



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAZONAS  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA E INOVAÇÃO – PPGI  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO DO CAMPUS MANAUS CENTRO  
COORDENAÇÃO GERAL DOS CURSOS DE PÓS-GRADUAÇÃO



KLEBER DA LUZ BASTOS

UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DO MODELO PADRÃO

Manaus - AM

2023

KLEBER DA LUZ BASTOS

UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DO MODELO PADRÃO

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Ensino Tecnológico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM, para a obtenção do título de Mestre em Ensino Tecnológico.

Área de concentração: Ensino.

Linha de Pesquisa: Alternativas mediadoras para a eficácia do ensino e aprendizagem em contextos tecnológicos.

ORIENTADOR: Dr. JOÃO DOS SANTOS CABRAL NETO

Manaus – AM

2023

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

---

B327s Bastos, Kleber da Luz.

Uma sequência didática para o ensino do modelo padrão / Kleber da Luz Bastos. – Manaus, 2023.

177 p. : il. color.

Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ensino Tecnológico). – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus* Manaus Centro, 2023.

Orientador: Prof. Dr. João dos Santos Cabral Neto.

1. Ensino de física. 2. Ensino tecnológico. 3. Modelo padrão. 4. Aprendizagem significativa. I. Cabral Neto, João dos Santos. (Orient.) II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Título.

CDD 371.33

---

KLEBER DA LUZ BASTOS

UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DO MODELO PADRÃO

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Ensino Tecnológico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino Tecnológico.

Linha de Pesquisa: Alternativas mediadoras para a eficácia do ensino e aprendizagem em contextos tecnológicos.

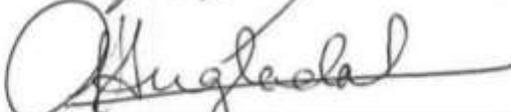
Aprovada em 15 de agosto de 2023

**BANCA EXAMINADORA**



---

Dr. João dos Santos Cabral Neto - Presidente (IFAM)



---

Dr. José Anglada Rivera - Membro Titular Interno (IFAM)



---

Dr. Fernando Fulgencio León Avila - Membro Titular Externo (UFAM)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço:

A Deus pelas incontáveis bênçãos;

Ao meu orientador pela parceria, dedicação e paciência na construção deste trabalho, sem o qual não seria possível;

Aos meus professores do PPGET por todo conhecimento;

Aos meus amados pais Nathan da Silva Bastos e Juraci Ferreira da Luz Bastos, minha esposa Roberta Costa Melo Bastos, meus filhos Ana Paula Melo Bastos e Renan Melo Bastos pelo incentivo durante a caminhada;

Aos meus colegas professores do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Amazonas pela motivação constante;

Aos colegas de mestrado pelas colaborações e parcerias no estudo.

## RESUMO

Ensinar Física é um desafio enfrentado por muitos professores nos vários níveis de ensino e modalidades. A natureza do desafio tem dois elementos que têm sido discutidos por vários pesquisadores que estudam o ensino de física: (1) a complexidade das teorias da Física e (2) o processo de ensino e aprendizagem de conhecimentos da Física. Esse cenário parece intensificar-se quando tratamos de conceitos do campo da Física Moderna e Contemporânea, em que a Mecânica Quântica, Mecânica Relativística e a Teoria Quântica de Campos ditam as discussões sobre matéria, seus constituintes e as interações envolvidas. Desse fantástico universo de teorias, leis e conceitos oriundos de um processo de construção (humana) do conhecimento surge o Modelo Padrão. Esse modelo organiza as partículas elementares de acordo com suas propriedades na forma de uma tabela, que por muitos é considerada a Tabela Periódica da Física. Para contribuir com ações inovadoras de modo que os estudantes possam ter melhor compreensão sobre a estrutura da matéria, esta pesquisa propôs investigar como o ensino do Modelo Padrão pode contribuir para esta aprendizagem, seguindo a teoria cognitivista da Aprendizagem Significativa como metodologia. Utilizando a pesquisa qualitativa como estrutura e fundamentação epistemológica da pesquisa-ação do tipo estratégica dentro de um processo cíclico, 5 unidades de ensino foram idealizadas seguindo metodologias ativas, com implementação através de uma sequência didática, sendo a base do produto educacional. Como instrumentos de coleta de dados, o uso de questionários e a sistematização da aprendizagem pós roteiro de atividades práticas, foram seguidos pela observação dos resultados pretendidos, segundo a verificação de desempenho pela rubrica. Afirma-se então que segundo os resultados da pesquisa, o material utilizado se conectou com a estrutura cognitiva do aprendiz de modo relevante, e que o aprendiz de um modo não arbitrário e não literal relacionou suas ideias ancoras com as atividades de aprendizagem, indicando indícios de aprendizagem mais significativa. Como resultados apontamos que a identificação de conceitos é necessária para o conhecimento do MP, a organização e planejamento de ações de ensino e aprendizagem, o uso de recursos tecnológicos com experimentos que mostrem a forma de como se investiga a estrutura da matéria e os jogos no ensino, são facilitadores do processo.

