013), como ilustra a Figura 1, a seguir.

Figura 1: Representação esquemática dos elementos interconectados no jogo



Fonte: Adaptada de Silva, Sales e Castro (2019).

A meta é o elemento do jogo que direciona os participantes a se concentrarem para atingir o propósito determinado, justificando a realização da atividade, podendo se apresentar como a vitória sobre um adversário, “zerar o jogo” ou a promoção do personagem dentro de um jogo online que ainda não chegou ao fim (Vianna, 2013).

As regras compõem um conjunto de disposições que condicionam a realização do jogo ajustando o nível de dificuldade do jogador a fim de motivar a criatividade e desenvolver o pensamento estratégico, sem desestimular a sua resolução. “As regras, portanto, têm a função de definir a maneira pela qual o jogador se comportará, ou de que modo organizará suas ações para o cumprimento dos desafios impostos pelo jogo” (Vianna, 2013, p. 28).

O sistema de *feedback* possibilita que os jogadores sejam informados do resultado de suas ações instantaneamente com o objetivo de mantê-los motivados e focados em busca do resultado final, sua principal função é a troca de informações contribuindo para interação entre o jogo e o jogador. Esse elemento é “capaz de perturbar um sistema e realimentá-lo com novas interações entre sujeito e objeto a cada nova situação” (Fardo, 2013).

A participação voluntária é a premissa fundamental para iniciar qualquer tipo de jogo, implicando na aceitação das metas, regras e sistemas de *feedbacks*. Para que o jogo ocorra de modo satisfatório, é importante que o jogador possa se relacionar com todos esses elementos propostos (Vianna, 2013).

Ainda que o termo gamificação seja algo recente, na educação ele já vem sendo utilizado há muito tempo no sistema de pontuação, premiação e competição existente no sistema escolar. O que tem mudado atualmente é o desenvolvimento na aplicação dessas novas metodologias, proporcionando situações de aprendizagem por meio de desafio, entretenimento e interação, contribuindo para aumentar a motivação e, conseqüentemente, o engajamento da classe estudantil (Fardo, 2013).

Segundo Alves (2015), as atividades divertidas e gamificadas podem engajar públicos com diferentes perfis e idades. Esse engajamento está diretamente ligado à relevância dos conteúdos e à forma como a aprendizagem é motivada. Considerando o amplo alcance da sua utilização, a gamificação pode contribuir significativamente para resolver problemas, motivar a ação, promover a aprendizagem e engajar as pessoas.

No contexto educacional, a gamificação se destaca ao inserir o lúdico para promover a aprendizagem contribuindo para expandir o interesse do aprendiz no conteúdo que se deseja explorar. Segundo alguns estudos, o engajamento e a motivação se apresentam como soluções eficientes para essa aprendizagem.

A resolução de problemas se intensifica por meio dos games por sua natureza cooperativa e, por vezes, competitiva. Aceitamos as regras do jogo, sabemos qual é a meta, concordamos em jogar com pessoas diferentes para alcançarmos os objetivos e aceitamos feedback corretivo para o alcance do resultado desejado. Some a isso os aspectos do desafio e o prazer de participar da construção de algo de maneira voluntária e você terá um grande volume de problemas resolvidos com muito mais inovação e eficácia (Alves, 2015, p. 28).

Ainda segundo Fardo (2013), estratégias e pensamentos dos games são bastante populares, eficazes na resolução de problemas (pelo menos no mundo virtual) e aceitas naturalmente pelas atuais gerações que cresceram interagindo com esse tipo de entretenimento, podendo ser justificada a partir de uma perspectiva sociocultural.

O professor pode lançar mão da gamificação para despertar na classe estudantil o mesmo nível de interesse observado em atividades de jogo, acrescentando na sala de aula alguns elementos de jogos capazes de desafiar o aluno a desenvolver suas habilidades cognitivas e superar os desafios. Segundo Studart (2015, p.12):

a gamificação consiste na transformação do ambiente de sala de aula em uma disputa saudável usufruindo da dinâmica baseada nos jogos, a plástica e o pensamento dos jogos para compenetrar as pessoas, potencializar atitudes e instigar a aprendizagem com resolução de problemáticas (Studart, 2015, p.12).

Com isso, ela é uma alternativa de baixo custo para ser explorada no ambiente escolar, tendo em vista que o professor não precisaria, necessariamente, investir seu tempo pesquisando e/ou criando jogos, sejam eles digitais ou analógicos, nem tão pouco depender exclusivamente dos dispositivos tecnológicos existentes na sua escola, como pontua Fardo (2013, p. 82), a gamificação transformou

o professor em game master, o nome do aluno foi substituído pelo nome do seu avatar, os grupos de estudantes viraram guildas, fazer testes e exames transformou-se em lutar contra inimigos, as tarefas de aula viraram missões, os trabalhos em grupo missões da guilda [...] (Fardo, 2013, p.82).

O professor pode transformar a sua aula tradicional em gamificada, dispondo de recursos que já estão inseridos na sala de aula com uma roupagem diferente, por exemplo, pontuar a correção de uma atividade com uma narrativa motivadora na qual

o aluno se tornará parte do processo. O sistema de pontuação atrelado ao *feedback* imediato é elemento fundamental para obter uma boa interação e participação de todos.

Desse modo, a gamificação abre um leque de possibilidades para o professor utilizar em suas aulas, e pode ser adaptada para qualquer conteúdo dentro do contexto escolar de acordo com as especificidades da turma, sendo apresentado ao aluno diferentes caminhos e estratégias para desenvolvimento de suas habilidades e acesso ao conhecimento.

Alguns autores consideram a gamificação como a tentativa de se construir um conjunto de metáforas para a escola articulando as narrativas com os conteúdos, por exemplo, as missões substituem as aulas, os desafios são as tarefas, com base na arquitetura dos games que são, na cultura *pop* e de mídia, linguagens altamente aderentes aos jovens e as crianças (Meira, 2013; Anjos, 2017).

Assim, a inserção de atividades gamificadas no ensino vem favorecer a participação dos estudantes nas atividades escolares, pois aproxima o mundo real do mundo virtual que é muito familiar para os indivíduos inseridos na cultura digital. Um “fenômeno emergente com muitas potencialidades de aplicação” (Fardo, 2013).

2.3 Jogos, gamificação e ensino de física de partículas no MNPEF

Realizamos um levantamento das dissertações defendidas no MNPEF, dentro do período de janeiro de 2015 a dezembro de 2021 sobre o ensino de Física de Partículas, Jogos e Gamificação. A busca foi realizada nas páginas *online* dos polos participantes do programa que estavam disponíveis para acesso no momento da pesquisa (dezembro de 2021). Os *sites* dos polos das universidades: Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Universidade Federal de Rondônia (UNIR), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Universidade Estadual de Londrina (UEL), Universidade Federal de Roraima (UFRR) e Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) encontravam-se indisponíveis, por esse motivo foram excluídos da pesquisa.

Para identificar as dissertações, levamos em consideração seus respectivos títulos, resumos e as palavras chaves: Jogos, games, gamificação e Física de Partículas. Encontramos uma quantidade considerável de jogos e gamificação, totalizando 105 dissertações versando sobre todas as áreas da Física que fazem parte do currículo da Educação Básica, envolvendo tanto jogos de cartas e tabuleiros quanto digitais e *online*.

Na pesquisa sobre o ensino de física de partículas encontramos trinta dissertações voltadas exclusivamente para o ensino médio e com referenciais teóricos variados. O quadro 1 destaca o levantamento das dissertações encontradas no MNPEF por ano, título, autor e polo.

Quadro 1 - Levantamento bibliográfico das dissertações no MNPEF sobre Física de Partículas Elementares

TÍTULO	AUTOR (ANO)	POLO
D1 - O mirabolante mundo das partículas elementares: uma sequência didática para professores de física	Silva Júnior (2015)	Polo 16 UNESP
D2 - Partículas elementares e interações: uma proposta de mergulho em ensino e aprendizagem através de uma sequência didática interativa	Jerzewski (2015)	Polo 21 FURG
D3 - Inserção de conceitos de física de partículas elementares no ensino médio por meio de um material paradidático	Sousa (2016)	Polo 01 UNB
D4 - Uma abordagem sobre física de partículas para alunos do ensino médio	Silva (2016)	Polo 04 UFAM
D5 - Física de partículas na escola: um jogo educacional	Ré (2016)	Polo 39 UFSC
D6 - Proposta de um jogo didático para a abordagem do tema física de partículas com alunos do ensino médio	Ludovico (2017)	Polo 12 UFES
D7 - Um novo exercício de international masterclass para ensinar física de partículas	Souza (2017)	Polo 27 UFJR
D8 - Física de partículas: possibilidades para o ensino médio	Silva (2017)	Polo 31 URCA
D9 - Proposta didática investigativa para desenvolver o tema de física de partículas e interações fundamentais	Bakalarczyk (2017)	Polo 39 UFSC

D10 - O modelo padrão no ensino médio: um tratamento elementar	Gomes (2017)	Polo 42 UFSCar
D11 - Eletrostática e física de partículas sob o olhar da história da ciência: uma proposta para a construção de animações e vídeos no ensino médio	Sampaio (2017)	Polo 48 UEPB
D12 - Proposta de uma UEPS para ensinar física de partículas através de jogos de cartas	Jesus (2018)	Polo 01 UNB
D13 - Games digitais: uma abordagem de física de partículas elementares no ensino médio	Oliveira (2018)	Polo 01 UNB
D14 - Aventuras em quantópolis: elaboração e utilização de livro paradidático para abordagem conceitual do modelo padrão de física de partículas em turmas do ensino médio	Braga (2018)	Polo 09 UFERSA
D15 - Ensino de partículas no ensino médio	Castilho (2018)	Polo 15 UFF-IFRJ
D16 - Utilização do jogo "o caçador de partículas" como ferramenta auxiliar no ensino de física de partículas	Carvalho (2018)	Polo 23 UECE
D17 - Física de partículas: uma abordagem lúdica com uso de jogo de tabuleiro	Caliari (2018)	Polo 33 IFES
D18 - Uma intervenção didática para a inserção das partículas elementares em nível médio	Paula Júnior (2018)	Polo 34 IFF
D19 - O cms e-lab e o ensino de física de partículas na educação básica	Alves (2018)	Polo 36 UFAL
D20 - Da descoberta do núcleo ao bóson de higgs: uma introdução ao modelo padrão de partículas elementares com atividades virtuais	Beal (2018)	Polo 52 UFSC Blumenau
D21 - Física de partículas a partir do diálogo: uma proposta didática para o 1º ano de ensino médio noturno	Althoff (2019)	Polo 01 UNB
D22 - A divulgação científica para ensinar física de partículas: propostas para sala de aula do ensino médio	Gomes (2019)	Polo 17 UFABC
D23 - Introdução de conceitos do modelo padrão de partículas elementares através de sequências didáticas	Santos (2019)	Polo 28 UNIFAL
D24 - Física nuclear e de partículas e o filme homem de ferro 2: uma proposta de unidade de ensino potencialmente significativa	Santos (2019)	Polo 41 UFSC Araranguá
D25 - Física de partículas para o ensino médio em quadrinhos	Silva (2019)	Polo 46 UFPE
D26 - Conhecendo as partículas subatômicas através de um jogo educacional: viajando ao invisível	Silva (2019)	Polo 51 UFRN
D26 - Física de partículas no ensino médio: uma proposta experimental sobre partículas elementares e radiação cósmica.	Viana (2020)	Polo 17 UFABC

D28 - O ensino das partículas elementares a partir de uma sequência didática	Moura Júnior (2020)	Polo 42 UFSCar
D29 - Física contemporânea na educação básica: o uso de um ambiente virtual de aprendizagem para o ensino do modelo padrão da física de partículas.	Marques (2021)	Polo 24 UFJF
D30 - O ensino de física de partículas por meio da vida e obra do físico brasileiro César Lattes	Zanette (2021)	Polo 41 UFSC Araranguá

Fonte: Autora (2023).

Considerando o escopo da nossa pesquisa, realizamos uma leitura criteriosa das dissertações que tratavam do tema Física de Partículas, identificando os principais temas abordados, recursos utilizados, referencial teórico e resultados observados pelos autores.

O referencial teórico mais utilizado foi a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel em conjunto com a unidade de ensino potencialmente significativa (UEPS). Esteve dado foi constatado em treze dissertações (D8; D10; D12; D15; D17; D18; D24; D25; D27; D26; D28; D29; D30). Encontramos dois trabalhos pautados na teoria de Vygotsky (D2; D4), três na teoria da aprendizagem baseada em jogos (D5; D6; D16) e dois na teoria da gamificação (D13; D20). Identificamos ainda quatro dissertações que buscam seus referenciais na literatura para o ensino de física (D3; D9; D14; D21) e seis usam de outros referenciais teóricos no seu texto (D1, D7; D11; D19; D22; D23).

Os conteúdos trabalhados nas sequências didáticas versam sobre diversos campos da Física de Partículas, desde propostas de conhecer a estrutura atômica e nuclear, passando pelas partículas elementares e suas interações, forças fundamentais da natureza, incluindo o Modelo Padrão (D1; D2; D3; D4; D5; D6; D8; D9; D10; D11; D12; D13; D14; D15; D17; D21; D22; D23; D24; D25; D26; D28; D29; D30). Alguns autores focaram seus estudos nas descobertas dessas partículas, explorando laboratórios eletrônicos como o CMS¹, eLAB², LHCb³ (D7; D19; D20).

¹ CMS - Compact Muon Solenoid – Solenóide de Múons Compacto

² eLAB - Eletronic Laboratories – Laboratórios Eletrônicos

³ LHCb - Large Hadron Collider – Grande Colisor de Hádrons

Outros aprofundam ainda mais, buscando explorar astrofísica de partículas, radiação cósmica, matéria, energia escura e ondas gravitacionais (D16; D18; D27).

Os recursos didáticos utilizados pelos autores, em sua grande maioria, tiveram foco predominante na apropriação das TICs voltadas para aplicação de metodologias ativas, tais como: sala de aula invertida, jogos didáticos (digitais, cartas, tabuleiro), ambiente virtuais de aprendizagem, filmes, livros paradidáticos, simulações, história em quadrinhos, vídeos. Os autores das dissertações D7, D18, D28 e D3 optaram por aulas expositivas e desenvolvimento da sequência didática voltada para o ensino tradicional, com apoio de slides, exposição oral dialogada e resolução de problemas mais complexos.

De acordo com os resultados analisados, observamos que o ensino de Física de Partículas Elementares (FPE) aproxima os alunos da Física Moderna e Contemporânea, possibilitando um novo olhar sobre o Ensino de Física, com questões voltadas para temas atuais. A maioria dos autores destacou, nas discussões e considerações finais, um maior interesse dos alunos na realização das atividades, contribuindo para uma participação ativa em sala de aula, tornando sua aprendizagem ainda mais efetiva. Gomes (2017, p.133) concluiu que “[...] as respostas dos alunos nos transmitiram que eles compreenderam a importância de estudar FMC e suas tecnologias [...]”.

Dentre as dissertações que associaram à literatura com o ensino de física, por meio da utilização de livros paradidáticos, podemos destacar a de Braga (2018). Este autor elabora um livro paradidático ilustrado, baseado em “Alice no País do Quantum” e “O mágico dos Quarks”, contando a história de um estudante que, através de um sonho, teve a oportunidade de conhecer várias partículas constituintes da matéria, bem como suas interações.

Além disso, debruçamos um pouco mais nas dez dissertações que associaram o ensino de FPE com jogos/gamificação. Observamos que quatro autores não citaram no referencial teórico a aprendizagem baseada em jogos como fundamentação para aplicação do produto educacional, optando por utilizar a Teoria da Aprendizagem

Significativa e UEPS. As outras seis dissertações enfatizam a importância da utilização de jogos e gamificação no ensino de FPE.

Encontramos três trabalhos sobre jogo de cartas com regras similares ao baralho, que possuem diversas formas de competição, nos quais os autores produziram o seu próprio material, estabelecendo regras, combinando seus pares para encontrar as partículas, podendo explorar os quarks, antiquarks, léptons, cores e sabores. Santos (2019) simulou o jogo de UNO, cujo objetivo é zerar as cartas que o jogador recebeu no início, o descarte deve corresponder ao número ou cor da carta jogada anteriormente. Para tanto, o autor utilizou os símbolos das partículas no lugar dos números para a atividade.

O jogo de tabuleiro esteve presente em três dissertações com *design* colorido e interativo, prevalecendo o seu caráter lúdico. Caliar (2018) criou um jogo cujo objetivo inicial era mostrar a formação das partículas mais pesadas (bárions e mésons) por meio da junção das partículas fundamentais (quarks e antiquarks), identificando as cartas com o nome da partícula, massa, carga, spin, cor e símbolo de identificação. Enquanto Ré (2016) e Silva (2019) desenvolveram um jogo de tabuleiro com perguntas e respostas, a fim de contribuir com a aprendizagem da física de partículas e forças fundamentais da natureza, ampliando o seu conhecimento e desenvolvendo os conceitos de forma mais atrativa para os estudantes.

Encontramos também dissertações direcionadas para o público que já nasceu na era digital, denominado de "nativos digitais" por Prensky (2012), grande defensor da aprendizagem baseada em jogos digitais. Oliveira (2018) desenvolveu um jogo estilo RPG, intitulado "Em Busca do Bóson de Higgs", utilizando a linguagem de programação *Scratch* e com a dinâmica baseada em um *quiz* com perguntas e respostas, este recurso foi utilizado não apenas como ferramenta motivadora, mas também como revisão de conteúdo, de forma didática e interativa do modelo padrão e das interações fundamentais.

A dinâmica do jogo elaborado por Oliveira (2018) consiste na criação de um personagem (estudante), buscando entender o funcionamento para detecção do bóson de Higgs. Para tanto, o estudante tem que dialogar com alguns cientistas da

física e da química, cada um com uma missão específica, dando embasamento teórico para o aluno responder as perguntas do *quiz*.

Peter Higgs: Primeiro personagem, tem a missão de dar as primeiras indicações do jogo.

Linus Pauling: Segundo personagem, tem a missão de explicar sobre férmions e bósons.

César Lattes: Terceiro personagem, tem a missão de explicar sobre o modelo padrão das partículas elementares.

Albert Einstein: Quarto personagem, tem a missão de explicar sobre as interações fundamentais e as partículas mediadoras (Oliveira, 2018, p. 35).

Carvalho (2018) segue na mesma linha de pesquisa, ao criar o jogo virtual "O Caçador de Partículas", em que o aluno consegue controlar as aventuras do personagem que fica exposto a uma chuva de partículas provenientes dos raios cósmicos que estão atingindo a terra, explorando os principais conceitos de Astrofísica de Partículas. Os alunos são responsáveis pela tomada de decisões através de um raciocínio rápido, tornando-os aptos a conectar as relações encontradas na prática do jogo com o conhecimento teórico adquirido durante as aulas sobre o tema abordado.

Por fim, Beal (2018) propôs uma sequência didática a partir de atividades gamificadas, exploração de simulação relativas à introdução de Física das Partículas Elementares e uma visita virtual guiada ao Detetor Compact Muon Solenoid (CMS) do Large Hadron Collider (LHC) com o objetivo de fornecer estratégias de ensino eficaz, atual e contextualizada com o uso da tecnologia da informação e comunicação aplicadas ao ensino de Física. O autor defende no seu referencial a importância do uso da gamificação como estratégia de ensino.

Usar a gamificação como método de ensino permitirá ao educador incluir resolução de problemas e desafios, de forma que estimule o aprendizado de forma divertida, didática e motivadora, utilizando aspectos mais próximos da realidade destes jovens (Beal, 2018, p. 31).

Todas as dissertações que uniram o tema FPE aplicada a aprendizagem baseada em jogos didáticos/ gamificação mostraram em seus resultados uma ampla aceitação por parte dos alunos, tanto pelo conteúdo instigante quanto pela sua metodologia, visto que consegue envolver a atenção dos alunos, apesar de não conseguir agradar todos os estudantes. Oliveira (2018) destaca que "o jogo foi de

suma importância para a aprendizagem de temas relacionados à FPE, pois a diversão tornou-se parte do processo de aprendizagem” (Oliveira, 2018, p. 60).

3 ASPECTOS HISTÓRICOS E DIDÁTICOS SOBRE A FÍSICA DE PARTÍCULAS ELEMENTARES

Neste capítulo levantaremos uma breve discussão a respeito das primeiras ideias concebidas ao átomo, a descoberta das primeiras partículas elementares, passando pelas forças fundamentais até chegar na proposta do modelo padrão e na descoberta dos Quarks e do Bóson de Higgs.

3.1 Breve contextualização didática sobre os modelos atômicos

O primeiro modelo atômico foi proposto pela primeira vez na Grécia antiga, pelos filósofos gregos Leucipo e Demócrito, cerca de 400 aC. Eles acreditavam que a matéria era formada por pequenas partículas indivisíveis a qual denominou de "átomos", palavra que em grego significa "indivisível". Trata-se de um modelo meramente filosófico por não apresentar comprovações científicas, permanecendo sem alterações por, aproximadamente, 2.200 anos.

A ideia de que o átomo é formado por partículas indivisíveis foi contemporânea ao pensamento de vários filósofos gregos que buscavam incansavelmente compreender a constituição do Universo. Tales de Mileto foi o primeiro a buscar respostas para suas questões usando o pensamento racional, supondo que água seria a origem de todas as coisas. Para Anaxímenes, o ar seria o principal responsável pela formação da matéria. Enquanto isso, Heráclito, considerava o fogo como sendo o elemento principal, "o fogo de Heráclito não é uma chama material; muito menos um tijolo fundamental da natureza. É, sob muitos aspectos, um conceito semelhante à moderna energia" (Peduzzi, 2008, p.17). Contrapondo-se a ideia de Parmênides que defendia o imutável. Por fim, Empédocles considerando a complexidade da natureza para ser sistematizada por um único elemento sugeriu que os constituintes fundamentais era uma combinação da terra, água, ar e fogo em quantidades diferentes (Peduzzi, 2008).

Apenas em 1808, Dalton retornou as ideias de Leucipo e Demócrito influenciado pelos estudos realizados por Lavoisier com o aprimoramento da balança e pelas observações das reações químicas que permitiu Proust elaborar a Lei das Proporções Definidas chegou à conclusão da existência do átomo.

Para tanto, baseou-se nos seguintes postulados: 1 - Toda matéria é formada por diminutas partículas esféricas, maciças, neutras e indivisíveis chamadas átomos; 2 - Substâncias simples são formadas por átomos simples; 3 - Substâncias compostas são formadas por átomos compostos podendo se decompor através de uma reação química; 4 - átomos de uma mesma substância são idênticos em tamanho, forma e demais propriedades e átomos de substâncias diferentes possuem essas propriedades diferentes uns dos outros, sendo que a massa de um átomo composto é igual a somas dos átomos simples que o formam (Gomes e Lopes, 2018 p. 5).

Segundo Silva (2017), o modelo de Dalton teve grande importância para o desenvolvimento das ideias sobre a constituição da matéria e o progresso da Química, apesar de ser um modelo limitado por não contemplar a natureza elétrica da matéria, problema que só foi resolvido pelos modelos posteriores.

O modelo atômico proposto por Dalton não levou em consideração o caráter elétrico do átomo e sua divisibilidade, originando um problema a ser resolvido relacionando a eletricidade e a matéria. Nessa época, Willian Crookes realizou um experimento que ficou conhecido como ampola de Crookes. Utilizando o processo de indução de Faraday para fornecer descargas elétricas em gases utilizando tubos de vidros sob pressão baixa e voltagem alta.

Segundo Silva (2017), estes experimentos foram responsáveis pela identificação dos raios catódicos, raios X e raios canais. Com isso, em 1897, Joseph John Thomson chegou à conclusão de que esses raios eram partículas negativas intituladas de corpúsculos e que hoje conhecemos por elétrons. Ainda de acordo com Silva (2017, p.48 *apud* Caruso; Guri 1997, p.328), a construção dos tubos de raios catódicos – considerado os primeiros aceleradores de partículas – só foi possível por meio do aperfeiçoamento das técnicas com trabalho com vidro e das máquinas de fazerem vácuo.

Para Thomson propor o seu modelo atômico, foi necessário considerar a neutralidade do átomo, em condições de equilíbrio de modo que o número de cargas negativas e positivas fossem iguais. Considerou ainda que a maior parte da massa do átomo estava associada às cargas positivas, logo a massa do elétron é muito pequena

comparada com a massa do átomo. Chegando à conclusão de que o átomo era constituído por uma esfera de carga positiva grande com elétrons espalhados pela sua superfície, análogo a um “pudim de ameixas”, como ficou conhecido o seu modelo.

Abdalla (2006) apresenta as principais características do átomo no modelo atômico de Thomson:

[...] o átomo seria formado por uma massa uniforme carregada positivamente, suplementada por cargas esparsas carregadas negativamente. Os elétrons seriam atraídos ao centro da distribuição de cargas positivas e repelidos entre si pela lei de Coulomb. O estado estável do átomo nesse modelo seria atingido quando as duas forças, de atração e de repulsão, se equilibrassem (Abdalla, 2006, p.35).

Em 1911 Ernest Rutherford, ex-aluno de Thomson, desenvolveu um experimento para observar o espalhamento de partículas alfa por átomos, comprovando a inadequação do modelo de Thomson. Rutherford determinou a relação entre a massa e a carga das partículas alfa e sabia que as partículas eram átomos de Hélio.

Por meio de um aparato experimental, como ilustra a Figura 2, Rutherford utilizou finíssimas lâminas de diferentes elementos metálicos para estudar o espalhamento de partículas alfa, observando o poder de penetração e desvios sofridos, obtendo maior sucesso com as lâminas de ouro. O experimento foi montado colocando uma amostra de polônio contida em um bloco de chumbo passando por uma abertura estreita por onde passavam as partículas alfa emitidas por ele. Em volta da placa de ouro foi colocada uma tela protetora coberta por sulfeto de zinco (ZnS) permitindo uma melhor visualização da trajetória.

Figura 2: Aparato experimental utilizado por Rutherford



Fonte: Fogaça (s.d.).

Os resultados obtidos mostraram que a maioria das partículas alfa atravessavam a lâmina de ouro sem sofrer desvios e outras poucas, sofriam desvios. Segundo Lopes (2009), esse fenômeno causou estranheza, pois seguindo o modelo elaborado por Thomson o átomo seria homogêneo e as partículas não sofreriam grandes desvios.

Desse modo, o modelo atômico proposto por Thomson foi modificado, para justificar o desvio sofrido pelas partículas alfa, que possuem carga positiva quando se aproximam de outra partícula com carga positiva – denominada núcleo. À vista disso, agora, o átomo era representado por um imenso vazio, sendo ocupado por um núcleo pequeno no seu centro enquanto os elétrons orbitam na eletrosfera. Estabelecendo, assim, a ideia de núcleo atômico, que segundo Rutherford, concentraria praticamente toda massa do átomo (Silva, 2017). O modelo atômico de Rutherford ficou conhecido como “Modelo Sistema Solar”, no qual o Sol representa o núcleo e os planetas, os elétrons.

Apesar de ter sido muito utilizado, o modelo de Rutherford apresentava algumas inconsistências relevantes a respeito da instabilidade do átomo. Uma delas está relacionada com o movimento dos elétrons serem análogos ao do sistema solar, pois são regidos por leis diferentes. Enquanto, a outra contraria a teoria eletromagnética, afirmando que as partículas elétricas em movimento irradiam energia continuamente, fazendo os elétrons se moverem em espiral até encontrar o núcleo, logo o átomo entraria em colapso rapidamente.

Em 1911, Niels Bohr começou a trabalhar com Rutherford, tentando entender a natureza dos elétrons presentes em seu modelo atômico. Recorrendo ao trabalho de Planck sobre a teoria quântica, ele incorporou o conceito quântico de energia ao modelo de Rutherford, ou seja, a energia não é emitida de forma contínua e sim, em estados bem definidos. Com isso, em 1913, Bohr elaborou postulados que permitiram a explicação do seu modelo atômico.

O primeiro deles diz que no átomo, o elétron se move em órbitas circulares ao redor do núcleo. Tais órbitas apresentam um nível mínimo de energia, denominado de estado fundamental do átomo, sendo determinadas pela imposição de que o

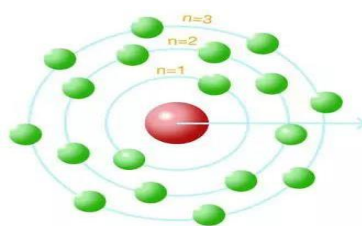
momento angular do elétron deve ser um múltiplo inteiro de $h / 2\pi$, onde $h = 6,626 \times 10^{-34}$ Js é a constante de Planck. O segundo considera que os elétrons não emitem energia enquanto se movimentam nessas órbitas. O terceiro postulado afirma que o elétron pode saltar de uma órbita para outra quando recebe energia suficiente. Sendo que a diferença da energia inicial (E_i) e final (E_f) pode ser emitida em forma de radiação eletromagnética que depende da frequência, como mostra a equação: $\nu = (E_i - E_f) / h$.

A partir dos postulados de Bohr o problema da instabilidade atômica foi resolvido apenas para o átomo de hidrogênio, contudo quando se tratava de elementos diferentes do hidrogênio, o modelo proposto por Bohr não conseguia explicar.

O trabalho publicado por Raicik (2023) mostra detalhadamente o longo caminho percorrido por Bohr para tentar solucionar o problema da estabilidade do átomo de Rutherford, prevendo novas séries espectrais para o hidrogênio ainda que este não fosse o foco principal da sua investigação. A regra de Balmer proposta em 1885 e o valor numérico da constante de Rydberg foram fundamentais para tentar explicar a existência de regularidades dos espectros e afastar uma visão empírico-indutivista do modelo de Bohr.

Os postulados de Bohr só foram realmente compreendidos em 1925 com o desenvolvimento da Mecânica Quântica e da contribuição de alguns cientistas, como Arnold Sommerfeld, Louis de Broglie, Werner Heisenberg e Erwin Schrödinger que propuseram alterações ao modelo de Bohr até chegar na definição de átomo atualmente. A Figura 3 mostra uma representação pictórica do modelo atômico de Bohr.

Figura 3: Representação pictórica do modelo atômico de Bohr



Fonte: Santos (2020).

O cenário na década de 1930 era que havia pouco a se fazer para resolver o problema da estrutura atômica. A física quântica conseguia explicar a constituição do átomo formado pelo elétron, próton e nêutron. A previsão do neutrino solucionava as inconsistências encontradas no decaimento beta. Com isso, o elétron, o próton, o nêutron, o fóton e o neutrino eram partículas conhecidas. No entanto, no final da década, começou a descoberta de novas partículas, mudando completamente o rumo da estrutura básica da matéria.

3.2 Descoberta das primeiras partículas subatômicas

Nesta seção faremos uma breve contextualização didática sobre as primeiras partículas subatômicas descobertas, baseada, principalmente, na leitura do livro *Partículas Elementares* de Maria Cristina Batoni Abdalla.

A primeira partícula elementar identificada foi o elétron, em 1897, por J.J Thomson em uma experiência com raios catódicos. Antes disso, o físico irlandês George Johnstone Stoney utilizou o termo “*elétron*”, pela primeira vez, na publicação do seu trabalho para nomear a quantidade de carga elétrica. Ele sabia que deveria existir uma carga positiva com o mesmo valor da negativa, no entanto encontrou um valor cerca de 20 vezes menor do que o aceito hoje em dia (Abdalla, 2006).

Considerada uma das partículas mais importantes para a formação da estrutura da matéria foram necessários alguns anos de experiências científicas para ser aceita pela comunidade científica, como explica o próprio Thomson (1936, p. 341 *apud* Sampaio, 2017, p. 32).

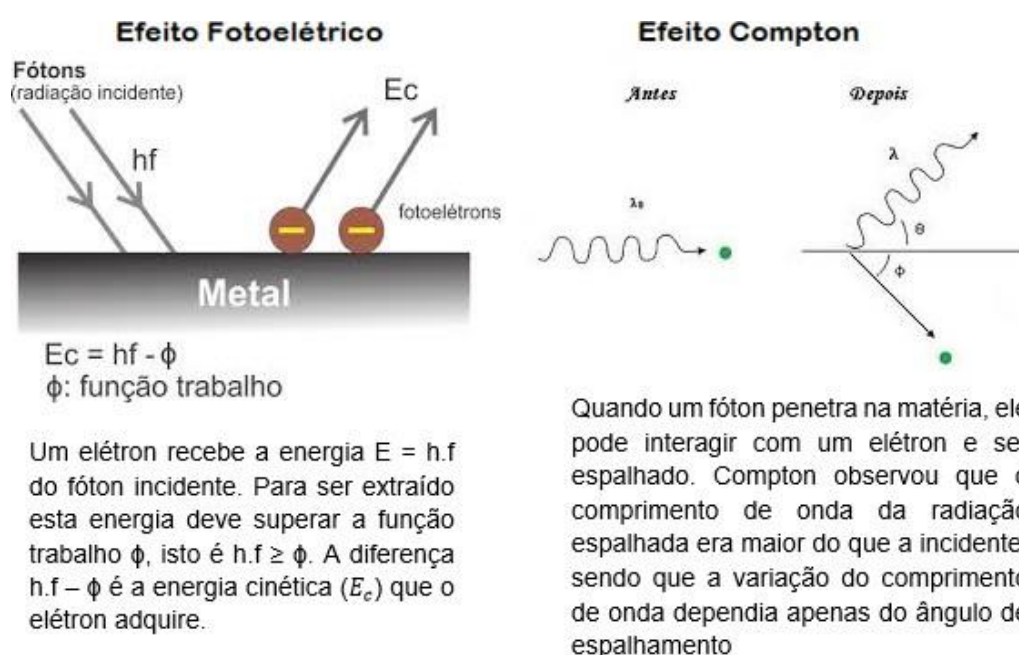
Primeiramente, eram poucos que acreditavam na existência destes corpos menores do que o átomo [...]. Continuei com minhas experiências. Determinei m/e para os portadores de energia negativa emitida pelo metal exposto a luz ultravioleta; foi a mesma para os raios catódicos. Achei também que isso era verdade para os portadores de carga negativa que escapavam dos metais quentes. Também determinei o valor de e para a carga elétrica transportada por estas partículas eletrificadas negativamente e descobri que era o mesmo que era carregado pelo átomo de hidrogênio na eletrólise dos líquidos.

A carga do elétron só foi medida, com precisão, em 1909 pelo físico norte americano Robert Andrews Millikan, obtendo $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Coulomb (Abdalla, 2006).

O fóton foi a segunda partícula elementar a ser descoberta. Em um experimento realizado por Hertz, no ano de 1888, ele observou faíscas saltando com mais facilidade quando era iluminada. Sete anos mais tarde, esse fenômeno foi explicado por Albert Einstein concluindo que quando a luz (fótons) que incide numa placa de metal tem energia suficiente, os elétrons do metal podem ser ejetados, porque adquirem energia cinética proveniente dos fótons e ficou conhecido como efeito fotoelétrico (Abdalla, 2006).

Segundo Einstein, para explicar alguns fenômenos como a produção de raios catódicos por luz ultravioleta é conveniente supor que a luz de frequência (f) seja composta de quanta individuais de energia (hf). Essa teoria lhe rendeu o prêmio Nobel em 1921. O nome "fóton" foi proposto por Gilbert Newton Lewis em 1926 somente após a confirmação da sua existência por meio da experiência do efeito Compton que ocorreu em 1923 (Abdalla, 2006). A Figura 4 ilustra os experimentos do efeito fotoelétrico e Compton.

Figura 4: Efeito fotoelétrico e efeito Compton



Fonte: Autora (2023).

Apesar de não se caracterizar como uma partícula elementar, o próton foi a terceira partícula encontrada. A palavra próton vem do grego *protos* e significa o *primeiro*. Essa partícula subatômica foi visualizada em 1886 quando Eugen Goldstein acrescentou uma variante na experiência de raios catódicos utilizados para detectar o elétron e encontrou feixes de luz no sentido contrário ao dos elétrons. Mas a sua descoberta aconteceu inequivocamente em 1919 quando Ernest Rutherford compartilhou os resultados de sua experiência com gás de nitrogênio produzindo núcleos de hidrogênio, denominados prótons (Abdalla, 2006).

O trabalho publicado por Rutherford sobre a desintegração artificial mostra que, "as partículas incidem sobre o nitrogênio, produzem núcleos de hidrogênio (prótons) transmutando o nitrogênio em outro elemento, o O_8^{17} , um isótopo do oxigênio" (Abdalla, 2006, p.45).

O nêutron foi previsto em 1920 para tentar explicar a estabilidade do núcleo, Rutherford acreditava na existência de uma partícula neutra formada por um próton e um elétron, sem carga elétrica e com massa igual à do próton (Abdalla, 2006). Porém, essa partícula só foi descoberta em 1932 pelo físico inglês James Chadwick ao refazer a experiência do casal Joliot-Curie, Chadwick sabia que a radiação neutra observada pelo casal era a versão neutra do próton.

Os experimentos realizados por Chadwick se baseava no princípio da conservação da quantidade de movimento proporcionando a colisão entre feixes de partículas alfa com o hidrogênio, hélio, lítio, berílio, carbono, ar e argônio, emitindo uma radiação com poder de penetração muito intensa, constatando assim a existência do nêutron, recebendo o prêmio Nobel de Física em 1935 por esta descoberta (Abdalla, 2006).

Com a descoberta do nêutron a descrição do núcleo atômico ficou coerente com as medidas do spin desse núcleo que passou a ser inteiro, resolvendo o problema da estabilidade, passando a ser descrito por prótons e nêutrons, especificando a massa e a carga do núcleo. Como consequência, por muitos anos, acreditava-se que os prótons, nêutrons e elétrons eram os elementos fundamentais da constituição da matéria (Siqueira, 2006).

A partir dos anos 30, as pesquisas associadas a novas partículas avançaram significativamente, tanto na parte empírica quanto na teórica. Um exemplo disso foram as medições associadas ao decaimento beta para tentar explicar uma falha na conservação da energia. Wolfgang Pauli sugeriu que uma segunda partícula neutra, leve e com pouca interação com a matéria era emitida. Sendo assim, a soma das energias do elétron e da referida partícula deveria ser constante.

Considerou que a energia é igual a $E_i = m_A c^2$ em um núcleo A, antes do seu decaimento. Após o decaimento a energia do núcleo B é $E_f = m_B c^2$. Levando em consideração a nova partícula, a energia cinética disponível para o elétron seria:

$$Ec = (m_A - m_B) c^2 - m_e c^2 - m_\nu c^2 \quad (1)$$

Onde m_e é a massa do elétron, m_ν é a massa minúscula da nova partícula e c é a velocidade da luz no vácuo (Santos, 2003). Essa partícula foi batizada de neutrino (pequeno nêutron) por Enrico Fermi, em 1933, após fornecer uma explicação para o decaimento beta que explicava a formação do espectro contínuo.

A teoria do decaimento beta formulada por Fermi, mostra que o neutrino é um dos elementos de desintegração do nêutron. No caso do decaimento beta menos, a transformação de um nêutron para um próton, um dos núcleos do nêutron libera um elétron e um neutrino, segundo a reação:



Para o decaimento beta mais, a transformação de um próton para um nêutron, um dos prótons do núcleo libera um pósitron e um neutrino conforme a reação:



A detecção do neutrino aconteceu 23 anos mais tarde, em 1953, numa experiência planejada e realizada pelos cientistas Clyde Cowan e Frederick Reines na central nuclear de Savannah River, localizada na Carolina do Sul, Estados Unidos. O

neutrino é uma das partículas mais abundantes do universo, mas a sua detecção é uma tarefa difícil de realizar, pois eles interagem fracamente com a matéria. O neutrino do elétron foi o primeiro a ser descoberto, nos anos seguintes, por meio de experimentos foi constatado que os neutrinos sofrem oscilações na sua constituição, encontrando o neutrino do múon, em 1962 e o neutrino do tau no ano 2000.

3.3 Detecção de partículas

A pesquisa em Física de partículas é baseada em pressupostos teóricos seguido de comprovação empírica, tal como ocorreu com a previsão do neutrino e a sua dificuldade de detecção, passando despercebido durante 23 anos pelos meios de detecção existentes na época de sua descoberta. "Um exemplo disso é o fato de que um neutrino produzido na desintegração beta podia passar direto através da Terra como se fossem espaços vazios" (Close, 1983, p.43).

A câmara de bolhas foi uma das formas utilizadas para detectar as partículas elementares. Criada em 1952, por Donald Arthur Glaser, em substituição a câmara de Névoa, seu princípio de funcionamento utiliza ionização produzida por partículas carregadas quando elas se deslocam em sólidos, líquidos ou gases formando pequenas bolhas durante a sua trajetória. O rastro deixado é analisado para identificar a partícula responsável por meios das características deixadas pelas bolhas. A eficiência desta experiência está diretamente relacionada com o líquido utilizado.

Convém observar que a grande vantagem da **câmara de bolhas** para a **câmara de névoa** decorre do fato de que a substituição do gás supersaturado pelo líquido superaquecido faz com que haja aumento de mais de mil vezes na densidade da câmara, possibilitando, desta maneira, o maior número de colisões entre as partículas ionizantes e os alvos...em consequência, as trajetórias das partículas que estão sendo observadas se tornam mais curtas (Bassalo, 2019, p.1).

O avanço na descoberta de novas partículas se deu através dos estudos dos raios cósmicos, cuja existência foi comprovada na década de 1960. Estes são "núcleos atômicos, constituídos de prótons e nêutrons, que viajam no espaço a velocidades próximas à da luz" (Flório, 2017, p.1).

Ao incidir raios cósmicos na atmosfera do planeta, estes colidem com núcleos de nitrogênio e oxigênio do ar, bombardeando a superfície terrestre, o que desencadeia uma chuva de novas partículas resultantes desse processo de colisão, fenômeno conhecido como chuva de partículas (Flório, 2017).

As informações são coletadas com mais precisão quando conseguem captar a entrada dessas partículas na superfície terrestre, pois a energia inicial tende a diminuir a cada colisão, dificultando os registros fotográficos que permitem aos cientistas realizar esses estudos, embora os dados obtidos não forneçam informações completas sobre as propriedades das partículas (Silva, 2017).

A fim de aprofundar os conhecimentos na formação de novas partículas por meio do processo de desintegração, os cientistas apostaram no desenvolvimento de novas tecnologias. A construção dos aceleradores de partículas contribuiu para esse avanço. Esses dispositivos dispõem de um alto nível de energia para acelerar partículas eletrizadas, como o próton, sofrendo a ação de forças eletromagnéticas, atingindo valores de velocidade próximos aos da luz.

Quanto maior a quantidade de energia envolvida por esses dispositivos, maior será o poder de desintegração. As partículas resultantes destas desintegrações são identificadas por supercomputadores que recebem os dados através dos sensores instalados nas paredes do acelerador. A grande maioria dessas partículas existem por apenas frações de segundo e, por isso, são instáveis (Silva, 2017).

Os aceleradores de partículas são classificados em lineares e circulares. Os tubos de raios catódicos e raios X podem ser considerados os primeiros aceleradores lineares da história, acelerando partículas em linha reta. Os aceleradores lineares mais modernos empregam uma série de eletrodos com espaços vazios para fornecer uma série de intensos impulsos nas partículas. O Stanford Linear Accelerator Center (SLAC) é o maior do mundo, no qual os elétrons e pósitrons são acelerados até uma energia de 50 GeV⁴ em um tubo de 3 km de comprimento.

⁴ 1eV = elétron-Volt, é a energia adquirida por um elétron quando submetido a uma diferença de potencial de 1 V. (Alves, 2018).

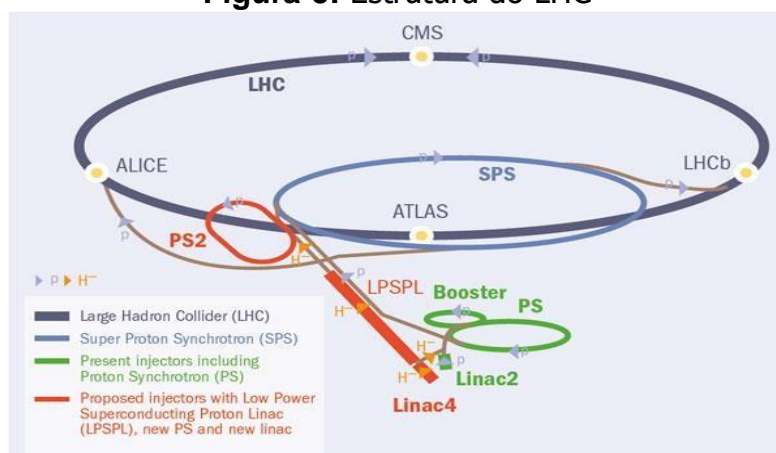
O ciclotron foi o primeiro acelerador inventado, em 1931, que usa eletroímãs para que as partículas possam descrever movimentos circulares. O Síncrotron foi construído para alcançar valores mais elevados de energia, onde as partículas se movem no acelerador de anel - câmara sob vácuo em forma de rosca. O Tevatron no Fermi National Accelerator Laboratory (Fermilab) é considerado o maior síncrotron do mundo, sendo capaz de acelerar prótons com energia de até 1 Tev. (Sears; Zemansky, 2004).

Em 1954, foi fundado o laboratório CERN (Organização Europeia para Pesquisa Nuclear) que utiliza os aceleradores e detectores, considerados os instrumentos científicos mais complexos do mundo para estudar as partículas fundamentais da matéria. O Large Hadron Collider (LHC) foi construído no CERN, localizado em Genebra, na Suíça.

O LHC é considerado o maior e mais importante acelerador de partículas existente, desde o início do seu funcionamento, em 2008. Possui uma enorme estrutura em forma de túneis subterrâneos com circunferência de 26,7 km e diâmetro de 7 m, variando sua profundidade entre 50 m e 175 m, é capaz de acelerar feixes de prótons atingindo valores próximos aos da velocidade da luz no vácuo, com energia aproximada de 7 Tev⁵, chegando a consumir cerca de 800 mil MWh de energia por ano (Carvalho, 2018).

O processo de aceleração das partículas no LHC começa em um acelerador linear denominado LINAC (*Linear Particle Accelerator*) aumentando a velocidade das partículas subatômicas eletricamente carregadas ao passar pelo PS (*Próton Synchrotron*) que ao serem acelerados, descrevem uma trajetória circular. Os feixes do LHC são feitos para colidirem em quatro pontos distintos, como mostra a Figura 5, nos quais existem um experimento específico ao redor do anel do acelerador (ATLAS – A Toroidal LHC Apparatus, CMS – Compact Muon Solenoid, ALICE – A Large Ion Collider Experiment, LHC-b – Large Hadron Collider beauty). O objetivo é observar partículas específicas, resultado das colisões entre os prótons de altas energias (CERN, 2023).

⁵ 1 Tev = 1 trilhão de eV = 10¹² eV

Figura 5: Estrutura do LHC

Fonte: Evans e Linszen (2008).

ALICE é um detector localizado numa vasta caverna há 56 metros abaixo da terra, na França. Foi construído para o estudo da colisão entre os íons pesados e é responsável pelo estudo da física da matéria em forte interação em densidade de energias extremas.

O ATLAS fica em uma caverna 100 m abaixo da terra, próximo ao local principal do CERN, é um detector onde feixes de prótons colidem com altas energias a partir do seu centro de massa para investigar várias áreas da física moderna como o bóson de Higgs e a matéria escura.

O CMS é um detector de múons construído ao redor de um ímã solenoide gerando um campo magnético 100 mil vezes maior que o da Terra, aproximadamente. Ele possui os mesmos objetivos de estudo do ATLAS, porém utiliza métodos diferentes para chegar nos resultados das pesquisas. O LHCb é um detector composto por subdetectores para encontrar as primeiras partículas lançadas para a frente durante a colisão com o objetivo de investigar as pequenas diferenças entre matéria e antimateria. (CERN, 2023).