**Palavras chaves:** Ensino de Física, Modelo Padrão, Aprendizagem Significativa.

## **ABSTRACT**

Teaching Physics is a challenge faced by many teachers at various levels of education and modalities. The nature of the challenge has two elements that have been discussed by several researchers who study the teaching of physics: (1) the complexity of the theories of physics and (2) the process of teaching and learning knowledge of physics. This scenario seems to intensify when we deal with concepts from the field of Modern and Contemporary Physics, in which Quantum Mechanics, Relativistic Mechanics and Quantum Field Theory dictate the discussions about matter, its constituents and the interactions involved. From this fantastic universe of theories, laws and concepts arising from a process of (human) construction of knowledge arises the Standard Model. This model organizes elementary particles according to their properties in the form of a table, which by many is considered the Periodic Table of Physics. To contribute with innovative actions so that students can have a better understanding of the structure of the matter, this research proposed to investigate how the teaching of the Standard Model can contribute to this learning, following the cognitivist theory of Meaningful Learning as a methodology. Using qualitative research as a structure and epistemological foundation of action research of the strategic type within a cyclical process, 5 teaching units were idealized following active methodologies, with implementation through a didactic sequence, being the basis of the educational product. As data collection instruments, the use of questionnaires and the systematization of learning after the script of practical activities were followed by the observation of the intended results, according to the verification of performance by the rubric. It is then stated that according to the results of the research, the material used connected with the cognitive structure of the learner in a relevant way, and that the learner in a non-arbitrary and non-literal way related his anchor ideas with the learning activities, indicating indications of more significant learning. As results we point out that the identification of concepts is necessary for the knowledge of the MP, the organization and planning of teaching and learning actions, the use of technological resources with experiments that show the way of investigating the structure of the matter and the games in teaching, are facilitators of the process.

**Keywords:** Physics Teaching. Standard Model. Meaningful Learning.

## **LISTA DE ABREVIACÕES**

Ensino de Física – (EF)

Modelo Padrão – (MP)

Aprendizagem Significativa – (AP)

Física Moderna e Contemporânea – (FMC)

Física de Partículas Elementares – (FPE)

Base Nacional Comum Curricular – (BNCC)

Diretrizes Curriculares Nacionais – (DCN)

Parâmetros Curriculares Nacionais – (PCN)

Organização Europeia de Pesquisas Nucleares – (CERN)

Tecnologias de Informação e Comunicação – (TIC)

Programa Nacional do Livro e do material Didático – (PNLD)

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Amazonas - Campus Manaus Centro –  
(IFAM-CMC)

Mestrado Profissional em Ensino Tecnológico – (MPET)

## LISTA DE FIGURAS

|  |     |
|--|-----|
| Figura 1: Diagrama com as competências gerais da BNCC para Educação Básica.....      | 21  |
| Figura 2: Diagrama com as competências específicas da BNCC para o Ensino Médio. .... | 23  |
| Figura 3: Código alfanumérico das habilidades.....                                   | 24  |
| Figura 4: Comparativo para RS segundo o quadro 1 .....                               | 28  |
| Figura 5: Organização familiar das partículas.....                                   | 40  |
| Figura 6: Interação radioativa com o núcleo atômico .....                            | 43  |
| Figura 7: Mapa conceitual descrevendo o modelo padrão.....                           | 49  |
| Figura 8: Representação das famílias das partículas elementares e mediadoras.....    | 51  |
| Figura 9: Esquema do Alinhamento Construtivo.....                                    | 65  |
| Figura 10: Estrutura taxonômica SOLO.....  | 66  |
| Figura 11: Ciclo da pesquisa-ação.....   | 72  |
| Figura 12: Levantamento dos conhecimentos prévios .....                              | 79  |
| Figura 13: Percentuais de acertos para respostas da Questão 2.....                   | 80  |
| Figura 14: Percentuais de acertos para respostas da Questão 3.....                   | 81  |
| Figura 15: Alguns alunos em atividade de aprendizagem – Aula 3.....                  | 84  |
| Figura 16: Alguns alunos em atividade de aprendizagem – Aula 4.....                  | 87  |
| Figura 17: Algumas das repostas dos alunos envolvendo a Questão 5 .....              | 88  |
| Figura 18: Algumas das repostas dos alunos envolvendo a questão 6 .....              | 89  |
| Figura 19: Algumas das repostas dos alunos envolvendo a Questão 7 .....              | 89  |
| Figura 20: Uso de simulador para compreensão de carga elétrica .....                 | 90  |
| Figura 21: Atividade de ensino – Aula 6.....   | 92  |
| Figura 22: Atividade de aprendizagem – Aula 7.....                                   | 93  |
| Figura 23: Alguns alunos em atividade de aprendizagem – Aula 7.....                  | 96  |
| Figura 24: Algumas das repostas dos alunos para as Questões 7,9 e 11. ....           | 97  |
| Figura 25: Algumas das repostas dos alunos para as Questão 13.....                   | 98  |
| Figura 26: Exemplo de cartas léptons .....   | 100 |
| Figura 27: Exemplo de carta quark charm .....  | 101 |
| Figura 28: Artefato representativo da partícula elementar Glúon.....                 | 102 |
| Figura 29: Atividade de aprendizagem - Aula 9 .....                                  | 103 |
| Figura 30: Percentual de acerto para resposta da Questão 5 .....                     | 105 |
| Figura 31: Percentual de acerto para resposta da Questão 7 .....                     | 105 |
| Figura 32: Percentual de acerto para resposta da Questão 9 .....                     | 106 |

## LISTA DE TABELAS

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 1: Competências específicas das Ciências da Natureza e suas Tecnologias .....          | 24  |
| Tabela 2: Algumas propriedades de partículas e suas antipartículas. ....                      | 36  |
| Tabela 3: Tipos de quarks. ....   | 42  |
| Tabela 4: Propriedades das partículas mediadoras e sua relação com os tipos de interação..... | 44  |
| Tabela 5: Algumas das respostas dos alunos envolvendo a questão Q1 .....                      | 80  |
| Tabela 6: Algumas das respostas dos alunos envolvendo a Questão 4 .....                       | 81  |
| Tabela 7: Resultados parciais do questionário prévio .....                                    | 82  |
| Tabela 8: Percentual de respostas da atividade de aprendizagem (descoberta dos objetos) ..... | 83  |
| Tabela 9: Percentual de respostas para sistematização do ensino .....                         | 83  |
| Tabela 10: Respostas da atividade de aprendizagem .....                                       | 85  |
| Tabela 11: Algumas das respostas dos alunos envolvendo a questão 1 .....                      | 85  |
| Tabela 12: Atividade de aprendizagem - resultados percentuais das questões .....              | 87  |
| Tabela 13: Atividade de aprendizagem - resultados percentuais das questões .....              | 88  |
| Tabela 14: Atividade de aprendizagem – resultados para razão q/m do elétron .....             | 91  |
| Tabela 15: Sistematização do ensino .....   | 91  |
| Tabela 16: Identificação e classificação das partículas .....                                 | 93  |
| Tabela 17: Sistematização do ensino .....   | 94  |
| Tabela 18: Algumas das respostas dos alunos para as Questões 1 e 2. ....                      | 94  |
| Tabela 19: Algumas das respostas dos alunos para as Questões 3.....                           | 94  |
| Tabela 20: Sistematização do ensino .....   | 96  |
| Tabela 21: Sistematização do ensino .....   | 97  |
| Tabela 22: Sistematização do ensino .....   | 98  |
| Tabela 23: Algumas das respostas dos alunos para questão 1 do questionário final.....         | 103 |
| Tabela 24: Algumas das respostas dos alunos para questão 3 do questionário final.....         | 104 |
| Tabela 25: Algumas das respostas dos alunos para questão 8 do questionário final.....         | 106 |