3.4 As quatro forças fundamentais e suas interações

Há quatro tipos de forças fundamentais ou interações na natureza: gravitacional, eletromagnética, nuclear forte e nuclear fraca. Para cada tipo de força existe uma partícula mediadora responsável por sua interação.

A força gravitacional é a responsável pela atração das massas e age inversamente proporcional ao quadrado da distância, mas tem grande alcance entre os corpos. “É a força que estabiliza o universo. É ela que mantém juntos os nove planetas que giram em torno do Sol, dentre eles a Terra” (Abdalla, 2006, p. 203). Isaac Newton foi o primeiro a formular essa teoria por meio da equação:

$$\vec{F}_{grav} = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \vec{r} \quad (4)$$

Onde G é a constante gravitacional e vale $6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$. Albert Einstein redesenhou levando em consideração situações que envolvem os efeitos relativísticos com sua teoria da relatividade geral. A partícula mediadora da força gravitacional é o *gráviton*, no entanto ela ainda não foi observada experimentalmente, supostamente não possui massa, é estável e tem spin igual a dois.

A força eletromagnética é a responsável pela interação que ocorre entre partículas carregadas eletricamente. Assim como a força gravitacional ela tem grande alcance que vai diminuindo proporcionalmente ao quadrado da distância entre os corpos carregados, podendo ser tanto atrativa quanto repulsiva. James Clerk Maxwell foi o grande entusiasta do eletromagnetismo unificando os campos elétricos e magnéticos em uma mesma teoria através de suas quatro equações, conhecidas como equações de Maxwell.

A eletrodinâmica quântica, do inglês *Quantum Electrodynamics* (QED), é a teoria que descreve a interação de duas partículas com cargas elétricas por meio da troca de fótons. O elétron percebe a presença do próton por meio da troca de fótons entre si, levando a informação de uma partícula para a outra. O fóton compartilhado constitui-se o quantum do campo eletromagnético (Souza, 2017). Esta força é responsável, por exemplo, pela interação entre o próton e o elétron, mantendo-os em torno do núcleo, sendo o *fóton* a partícula mediadora responsável por essa interação.

Esse fótons não podem ser detectados, pois são emitidos por uma partícula e absorvidos por outra imediatamente, caso contrário violaria a lei da conservação da energia, no caso dos fótons é preciso usar o princípio de indeterminação ($\Delta E \cdot \Delta t = \hbar$)

como artifício. A equação $\Delta E \cdot \Delta t = \hbar$ é interpretada da seguinte forma: “sacar o descoberto” uma energia ΔE , violando a lei da conservação da energia, contanto que haja uma “reposição” dentro de um intervalo de tempo $\Delta t = \hbar/\Delta E$ para que a violação não possa ser detectada” (Halliday; Resnick; Walker, 2012).

A força nuclear forte é responsável pela coesão nuclear, mantendo os prótons e nêutrons juntos na formação do núcleo atômico. Esta força age somente nos fenômenos de curta distância, atuando em escalas nucleares e possui intensidade bem maior que as outras forças. Sendo o glúon a partícula responsável por mediar a interação das partículas elementares que constituem os prótons e os nêutrons.

Em 1935, Yukawa sugeriu a existência de uma partícula que poderia ser a mediadora da força nuclear mostrando que a distância atingida por essa força era proporcional a massa dessa partícula que foi chamada de méson e será discutida a posteriori, na seção 3.5.

Analisando a força nuclear entre um núcleo de próton e o núcleo de um nêutron verificou-se que, tal força, poderia ser descrita de maneira geral pela função da energia potencial $U(r)$. A equação (5) é uma possível função da energia potencial para a força nuclear:

$$U(r) = -f^2 \frac{e^{-\frac{r}{r_0}}}{r} \quad (5)$$

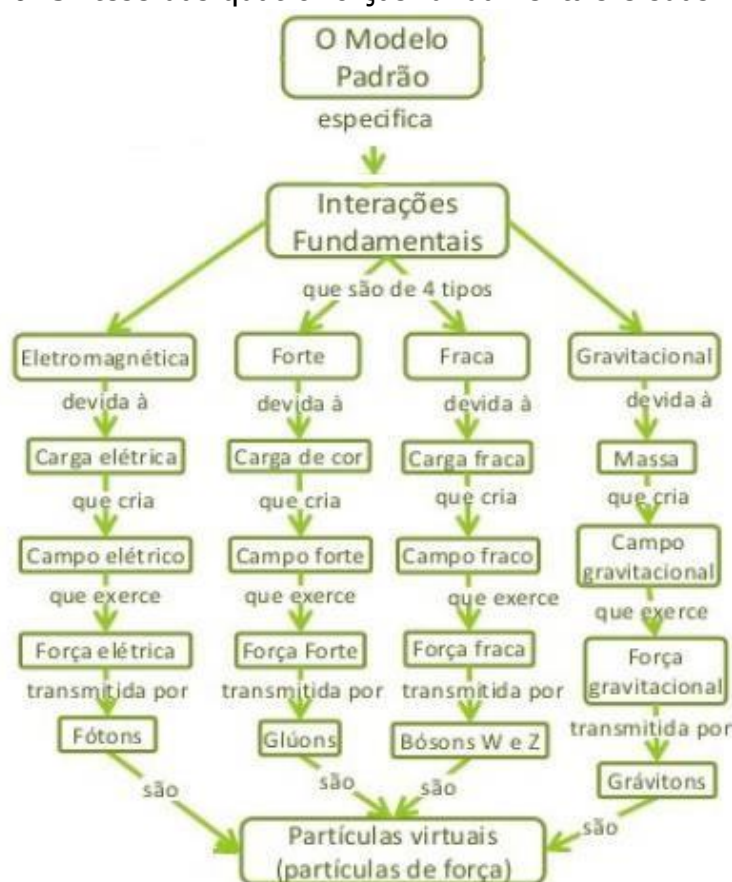
onde f é a constante da intensidade de interação da força forte cuja dimensão é dada pela energia vezes a distância e r_0 descreve o seu alcance. Essa função tende a zero muito rapidamente para valores grandes de r (Sears; Zemansky, 2004).

A força nuclear fraca está relacionada aos processos nucleares de decaimento radioativo, como ocorre, por exemplo, no decaimento beta, onde um nêutron decai em um próton, emitindo um elétron e um antielétron, expressado pela equação (3). Além disso esse processo ocorrem também em outras partículas instáveis como, por exemplo, os píons se transformando em múons e os múons em elétrons.



A mediação dessa força é feita pelas partículas W e Z⁶ que por possuírem grandes massas apresenta curto alcance nas interações. Esse alcance de interação depende diretamente da massa de repouso das partículas mediadoras, de acordo com o princípio da incerteza⁷ da mecânica quântica. A figura 6 mostra uma síntese, por meio de um mapa conceitual, das quatro forças fundamentais e suas interações.

Figura 6: Síntese das quatro forças fundamentais e suas interações



Fonte: Adaptada de Moreira (2009).

3.5 Em direção ao modelo padrão

Em 1928, Paul Dirac desenvolveu uma equação que descrevia o comportamento de um elétron se movendo a uma velocidade relativística. Essa

⁶ As partículas W e Z foram descobertas na década de 1980 e serão discutidas posteriormente na seção 3.6 deste capítulo.

⁷ O princípio da incerteza de Heisenberg mostra o quão é improvável conhecer, simultaneamente, o momento e a posição de uma partícula com um grau de certeza.

equação apresentava sempre duas soluções para a resolução do problema e foi interpretada por Dirac como sendo uma partícula semelhante ao elétron, mas com carga positiva que foi descoberta em 1932 por Carl D. Anderson quando detectou a antipartícula do elétron chamada de *pósitron* (Halliday; Resnick; Walker, 2012). Segundo Richard Feynman um pósitron pode ser descrito matematicamente como um elétron que se desloca no sentido contrário do tempo.

Para cada partícula existe uma antipartícula com a mesma massa e número de spin, porém outras propriedades, como a carga elétrica, número bariônico e número leptonico apresenta sinais contrários. A antimatéria é formada pelas antipartículas, como o antipróton, antinêutron, antiléptons, antiquarks, antielétron, etc. As partículas neutras são iguais às suas antipartículas, como os fótons, por exemplo (Moreira, 2009). A maioria das antipartículas são representadas adicionando uma barra sobre o símbolo da sua respectiva partícula. Assim, a antipartícula do próton é representada por (\bar{p}).

Quando uma partícula encontra sua antipartícula as duas desaparecem e a energia que possuía assume novas formas, esse processo é chamado de aniquilação mútua, no caso de um elétron e um pósitron são produzidos dois raios gama: $e^- + e^+ \rightarrow \gamma + \gamma$. Caso o elétron e o pósitron estejam em repouso no momento da aniquilação, a energia total é dada pela soma das energias de repouso dessas duas partículas, sendo compartilhada uniformemente pelos dois fótons (Halliday; Resnick; Walker, 2012).

O termo *spin* pode ser denominado como o número quântico da partícula, representado pela letra (*s*). As partículas com o número quântico de spin $1/2$, como os elétrons, prótons e nêutrons são chamadas de férmions, em homenagem ao físico Enrico Fermi em colaboração com Paul Dirac. Os férmions obedecem ao princípio da exclusão de Pauli, no qual duas partículas não podem ocupar o mesmo estado quântico, baseado na distribuição de Fermi-Dirac (Halliday; Resnick; Walker, 2012).

As partículas que possuem número quântico de spin 0 ou 1, como os fótons, são chamadas de bósons em homenagem ao físico Satyendra Nath Bose em colaboração com Albert Einstein. Os bósons não obedecem ao princípio da exclusão

de Pauli, podendo ocupar o mesmo estado quântico, baseado na função de distribuição de Bose-Einstein (Halliday; Resnick; Walker, 2012).

Em 1935, o físico japonês Hideki Yukawa desenvolveu a hipótese de que havia espaço para um novo campo de força forte no núcleo associando o *méson* como partícula responsável por essas interações, dois anos depois essa partícula foi denominada de *píon*. Segundo Yukawa, essa partícula deve viver durante aproximadamente 10^{-24} segundos para que sua distância percorrida seja compatível com o alcance da força nuclear, mostrando que o alcance dessa força está relacionado com a massa de repouso da partícula (Sears; Zemansky, 2004). Durante esse processo, o núcleo conserva sua massa de repouso inicial, violando a lei da conservação da energia “pois há mais massa presente do que antes da emissão do *píon* ou depois da sua absorção” (Caruso, 2016, p. 294), contudo, de acordo com o princípio da incerteza essa violação é permitida durante um curto intervalo de tempo.

Somente em 1947, foi provada a existência do píon com a colaboração dos físicos Giuseppe Occhialini, Cecil Frank Powell e Cesare Mansueto Giulio Lattes (físico brasileiro), verificando que a partícula estava dentre os componentes da radiação cósmica detectada em pontos altos da atmosfera (Abdalla, 2004). Posteriormente, Lattes, em colaboração com o norte-americano Eugene Gardner, detectou píons produzidos artificialmente no acelerador de partículas por meio de processos de colisões entre núcleos de energia muito alta e núcleos de um alvo, observando os mésons com duas possibilidades de carga: r^+ e r^- . Em 1950, o méson neutro foi descoberto para completar os três tipos (r^+ , r^- , r^0). Assim, os mésons r ou píons estão associados aos núcleos e interagem por meio da força forte e a teoria de Yukawa foi de fato comprovada cientificamente, levando-o a ganhar o prêmio Nobel por sua descoberta anos atrás.

Experimentos realizados sobre a troca de *píons* entre dois núcleos em interação encontrada no espalhamento nêutron-próton, evidenciaram que cerca de metade das colisões, o nêutron se transforma em um próton e o próton em um nêutron. Ou seja, o nêutron emite um *méson* r^- transformando-se em próton, como indica a reação abaixo:



e então



O processo de espalhamento pode ocorrer quando um próton emite um *méson* π^+ sendo absorvido pelo nêutron logo em seguida, mostrando na reação abaixo:



e então



Concluindo que um méson pode transportar tanto carga elétrica quanto momento linear entre os dois núcleos em interação.

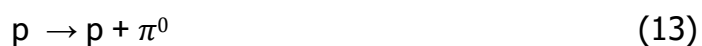
O méson nêutron transporta momento linear, mas não transfere carga elétrica na interação com os núcleos, nesse caso ocorre dois conjuntos de reações:



e então



e



e então



Os múons foram descobertos na mesma época em que Yukawa propôs a teoria para a força nuclear. Em 1937, os físicos Seth H Neddermeyer e Carl David Anderson encontraram na radiação cósmica duas novas partículas que, por muito tempo, acreditavam ser as partículas previstas por Yukawa, contudo as evidências mostraram que a interação dessas partículas com a matéria era muito fraca.

Por exemplo, os múons da radiação cósmica conseguem atravessar largas camadas de matéria sólida com uma pequena redução, se comportando dessa forma, seria improvável que os múons fossem as partículas responsáveis pela interação forte, mesmo tendo sua massa de repouso próxima do valor previsto por Yukawa (Caruso, 2016).

$$m_{\mu^+} = m_{\mu^-} = 106 \text{ MeV}/c^2 \quad (15)$$

Essa partícula ficou conhecida como múon (μ), possui duas cargas elétricas (μ^+ , μ^-), estão associados aos elétrons e interagem por meio da força fraca. O μ^- possui carga igual a do elétron e o μ^+ , sua antipartícula, possui carga positiva com o mesmo módulo. Essas duas partículas possuem propriedades semelhantes à do elétron, como o mesmo spin, porém sua massa é cerca de 207 vezes maior.

O múon foi a primeira partícula instável a ser descoberta, decaindo espontaneamente, para um elétron, um antineutrino do elétron e um neutrino do múon. Analogamente, o antimúon decai, para um pósitron (antipartícula do elétron), um neutrino do elétron e um antineutrino do múon, por meio da interação fraca apresentadas nas equações (16) e (17):

$$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu \quad (16)$$

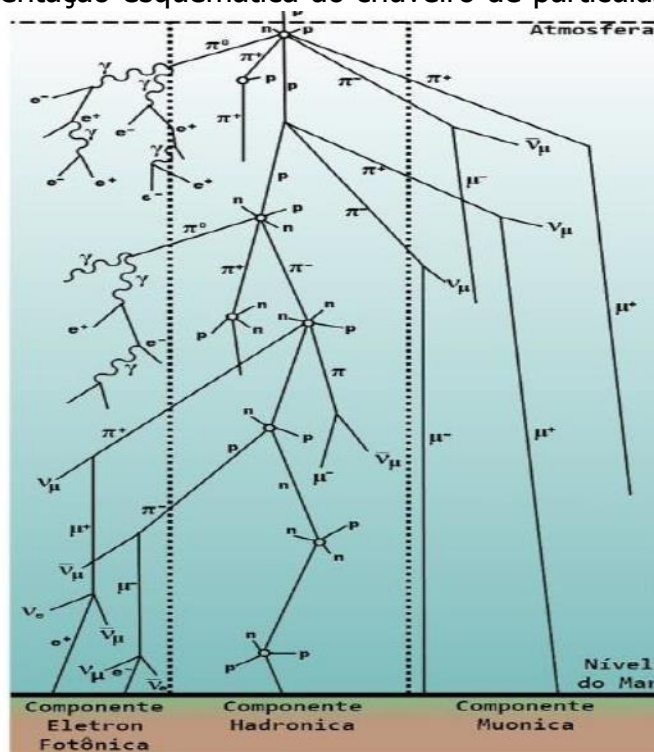
$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu \quad (17)$$

onde e^+ é o pósitron, e e^- é a notação usada para o elétron. A vida média para ambos os decaimentos é a mesma, estimada em 10^{-6} segundos.

Quando os raios cósmicos atingem a superfície terrestre, essas partículas se tornam vulneráveis a sofrerem interações eletromagnéticas e nucleares com outras partículas, produzindo píons carregados, píons neutros e fragmentos nucleares. Os píons, por sua vez, sofrem novas interações que dão origem ao processo de decaimento produzindo novas partículas, como os múons e os neutrinos.

Este fenômeno é conhecido como chuva de partículas. "É um fenômeno de reação em cadeia, no qual a partir de um único próton incidente no topo da atmosfera multiplica-se, reproduzindo bilhões de partículas" (Carvalho, 2018, p. 45). Todo esse processo acontece a uma altitude de aproximadamente dez mil metros e com velocidades próximas à da luz. A Figura 7 ilustra o chuva de partículas de raios cósmicos na atmosfera.

Figura 7: Representação esquemática do chuva de partículas de raios cósmicos



Fonte: Oliveira, Rockenbach e Pacini (2014).

Após a descoberta dos píons nos raios cósmicos, várias partículas começaram a ser detectadas. Os mésons káon (K), as partículas Λ e Σ foram as primeiras a serem descobertas, posteriormente identificaram os grupos de partículas xis (Ξ) e deltas (Δ), para essas novas partículas foram criados um novo número quântico, chamado de

estranheza, sugerido por Gell-Mann em 1953. A estranheza é uma propriedade da partícula, tal como a carga, massa, spin e número bariônico (Abdalla, 2016).

As observações feitas com as partículas estranhas mostraram que elas são conservadas em processos envolvendo a força forte, tais como:

$$p + \pi^- \rightarrow \bar{\Sigma}^+ K^-, \quad (18)$$

$$p + \pi^- \rightarrow \Lambda^0 + K^0 \quad (19)$$

mas os seus decaimentos são regidos pela força fraca, na maioria das vezes ela não é conservada quando decaem individualmente, como nos processos a seguir:

$$\Sigma^+ \rightarrow n + \pi^+ \quad (20)$$

$$\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^- \quad (21)$$

$$K^- \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^- \quad (22)$$

Onde a estranheza inicial é $S = 1$ para o káon (k) e $S = -1$ para os sigmas (Σ) e o lambda (Λ) e o seu valor final é igual a zero em cada um desses decaimentos (Sears; Zemansky, 2004).

O decaimento das partículas estranhas fornece o primeiro exemplo de uma lei que é obedecida apenas em algumas interações, ao contrário das quatro leis conhecidas, leis da conservação absolutas: a da energia, do momento linear, do momento angular e da carga elétrica, pois são conservadas em todos os processos de interações. Além dessas, a conservação do número bariônico (A)⁸, e o número leptônico do elétron (L_e)⁹ também são conservados em todas as interações.

⁸ Relacionada ao número de prótons, nêutrons e outras partículas que pertencem ao grupo dos bárions, na qual o número total de bárions deve ser constante.

⁹ Garante a conservação do número leptônico do elétron, do múon e do tau antes e depois de uma reação nuclear.

A conservação de duas outras grandezas é importante para entender a classificação das partículas elementares e suas interações, uma delas é a terceira componente do isospin (I_3)¹⁰ usada para descrever a independência nas interações fortes e a paridade (P) que compara o comportamento de um sistema com sua imagem especular e é conservada somente nas interações fortes e eletromagnéticas (Sears; Zemansky, 2004).

Gell-Mann usou as leis da conservação, que podem ser associadas com uma propriedade de simetria do sistema, para classificar as partículas e suas interações organizando as partículas com características semelhantes em um mesmo grupo. “Quando uma lei de conservação é violada, dizemos que o processo ocorrido envolveu uma interação com quebra de simetria” (Sears; Zemansky, 2004, p. 383).

Na Quadro 2, a seguir, é possível observar quatro grupos de partículas do mesmo tipo com configurações simétricas contendo três octetos que foram chamados de caminho óctuplo¹¹ e um decuplete. Baseando-se na teoria matemática desenvolvida por Sophus Lie, no século XIX, para descrever simetrias, chamada teoria de grupos, Gell-Mann desenvolveu formas geométricas para agrupar essas partículas em um sistema de coordenadas cartesianas (Abdalla, 2006).

Quadro 2 - Grupo de partículas organizados por simetria

Grupo	Partículas
Mésons de spin 0	$\pi^-, \pi^0, \pi^+, K^0, K^+, K^-, \bar{K}^0, \eta^0$
Bárions de spin 1/2	$n, p, \Lambda^0, \Sigma^+, \Sigma^0, \Sigma^-, \Xi^0, \Xi^-$
Mésons de spin 1	$\rho^-, \rho^0, \rho^+, K^{*0}, K^{*+}, K^{*-}, \bar{K}^{*0}, \Phi$
Bárions de spin 3/2	$\Delta^-, \Delta^0, \Delta^+, \Delta^{++}, \Sigma^{*-}, \Sigma^{*0}, \Sigma^{*+}, \Xi^{*-}, \Xi^{*0}, \Omega^-$

Fonte: Autora (2023).

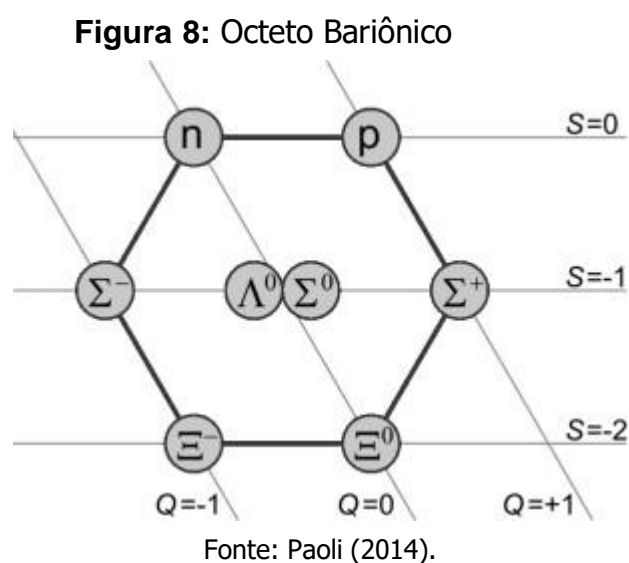
O caminho óctuplo está para a física assim como a tabela periódica está para a química com um padrão bem definido que orienta os cientistas na busca das partículas que faltam. “Esses padrões podem ser considerados uma indicação de que

¹⁰ Garante a conservação do número do isospin antes e depois de uma reação nuclear e do seu decaimento.

¹¹ O modelo simétrico de Gell-Mann foi denominado de caminho óctuplo em analogia ao diagrama do nobre caminho óctuplo com oito preceitos a ser seguido pela religião budista (Abdalla, 2006).

os bárions e mésons possuem uma estrutura interna que é responsável pela regularidade de suas propriedades” (Halliday; Resnick; Walker, 2012, p. 371).

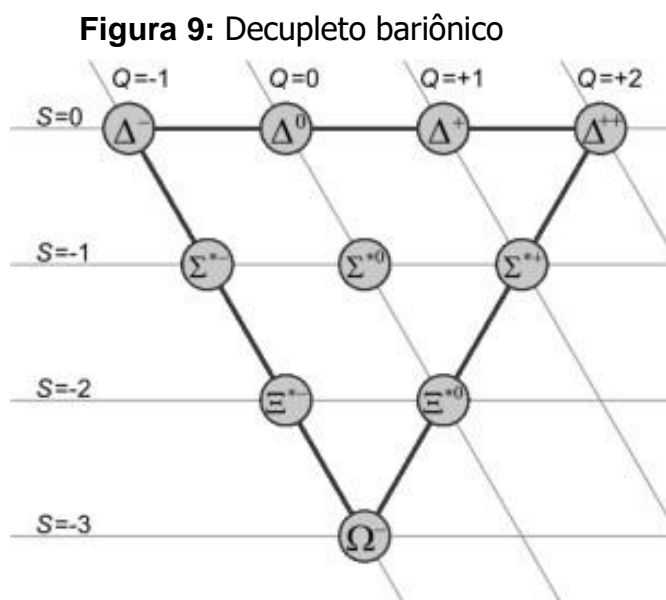
Tomando como exemplo o grupo de bárions com spin $1/2$, na Figura 8, com uma configuração hexagonal, onde o eixo da abscissa é representado o valor da carga (Q) e o eixo da ordenada é a estranheza (S). Cada partícula possui a sua antipartícula no verso oposto do hexágono e as partículas do centro da configuração são a sua própria antipartícula.