## LISTA DE QUADROS

|   |    |
|---|----|
| Quadro 1: Resultados da revisão sistemática .....   | 15 |
| Quadro 2: Perguntas feitas aos trabalhos selecionados por meio da revisão sistemática.....  | 16 |
| Quadro 4: Competências Geral e Específicas como envoltório da FPE. ....                     | 25 |
| Quadro 5: Matriz de referência para o ensino de FPE no Ensino Médio. ....                   | 28 |
| Quadro 6: Componentes da Unidade I .....  | 75 |
| Quadro 7: Componentes da Unidade II .....   | 76 |
| Quadro 8: Componentes da Unidade III .....  | 76 |
| Quadro 9: Componentes da Unidade IV .....   | 77 |
| Quadro 10: Componentes da unidade V .....   | 78 |
| Quadro 11: Perguntas feitas aos trabalhos selecionados por meio da revisão sistemática..... | 80 |

## SUMÁRIO

|  |            |
|--|------------|
| <b>INTRODUÇÃO .....</b>  | <b>13</b>  |
| <b>1. Estrutura da Matéria: uma síntese da Física de Partículas Elementares (FPE).....</b> | <b>20</b>  |
| 1.1. Matriz de referência .....  | 20         |
| 1.2. Por que ensinar FPE? .....  | 29         |
| 1.3. Pressupostos da FPE .....   | 32         |
| 1.4. Partículas mediadoras ou virtuais .....   | 44         |
| 1.5. Como são produzidas e detectadas as partículas elementares?.....                      | 46         |
| 1.6. O Modelo Padrão .....   | 48         |
| 1.7. Elementos Basilares .....   | 51         |
| <b>2. Ensino de Física no Contexto Tecnológico .....</b>                                   | <b>53</b>  |
| <b>3. Sequência didática no contexto da Aprendizagem Significativa .....</b>               | <b>59</b>  |
| 3.1. Pressupostos da Aprendizagem Significativa .....                                      | 59         |
| 3.2. Sequência didática .....  | 61         |
| 3.3. Planejamento do Ensino.....   | 64         |
| <b>4. Itinerário da Pesquisa .....</b>   | <b>68</b>  |
| 4.1. Sujeitos da pesquisa .....  | 68         |
| 4.2. Pesquisa-ação .....   | 69         |
| 4.3. Coleta de dados .....   | 72         |
| 4.4. Análise dos dados .....   | 72         |
| 4.5. Etapas de elaboração, aplicação e avaliação da pesquisa .....                         | 72         |
| <b>5. Implementação da Sequência Didática .....</b>  | <b>74</b>  |
| <b>6. Resultados e discussões .....</b>  | <b>79</b>  |
| <b>Considerações finais .....</b>  | <b>108</b> |
| <b>Produto Educacional .....</b>   | <b>110</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>   | <b>112</b> |

## INTRODUÇÃO

As diretrizes educacionais do ensino de física para estudantes do Ensino Médio foram recentemente modificadas por meio da Base Nacional Curricular Comum (doravante BNCC), aprovada em 04 de dezembro de 2018. A modificação no programa oficial de ensino resulta na definição de novas competências e habilidades a serem desenvolvidas nos três anos desse nível de ensino (BRASIL, 2018).