Quando essas configurações foram desenhadas a partícula η^0 prevista no grupo dos mésons (ver quadro 2), ainda não havia sido descoberta. Gell-Mann fez previsão de suas propriedades orientando os cientistas a realizarem experiências pontuais das grandezas que deveriam ser encontradas e assim as partículas que faltavam foram sendo descobertas até completar a classificação.

O reconhecimento da teoria de Gell-Mann veio em 1962 com a previsão da partícula Ω^- que faltava para completar o triângulo invertido com dez partículas mostrado na Figura 9 “Existe um bárion de spin $3/2$, carga -1 , estranheza -3 e energia de repouso 1680 MeV, aproximadamente. Se procurarem a partícula ômega-menos, como proponho que seja chamada, estou certo de que a encontrarão” (Geel-Mann,

1962)¹². Essa partícula foi encontrada três anos mais tarde em uma experiência liderada por Nicholas Samion no laboratório de Brookhaven nos Estados Unidos.



Fonte: Paoli (2014).

3.6 Descoberta dos Quarks e Bóson de Higgs

As partículas podem ser classificadas de acordo com o tipo de interação que elas sofrem. São chamadas de hádrons as partículas que possuem estrutura interna e estão sujeitas a interação forte. Os hádrons são subdivididos em bárions e mésons. Os bárions são formados por três quarks (qqq) ou três antiquarks ($\bar{q}\bar{q}\bar{q}$). A família dos bárions é constituída por núcleos e por partículas definidas como *híperons*, incluindo as Λ , Σ , Ξ e Ω que são semelhantes aos núcleos, porém com massas maiores. Os bárions têm números quânticos de spin $1/2$ e, portanto, são férmions (Sears; Zemansky, 2004).

Como todos os quarks têm número bariônico $B = 1/3$, foi atribuído ao bárion $B = +1$ e do antibárion $B = -1$ na qual todas as interações obedecem a lei da conservação do número bariônico. O quadro 3, abaixo, mostra algumas combinações de quarks que formam os bárions e suas propriedades.

¹² Fala de Gell-Mann guiado pela teoria e simetria do padrão ao prever a partícula Ω^- . Extraído de Halliday; Resnick; Walker (2012)

Quadro 3 – Alguns tipos de Bárions e sua estrutura de quarks

Oito Bárions de spin 1/2					
Partícula	Estrutura	Símbolo	Massa (Mev/c ²)	Números Quânticos	
				Carga (q)	Estranheza (S)
Próton	Uud	P	938,3	+1	0
Nêutron	Udd	N	939,6	0	0
Lambda	Uds	Λ^0	1115,6	0	-1
Sigma	Uus	Σ^+	1189,4	+1	-1
Sigma	Uds	Σ^0	1192,5	0	-1
Sigma	Dds	Σ^-	1197,3	-1	-1
Csi	Uss	Ξ^0	1314,9	0	-2
Csi	Dss	Ξ^-	1321,3	-1	-2

Fonte Adaptada: Halliday; Resnick; Walker (2012)

Os mésons são constituídos por um par de quark-antiquark ($q\bar{q}$), possui número quântico de spin inteiro, portanto, são bósons. Todos os mésons são instáveis formando partículas menores quando decaem, obedecendo as leis da conservação. (Sears; Zemansky, 2004). Na Quadro 4 é possível ver alguns tipos de mésons conhecidos atualmente.

Quadro 4 - Alguns tipos de mésons atualmente conhecidos

Nove Mésons de spin zero				
Partícula	Símbolo	Massa (Mev/c ²)	Números Quânticos	
			Carga (q)	Estranheza (S)
Píon	π^0	135,0	0	0
Píon	π^+	139,6	+1	0
Píon	π^-	139,6	-1	0
Káon	K^+	493,7	+1	+1
Káon	K^-	493,7	-1	-1
Káon	K^0	497,7	0	+1
Káon	\bar{K}^0	497,7	0	-1
Eta	η	547,5	0	0
Eta – linha	η'	957,8	0	0

Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2012).

As partículas sujeitas a interação fraca são chamadas de léptons, eles não possuem estrutura interna, tão pouco, grandes dimensões se comportando como partículas pontuais nas interações. Os léptons obedecem ao princípio da conservação, correspondendo aos três números de léptons existentes, conhecidos

como números leptônicos (L_e, L_μ, L_c). O número quântico do elétron (e^-) e do seu neutrino (ν_e) é igual a +1, para as suas antipartículas (e^+ e $\bar{\nu}_e$) é igual a -1 e zero para todas as outras partículas. Para as partículas (μ^-, τ^-) e seus respectivos neutrinos (ν_μ, ν_c) são atribuídos valores de números quânticos análogos. Em todas as interações, os números leptônicos são conservados isoladamente (Sears; Zemansky, 2004). Por exemplo, na reação de decaimento do μ^- , os números leptônicos são dados por:



temos,

$$L_\mu = 1 \quad L_e = 1 \quad L_e = -1 \quad L_\mu = 1 \quad (24)$$

O quadro 5 apresenta as três famílias dos léptons associadas aos seus neutrinos.

Quadro 5 - Família dos léptons

Os Léptons					
Família	Partícula	Símbolo	Massa (MeV/c ²)	Carga (q)	Antipartícula
Do elétron	Elétron	e^-	0,511	-1	e^+
	Neutrino do Elétron	ν_e	$\approx 1 \times 10^{-7}$	0	$\bar{\nu}_e$
Do múon	Múon	μ^-	105,7	-1	μ^+
	Neutrino do Múon	ν_μ	$\approx 1 \times 10^{-7}$	0	$\bar{\nu}_\mu$
Do tau	Tau	τ^-	1777	-1	τ^+
	Neutrino do Tau	ν_c	$\approx 1 \times 10^{-7}$	0	$\bar{\nu}_c$

Fonte: Adaptada de Halliday, Resnick e Walker (2012).

A primeira teoria sobre os quarks foi proposta em 1964 por Gell-Mann e Zweig, baseada na existência de três constituintes, todos com spin 1/2 e número bariônico 1/3. Inicialmente, os quarks apresentavam em três tipos (*chamados de sabores*), denominados de *up* (u), *down* (d), *strange* (s) (Ostermann, 2001). O quarto sabor de quark foi confirmado dez anos mais tarde por meio de experiências, designado como sendo *charm* (c). Em 1977, foi descoberto o *quark bottom* (b) e o último sabor de quark a ser encontrado foi o *top* (t). Os quarks nunca foram encontrados livremente, aparentemente encontram-se presos em partículas mais pesadas, chamadas de hádrons. Cada quark possui sua antipartícula com valores opostos para os números

quânticos. No quadro 6 é possível ver um resumo dos sabores, massa, spin e carga elétrica dos quarks.

Quadro 6 - Família dos quarks

Quarks Spin = 1/2		
Sabor	Massa aproximada (Gev/c ²)	Carga elétrica
Up	0.002	2/3
Down	0.005	-1/3
Charme	1.3	2/3
Estranho	0.1	-1/3
Top	173	2/3
Bottom	4.2	-1/3

Fonte: Adaptada do Instituto de Física Gleb Wataghin (2016).

Segundo Moreira (2009), os quarks apresentam uma propriedade adicional denominada carga de cor que pode se apresentar em três estados diferentes (vermelho, verde, azul). A cromodinâmica quântica (QCD) é a teoria que descreve a interação forte entre os quarks e os glúons. Na QCD, a propriedade da matéria chamada de *cor* é semelhante à carga elétrica, que foi postulada para não violar o princípio da exclusão de Pauli, impedindo a constituição de um bárion contendo três quarks iguais.

Assim, cada quark apresenta três valores diferentes de *cor* (vermelho, verde e azul) desse modo, o princípio da exclusão de Pauli é aplicado separadamente para cada cor. Combinando essas três cores e suas respectivas anti-cores, no caso dos glúons, chega-se a nove partículas: uma branca e oito coloridas. A troca de algumas partículas virtuais criam uma força de atração entre os quarks e a interação de um glúon com um quark pode transformá-lo em outro, mudando a sua cor (Moreira, 2009).

Em 1964, Peter Higgs sugeriu a existência de um campo de Higgs preenchido pelas partículas virtuais e pelos quatro campos fundamentais sendo mediado pela partícula virtual chamada bóson de Higgs¹³ (Moreira, 2009) para justificar a existência de massa dos bósons W e Z.

¹³ O bóson de Higgs é uma partícula que foi prevista teoricamente na década de 1960 pelo físico escocês Peter Higgs para explicar por que outras partículas têm massa. Por sua característica de criar

De acordo com a teoria, as partículas W e Z se chocariam com outras partículas presentes no espaço, a massa das partículas W e Z seria dada pela massa das partículas de Higgs com as quais estariam se chocando incessantemente. Detectar o bóson de Higgs era fundamental para conferir massa a essas partículas, mas a sua massa de aproximadamente $126 \text{ GeV}/c^2$ era um dos problemas envolvidos na sua detecção. Outro problema estava associado ao curto tempo de decaimento, na ordem de 10^{-22} segundos.

Os resultados da combinação de informações fornecidas pelo LHC, durante o ano de 2012, foram extremamente importantes para observar uma partícula com massa aproximadamente igual a 125 GeV , confirmando a descoberta do bóson de Higgs, partícula fundamental para a consagração do Modelo Padrão das partículas elementares e um grande avanço da física moderna e contemporânea.

Segundo Moreira (2009) *léptons* e *quarks* são partículas verdadeiramente elementares por não possuírem estrutura interna na sua constituição. Existem seis léptons na natureza: elétron e o seu neutrino, múon e o neutrino do múon, tau e o neutrino correspondente, cada lépton possui a sua antipartícula, totalizando 12 léptons, sendo o elétron o lépton mais conhecido.

Há 6 quarks com 6 sabores (up, down, charm, strange, top, bottom), 3 cores diferentes (azul, verde, vermelho), somando 18 partículas acrescentando as suas respectivas antipartículas são 36 quarks no total, o próton e o nêutron são os hádrons mais conhecidos; 1 fóton responsável pela interação eletromagnética; 8 glúons mediados pela força forte; 3 bósons mediadores da força fraca e o bóson de Higgs, totalizando 61 partículas, como mostra a quadro 7.

Quadro 7 - Resumo do número total de partículas elementares do Modelo Padrão

	PARTICULAS	ANTIPARTICULAS	TOTAL
Quarks	u, d, s, c, b, t (Cada quark pode ter 3 cores) ($3 \times 6 = 18$)	$\bar{u}, \bar{d}, \bar{s}, \bar{c}, \bar{b}, \bar{t}$,	36
Léptons	$e^-, \nu_e, \mu, \nu_\mu, \tau, \nu_\tau$	$e^+, \bar{\nu}_e, \bar{\mu}, \bar{\nu}_\mu, \bar{\tau}$	12
Mediadoras	$\gamma, W^+, W^-, Z^0, g_1, g_2, g_3, g_4, g_5, g_6, g_7, g_8$ e H	As antipartículas são as mesmas que as partículas	13

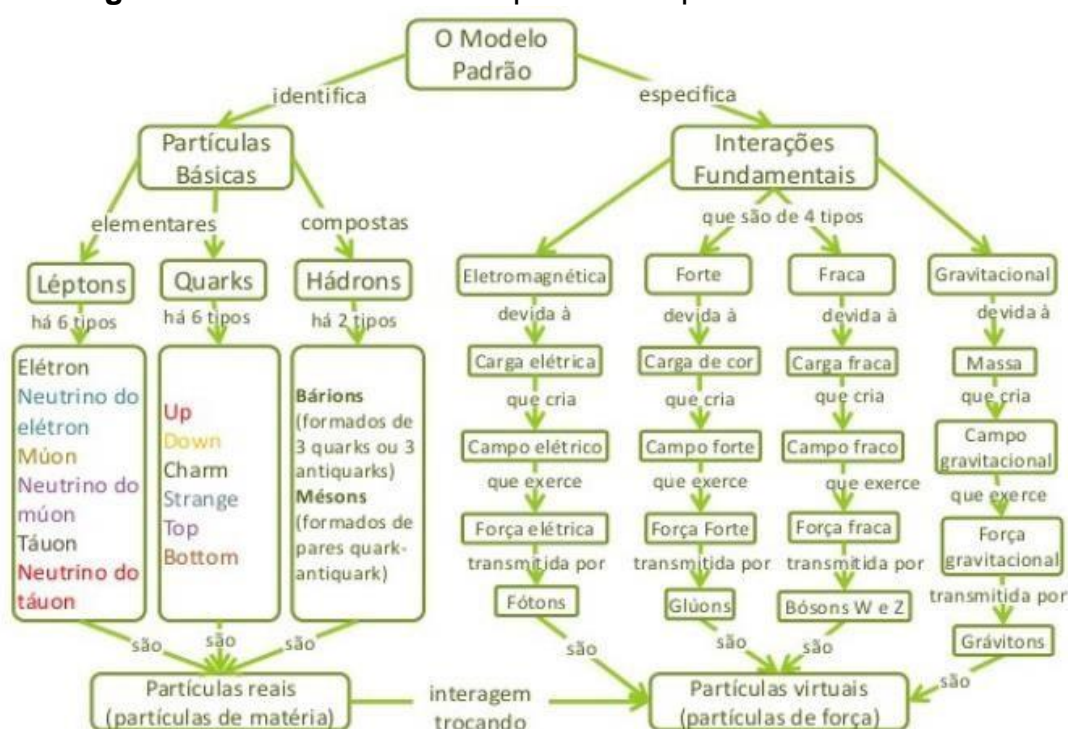
massa, essa partícula é conhecida como "Partícula de Deus" sendo relacionada equivocadamente, pela sociedade, com a religião.

Total	61
-------	----

Fonte Adaptada: Abdalla (2005)

Sob essa égide, de acordo com o modelo padrão a quantidade de partículas elementares até hoje detectada, em aceleradores de partículas e raios cósmicos, uma média de 300, podem ser agrupadas em léptons e hádrons, visto que os quarks são constituintes dos hádrons que, por sua vez, são categorizados em bárions e mésons (Moreira, 2009). A Figura 10 permite visualizar o ponto inicial e final da construção conceitual do modelo padrão das partículas elementares.

Figura 10: Síntese do modelo padrão das partículas elementares



Fonte: Adaptada de Moreira (2009)

Este modelo apresenta uma descrição compatível com os resultados dos experimentos realizados atualmente, preocupado em estudar as partículas fundamentais do Universo e suas interações, prevendo uma variedade de fenômenos e classificando as partículas de acordo com as características encontradas, como a massa de repouso, spin e carga elétrica. Esta teoria é considerada, por muitos pesquisadores, como uma das melhores sobre a natureza da matéria. Com exceção dos efeitos da gravidade, tudo que acontece no nosso mundo é resultado das partículas do Modelo Padrão interagindo de acordo com suas regras e equações (Kane, 2003; Moreira, 2009).

4 PERCURSO E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A investigação realizada é de natureza qualitativa. Entendemos que a pesquisa qualitativa consiste em descrever detalhadamente a situação com o intuito de interpretar o resultado da ação investigativa. De acordo com Lüdke (1986), para se realizar uma pesquisa é necessário promover o confronto entre os dados e o conhecimento teórico que se tem sobre um determinado assunto, bem como as evidências e informações coletadas durante a sua execução da investigação.

Dessa forma, a pesquisa qualitativa envolve diversos métodos de investigação e alternativas de coletas de dados. Do ponto de vista de Bogdan e Biklen (1994), a pesquisa qualitativa engloba a obtenção de dados descritivos no contato direto do pesquisador com o objeto de estudo, considerando mais o processo do que o produto nas questões referentes à instituição de ensino.

Levando em consideração que a pesquisa qualitativa é de caráter exploratório, pois ela permite buscar alternativas criativas no desenvolvimento do trabalho para alcançar o objetivo final. Enquanto isso, as respostas analisadas costumam ser subjetivas, conforme Gil (2008, p. 194) escreve:

[...] A análise dos dados nas pesquisas experimentais e nos levantamentos é essencialmente quantitativa. O mesmo não ocorre, no entanto, com as pesquisas definidas como estudos de campo, estudos de caso, pesquisa-ação ou pesquisa participante. Nestas, os procedimentos analíticos são principalmente de natureza qualitativa. E, ao contrário do que ocorre nas pesquisas experimentais e levantamentos em que os procedimentos analíticos podem ser definidos previamente, não há fórmulas ou receitas predefinidas para orientar os pesquisadores. Assim, a análise dos dados na pesquisa qualitativa passa a depender muito da capacidade e do estilo do pesquisador.

O presente trabalho buscou planejar, implementar e avaliar uma Sequência Didática (SD), utilizando alguns elementos da gamificação, tais como: missão, progresso, recompensa, competição e/ou cooperação, por meio do livro Alice no País do Quantum para investigar possíveis contribuições sobre o modelo padrão na concepção estudantil.

Para tal investigação utilizamos alguns instrumentos que auxiliaram na produção de dados, percorrendo um caminho de investigação até chegar na análise de resultados e confirmação ou não de hipóteses. O diário de bordo foi um instrumento utilizado sempre ao final de cada aula, deixando registrado as atividades desenvolvidas, as observações e impressões feitas durante todo o desenvolvimento da SD, bem como as potencialidades e dificuldades encontradas no percurso metodológico.

Em alguns momentos da SD, foi possível registrar em áudio a participação dos estudantes, atentando-se para as concepções espontâneas, dificuldades, interpretações e vivência cotidiana que eles tinham sobre o conteúdo abordado. Registros fotográficos durante a realização de algumas atividades também foram feitos.

As atividades realizadas pelos educandos e a aplicação da avaliação da SD foram utilizadas como recurso para análise do conteúdo abordado, com o objetivo de verificar se os conteúdos abordados foram consolidados, bem como verificar as possíveis contribuições da gamificação para a compreensão do modelo padrão.

4.1 Lócus e participantes da pesquisa

A Sequência Didática foi planejada e aplicada aos alunos regularmente matriculados no 2º Ano do Novo Ensino Médio (NEM) da Escola Estadual Alberto Vicente Pereira – EEAVP, utilizando a carga horária dos itinerários formativos da área de Ciências da Natureza (Ciências das Radiações, Ciências Aplicadas e Energia no cotidiano) que funcionava no contra turno. Em razão disso, a média de alunos presentes se manteve constante com 20 alunos que participaram de todas as etapas da SD, número inferior aos alunos matriculados e frequentes no turno regular que era de 32 alunos. No entanto, a participação foi voluntária, como consta no termo de autorização do apêndice A e não houve pontuação para quem participasse, a fim de evitar prejudicar os alunos que não podiam comparecer no contra turno.

A EEAVP (ver figura 11) fica localizada no município de Divisópolis-MG, divisa dos Estados de Minas Gerais e Bahia. Sendo criada em 1974. Por meio da Resolução

816/74, no ano de 1982, da Lei 8186, no Artigo 1º e da Resolução 4605/83, em homenagem ao Sr. Alberto Vicente Pereira, que colaborou de forma ativa na construção desta escola. A figura 11 ilustra a fachada da Escola Estadual Alberto Vicente Pereira.

Figura 11: Fachada de Escola Estadual Alberto Vicente Pereira



Fonte: Extraído de Superintendência de Ensino¹⁴

No ano vigente, a EEAVP oferta à população, os anos finais do Ensino Fundamental, Ensino Médio, Novo Ensino Médio, Educação de Jovens e Adultos - EJA (Anos finais do ensino fundamental e Ensino Médio) e Curso Técnico Profissionalizante. A escola funciona nos três turnos, com 19 turmas do Ensino Fundamental Regular II e 01 turma de EJA do oitavo e nono anos que funciona no noturno, 04 turmas de terceiro ano do Ensino Médio Regular e 01 turma de 3º ano EJA, funcionando no noturno, 09 turmas de primeiros e segundos anos do Novo Ensino Médio que teve início no ano letivo de 2022.

A escola atende, ainda, 05 alunos com necessidades especiais em turmas regulares e contam com a presença de um professor de apoio. A Educação Especial com Atendimento Educacional Especializado (AEE) acontece no turno de estudo de acordo com as necessidades identificadas durante o período de matrícula e, confirmada pelo técnico da superintendência regional de ensino (SRE). No total são

¹⁴ Disponível em: <https://srealmenara.educacao.mg.gov.br/banco-de-noticias/44-lista-de-escolas/59-escola-de-divisopolis>. Acesso: 1 jun. 2023.

34 turmas de estudantes moradores na zona urbana e rural, na qual se caracteriza como uma escola de grande porte.

A maioria das famílias dos alunos encontra-se em situação de renda mínima, inferior a um salário-mínimo, cuja única fonte de renda provém dos programas sociais dos governos, como o bolsa família, possuindo um perfil socioeconômico de baixa renda.

Com relação ao espaço físico, a referida escola comporta 14 salas de aula, uma sala de professores com dois banheiros (feminino e masculino), uma sala para supervisão, uma sala para direção e vice direção, uma sala para secretária, um laboratório de informática, um laboratório de ciências, uma sala de vídeo, uma biblioteca, dois banheiros para os alunos (feminino e masculino), uma quadra esportiva coberta em reforma, uma cozinha com despensa, área de serviço e banheiro, um refeitório, um almoxarifado e um pátio bem extenso.

A escola preconiza a ideia de formar cidadãos capazes de perceber a realidade em que estão inseridos para serem protagonistas na transformação de sua realidade e do seu entorno, como afirma o Projeto Político Pedagógico (PPP),

[...] propõe-se a desenvolver atividades educacionais, em articulação com os aspectos sócio-político-culturais, dentro de uma perspectiva cidadã, possibilitando ao educando tornar-se sujeito do processo social (Escola Estadual Alberto Vicente Pereira-2022, p.8).

A escola tem como missão fortalecer o ensino e incorporar uma postura de ensino de qualidade, proporcionando o desenvolvimento das dimensões de aprendizagem e a excelência humana, através de ações democráticas, transparentes, éticas e solidárias, frente aos desafios propostos em seu PPP.

Os referidos alunos são jovens com idade entre 16 e 18 anos de idade, estudantes do turno matutino, muitos desejam realizar prova do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) e, assim, ingressar na faculdade. Alguns estudam, simultaneamente, outros cursos que possam inseri-los ao mercado de trabalho e há também os que trabalham para ajudar no sustento familiar.

4.2 Sequência Didática

Implementamos a Sequência Didática (SD), estruturada na perspectiva da gamificação, em dez aulas nos meses de fevereiro e março de 2023. Utilizamos estratégias pedagógicas variadas com atividades de leitura, jogos digitais e online, resolução de enigmas, vídeos, hipermídia e construção coletiva da tabela do modelo padrão.

O desenvolvimento das atividades na situação de ensino visava diagnosticar as concepções espontâneas dos alunos envolvendo a definição de partículas e partículas elementares, bem como, promover a compreensão estudantil sobre a estrutura e organização conceitual do modelo padrão na perspectiva da gamificação.

A sequência didática foi planejada para ser desenvolvida em quatro missões. As missões 1 e 2 foram executadas em três aulas de 50 minutos cada, enquanto as missões 3 e 4 tiveram duração de duas aulas de 50 minutos. As atividades iniciaram no dia 16/02/2023 e contou com mais três encontros, finalizando no dia 02/03/2023. Apresentamos abaixo um quadro (Quadro 8) um quadro síntese com a proposta da SD.