Um das mudanças significativas produzida pela BNCC, devido fortemente ao seu caráter interdisciplinar, é a concepção de componente curricular. Nas diretrizes educacionais dos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCN) havia a clara possibilidade da existência da disciplina de Física na matriz escolar como componente exclusivamente destinado ao ensino da Física (um componente com carga horária média de 3h por semana para cada ano ou série). Isso refletia no Plano Nacional do Livro e Material Didático (PNLD) de modo que se produziam livros didáticos dedicados a um determinado componente curricular, havia o livro de Física de cada ano ou série.

Recentemente, foram disponibilizados os livros didáticos aprovados no PNLD 2021 (BRASIL, sob a perspectiva da BNCC, e é visível a mudança no modo como são apresentados os conteúdos da Física (e dos outros campos do conhecimento). Não há mais o livro de Física, mas temas tratados sob a luz da Física apresentados na forma de unidades temáticas. Portanto, a concepção de componente curricular exclusivamente de física requererá revisão, porque talvez tenhamos a presença de vários professores num mesmo componente curricular concomitantemente ou em momentos distintos. Essa não é a única mudança ou a principal mudança, contudo, do ponto de vista da prática docente, nota-se que exigirá também do professor uma mudança de concepção de componente curricular, além é claro, mudança na práxis docente, assunto que ainda abordaremos nesta proposta de projeto.

Somada à complexidade dos aspectos didático-pedagógicos emergentes da BNCC temos aquelas do ensino de física, potencializadas no campo da Física Moderna e Contemporânea (FMC).

No ano de 1999, ou seja, há 23 anos já havia discussões a respeito da complexidade que envolve o ensino da FMC a começar pela carência de material em língua portuguesa de conteúdos que abordassem, por exemplo, a física de partículas elementares (OSTERMANN, 1999) cujo ensino para estudantes do Ensino Médio é objeto de estudo deste projeto de pesquisa. Seguindo isso, vários trabalhos foram desenvolvidos nos quais discutem-se, para além da

questão da falta de material instrucional, a importância da inserção da FMC no currículo do Ensino Médio (PINTO e ZANETIC, 1999; OSTERMANN e MOREIRA, 2001; SILVA, ARENGHI e LINO, 2013; BATISTA e SIQUEIRA, 2017) porque vê-se como um caminho para aproximar o conhecimento contemporâneo e sua aplicação tecnológica na vida dos estudantes. Aliás, a relação entre os estudantes e as tecnologias nos dias atuais é tão significativa que pode ser vista como uma experiência de imersão (OLIVEIRA; MAXWELL, 2021).

Marques et al (2019) aponta que nos dias atuais já não se faz mais necessário discussão sobre a inclusão da FMC no Ensino Médio tendo em vista a existência no documento normativo da educação brasileira, a BNCC, temáticas envolvidas com esse campo do conhecimento. Segundo os autores, há de se discutir agora sobre estratégias metodológicas, recursos para o ensino e aprendizagem em sala de aula e complementação na formação acadêmica dos professores, apesar das pesquisas apontarem um crescimento de propostas buscando uma maior interação dos professores com o tema.

Dentre as unidades temáticas da FMC com proposta de estudo introdutória apontada na BNCC temos a Física de Partículas Elementares (FPE), que se destaca pela contemporaneidade e aplicabilidade dos conhecimentos construídos nela em novas tecnologias. Por exemplo, a tomografia por emissão de pósitrons (PET – positron emission tomography) que proporciona diagnóstico mais preciso em pacientes com nódulos pulmonares. Por meio dos exames tradicionais que usam a radiográfica e a tomografia computadorizada é possível obter apenas informações anatômicas e morfológicas, mas com o PET é possível caracterizar se o nódulo é benigno ou maligno sem a necessidade de biópsia ou citologia de escarro. Compostos biológicos contendo marcadores como o carbono-11, nitrogênio-13, oxigênio-15 ou flúor-18 (átomos isótopos instáveis), que emitem pósitrons. Estes compostos ao penetrar produzem reações físico-químicas emitindo pósitrons que no processo de aniquilação através dos elétrons há emissão de fótons com energia de 511KeV, permitindo localizar a interação pósitron-elétron e, assim, gerar imagens por processamento computacional (TERRA FILHO, 2000).

No ano de 2019 tivemos a oportunidade de participar da Escola de Física do CERN<sup>1</sup> (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire – Conselho Europeu para Pesquisa Nuclear, recentemente renomeado de European Laboratory for Particle Physics) e conhecemos a maior

---

<sup>1</sup> O CERN utiliza um conjunto de 6 aceleradores cujo mais famoso é o LHC com 27 Km de circunferência a 100 metros de profundidade. As partículas são aceleradas por cerca de 20 minutos até atingir a energia e velocidades necessárias para na colisão entre elas produzam os efeitos desejados. O LHC comporta 4 detectores: ATLAS (*A Toroidal LHC Apparatus*), CMS (*Compact Muon Detector*), LHCb (*LHC beauty*) e ALICE (*A Large Ion Collider Experiment*) (KNEUBIL, 2013).

e mais complexa máquina já construída pelo homem o LHC (Large Hadron Collider) para pesquisa no campo da FPE. Suas instalações são utilizadas por 70 países e 12 mil cientistas têm desenvolvido pesquisas para desvendar os mistérios da estrutura da matéria. O Brasil conta com 140 pesquisadores participando de experimentos dessa natureza, e junto com Portugal desenvolve o projeto Escola do CERN que leva professores da rede básica de ensino, da área da Física, para aproximá-los da vanguarda de pesquisas na FPE e fomentar a criação de projetos educacionais e científicos nesse campo da Física.

A experiência vivenciada no CERN e a trajetória percorrida na docência como professor de Física da educação básica nos impeliram à construção desta pesquisa, que surge da interação do novo conhecimento com a práxis docente para soluções integradoras nos diferentes processos do ensino e aprendizagem, envolvendo a FPE para estudantes do Ensino Médio. E para isso, consideramos a necessidade de buscar na literatura quais iniciativas já foram implementadas no processo ensino e aprendizagem da FPE para estudantes do Ensino Médio.

Utilizando-se de uma revisão sistemática<sup>2</sup>, consultando as bases de dados Scopus e Scielo, acessadas por meio do Portal Periódicos Capes, e o site de busca Google Acadêmico, esta pesquisa procurou conhecer o cenário em que a FPE tem sido trabalhada e, assim, foram pré-selecionados 72 publicações que continham no título do trabalho ou no resumo a *string* (usando o operador booleano *AND*): “física moderna e contemporânea AND ensino de física”, “física de partículas elementares AND ensino de física” e “física moderna e contemporânea AND física de partículas”, procurando identificar na leitura dos artigos quais dificuldades foram relatadas sobre o processo de ensino e aprendizagem da FPE, estratégias e recursos implementados e evidências de aprendizagem. O estudo ainda contou com as seguintes questões norteadoras que visam auxiliar a coleta de dados: (1) “Que tipo de dificuldades são relatadas nos trabalhos?”, (2) “Quais estratégias ou recursos foram implementados?” e (3) “Quais as evidências de aprendizagem?”. Além disso, adotamos os seguintes critérios de exclusão: (1) qualis da revista inferior a B, (2) publicação do ano inferior a 2016, (3) idioma Português, (4) público de estudantes do Ensino Médio, (5) evidência de intervenção e (6) avaliação da aprendizagem. Portanto, das 72 publicações pré-selecionadas foram separados 14 trabalhos apresentados no quadro 1.

Quadro 1: Resultados da revisão sistemática

| Evidência | Freq. |
|-----------|-------|
|-----------|-------|

<sup>2</sup> Para realizar busca por evidências capazes de justificar a proposta de pesquisa pode-se recorrer a revisão sistemática, que é um tipo de estratégia de levantamento de evidências para responder uma questão norteadora (SAMPAIO; MANCINI, 2007).