Quadro 8 - Síntese da sequência didática aplicada

SEQUÊNCIA DIDÁTICA: ENSINO DE FÍSICA DE PARTÍCULAS POR MEIO DE ESTRATÉGIAS GAMIFICADAS: O BAILE DOS MASSACARADOS		
PÚBLICO-ALVO: ALUNOS DO 2º ANO DO NOVO ENSINO MÉDIO (NEM) – 2023		
CRONOGRAMA		
Missões	Atividades elaboradas	Data de Aplicação
Missão 1 (3 horas /aula) Leitura individual do Capítulo 9 (Baile dos Massacarados) do livro Alice no País do Quantum	<ul style="list-style-type: none"> ▶ <i>Spoiler</i> do Livro Alice no País do Quantum ▶ Aspectos históricos relevantes para a construção e nascimento da Mecânica Quântica. ▶ Leitura coletiva do Capítulo: O Baile dos Massacarados das Partículas. ▶ Distribuição de 1 enigma por grupo 	09/02/2023 e 16/02/2023

<p>Missão 2 (3 horas /aula)</p> <p>Atividade Gamificada</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Jogo Digital sobre Partículas Elementares ▶ Vídeo: O fato mais importante sobre o universo ▶ Questionamento: Do que o mundo é feito? ▶ Caça palavras ▶ Distribuição de 1 enigma por grupo 	<p>23/02/2023</p>
<p>Missão 3 (2 horas /aula)</p> <p>Hipermídia sobre Partículas Elementares</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Apresentação da página do <i>SPRACE</i> (A aventura das partículas) ▶ Resolução da situação problema: Por que o próton e o nêutron não podem ser considerados uma partícula fundamental? ▶ Distribuição de 1 enigma por grupo 	<p>28/02/2023 e 02/03/2023</p>
<p>Missão 4 (2 horas /aula)</p> <p>Modelo Padrão das Partículas Elementares</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Montagem da tabela do modelo padrão das partículas elementares com os enigmas recebidos durante o cumprimento das missões ▶ Avaliação da Sequência Didática 	<p>02/03/2023</p>

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Primeira Missão

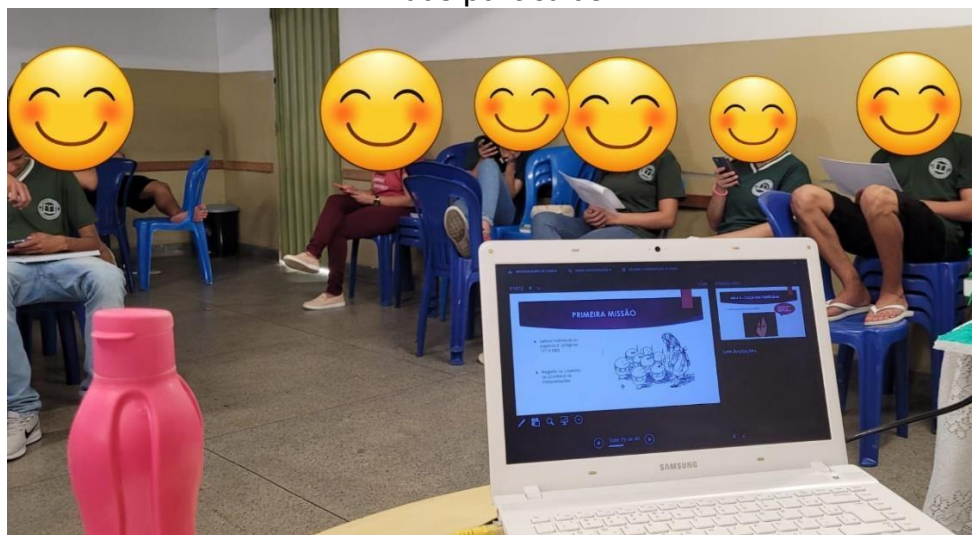
A missão 1 foi realizada em dois momentos distribuídos em três aulas. No primeiro momento apresentamos a proposta da SD, lemos e entregamos o termo de assentimento livre e esclarecido (Apêndice A), sanando as dúvidas, para que fossem assinados pelos pais ou responsáveis dos sujeitos participantes da pesquisa. Em seguida, dialogamos a respeito dos aspectos históricos relevantes para a construção e nascimento da Mecânica Quântica. Ao fim da aula, demos um *Spoiler* do Livro *Alice no País do Quantum*, de Robert Gilmore (1998), com o intuito de instigá-los a cumprir a primeira missão, lendo individualmente o capítulo: O Baile dos Massacarados das Partículas.

A proposta inicial do segundo momento foi realizar a leitura do referido capítulo em casa, individualmente, anotando as principais dúvidas, interpretações, impressões e palavras que despertam curiosidade, para tanto criamos um grupo no whatsapp para o envio do texto, orientações e dúvidas. No entanto, no nosso segundo encontro, verificamos que apenas uma aluna havia concluído a tarefa e não poderíamos avançar para a próxima missão, sem cumprir a primeira.

Dessa forma, reproduzimos algumas cópias para os alunos que estavam sem celular, pois todos possuíam aparelho, mas alguns não levaram para a escola e realizamos a leitura coletiva do capítulo. A pesquisadora deu início a leitura e ao final

de cada página um aluno continuava voluntariamente, permitindo que todos participassem desse momento de interação. Sempre que necessário, a leitura era interrompida para intervenções e dúvidas. Na Figura 12, podemos ver os alunos concentrados no momento da leitura.

Figura 12: Alunos reunidos para a leitura do capítulo 9: O baile dos massacarados das partículas



Fonte: Autora (2023).

Ao fim da Missão 1, a turma foi dividida em cinco grupos, com quatro integrantes, utilizando a ferramenta roda aleatória disponível no site do *worldwall*, e receberam o enigma (ver Figura 14) para ser desvendado e entregue no mesmo dia, desbloqueando as atividades da Missão 2. A interface da roda aleatória pode ser visualizada na Figura 13, mantivemos nomes fictícios a fim de preservar a identidade dos participantes.

Figura 13: Divisão dos grupos na ferramenta Roda Aleatória

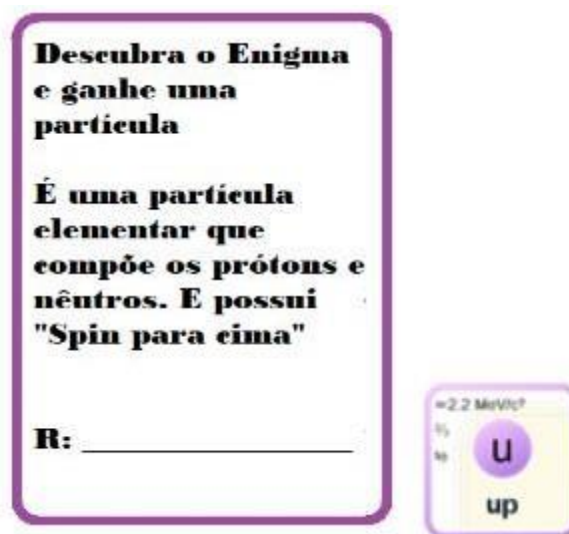


wordwall.net/resource/55364289



Fonte: Autora (2023).

Figura 14: Enigma referente a partícula Up



Fonte: Autora (2023).

Segunda Missão

Na quarta aula, iniciamos a missão 2 com um jogo digital elaborado no *PowerPoint*. O layout do jogo foi baseado no Modelo Padrão das Partículas Elementares, como mostra a imagem da Figura 15, no qual o aluno escolhe a partícula para responder à pergunta. O jogo tinha um total de dezessete cartas, das quais, 13 eram questões de múltipla escolha que versavam sobre a leitura do capítulo do livro, o *baile dos Massacarados*, 2 cartas representavam as antipartículas. A equipe que as encontravam perdia 10 pontos e 2 cartas eram bônus com a resposta de um dos enigmas que eles precisavam desvendar após concluir as missões. A equipe que encontrava ganhava 10 pontos). Por meio de sorteio foi definida a ordem das equipes para iniciar o jogo.

Figura 15: Layout do jogo



Fonte: Autora (2023).

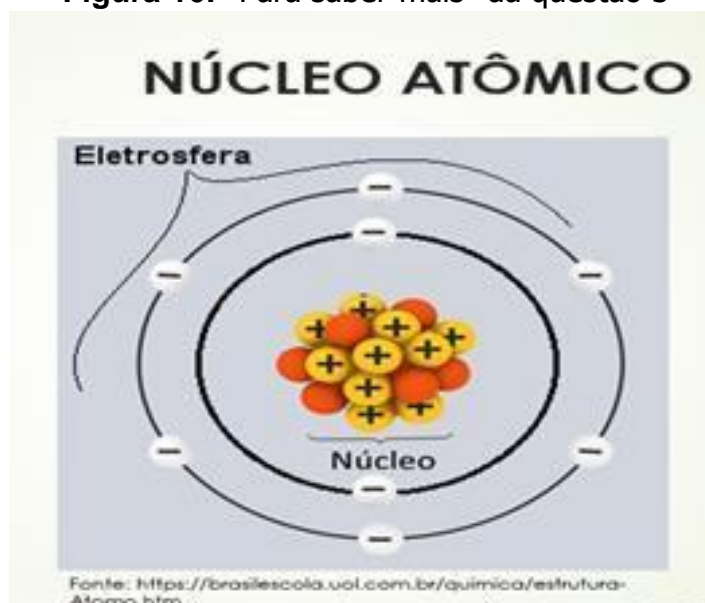
As regras do jogo foram repassadas para as equipes e eles puderam tirar dúvidas sobre o conteúdo, escolha das cartas e tempo de respostas.

Regras do Jogo:

- 1 – A ordem do jogo será por meio de sorteio;
- 2 – As equipes começam o jogo com 100 pontos;
- 3 – Para cada acerto a equipe ganha 10 pontos
- 4 – Para cada erro a equipe perde 10 pontos;
- 5 – A equipe que encontrar carta com a partícula elementar ganhará 10 pontos e a charada correspondente à partícula encontrada;
- 6 – A equipe que encontrar a carta com a antipartícula perderá 10 pontos e passará a vez para a próxima equipe a jogar;
- 7 – Vence a equipe que acumular o maior número de pontos ao final das perguntas.
- 8 – Todas as equipes ganharão 1 charada pela participação.

Nesta atividade os alunos receberam o feedback imediato da pesquisadora ao término de cada questão por meio da tela “para saber mais” (ver figura 16) ampliamos as discussões na qual os estudantes tiveram a oportunidade de associar os conceitos apresentados na leitura do capítulo com o conteúdo de Física de Partículas.

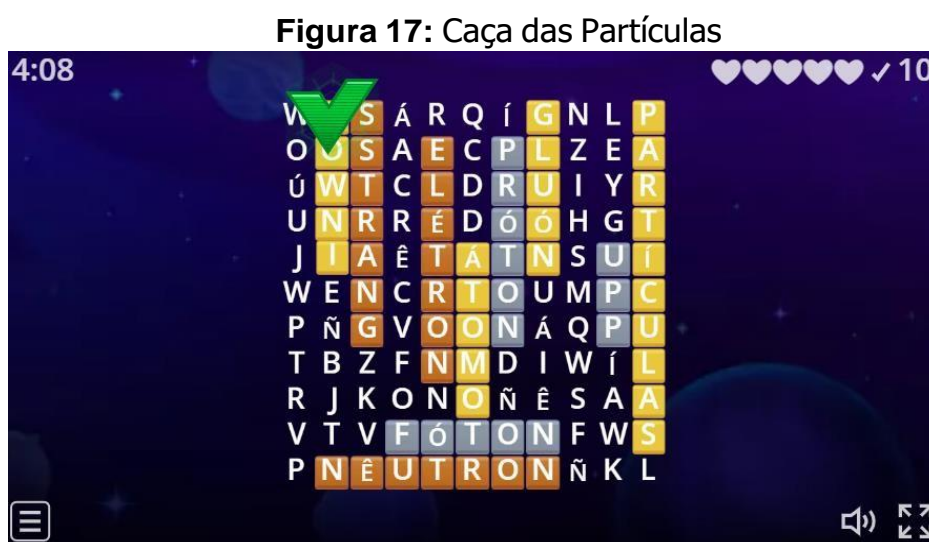
Figura 16: “Para saber mais” da questão 3



Fonte: Autora (2023).

Ainda na missão 2, na sexta aula, assistimos um vídeo de Neil deGrasse Tayson e dublado por Guilherme Briggs: O fato mais importante sobre o universo¹⁵. Levantamos as seguintes questões: Existe algo menor que o átomo? Os átomos podem ser compostos de partículas menores? O que é uma partícula? O que é uma partícula elementar? Do que o mundo é feito?

Na sequência, enviamos um link para o grupo do whatsapp contendo um caça palavras, intitulado de "Caça das Partículas". Individualmente, os alunos tiveram 5 minutos para encontrar as 10 palavras e possuíam 5 vidas. A ordem de classificação analisa a quantidade de palavras encontradas no menor tempo sem usar as vidas. Segue a apresentação da tela do jogo, na Figura 17, com as palavras que os alunos deveriam encontrar.



Fonte: Wordwall¹⁶

Após a conclusão de todas as etapas da Missão 2, os alunos receberam mais um enigma para desbloquear a próxima etapa.

Terceira Missão

Na missão 3, desenvolvemos uma atividade hipermediática na qual os estudantes foram orientados a acessar a página do SPRACE (A aventura das

¹⁵ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=BkdK4-fGHs4>. Acesso em: 10 fev. 2023.

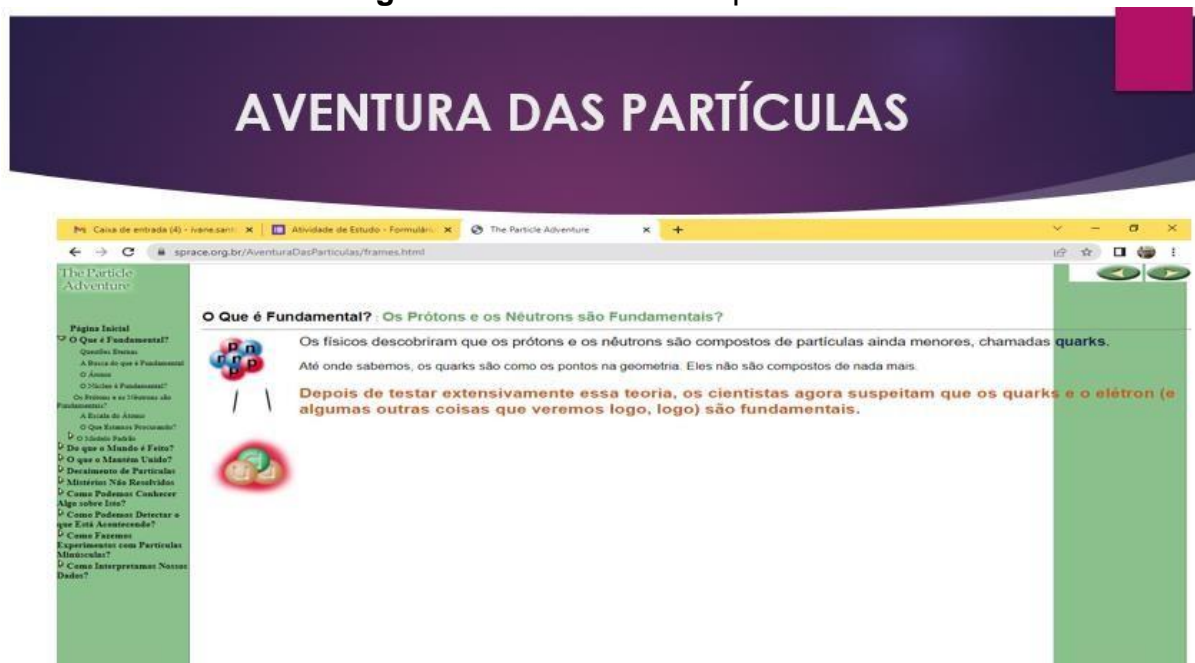
¹⁶ Disponível em: <https://wordwall.net/resource/15060406/ca%c3%a7a-das-part%c3%adculas>. Acesso em: 23 jul. 2023.

partículas) no link¹⁷ disponibilizado e navegar pelo tópico: o que é fundamental? para resolver a situação problema: Por que o próton e o nêutron não podem ser considerados fundamentais?

Esta atividade estava programada para ser feita na sala de informática, mas na referida data o serviço de inspeção escolar estava na escola e foram alocados nesse ambiente. Como a atividade necessitava de fatores externos, já havia um planejamento extra caso não tivesse internet no dia, por exemplo.

Sendo assim, o conteúdo da página do SPACE foi transferido para o Powerpoint, como podemos ver na Figura 18 e os estudantes puderam realizar a atividade na sala de vídeo com o auxílio da pesquisadora que passava os slides à medida que eles iam avançando na resolução do passo a passo até elaborar uma solução para a situação problema em questão.

Figura 18: A aventura das partículas



Fonte: Autora (2023).

Por fim, foram entregues mais um enigma para cada grupo desvendar, desbloqueando a atividade da missão 4.

¹⁷ Disponível em: <https://www.space.org.br/aventuradasparticulas/index.html>. Acesso em: 23 jul. 2023.

Quarta Missão

As últimas duas aulas foram destinadas para a construção da tabela do Modelo Padrão das Partículas Elementares. Nesta aula, os alunos reproduziram as 17 imagens dos enigmas recebidos ao fim de cada missão, desvendando a qual partícula estaria se referindo e colocando-as em seus respectivos lugares, chegando ao fim do jogo com uma atividade colaborativa que garantiu a participação da turma de uma maneira satisfatória. A confecção das imagens pelos alunos pode ser visualizada na figura 19.

Figura 19: Alunos confeccionando as imagens da tabela do modelo padrão



Fonte: Autora (2023).

Utilizamos a tabela confeccionada pelos alunos para fazermos algumas considerações a respeito do Modelo Padrão das partículas elementares por meio da exposição de slide (Apêndice C) e encerramos com uma avaliação da Sequência Didática versando sobre o conteúdo trabalhado, os recursos utilizados, o interesse pela leitura do capítulo, além de ter um espaço para críticas e sugestões feitas pelos sujeitos da pesquisa.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Apresentamos, neste capítulo, os resultados do desenvolvimento de todas as etapas da SD a partir do registro de dados obtidos em gravações em áudio, diário de bordo, atividade de hipermídia, jogos digitais e online, avaliação da SD além das observações apresentadas nas concepções espontâneas. Assim, buscamos indícios de que houve compreensão estudantil sobre a estrutura e organização conceitual do modelo padrão levando em consideração a proposta aqui executada: divulgação científica, estratégias gamificadas, resolução da situação problema na atividade hipermediática e confecção da tabela do Modelo Padrão das Partículas Elementares.

5.1 Interesse pela leitura/divulgação científica

Na primeira missão, ao propor a leitura do capítulo para casa, todos se comprometeram a ler antes do próximo encontro, porém, na aula seguinte, foi constatado que apenas um aluno havia concluído a leitura do capítulo. Alguns alegaram falta de tempo, enquanto outros consideraram um texto longo.

Por esse motivo, realizamos uma leitura coletiva, cada aluno ficou responsável por ler uma página e sempre que necessário, a leitura era interrompida para dúvidas/comentários, interpretações e discussões. A resistência para concluir esta atividade nos leva a refletir sobre as dificuldades que eles carregam não apenas de leitura, mas também de interpretar o que estão lendo, visto que apresentavam restrições em tecer comentários e tirar suas dúvidas.

A dificuldade de socialização pode estar relacionada com algumas habilidades não consolidadas durante a sua formação escolar, pois um aluno que lê, entende e interpreta, tem grandes chances de progredir intelectual e socialmente. Fato que pode ser confirmado por meio dos resultados do Programa de Avaliação da Rede Pública de Educação Básica (PROEB), em 2021, em que os alunos do 3º ano do Ensino Médio da Superintendência Regional de Ensino (SRE) de Almenara-MG, composta por 21 municípios e 62 escolas, dentre elas a E.E. Alberto Vicente Pereira, em Divisópolis, tiveram proficiência média em Língua Portuguesa abaixo da média do estado Minas Gerais, com apenas 14% dos estudantes no nível recomendado e 2%

no avançado (Sistema Mineiro de Avaliação e Equidade da Educação Pública SIMAVE, 2023).

No início, observamos que a turma se encontrava dispersa e desinteressada, mas, à medida que eles começaram a associar a leitura com o conteúdo que estavam estudando em química, passaram a ter mais interesse e o desenrolar da atividade proposta fluiu de acordo com o esperado. Segue abaixo uma amostra do diálogo entre o aluno A, aluno B e a pesquisadora:

Aluno A: “Isso aí é o que a professora de química estava falando na aula passada.”

Pesquisadora: “O que ela falou?”

Aluno A: “Falou desses quarks, tem uns nomes estranhos, eu até tenho anotado no meu caderno”.

Aluno B: “Falou também que o universo surgiu com uma partícula que ficou muito quente até explodir e está expandindo até hoje”.

O diálogo transcrito corrobora com o apontamento feito pelo documento norteador Currículo Referência de Minas Gerais (CRMG), para o novo ensino médio, propondo que a área de ciências da natureza se apresenta com uma visão de ensino interdisciplinar com o objetivo de contextualizar a aprendizagem de Ciências envolvendo outros componentes curriculares e descrevendo a importância do desenvolvimento da investigação científica em seus processos e práticas. De acordo com a Base Nacional Curricular Comum, BNCC (2018):

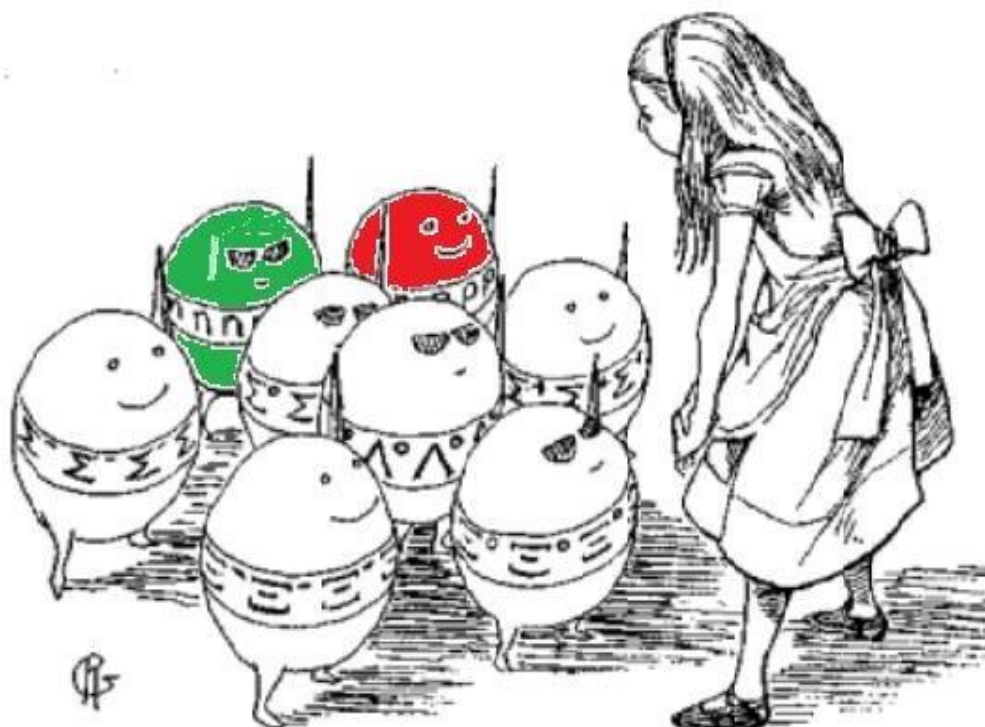
Na Educação Básica, a área de Ciências da Natureza deve contribuir com a construção de uma base de conhecimentos contextualizada, que prepare os estudantes para fazer julgamentos, tomar iniciativas, elaborar argumentos e apresentar proposições alternativas, bem como fazer uso criterioso de diversas tecnologias. O desenvolvimento dessas práticas e a interação com as demais áreas de conhecimento favorecem discussões sobre as implicações éticas, socioculturais, políticas e econômicas de temas relacionados às Ciências da Natureza (Brasil, 2018, p.537).

Entendemos que a criação de pontes com outros componentes curriculares contribui para consolidar habilidades indispensáveis no desenvolvimento cognitivo do estudante, dando-lhe oportunidade de vivenciar ações educativas presentes em seu cotidiano com embasamento científico, de maneira assertiva, reflexiva e crítica.

Ainda durante a leitura, foi possível diagnosticar as concepções espontâneas dos discentes sobre a estrutura da matéria ao serem questionados sobre as partículas

conhecidas por eles quando apareceu a imagem do octeto bariônico¹⁸ (Figura 20), eles conseguiram identificar rapidamente o próton e o nêutron observando as iniciais das letras contidas no desenho abaixo. Em relação às letras gregas (Λ , Ξ , Σ), tinham ciência que se tratava de partículas, mas eram desconhecidas por eles.

Figura 20: Octeto Bariônico



Fonte: Gilmore (1998).

Na sequência, levantamos alguns questionamentos cujo resultado mostrou que os estudantes não têm uma definição formada para o conceito de partícula e tão pouco partícula elementar. No entanto, o aluno C respondeu com um exemplo: “O átomo é uma partícula” e os seus colegas concordaram com essa afirmativa. Além disso, associaram a descrição da “dança das colisões” com o acelerador de partículas.

Acreditamos que a alteração da leitura individual para coletiva foi uma estratégia relevante para estimular a participação dos estudantes, uma vez que o hábito de ler não faz parte da cultura desses jovens, logo é um desafio para o professor

¹⁸ Imagem ilustrativa em analogia as partículas que compõe o octeto bariônico discutido na seção 3.5 deste trabalho.

trabalhar atividades que envolvam textos longos. Além disso, foi possível verificar as impressões dos alunos e fazer intervenções simultâneas despertando um maior interesse, na maioria dos participantes, em aprender mais sobre a Física de Partículas Elementares, como podemos verificar através das respostas coletadas por meio de uma verificação de aprendizagem no final da SD e representada no Quadro 9.

Quadro 9 - A leitura do capítulo "O baile dos mascarados" despertou curiosidades/interesses sobre a Física de Partículas Elementares? Explique

Aluno	Resposta
Alunos A, E, F, G, H, I	Sim, pois aprendi a matéria
Aluno B	Um pouco, mas pouco em relação ao resto
Aluno C	Sim. Porque falou e mostrou coisas que nunca vi
Alunos D, J, K, L, M, N	Sim, porque despertou curiosidade
Alunos E, O, P, Q, R, S	Não muito/Não tive interesse/Não responderam

Fonte: Autora (2023).

Ademais, a mediação do professor é de suma importância possibilitando a construção do saber de forma satisfatória e significativa, por meio de ações coletivas, intervenções pedagógicas e mudança nas estratégias didáticas para despertar, nos estudantes, a necessidade de aprender para agir e intervir no mundo com autonomia, tornando-os sujeitos da própria aprendizagem. Para Freire (2017), o mundo é o mediatizador dos sujeitos da educação e a incidência da ação transformadora dos homens que resulta na sua humanização. Enquanto Moreira considera que:

O ensino centrado no aluno é aquele em que o professor trabalha como mediador e no qual os alunos se expressam, enquanto o professor fala apenas quando for necessário. Deixar que os alunos narrem implica o uso de estratégias que favoreçam interação, discussão, negociação de significados entre colegas, apresentação oral do produto de suas atividades colaborativas ao grande grupo, receptividade à crítica, expressão de suas ideias e sugestões relacionadas às atividades de seus pares (Moreira, 2018, p.8).

5.2 Engajamento por meio do jogo digital: o baile dos mascarados

O uso de estratégias gamificadas pode se configurar como uma metodologia eficaz para se desenvolver o processo de ensino e aprendizagem dos alunos. A gamificação ganha destaque ao inserir o lúdico nas atividades educacionais, visto que

acrescenta uma nova camada de interesse ao aprendizado do educando (Alves, 2015).

Consideramos que a segunda missão alcançou as competências desejáveis relacionadas à gamificação ao observarmos um avanço na participação e interesse pelas aulas. De acordo com Alves (2015), o engajamento e a motivação são considerados motores eficientes para a aprendizagem dos alunos.

A atividade gamificada foi idealizada a fim de relacionar as analogias sobre física de partículas, presentes no livro *Alice no país do Quantum* no capítulo *O baile dos massacarados das partículas*, com o conhecimento científico propriamente dito. Dessa forma, ele foi utilizado não apenas como estratégia de engajamento, mas também para facilitar a aprendizagem do referido conteúdo.

De igual modo, todos os grupos começaram a atividade gamificada com 100 pontos a fim de possibilitar maior engajamento. Essa estratégia é um dos mecanismos adotados pela gamificação. O "Bônus" de 100 pontos foi explicitado para os estudantes considerando que eles iniciam o ano letivo na EEAVP e cada vez que faltam a aula, deixam de realizar uma atividade, apresentar um trabalho, erram uma questão nas atividades avaliativas, esses pontos vão sendo descontados do saldo total, resultando na sua nota no final do ano. Ou seja, eles precisam respeitar um conjunto de "regras" que também é uma característica encontrada nos jogos de uma maneira geral.

Outro elemento presente foi o sistema de *feedback* imediato tanto de pontuação, como mostra a Figura 21, quanto de intervenção pedagógica no qual as respostas de todas as questões eram aprofundadas por meio do link "para saber mais", contemplando as características necessárias para considerarmos a atividade desenvolvida em um game. Como define Vianna (2013, p.28), "todos os jogos compartilham quatro características que os definem: meta, regras, sistema de feedback e participação voluntária".

Figura 21: Atividade Gamificada

100,00 PONTOS	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	GRUPO 4	GRUPO 5
1ª RODADA	Acertou +10,00 (elétron)	Bônus +10,00 (Charm)	Acertou +10,00 (Down)	Acertou +10,00 (Fóton)	Acertou +10,00 (Strange)
2ª RODADA	Acertou +10,00 (up)	Punição -10,00 (Tau)	Bônus +10,00 (Múon)	Acertou +10,00 (Bóson W)	Errou -10,00 (Neutrino do elétron)
3ª RODADA	Acertou +10,00 (higgs)	Errou -10,00 (Neutrino do Múon)	Errou -10,00 (Glúon)	Acertou +10,00 (Bóson Z)	Acertou +10,00 (Neutrino do Tau)
RODADA DE DESEMPATE	Acertou +10,00 (Top)	-	-	Punição -10,00 (Bottom)	-
TOTAL	140,00 (1º Lugar)	90,00 (4º Lugar)	110,00 (3º Lugar)	120,00 (2º Lugar)	110,00 (3º Lugar)

Fonte: Autora (2023).

O *feedback* é um recurso que deve ser bastante explorado em um game, pois através desse elemento o jogador pode verificar o resultado de suas ações imediatamente, o que torna uma ferramenta essencial para manter o jogador atento as suas próximas ações, adaptando suas estratégias a fim de rever os seus erros e focar no objetivo final (Fardo, 2013). Na prática, pensando em nível escolar, esse *feedback* não deve ser confundido com a nota de uma avaliação escrita para verificar a aprendizagem, dado que, de modo geral, a devolutiva não é imediata.

Na primeira rodada, as cartas escolhidas foram as representadas pelas partículas elétron, charm, down, fóton e strange. Curiosamente o elétron foi o escolhido pelo primeiro grupo, evidenciando certa familiaridade com a estrutura atômica. Os outros grupos optaram por escolher as que mais foram citadas durante a leitura, em razão de acreditarem que as perguntas se referiam a carta correspondente a partícula. Esclarecemos que essa não era necessariamente uma condição, tão logo foram mudando suas estratégias.

Com exceção do grupo 2, que logo na primeira rodada encontrou a carta bônus e ganhou 10 pontos sem precisar responder à pergunta, todos os outros grupos responderam as questões corretamente. Verificamos indícios de que estes já possuíam um conhecimento consolidado do modelo atômico, visto que souberam identificar as partículas que compõem o núcleo do átomo, demonstraram propriedade ao afirmar que o elétron é uma partícula elementar, conseguiram identificar os quarks up, down e strange, e associaram o surgimento de novas partículas a processos de colisões.

Destacamos aqui a discussão do grupo 5 para chegar na alternativa correta e recordar uma passagem da leitura, em que o estudante 7 disse: *“É a letra c...eu li sobre essa massa de repouso aí”*. Ele estava se referindo à explicação dada pelo mestre de cerimônias à Alice sobre como as novas partículas são criadas. Na nota de rodapé, Gilmore (2018, p. 155) afirma que: “Partículas podem ser criadas em processos de colisão, a energia cinética das partículas que colidem sendo convertida para produzir a energia da massa de repouso das novas partículas”.

Na segunda rodada, os grupos 1 e 4 potencializaram as impressões obtidas anteriormente sobre a concepção das partículas que compõem o modelo atômico apresentado nos livros didáticos desde o Ensino Fundamental II pelo professor(a) de Ciências até o Ensino Médio pelo professor(a) de Química, ficando evidente que ainda trazem a ideia de átomo proposta por Rutherford-Bohr.

Os conteúdos de FMC são ocultados do currículo escolar impedindo que os estudantes tenham acesso ao entendimento do mundo criado pelo homem atual, transformando o espaço em que vive de modo consciente e participativo (Terrazan, 1992). Ostermann e Moreira (2001) defendem a implementação de tópicos de FMC em escolas de nível médio, para eles:

É viável implementar tópicos de Física Moderna e Contemporânea em escolas de nível médio. Os alunos podem aprendê-los, quer dizer, não encontramos obstáculos de natureza cognitiva e os pré-requisitos foram superados. [...] as dificuldades de aprendizagem não foram diferentes das usualmente enfrentadas com conteúdo da Física Clássica (Ostermann; Moreira, 2001, p.147).

Isto reforça a necessidade de atualização dos currículos escolares com uma maior integração dos professores de ciências da natureza para a consolidação do conhecimento científico, como é previsto pelo novo Ensino Médio que defende as facilidades de se trabalhar de forma interdisciplinar com outros componentes curriculares, considerando a vasta gama de conteúdos estudados na disciplina. “Por exemplo, em parceria com a química é possível trabalhar transformações de energia térmica, geração de energia elétrica, modelos atômicos, dentre outros” (CRMG, 2020, p. 181).

Na terceira rodada, os membros dos grupos encontraram dificuldade para chegar em um consenso sobre a resposta correta, pois se tratava de questões mais específicas referentes às partículas elementares não incluídas no currículo de Física na educação básica, como a classificação dos léptons, octeto bariônico, propriedade dos quarks, partículas mediadoras e a definição de antipartículas, sendo que os grupos 2 e 3 não tiveram êxito em suas respostas.

Em seu artigo, *A Física dos Quarks e a Epistemologia*, Moreira (2007) se questiona se é possível ensinar a Física dos Quarks no Ensino Médio, Fundamental e Superior chegando à conclusão de que pode ser ensinada em qualquer nível de escolaridade, justificando que existem outros tópicos que são ensinados, como, por exemplo, a cinemática que requer uma habilidade cognitiva igual ou maior do que as exigidas para o ensino de Partículas Elementares no Ensino Fundamental e Médio.

Para definir o vencedor, utilizamos as duas perguntas que ainda não haviam sido escolhidas. Os participantes do grupo 1 acertaram a questão e ficaram na expectativa aguardando o grupo 2 escolher a carta que lhe tiraram 10 pontos e deram a vitória para o seu adversário. Ao fim do jogo, os integrantes do grupo 1 questionaram sobre a premiação do vencedor, denotando que o item recompensa é um elemento fundamental dentro de um jogo.

Essa serve para estimular, principalmente, a motivação extrínseca, na qual os jogadores são motivados a realizar determinada tarefa com o intuito de ganhar algo. “O comportamento proveniente da motivação extrínseca acontece para que o indivíduo obtenha alguma recompensa ou evite uma determinada punição” (Alves,

2014, p.48). Destacamos a importância da premiação, mas ressaltamos que o jogo não teria um vencedor, uma vez que a última missão aconteceria de forma colaborativa de modo a mitigar possíveis concepções de uma competição individual.

Observamos que os grupos, em geral, levaram a sério o engajamento do jogo, sempre consultando cada um entre si e tentando recapitular trechos da leitura antes de responder. Verificamos também alunos mais atentos, engajados, motivados, interagindo com os outros grupos, competitivos, vibrando com os acertos e lamentando os erros, esse é um dos objetivos da gamificação, potencializar tais comportamentos nos indivíduos expostos durante a atividade.

Utilizar estratégias gamificadas podem trazer diversos benefícios para aprendizagem dos estudantes, como pontua Baldissera (2021), muitas dessas habilidades foram observadas durante a execução do jogo, como a participação, interação e diálogo.

[...] desenvolvimento da criatividade, autonomia e colaboração; habilidades socioemocionais; capacidade de resolução de problemas; exercício das capacidades cognitivas; maior participação dos estudantes em sala de aula; maior interação e diálogo, maior retenção do conteúdo; melhora no desempenho da avaliação (Baldissera, 2021).

Tais benefícios são estendidos para os professores que tornam as escolas gamificadas, facilitando a segmentação do conteúdo que será trabalhado em aula, disponibilizando *feedback* instantâneo do aprendizado; possibilitando trabalhar um conteúdo multidisciplinar, que aborda temas transversais (Baldissera, 2021). Ou seja, a gamificação abre um leque de possibilidades para melhorar o processo de ensino aprendizagem dos estudantes, podendo ser adaptada em diversos conteúdos e desenvolvido de forma integrada com as áreas de conhecimento do currículo escolar.

Ainda, na segunda missão, apresentamos um vídeo motivador com o objetivo de conduzir os alunos a refletirem sobre a origem do universo, lançamos a pergunta: *de que o mundo é feito?* As palavras “partículas” e “átomos” foram as mais reproduzidas por eles. Percebemos que essas expressões são conhecidas por eles ao longo de sua vida escolar e, talvez por isso, foram expressas espontaneamente.

Apesar de termos uma participação pequena, pois se tratava de uma atividade oral, observamos que ficaram concentrados para assistirem o vídeo e gostaram da mensagem que foi transmitida por ele. Podemos associar essa dificuldade de expressar suas opiniões com a falta de hábito de ler que é muito presente na classe estudantil. A apropriação da escrita por um indivíduo ou grupo social é uma das evidências do processo de ensino e aprendizagem (Soares, 2003).

O letramento científico se associa ao uso da prática social do ensino de Ciências. Letrado é aquele que sabe ler e escrever, respondendo adequadamente às demandas sociais da leitura e da escrita (Soares, 2003). O cidadão letrado deve, naturalmente, interagir com as mais variadas linguagens textuais que lhes são apresentadas, como interpretar gráficos, tabelas, imagens, tiras em quadrinhos, seguir instruções, enfim utilizar da leitura para melhorar a comunicação, resolver problemas e interagir socialmente.

Finalizamos a segunda missão com o "caça das partículas", um jogo online que foi adaptado para o impresso, caso o aluno não dispusesse de um dispositivo para realizar a atividade, mas não foi necessário usar, pois todos os alunos conseguiram acessar online. Tivemos um resultado satisfatório em que 15, dos 20 participantes, encontraram todas as palavras, a saber: átomo, próton, nêutron, down, up, strange, glúon, fóton, elétron, partículas, como podemos observar algumas palavras apresentam um grau de dificuldade da escrita, por ser expressa em inglês. Logo, consideramos que o conjunto de atividades até aqui desenvolvidas foi importante para familiarizar os alunos com esse grupo de palavras até então pouco conhecido por eles.

Além do número de acertos, essa missão também conta com o tempo de realização da atividade, mas este não foi levado em consideração a nível de desempenho, já que foi realizada de forma online, podendo ser influenciado por fatores externos, como a velocidade da internet, memória do dispositivo utilizado, entre outros, destacados na Figura 22.

Figura 22: Classificação do jogo “Caça das Partículas”

Rank	Name	Score	Time
1st	Aluno C	10	6.5
2nd	Aluno G	10	10.5
3rd	Aluno J	10	11.0
4th	Aluno E	10	11.1
5th	Aluno L	10	13.3
6th	Aluno P	10	15.4
7th	Aluno Q	10	16.8
8th	Aluno O	10	20.3
9th	Aluno M	10	25.2
10th	Aluno S	10	39.5
11th	Aluno N	10	56.2
12th	Aluno K	10	1:02
13th	Aluno F	10	1:02
14th	Aluno B	10	1:12
15th	Aluno H	10	1:16
16th	Aluno D	9	3:19
17th	Aluno T	9	4:59
18th	Aluno A	8	38.4
19th	Aluno R	8	59.7
20th	Aluno I	8	2:10

Fonte: Autora (2023).

O caça palavras possui uma interface agradável e fácil de manusear por todos, sem grandes problemas, além disso apresenta um sistema de *ranking* instantâneo do desempenho de cada um, gerando competição e interação entre os participantes. Assim, concordamos que o jogo digital pode ser utilizado como um instrumento de aprendizagem, como afirma Gee (2010 *apud* Studart, 2015, p.8) “bons games incorporam fortes princípios de aprendizagem, isto é, incorporam métodos de aprendizagem ricos, na sua própria concepção”, exigindo dos jogadores o domínio de novas práticas de letramento que estão mais relacionadas com práticas sociais do que individuais.

5.3 Resolução da situação problema na atividade hipermediática

Considerando os conhecimentos físicos desenvolvidos, a atividade com a hipermedia disponível no *site SPRACE: a aventura das partículas* permitiu aprofundar o conhecimento dos educandos sobre os constituintes da matéria e suas características, abandonando a ideia retrógrada de que o átomo é composto apenas por prótons, elétrons e nêutrons.

Para tanto, foi necessário instigá-los a pensar sobre a definição **do que é fundamental?**. Para o aluno C é: “*Fundamental é algo que não se divide mais, uma*

*parte que já chegou na sua última ‘forma’”. Questionamos se o termo “átomo” é uma expressão errada e por quê? O aluno L respondeu que: *antigamente acreditava-se que sim, porém hoje em dia esse termo não é mais correto pois sabemos que o átomo é divisível em várias partículas subatômicas.**

Com o descobrimento do próton e do nêutron, novas questões surgem, fazendo-se necessário um estudo detalhado do núcleo do átomo para entender quai são as partículas constituintes e como elas interagem entre si, ao aprofundar os estudos sobre o tema, os estudantes identificaram que os prótons e nêutrons são partículas encontradas no núcleo atômico, sendo que o próton é constituído por dois quarks up e um down enquanto o nêutron possui dois quarks down e um up.

Com base nas respostas apresentadas, entendemos que a atividade hipermidiática favoreceu a mobilização do conhecimento científico a partir da resolução de uma situação problema. Ser capaz de resolver problemas cada vez mais complexos, de forma crítica, é essencial para os estudantes enfrentarem as demandas profissionais, sociais e culturais futuramente, uma vez que o mundo está em constante mudança (Currículo Referência de Minas Gérias - CRMG, 2018, p. 169).

Notamos que a Atividade Hipermidiática (AH) provocou uma nova compreensão sobre o conceito de partículas elementares disposto atualmente como podemos observar nas respostas destacadas no quadro 9 por alguns estudantes, em especial o aluno F, que externaliza o seu entendimento ao citar os quarks como partículas fundamentais, em resposta à questão: Por que o próton e o nêutron não podem ser considerados uma partícula fundamental?

Quadro 10 - Respostas dos estudantes na AH

Aluno	Resposta
Aluno A	Pois, fundamental é simples e sem estrutura e o átomo é composto de blocos de construção.
Aluno B	Pois sabemos que o átomo é divisível em várias partículas subatômicas.
Aluno F	Porque dentro deles ainda tem partículas menores, os quarks

Fonte: Autora (2023).

Ao explorarmos a existência das partículas elementares, damos oportunidade da classe estudantil pensar para além de um conteúdo didático, podendo ser considerada como um “empreendimento humano que busca organizar o entendimento do mundo através dos quarks e léptons e das quatro interações fundamentais” (Ostermann; Moreira, 2000, p. 3). Explicando como as menores partículas interagem para formar partículas maiores até a formação das galáxias, tentando prever o início e o fim do universo. As descobertas feitas desde a escala subatômica até os fenômenos astronômicos por meio do estudo das partículas elementares mostram que ela está presente em todo e qualquer lugar do cotidiano.

5.4 Atividade Colaborativa – Modelo Padrão das Partículas Elementares

Na quarta e última missão desenvolvemos uma atividade colaborativa, compreendendo que todo o processo percorrido pelos estudantes só teria significado se os outros colegas também envolvidos tivessem o mesmo empenho e compromisso, pois só assim conseguiriam chegar ao fim do jogo sem nenhum vencedor. Ou seja, com todos olhando para a mesma direção e com o mesmo intuito de aprender.

Etimologicamente, a origem da palavra cooperar vem do latim *cooperari*. O radical *com* significa “junto”, enquanto *operari* remete a “trabalhar”, ou seja, em sua raiz, quer dizer “trabalhar junto”. Assim, entendemos que “a cooperação é o ato de trabalhar em conjunto com outras pessoas para alcançar um objetivo em comum ou que seja benéfico para todos” (Fardo, 2013, p.50), em suma, podemos dizer que cooperar é o ato de ajudar e ser ajudado simultaneamente.

Esse é um aspecto que deve ser bastante valorizado no campo da pedagogia, visto que nem sempre o jovem está preparado para lidar com as emoções que emergem durante uma derrota. A atividade colaborativa facilita a interação social, além de estimular os colegas a superarem os seus próprios medos, dividindo as suas dúvidas e expondo as suas opiniões sem preocupação com o julgamento, favorecendo, significativamente, para o desenvolvimento cognitivo de quem se expõe a tais interações.

Verificamos que os estudantes interagiram de forma espontânea, trocando informações com os colegas, apresentando proatividade na execução das tarefas e enfatizando o caráter colaborativo da atividade. Como é o caso da *Aluna E* que demonstrou pouco interesse nas atividades anteriores, mas participou ativamente da construção da tabela do modelo padrão das partículas elementares. Orientou os colegas dos outros grupos, emprestou os materiais necessários, organizou as cartas com as respectivas partículas e disse voluntariamente: *professora, essa foi a atividade que eu mais gostei de fazer esse ano aqui na escola.*

Dessa forma, abstraíram da professora pesquisadora o papel de detentora do conhecimento, transferindo para si mesmos, em coletividade, a responsabilidade de construir e modificar seus conhecimentos e sua realidade, tornando-se protagonistas ativos de suas próprias transformações. O resultado final da atividade colaborativa pode ser visto na Figura 23.

Figura 23: Atividade Colaborativa



Fonte: Autora (2023).

Ao responderem à pergunta: *O que você considerou mais interessante durante a aplicação da SD?* apresentamos como opções: o conteúdo FPE, os jogos, o material apresentado, as atividades individuais, as atividades em grupo, a leitura do texto "o baile dos mascarados" e não fiquei interessado, na qual poderiam escolher mais de

uma opção, a grande maioria (dezessete dos vinte alunos) considerou as atividades em grupo como sendo as mais interessantes.

Observamos que o contato direto na construção da tabela do modelo padrão gerou um maior entusiasmo em aprender mais sobre cada uma das partículas que estavam sendo confeccionadas por eles, trocaram informações entre os grupos e tiraram dúvidas pontuais a respeito da carga, massa e energia. Ao final, socializaram as informações a respeito dos quarks, léptons e partículas mediadoras, facilitando o entendimento da organização das partículas em grupos de simetria como parte da estrutura de toda matéria que conhecemos hoje de acordo com a teoria do Modelo Padrão das partículas elementares. O quadro 11 sinaliza que os estudantes gostariam de desenvolver mais atividades lúdicas e em grupo.

Quadro 11 - Sugestões apresentadas pelos alunos sobre o desenvolvimento da Sequência Didática

	Aluno	Resposta
G	Aluna	<i>A sugestão é que tenha mais atividades assim com jogos e em grupo, pois tive um aprendizado maior.</i>
E	Aluna	<i>Os jogos em grupo, pois foi uma atividade que a maioria participou.</i>
M	Aluno	<i>Poderia ter mais aulas assim porque além de estar ensinando os alunos também estão aprendendo.</i>
K	Aluno	<i>Eu achei bem legal, não vou mentir, não imaginaria isso na escola, mas achei interessante e interativo, pois dá vontade de participar.</i>

Fonte: Autora (2023).

Assim, essa atividade colaborativa pode ser pensada como um processo de alteridade, na qual temos um desafio proposto sob vários olhares a partir de realidades diferentes pautadas na condição que cada um compartilha um pouco do que sabe até atingir o objetivo final. Furtado (2012) compreende a alteridade nas relações como ferramenta indispensável para a cidadania, capaz de estabelecer uma relação pacífica e construtiva com os diferentes, ao mesmo tempo que aprenda a aprender com o outro. Esse exercício permite ao educando assumir a condição de sujeito não somente do seu próprio processo de aquisição do conhecimento, mas também, de sua capacidade de ser protagonista da sua própria história e no que está em sua volta.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A inserção de temas contemporâneos em sala de aula favorece o ensino de Física enquanto construção histórica-social, discutindo modelos alternativos para explicar fenômenos ou ainda prevendo sua existência antes mesmo de ser descoberto. Desvendar a estrutura básica da matéria e formular as leis que ligam esses constituintes entre si para formação do universo reforça a hipótese de que o conhecimento pode ser acessível a todos, estimulando o protagonismo juvenil ao deixar claro que eles pertencem a esse processo de construção.

Em contraposição, o ensino de tópicos da física clássica é dominante no contexto educacional, com foco na transmissão de conteúdos descontextualizados, favorecendo o ensino passivo e, conseqüentemente, estudantes desinteressados pelos temas fora da sua realidade concreta. É preciso transformar o ensino tradicional de Física em um ensino que contemple o desenvolvimento da Física Moderna, constituindo uma nova visão de mundo capaz de explicar fenômenos que não são contemplados pela física clássica (Pinto; Zanetic, 1999).

Para o desenvolvimento deste trabalho, elegemos como objetivo geral investigar as possíveis contribuições que uma sequência didática para o Ensino Médio de Física, forjada na perspectiva da gamificação, pode fornecer para a compreensão estudantil do modelo padrão de partículas elementares. Para alcançarmos esse objetivo, promovemos novas estratégias no ensino de Física, utilizando a gamificação como elemento motivador, mediante desenvolvimento de uma atividade gamificada com ênfase na leitura do capítulo o baile dos massacrados do livro Alice no país do quantum, no engajamento e interação social por meio da gamificação, exposição e resolução de uma situação problema e desenvolvimento de uma atividade colaborativa, aplicado na Escola Estadual Alberto Vicente Pereira localizada no município de Divisópolis-MG.

Na nossa proposta de ensino, estabelecemos alguns objetivos específicos para verificar a viabilidade de inserir a Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, em particular, o ensino do modelo padrão de partículas elementares. Promovemos a alfabetização e divulgação científica com a incorporação de leitura de textos voltados

para essa temática aliadas a estratégias de ensino gamificadas que propiciou aos estudantes proatividade, criatividade, engajamento, além de os tornarem responsáveis pelos seus próprios processos formativos.

Podemos inferir que ainda existe uma barreira cultural para a leitura de um modo geral, tornando um desafio para o professor adequar a sua prática pedagógica com a inserção de textos de divulgação científica de modo a encorajar os estudantes a desenvolver leitura e interpretação de maneira autônoma. A proposta da leitura de textos científicos, como *O baile dos massacrados*, associada a gamificação, é uma estratégia que pode contribuir para desenvolver práticas de leitura no contexto escolar.

Nossos resultados trazem considerações importantes para o ensino em Física de acordo com os objetivos específicos traçados a priori. Considerando o objetivo específico: *Analisar a literatura sobre a temática física de partículas elementares, na perspectiva da gamificação no ensino de Física*, verificamos, por meio do levantamento das dissertações publicadas nas páginas *online* dos polos participantes do MNPEF, um número considerável de produtos educacionais envolvendo jogos que, na sua grande maioria, estão relacionados com resolução de questões em um ambiente de jogo de perguntas e respostas. Essas propostas de aprendizagem continuam presas no ensino tradicional no qual o aluno precisa trabalhar a memorização de fórmulas e resolução de questões, desviando o foco da aprendizagem conceitual no ensino de física.

A gamificação, por sua vez, surge como um “fenômeno emergente com muitas potencialidades de aplicação” (Fardo, 2013, p. 68) aproximando o mundo real do virtual que é muito familiar para os estudantes inseridos na cultura digital, favorecendo o engajamento dos estudantes nas atividades escolares, como encontramos na dissertação de Beal (2018), propondo uma SD com atividades gamificadas com o objetivo de fornecer estratégias de ensino atual e contextualizada.

Para alcançarmos o objetivo específico: *contextualizar aspecto da história conceitual do modelo padrão de partículas elementares* utilizamos as analogias trazidas por Gilmore (1998) em seu livro *Alice no País do quantum* para discussão de conceitos sobre a Física de Partículas elementares e do Modelo Padrão. Destacamos

que a leitura conceitual do modelo padrão de partículas elementares contribuiu para dialogar com outras disciplinas como a Química quando apresentamos uma nova estrutura do modelo atômico e, também, com Português/Literatura ao desenvolver atividades incentivando a leitura de texto paradidático. Corroborando com a visão de ensino interdisciplinar, com o objetivo de contextualizar a aprendizagem por meio de estratégias que aproxime e fortaleça os componentes curriculares para promover um trabalho integrado entre os professores, de modo a atender as necessidades dos jovens estudantes com práticas inovadoras associadas à realidade contemporânea.

O objetivo específico de *elaborar e implementar uma sequência didática sobre o modelo padrão forjada no aporte digital da gamificação*, foi essencial para explorar o conteúdo sem sobrecarregar o aluno com um aglomerado de informações. Acreditamos que os elementos fundamentais dos games, tais como as metas, regras, sistemas de *feedback* e participação voluntária, além das características secundárias, pontuação, competição, cooperação e ranqueamento que utilizamos, contribuíram para caracterizar e conhecer aspectos importantes dentro de um jogo. Ao conhecermos essas funções e saber como elas interagem dentro da gamificação foi possível conectar os elementos de modo que as atividades desenvolvidas se aproximaram das características contidas em um game completo gerando engajamento e interação social.

No bojo das discussões sobre a gamificação no ensino de Física, ao avaliarmos as potencialidades da SD para promover a compreensão estudantil sobre a estrutura e organização conceitual do modelo padrão, sinalizamos outros aspectos importantes para além dos muros da escola, como o respeito, a solidariedade, a troca de conhecimento e a cooperação. Estimulando no aluno a percepção de valores necessários para a construção de uma sociedade mais justa, humana e igualitária, possibilitando o desenvolvimento pleno do exercício da cidadania e contribuindo com a realidade do espaço escolar com oportunidades iguais para todos.

Com este trabalho, esperamos contribuir para o ensino de FMC que priorize e amplie os conhecimentos dos estudantes sobre o tema de forma prazerosa, estabelecendo relações entre a ficção trazida na narrativa do livro Alice no país do

Quantum com a realidade dos conceitos físicos da mecânica quântica por meio dessa alternativa didática.

Por fim, desejamos que a SD inspire os profissionais da educação a adotarem novas alternativas didáticas, como a gamificação, a fim de resgatar o brio do estudante com práticas educativas que permitam o seu empoderamento, valorizando seus conhecimentos e suas expressões. Além disso, acrescentamos que novas propostas de ensino de FMC, na perspectiva da gamificação, possam ser desenvolvidas usando o referido trabalho como suporte para confirmar ou refutar a aquisição conceitual dos estudantes sobre o ensino de FMC, em particular, o modelo padrão das partículas elementares.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALLA, Maria Cristina B. **O discreto charme das partículas elementares**. Editora: UNESP. São Paulo, 2006.

ABDALLA, Maria Cristina B. **O discreto charme das partículas elementares**. Instituto de Física teórica, UNESP. Física na Escola, v. 6, n. 1, 2005.

ALBUQUERQUE, E. A. *et al.* **Análise da Motivação dos Discentes do Curso de Ciências Contábeis e Administração, Sob a Perspectiva da Teoria da Autodeterminação e das Metas de Realização**. *Qualitas Revista Eletrônica*, v.17, n. 3, 2016.

ALVES, F. **Gamification: como criar experiências de aprendizagem engajadoras. Um guia completo: do conceito à prática**. 2ª ed. São Paulo: DVS, 2014.

ANJOS, M. D. **Gamificação E Games No Ensino De Mecânica Newtoniana: Uma Proposta Didática Utilizando O Jogo Bunny Shooter E O Aplicativo Socrative**. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). Universidade Federal do Pará, 2017.

BACICH, L.; MORAN, J. **Metodologias ativas para uma educação inovadora: uma abordagem teórico-prática**. Porto Alegre: Penso, 2018.

BALDISSERA, Olivia. **O que é gamificação e como ela aumenta o engajamento?** - PUCPR Digital, 2021.

BASSALO, José Maria. **As câmaras de “Névoa” (Wilson) e de Bolhas**. Universidade Federal do Ceará, UFC. Seara da Ciência – Curiosidades da Física. Ceará, 2019.

BOGDAN, R. C.; BIKLEN, S. K. **Investigação qualitativa em educação**. Tradução Maria João Alvarez, Sara Bahia dos Santos e Telmo Mourinho Baptista. Porto: Porto Editora, 1994

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular–Ensino Médio**, 2018.

BROCKINGTON, G. **A Realidade escondida: a dualidade onda-partícula para estudantes do Ensino Médio**. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, 2005.

CARVALHO, Wanderson Rocha de. **A utilização do jogo "O caçador de partículas" como ferramenta auxiliar no ensino de Física de Partículas**. Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Estadual do Ceará, Quixadá, 2018.

DAYRELL, Juarez; Carrano, Paulo; Maia, Carla L. **Juventude e Ensino Médio: diálogos, sujeitos e currículos**. Belo Horizonte. Editora UFMG, 2014. p. 7-9.

DECI, E. L. & RYAN, R. M. (1991). A motivation approach to self: integration in personality. In: R. Dienstbier (org.). *Nebraska symposium on motivation: perspectives on motivation*. (pp. 237-288). Lincoln: University of Nebraska Press.

EVANS, Lyn; LINSSEN, Lucie. 2008. Disponível em: <https://cerncourier.com/a/the-super-lhc-is-on-the-starting-blocks>. Acesso em: 12 fev. 2023.

ESCOLA ESTADUAL ALBERTO V. PEREIRA. **Projeto Político Pedagógico**. 2022.

FARDO, M. **A gamificação como método: estudo de elementos dos games aplicados em processos de ensino e aprendizagem**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Caxias do Sul, Programa de Pós-Graduação em Educação, 2013.

FLÓRIO, V. **A origem dos raios cósmicos**. In: Revista Pesquisa Fapesp, São Paulo, Edição 260, out. 2017. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/2017/10/25/a-origem-dos-raios-cosmicos/>. Acesso em: 10 de Julho de 2023.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia do Oprimido**. 64. Ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2017

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **Experimento de Rutherford**. s.d. Disponível em: <https://www.preparaenem.com/quimica/experimento-rutherford.htm>. Acesso em: 10 jul. 2023.

FURTADO, Júlio. **Docência e Alteridade**. In: Anais COEB; Florianópolis, 2012.

GALLO, Sérgio Nesteriuk. **Jogo como elemento da cultura: Aspectos contemporâneos e as modificações na experiência de jogar**. Tese (doutorado). Pontífca Universidade Católica de São Paulo. São Paulo, 2007.

GILMORE, R. **Alice no país do quantum: a física ao alcance de todos**. Rio de Janeiro, Zahar, 1998.

GOMES, Beatriz Machado; LOPES, Bruno Elias Rocha. **Dos Filósofos Gregos à Bohr: uma revisão histórica sobre a evolução dos modelos atômicos**. Revista Ifes Ciência-ISSN 2359-4799, v. 4, n. 2, 2018.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física: Óptica e Física Moderna**. 9a. ed. v.4. Rio de Janeiro - RJ: L.T.C., 2012.

HUIZINGA, Johan. **Homo Ludens - vom Unprung der Kultur im Spiel**. Editora perspectiva S.A. São Paulo, 1980.

INSTITUTO de Física Gleb Wataghin (2016). Disponível em: <https://www.ifi.unicamp.br/~fauth/3RadioatividadeeParticulas>. Acesso em: 10 jul. 2023.

KANE, G. **The Dawn of physics Beyond the Standard Model**. Scientific American. Vol. 288, n. 6, 2003.

LOPES, Cesar Valmor Machado. **Modelos atômicos no início do século XX: da física clássica à introdução da teoria quântica**. São Paulo: PUC 2009.

LÜDKE, Menga. (1986). **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas I Menga**. Lüdke, Marli E.D. A. André, São Paulo: EPU,1986.

MATTAR, João. **Games em educação (livro eletrônico): como os nativos digitais aprendem**. Pearson Prentice Hall, São Paulo, 2013.

MOREIRA, M.A. **A física dos quarks e sua epistemologia**. Revista Brasileira de Ensino de Física, 29(2):161-173, 2007.

MOREIRA, M.A. **Ensino de física no século XXI: desafios e equívocos**. Revista do professor de física, V.2 Nº.3, Brasília, 2018.

MOREIRA, M.A. **Grandes desafios para o ensino da física na educação contemporânea**. Revista do professor de física, V.1 Nº.1, Brasília, 2017.

MURCIA, J. A. M. **Aprendizagem Através dos Jogos**. Trad. Valério Campos. Petrópolis: Ed. Artmed, 2005.

NAVARRO, Gabrielle. **Gamificação: a transformação do conceito do termo jogo no contexto da pós-modernidade**. 2013. 26 f. Monografia (Especialização) - Curso de Mídia, Informação e Cultura, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

OLIVEIRA, A.G.I de; ROCKENBACH, M; PACINI, A.A. **Raios Cosmicos e a Heliosfera**. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol.36 n. 2, São Paulo, 2014.

OSTERMANN, F. MOREIRA, M. A. **“Partículas elementares e interações fundamentais” no ensino médio de física: uma experiência a partir do estágio de um aluno de “prática de ensino de física”** - UFRGS. 2000.

OSTERMANN, F; MOREIRA, M A. **Atualização do currículo de Física na escola de nível médio: um estudo desta problemática na perspectiva de uma experiência em sala de aula e da formação inicial de professores**.

PAOLI, M. G. **Matéria hadrônica Sujeita a campos magnéticos fortes**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de pós graduação em Física. Florianópolis, 2014.

PEDUZZI. L. O.Q. **Do átomo grego ao átomo de Bohr**. Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Física, 2008.

PINTO, A.C., ZANETIC, J. **É possível levar a física quântica para o ensino médio?** Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, V.16, n.1, p. 7-34, abril, 1999.

PRENSKY, M. **Aprendizagem baseada em jogos digitais**. São Paulo: Senac, 2012.

PRIETO, L. M., **Uso das tecnologias digitais em atividades**, Novas Tecnologias na Educação, UFRGS, V. 3 Nº 1, Maio, 2005.

RAICIK, A.C. **Um resgate histórico-epistemológico do átomo de Bohr: uma gênese nem sempre contada e suas implicações ao ensino de ciências**. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 45 e20230039, Florianópolis, SC, 2023.

SAMPAIO, J.L. **Eletrostática e física de partículas sob o olhar da história da ciência: uma proposta para a construção de animações e vídeos no ensino médio**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual da Paraíba, Pró-Reitoria de pós graduação e pesquisa, Campina Grande, 2017

SANTOS, J L. **A Descoberta do Neutrino – Projeto Faraday**, 2003 disponível em: <http://faraday.fc.up.pt/Faraday/Recursos/artigos/neutrino.pdf/view>. Acesso em 19 julho 2023.

SANTOS, Thamires. **Modelo Atômico de Bohr**. Disponível em: <https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/quimica/modelo-atomico-de-bohr>. Acesso em: 19 jul. 2023.

SAVI, R., ULBRICHT, V. R. Jogos digitais educacionais: benefícios e desafios. **Novas Tecnologias na Educação**, UFRGS, V. 6 Nº 2, Dezembro, 2008.

SEARS; ZEMANSKY, YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física IV**. Editora ADDISON, 12ª ed. 2009.

SECRETÁRIA DE ESTADO DA EDUCAÇÃO. **Currículo Referência de Minas Gerais** - Belo Horizonte: SEE, 2020. Minas Gerais

SECRETÁRIA DE ESTADO DA EDUCAÇÃO. **Sistema Mineiro de Avaliação e Equidade da Educação Pública**. Disponível em: [https://PortalSIMAVE\(educacao.mg.gov.br\)](https://PortalSIMAVE(educacao.mg.gov.br)). Acesso em 18 de abril de 2023.

SILVA, João Batista; SALES, Gilvandenys Leite; CASTRO, Juscileide Braga. **Gamificação como estratégia de aprendizagem ativa no ensino de Física**. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 41, nº 4, e20180309, 2019.

SILVA, Jorge Luís. **Física de Partículas: Possibilidades para o Ensino Médio**. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Regional do Cariri.

SIQUEIRA, M.; Pietrocola, M., **Do visível ao invisível: uma proposta de física de partículas elementares para o ensino médio**. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, 2006.

SOARES, Magda. **Letramento: um tema em três gêneros**. 2ª ed. 6ª Reimpr. Belo Horizonte: Autêntica, (2003).

STUDART, N. **Simulação, Games e Gamificação no ensino de física**. XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF). São Paulo, 2015.

TERRAZZAN, E. **A Inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino de Física na Escola de 2º Grau**. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v. 9, n.3, p. 209-214, dez. 1992.

VALADARES, E. C., MOREIRA, A. M. **Ensinando física moderna no segundo grau: efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro**. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v. 15, n. 2, p. 121-135, ago. 1998.

VIANNA, Y; et.al. Gamification, Inc: **Como reinventar empresas a partir de jogos**. Rio de Janeiro: MJV Press, 2013.

Vroom, V. H. (1964). *Work and motivation*. New York: Wiley.

ZANETIC, João. **Física também é cultura**. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, 1989.

ZANETIC, João; PINTO, Custódio A. **É possível levar a física quântica para o ensino médio?** Caderno Catarinense de Ensino de Física, v.16, n. 1: p.7-34, 1999.

APÊNDICES

Apêndice A :Termos de autorização



TERMO DE SOLICITAÇÃO DE CONTRIBUIÇÃO PARA PESQUISA

O (a) filho (a) do Sr (a) está sendo convidado (a) para participar, como voluntário (a) da pesquisa intitulada ENSINO DE FÍSICA POR MEIO DE ESTRATÉGIAS DE GAMIFICAÇÃO: O BAILE DOS MASSACARADOS. Caso concorde em colaborar, favor assinar ao final deste documento. Sua participação não será obrigatória e, a qualquer momento, poderá desistir e retirar o seu consentimento. Sua recusa não trará nenhum prejuízo à sua relação com a pesquisadora ou com a instituição.

INSTITUIÇÃO: Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF)

NOME DA PESQUISA: Literatura no ensino de Física de Partículas por meio de estratégias gamificadas

PESQUISADORA RESPONSÁVEL: Ivanê Ferreira Dos Santos

ORIENTADOR: Professor Doutor Wagner José Duarte

CO-ORIENTADOR: Carlos Alexandre dos Santos Batista

OBJETIVO: Divulgar o conhecimento científico utilizando livros paradidáticos por meio de estratégias gamificadas nas aulas de Física para ensinar conceitos de Física de Partículas Elementares.

PROCEDIMENTO DE ESTUDOS: Transformar a sala de aula em missão e as tarefas em desafio. A sala será dividida em equipes, cada equipe receberá um desafio para ser cumprido no tempo determinado pelo professor ao término da atividade a equipe receberá um enigma para decifrar permitindo que a equipe avance para a próxima missão do jogo.

- **Missão 1 - Leitura individual do Capítulo 9 (O baile dos mascarados) do livro Alice no País do Quantum;**
- **Missão 2 - Jogo Digital sobre Partículas Elementares;**

- **Missão 3 – Hipermídia sobre Partículas Elementares;**
- **Missão 4 – Montagem da tabela do modelo padrão.**

A pesquisa é parte integrante do Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), polo 62.

CONFIDENCIALIDADE DA PESQUISA: Registros de áudio e imagem de aula serão tratados como dados de pesquisa, resultados e análises serão utilizados exclusivamente para fins científicos, incluindo publicações.

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Eu, _____ RG: _____, CPF: _____
_____ estou ciente de que meu filho(a) faz parte da pesquisa descrita acima e declaro que fui informado(a) sobre os procedimentos da pesquisa recebendo de forma clara e objetiva as explicações pertinentes ao projeto. Permito que os dados de _____ sejam gravados em áudio e imagem e que sejam utilizados nesta pesquisa e em artigos posteriores.

Divisópolis - MG, _____ de _____ de 2023.

Assinatura do (a) responsável

TERMO DE AUTORIZAÇÃO

Eu, Claudiana Oliveira Sousa, Diretora da Escola Estadual Alberto Vicente Pereira, autorizo a realização, nesta Instituição de Ensino, da pesquisa científica intitulada "ENSINO DE FÍSICA POR MEIO DE ESTRATÉGIAS DE GAMIFICAÇÃO: O BAILE DOS MASSACARADOS", de responsabilidade da pesquisadora Ivanê Ferreira dos Santos, sob orientação do Professor Drº Wagner José Duarte e co-orientação do professor Drº Carlos Alexandre dos Santos Batista, para o desenvolvimento da Sequência Didática do curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF).

Divisópolis – MG, _____ de _____ de 2023

CLAUDIANA OLIVEIRA SOUZA – MASP: 109646-5

Apêndice B – Questionário da Sequência Didática



ENSINO DE FÍSICA POR MEIO DE ESTRATÉGIAS DE GAMIFICAÇÃO: O BAILE DOS MASSACARADOS

Mestranda: Ivanê Ferreira

Orientador: prof^o. Dr^o. Wagner José

Co-Orientador: Carlos Alexandre dos Santos Batista

Aluno: _____

QUESTIONÁRIO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

1 - A leitura do capítulo "O baile dos massacarados" despertou curiosidades/interesses sobre a física de partículas elementares? Explique.

2 – O que é um quark?

- a) Uma partícula elementar que constitui a matéria;
- b) Um conjunto de prótons e nêutrons;
- c) Uma característica das partículas elementares;
- d) Não sei.

3 – Segundo o modelo padrão, toda matéria que conhecemos é formada por quais classes partículas?

- a) Prótons, elétrons e nêutrons;
- b) Mésons e bósons;
- c) Léptons e quarks;
- d) Não sei.

4 - Dentre as opções abaixo, qual é a melhor definição para partícula elementar?

- a) Um conjunto de prótons
- b) A menor porção da matéria conhecida
- c) um átomo
- d) Não sei

5 – Durante a aplicação da sequência didática, o que você considerou mais interessante?

- () O conteúdo (Física de Partícula Elementares)
- () Os jogos
- () O material apresentado
- () As atividades individuais
- () As atividades em grupo
- () A leitura do texto "O baile dos massacarados"
- () Não fiquei interessado

6 – Como você avalia o desenvolvimento da sequência didática (texto, jogo, conhecimento científico)? Atribua uma nota de 0 à 5.

0	1	2	3	4	5
---	---	---	---	---	---

--	--	--	--	--	--

7 – Você considera que as aulas gamificadas contribuíram para sua aprendizagem durante a aplicação das atividades? Atribua uma nota de 0 à 5.

0	1	2	3	4	5

8 - Apresente críticas ou sugestões às atividades desenvolvidas na sequência didática.

Apêndice C – Produto Educacional

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS GRADUAÇÃO
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL NO ENSINO DE FÍSICA**

**ENSINO DE FÍSICA POR MEIO DE ESTRATÉGIAS DE GAMIFICAÇÃO: O BAILE
DOS MASSACARADOS**

PRODUTO EDUCACIONAL

Ivanê Ferreira dos Santos

Orientador: Prof. Dr. Wagner Duarte José
Coorientador: Prof. Dr. Carlos Alexandre
dos Santos Batista

Vitória Da Conquista – BA
Outubro 2023

APRESENTAÇÃO

Este produto educacional apresenta uma sequência didática forjada na perspectiva da gamificação para abordar o modelo padrão de partículas elementares mediante a operacionalização de um jogo didático. A proposta foi planejada e aplicada para o público do 2º Ano do Novo Ensino Médio (NEM) com carga horária de 10 horas/aulas, mas pode ser implementada em todo o ensino médio com carga horária variável de acordo com a realidade de cada turma.

A sequência didática utiliza o livro *Alice no país do Quantum* de Gilmore (1998) que trata de uma analogia sobre os conceitos da física quântica e não representa a realidade concreta. Pode ser considerado “um parque de diversões intelectual menor que um átomo, onde todos os desafios, jogos e atrações demonstram um diferente aspecto da mecânica quântica” (Gilmore, 1998). Ao longo da narrativa, *Alice* passa por várias aventuras em um mundo imaginário na qual o leitor terá oportunidade de conhecer de maneira acessível e divertida alguns conteúdos da física quântica, dentre eles a física de partículas elementares presente no capítulo *o baile dos massacrados das partículas* que foi o tema escolhido para o desenvolvimento deste produto educacional.

A estratégia metodológica empregada foi pensada em explorar as potencialidades da gamificação como ferramenta de ensino podendo contribuir satisfatoriamente para engajar e motivar o estudante no processo de ensino aprendizagem e, conseqüentemente, participar ativamente da construção do seu próprio conhecimento se tornando protagonista da sua aprendizagem.

O professor irá encontrar, neste trabalho, todo suporte para implementar a sequência didática, desde um roteiro com orientações e objetivos bem estabelecidos para o desenvolvimento das missões até o material didático utilizado, como slides das aulas, link dos sites acessados, link dos vídeos utilizados, link dos jogos online e o jogo digital referente a leitura do capítulo *o baile dos massacrados das partículas*.

Esperamos contribuir para o ensino de FMC que priorize e amplie os conhecimentos dos estudantes sobre o tema de forma prazerosa estabelecendo relações entre a ficção trazida na narrativa do livro *Alice no país do quanto* com a realidade dos conceitos físicos da mecânica quântica por meio dessa alternativa didática.

Por fim, desejamos que a SD inspire os profissionais da educação a adotarem novas alternativas didáticas, como a gamificação a fim de resgatar o brio do estudante com práticas educativas que permitam o seu empoderamento, valorizando seus conhecimentos e suas expressões. Além disso, acrescentamos que novas propostas de ensino de FMC na perspectiva da gamificação possam ser desenvolvidas usando o referido trabalho como suporte a fim de confirmar ou refutar a aquisição conceitual dos estudantes sobre o modelo padrão das partículas elementares.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	4
SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	6
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18

INTRODUÇÃO

A inserção de tópicos de Física Moderna e contemporânea (FMC) no Ensino Médio vem sendo amplamente discutida e defendida nas últimas décadas por vários pesquisadores na área de ensino como uma forma de atualização do currículo escolar. Ostermann (2000) apresenta algumas justificativas sobre a necessidade de abordar FMC nas escolas em nível médio, citadas pelos professores presentes na III Conferência Interamericana sobre Educação em Física, dentre elas: despertar a curiosidade dos estudantes e ajudá-lo a compreender a física como um empreendimento humano, próxima a eles; aproximar os estudantes com as ideias revolucionárias que mudaram a ciência totalmente, a partir do século XX; atrair os jovens para as carreiras científicas, pois eles serão os futuros professores e pesquisadores; considerar a física moderna conceitualmente mais difícil e abstrata do que a física clássica contrariando as estatísticas apontadas pelas pesquisas em ensino de física.

Concordamos com tais justificativas cientes de que educação brasileira precisa de um ensino de física centrado na contextualização do conhecimento científico, de modo a contemplar a formação e o desenvolvimento humano integral dos jovens estudantes, compreendendo a complexidade e não linearidade desse desenvolvimento (BRASIL, 2018).

Dentro deste cenário de incertezas, sem nenhuma garantia de aprendizagem efetiva por parte dos estudantes, somos motivados a repensar nossa prática pedagógica em sala de aula, de modo que possamos provocar nossos alunos a serem protagonistas dentro e fora do espaço escolar, por meio de estratégias de ensino que os motivam a enfrentar os desafios.

É imperativo pensarmos em estratégias de intervenção que propiciem aos alunos o desenvolvimento dos conhecimentos necessários para fomentar o protagonismo estudantil, colaborando para uma maior compreensão acerca do mundo contemporâneo, despertando no aluno o interesse de perceber que a Física está presente no seu cotidiano e contribuindo na sua formação científico cultural.

A inovação nas práticas pedagógicas torna-se cada vez mais necessária perante a sociedade atual, uma vez que os estudantes já estão inseridos no meio digital antes mesmo de iniciarem a sua vida escolar. Nesse contexto, a gamificação pode ser uma boa alternativa para o ensino de física, uma vez que, os jogos, além de estarem presentes no cotidiano estudantil, são capazes de produzir o engajamento, a interação social, concentração e motivação na sala de aula, colaborando para uma participação ativa e, por conseguinte, diminuindo as dificuldades de compreensão do conteúdo.

Studart (2015) considera que o uso das tecnologias digitais na educação contribui para tornar o aprendiz mais motivado, engajado e colaborativo e, conseqüentemente, transformar o processo de ensino e aprendizagem mais efetivos. Embora o uso da tecnologia não seja um requisito necessário para aplicar a gamificação, Fardo (2013) acredita que esse recurso pode potencializar a aprendizagem.

Com base nas potencialidades da gamificação, elegemos como objetivo investigar possíveis contribuições que uma sequência didática para o ensino médio de física, forjada na perspectiva da gamificação, pode fornecer para a compreensão estudantil sobre o modelo padrão de partículas elementares.

SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Para uma melhor organização didática sugerimos que a SD seja dividida em quatro missões. As missões 1 e 2 podem ser executadas em três aulas de 50 minutos cada, enquanto as missões 3 e 4 podem ter duração de duas aulas de 50 minutos, ficando a critério do professor ampliar o tempo de aplicação conforme a realidade da turma. Apresentamos abaixo um quadro síntese (quadro 1) com a aplicação da nossa SD.

Quadro 1 - Síntese da Sequência Didática Aplicada

SEQUÊNCIA DIDÁTICA: Ensino de Física por meio de estratégias de gamificação: o baile dos massacarados		
PÚBLICO-ALVO: Alunos do 2º Ano do Novo Ensino Médio (NEM) – 2023		
Missões	Atividades elaboradas	Horas/aulas
<p>Missão 1 Leitura individual do Capítulo 9 (Baile dos Massacarados) do livro Alice no País do Quantum</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Spoiler</i> do Livro Alice no País do Quantum • Aspectos históricos relevantes para a construção e nascimento da Mecânica Quântica. • Vídeo: O fato mais importante sobre o universo • Caça palavras • Distribuição de 1 enigma por grupo 	<p>3 horas/aula</p>
<p>Missão 2 Jogo Digital</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Jogo Digital sobre Partículas Elementares • Distribuição de 1 enigma por grupo 	<p>3 horas/aula</p>
<p>Missão 3 Hiperfídia sobre Partículas Elementares</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Apresentação da página do <i>SPRACE</i> (A aventura das partículas) • Resolução da situação problema: Por que o próton e o nêutron não podem ser considerados uma partícula fundamental? • Distribuição de 1 enigma por grupo 	<p>2 horas/aula</p>

<p style="text-align: center;">Missão 4 Modelo Padrão das Partículas Elementares</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Montagem do modelo padrão das partículas elementares com os enigmas recebidos durante o cumprimento das missões. • Avaliação da Sequência Didática 	<p>2 horas/aula</p>
---	---	-------------------------

Fonte: Autora (2023).

Primeira Missão: Ler o Capítulo 9: Baile dos Massacarados

Objetivo: Incentivar à leitura de textos/livros paradidáticos para a divulgação do conhecimento científico

Orientações:

O professor poderá fazer uso do material de apoio disponibilizado no DRIVE (Slide 1 ao 19) para dialogar a respeito dos aspectos históricos relevantes para a construção e nascimento da Mecânica Quântica e situar o aluno sobre o livro *Alice no País do Quantum*, de Robert Gilmore (1998). Esta proposta tem o intuito de instigá-los a cumprir a primeira missão que é a leitura do capítulo: O Baile dos Massacarados das Partículas.

DRIVE com os slides para orientar o professor nas discussões:

https://docs.google.com/presentation/d/16JO1J60A2HupsKX6L_y97ZTSoypvGbcf/edit#slide=id.p19

A primeira missão é a leitura do Capítulo 9 (Baile dos Massacarados). O material pode ser entregue impresso ou projetado, ficando a critério do professor se será realizada de forma individual ou coletiva. É importante solicitar que os alunos façam anotações de dúvidas que surgirem durante a leitura para serem esclarecidas posteriormente ou simultaneamente. O livro: *Alice no país do quantum* pode ser adquirido em livrarias física ou online.

Após a leitura fazer a divisão da turma, sugerimos utilizar a ferramenta roda aleatória disponível no site do *world wall*, pois é uma ferramenta interativa que

contribui para o engajamento do processo, no entanto, o professor ficará livre para dividir os grupos utilizando outras estratégias. A figura 1 mostra a interface da ferramenta utilizada durante a aplicação da SD e a figura 2 o QR code que direciona para ver modelo.

Figura 1 - Divisão dos grupos na ferramenta Roda Aleatória



wordwall.net/resource/55364289



Fonte: Autora (2023).

Para o professor utilizar essa ferramenta é necessário entrar no site: <https://wordwall.net/>, criar uma conta, clicar em criar atividade e acessar a ferramenta roda aleatória disponível gratuitamente no site. A seguir, basta inserir o nome de todos os participantes e acessar a conta criada inicialmente no momento da divisão das equipes.

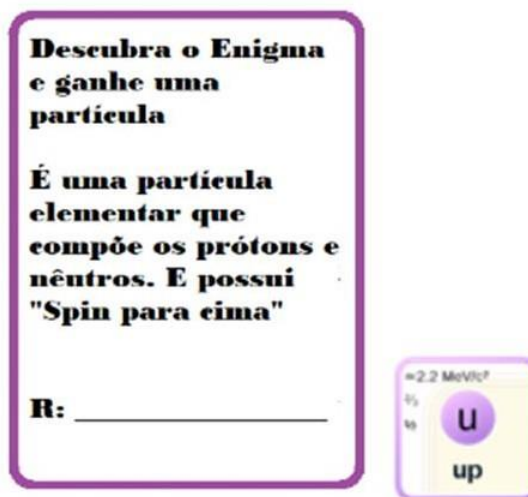
Com os grupos formados, o professor fará a entrega dos enigmas (Figura 2) para os grupos desvendarem qual é a carta, desbloqueando a segunda missão assim que a atividade for concluída por todos os grupos.

O arquivo abaixo disponibiliza todas as cartas necessárias para distribuir aos grupos ao longo das missões.

https://docs.google.com/document/d/1ajqMXxxCx2JK_-4yi7FfyorfmbaeoKX4/edit

A Figura 2 mostra o modelo do enigma referente a partícula UP.

Figura 2 - Enigma da partícula UP



Fonte: Autora (2023).

Segunda Missão: Jogo Digital: Baile dos Massacarados

Objetivo: Avaliar o potencial dos jogos digitais para melhor compreensão do conteúdo.

Orientações:

O jogo foi criado no *power point* tendo como layout a imagem do modelo padrão das partículas elementares (Figura 4a) e o professor deverá projetá-lo para a turma e manuseá-lo de acordo com as escolhas dos alunos. Com um total de dezessete cartas, 13 são perguntas sobre partículas elementares (ver anexo B), 2 são antipartículas (equipe perde pontos) e 2 são bônus das charadas (equipe ganha pontos). Por meio de sorteio será definido a ordem das equipes para iniciar o jogo. As questões versarão sobre a leitura do capítulo do livro: Baile dos Massacrados.

A figura 3 mostra o *layout* do jogo com um exemplo das questões que o professor irá encontrar dentro do jogo e as respectivas cartas bônus e punição.

Figura 3 - Layout do jogo

O BAILE DE MASSACARADOS DAS PARTÍCULAS

QUESTÃO 3

Durante o baile de máscaras das partículas, os núcleos dos átomos tiraram suas fantasias e mostraram que eram, na verdade:

A) Elétrons e nêutrons
 B) Prótons e elétrons
 C) Prótons e nêutrons

PARABÊNS!! VOCÊ ENCONTROU O LÉPTON MÚON E, POR ISSO SUA EQUIPE ACABA DE GANHAR 10 PONTOS!!

Tem carga negativa e é 200 vezes mais massivo que o elétron

QUE PENA!! VOCÊ ACABA DE ENCONTRAR A ANTIPARTÍCULA DO TAU E, POR ISSO SUA EQUIPE PERDERÁ 10 PONTOS

A partícula que encontramos no núcleo dos átomos não é nem próton nem nêutron, mas sim um quark.

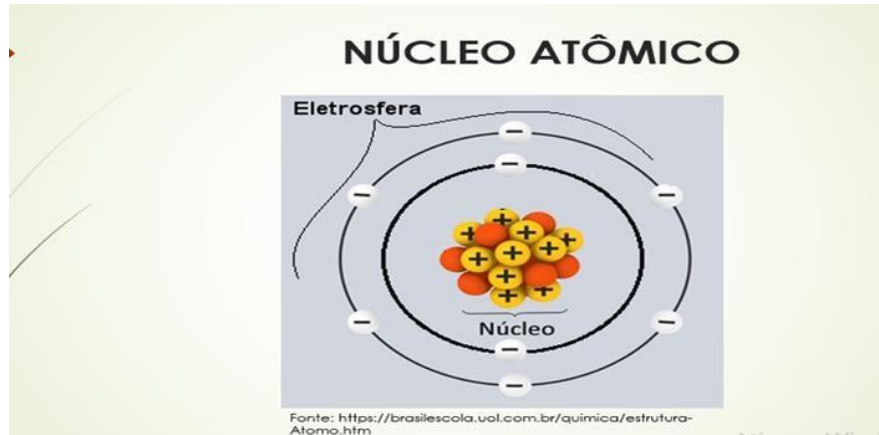
Fonte: Autora (2023).

O link abaixo direciona para o DRIVE com o Jogo:

https://docs.google.com/presentation/d/16JO1J60A2HupsKX6L_y97ZTSoypvGbcf/edit#slide=id.p19

Nesta atividade os alunos receberão feedback imediato do professor ao término de cada questão por meio da tela "para saber mais" (ver figura 5) ampliando as discussões na qual os estudantes terão a oportunidade de associar os conceitos apresentados na leitura do capítulo com o conteúdo de Física de Partículas.

Figura 4 - "Para saber mais" da questão 3 (figura 3)



Fonte: Autora (2023).

O professor poderá usar o modelo da tabela 1 abaixo para anotar a pontuação das equipes e verificar o grupo vencedor do jogo.

Tabela 1 - Pontuação do Jogo: Baile dos Massacarados

100,00 PONTOS	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	GRUPO 4	GRUPO 5
1ª RODADA					
2ª RODADA					
3ª RODADA					
RODADA DE DESEMPATE					
TOTAL					

Fonte: Autora (2023).

Regras do Jogo:

- 1 – A ordem do jogo será por meio de sorteio
- 2 – As equipes começam o jogo com 100 pontos;
- 3 – Para cada acerto a equipe ganha 10 pontos
- 4 – Para cada erro a equipe perde 10 pontos;
- 5 – A equipe que encontrar carta com a partícula elementar ganhará 10 pontos e a charada correspondente à partícula encontrada;
- 6 – A equipe que encontrar a carta com a antipartícula perderá 10 pontos e passará a vez para a próxima equipe a jogar
- 7 – Vence a equipe que acumular o maior número de pontos ao final das perguntas.
- 8 – Todas as equipes ganharão 1 charada pela participação.

Ainda na missão 2, o professor mostrará o vídeo de Neil deGrasse Tyson e dublado por Guilherme Briggs: O fato mais importante sobre o universo, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=BkdK4-fGHs4> para os alunos assistirem, após o término do vídeo levantar as seguintes questões oralmente: Existe algo menor que o átomo? Os átomos podem ser compostos de partículas menores? O que é uma partícula? O que é uma partícula elementar? Do que o mundo é feito?

Na sequência, o professor disponibilizará um link para o grupo do whatsapp da turma contendo um caça palavras, intitulado de "Caça das Partículas" ou o aluno poderá acessar por meio do QR code, como no modelo disponível a seguir. Os alunos terão 5 minutos para encontrar as 10 palavras, podendo errar 5 vezes. A ordem de classificação depende da quantidade de palavras encontradas no menor tempo sem usar as vidas. Segue a apresentação da tela do jogo com as palavras que os alunos deverão encontrar.

Link do caça das partículas: <https://wordwall.net/resource/15060406/ca%C3%A7a-das-part%C3%ADculas>

QR Code:

wordwall.net/resource/15060406



Figura 5 - Caça das Partículas



Fonte: Autora (2023).

Para que o professor tenha o controle dos estudantes que acessaram o “caça das partículas” é importante que ele entre na sua conta do site: <https://wordwall.net/>, escolha a opção caça palavras e coloque as palavras que deseja que o aluno encontre. Neste trabalho, utilizamos e disponibilizamos as seguintes palavras como opção: átomo, down, elétron, fóton, glúon, nêutron, partículas, próton, strange, upp.

Após a criação da atividade online o site disponibiliza a versão impressa que poderá ser utilizada pelo professor caso tenha dificuldade de acesso na escola onde trabalha. Na figura 6 é possível ver a versão para impressão.

Figura 6 – Versão para impressão do caça das partículas



Fonte: <https://wordwall.net/resource/15060406/ca%c3%a7a-das-part%c3%adculas>

Após a conclusão de todas as etapas da segunda missão, os grupos receberão mais um enigma para desbloquear a próxima missão.

Terceira Missão - Atividade hipermediática

Objetivo: Reconhecer os constituintes do núcleo atômico e suas características.

Orientações:

Os alunos serão orientados a acessar a página do SPRACE (A aventura das partículas) no link abaixo e navegar pelo tópico: o que é fundamental? para resolver a situação problema.

<https://www.sprace.org.br/aventuradasparticulas/index.html>

Situação-problema: Por que o próton e o nêutron não podem ser considerados uma partícula elementar?

Passo 1 – Explique com suas palavras o que é fundamental?

Passo 2 – O termo “átomo” é uma expressão errada. Por quê? Compare a sua resposta na página com subtítulo “**O que é Fundamental? O Átomo**”.

Passo 3 – Com base na sua definição do que é fundamental, o núcleo do átomo é fundamental?

Passo 4 – Quais partículas encontramos dentro do núcleo atômico?

Passo 5 – Observe a animação do modelo atômico moderno na página com subtítulo “**O que é Fundamental?: A escala do Átomo.**”

a) Desenhe e identifique os quarks que constituem o próton.

b) Desenhe e identifique os quarks que constituem o nêutron

Passo 6 – Considere a carga do quark up (u) igual a $+2/3$ e a carga do quark down (d) igual a $-1/3$.

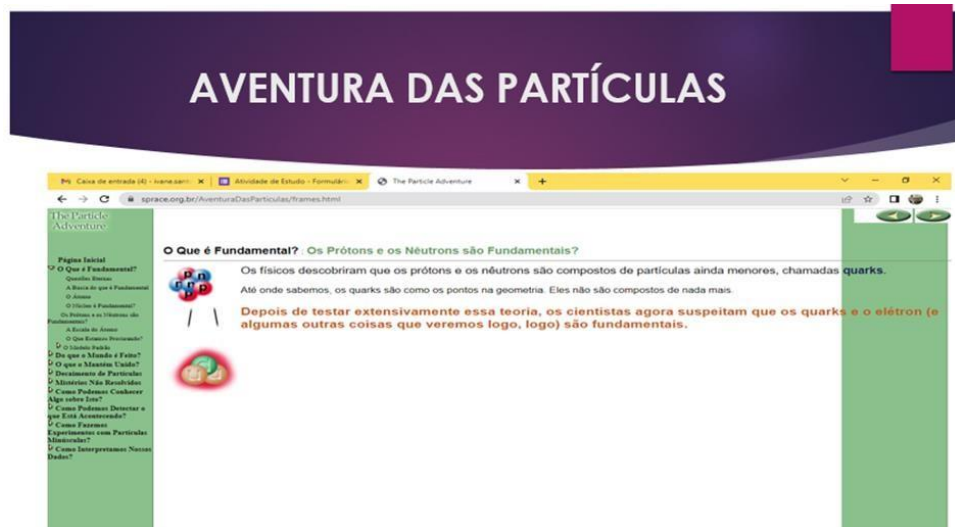
a) Calcule a soma total das cargas dos quarks no próton

b) Calcule a soma total das cargas dos quarks no nêutron

Passo 7 – Responda a situação problema

Para esta atividade será necessário o uso de computador com acesso à internet. Por isso, é importante que o professor verifique os recursos materiais com antecedência e tenha em mãos o “plano b”, tendo em vista que ela necessita de fatores externos para ocorrer. Sendo assim, sugerimos que o conteúdo da página do SPACE seja transferido para o *power point*, como podemos ver na figura 7, os estudantes podem realizar a atividade com o professor projetando e controlando os slides à medida que eles avancem na resolução do passo a passo até elaborar uma solução para a situação problema em questão.

Figura 7 - A aventura das partículas



Fonte: Autora (2023).

Após conclusão da atividade o professor deverá distribuir a última rodada de enigmas para avançar para a quarta missão.

A versão offline pode ser acessada no DRIVE abaixo (slide 31 até 39):

https://docs.google.com/presentation/d/16JO1J60A2HupsKX6L_y97ZTSoypvGbcf/edit#slide=id.p19

Atividade 4 - Modelo Padrão das Partículas Elementares

Objetivo: Incentivar a participação nas atividades colaborativas a fim de melhorar o desenvolvimento cognitivo.

Quarta Missão

Na quarta missão orientamos a construção da tabela do Modelo Padrão das Partículas Elementares. Nesta aula os alunos irão reproduzir as 17 imagens dos enigmas recebidos ao fim de cada missão, desvendando a qual partícula estaria se referindo e colocando-as em seus respectivos lugares, chegando ao fim do jogo com uma atividade colaborativa que garante a participação da turma. Na figura 8, podemos

ver o resultado final da confecção das imagens produzidas pelos alunos como exemplo.

Figura 8 - Tabela do modelo padrão confeccionada pelos alunos

	MODELO	PADRÃO	DE	PARTÍCULAS	ELEMENTARES
QUARKS	u up	c charm	t TOP	g gluon	H higgs
	d down	s Strange	b bottom	γ Fóton	BÓSONS DE GAUGE Bósons Vetoriais
	e Elétron	μ muon	τ Tau	Z boson Z	
LÉPTONS	ν _e NEUTRINO DO ELÉTRON	ν _μ neutrino do múon	ν _τ neutrino do tau	W Boson W	BÓSONS ESCALARES

Fonte: Autora (2023).

Com a tabela confeccionada pelos alunos, o professor poderá fazer algumas considerações a respeito do Modelo Padrão das partículas elementares por meio da exposição dos slides (40 até 45) disponibilizado no DRIVE abaixo:

https://docs.google.com/presentation/d/16JO1J60A2HupsKX6L_y97ZTSoypvGbcf/edit#slide=id.p40

Para encerrar poderá aplicar um questionário da Sequência Didática versando sobre o conteúdo trabalhado, os recursos utilizados, o interesse pela leitura do capítulo, além de ter um espaço para críticas e sugestões feitas pelos sujeitos da pesquisa (Apêndice B).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

OSTERMANN, F. MOREIRA, M. A. “**Partículas elementares e interações fundamentais**” no ensino médio de física: uma experiência a partir do estágio de um aluno de “prática de ensino de física” - UFRGS. 2000.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Ensino Médio, 2018.

FARDO, M. **A gamificação como método**: estudo de elementos dos games aplicados em processos de ensino e aprendizagem. Dissertação (Mestrado) – Universidade Caxias do Sul, Programa de Pós-Graduação em Educação, 2013.

STUDART, N. Simulação, Games e Gamificação no ensino de física. XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF). **Anais [...]**. São Paulo, 2015.