|                                   |  |   |
|-----------------------------------|--|---|
| <b>Dificuldade</b>                | Necessidade de inserção de tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) na educação básica.   | 6 |
|                                   | Necessidade de aplicação de metodologias para ensinar Física de altas energias, abordando a temática de Física de Partículas Elementares | 4 |
|                                   | Não utilização de laboratório, mídias e aplicativos com conceitos da física moderna, pela falta de investimentos nas escolas públicas.   | 2 |
|                                   | Não compreensão satisfatória de conteúdos científicos  | 2 |
| <b>Estratégia</b>                 | Sequência de Ensino Aprendizagem (SEA).  | 5 |
|                                   | Atividades lúdicas.  | 3 |
|                                   | Laboratório, Simulador virtual.  | 3 |
|                                   | Questionários, linha do tempo, mapa conceitual.  | 2 |
| <b>Evidências de Aprendizagem</b> | Videokonferência.  | 1 |
|                                   | Indícios de aprendizagem significativa.  | 7 |
|                                   | Aceno positivo quanto a reflexão dos alunos no estudo, com lacunas no não aprofundamento do conhecimento.                                | 2 |
|                                   | Aprendizado supostamente proporcionado mais sem avaliação concreta do conhecimento com aplicação metodológica bem sucedida.              | 2 |
|                                   | Discreta melhora no entendimento a respeito dos conteúdos abordados.   | 2 |
|                                   | Obstáculos que apontaram uma forma de pensar limitada ou precipitada com extrapolação das conclusões.                                    | 1 |

Fonte: Autoria própria.

Observando os dados apresentados no quadro 1<sup>3</sup> vemos com maiores evidências quanto às dificuldades enfrentadas a inserção de tópicos de FMC e o uso de metodologias para seu ensino. As ideias apresentadas como estratégia misturam-se com os recursos usados no ensino e aprendizagem exceto os casos que trabalham com sequência de ensino ou didática. Já a avaliação da aprendizagem da maioria dos artigos acena para um processo de ensino e aprendizagem baseado na Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel.

Além da observância de questões que envolvem o processo de ensino e aprendizagem, a revisão sistemática também procurou identificar quais conceitos são evidenciados em trabalhos envolvendo a FPE, que fizemos observando o quadro 2. As respostas das perguntas nesse quadro têm caráter dicotômico, ou seja, “sim” quando se evidencia um determinado conceito e caso contrário “não”.

Quadro 2: Perguntas feitas aos trabalhos selecionados por meio da revisão sistemática.

| <b>Perguntas</b>   |
|--|
| 1) O tema é apresentado no contexto da Física Moderna ou Física Moderna e Contemporânea?   |
| 2) A discussão do tema parte de uma questão norteadora? (Tal como: do que todas as coisas são feitas?)   |
| 3) Historiciza, mesmo que brevemente, o processo de compreensão do que é o átomo?  |
| 4) Define o que é partícula elementar?   |
| 5) Apresenta o modo experimental utilizado para a detecção de partículas subatômicas? (câmara de bolhas, câmara de nuvens, detectores de traços, calorímetros eletromagnéticos, hadrônicos e câmara de múons (CERN). |

<sup>3</sup> A revisão sistema implementada, com todos os detalhes, está formatada num texto que encontra-se em fase de finalização com vistas à publicação.

|   |
|---|
| 6) Estabelece relação entre as descobertas das partículas subatômicas com os seguintes princípios de conservação?   |
| a) Conservação do momento linear.   |
| b) Conservação da energia cinética.   |
| c) Conservação da carga elétrica.   |
| d) Conservação da massa.  |
| 7) Identifica propriedades atribuídas às partículas subatômicas?  |
| a) Carga elétrica.  |
| b) Massa.   |
| c) Spin.  |
| d) Estranheza.  |
| 8) Explica o que é uma antipartícula?   |
| 9) Apresenta os léptons como uma família de partículas elementares na qual o elétron faz parte?   |
| 10) Apresenta os quarks como partículas elementares?  |
| 11) Identifica os vários tipos de quarks e suas propriedades?   |
| 12) Apresenta a família dos hádrons com sendo composta de dois outros grupos chamados bárions e mésons?   |
| 13) Identifica partículas subatômicas que pertencem ao grupo dos bárions e algumas de suas propriedades? (Por exemplo, prótons e nêutrons, as mais familiares.) |
| 14) Identifica propriedades atribuídas aos que pertencem ao grupo dos mésons?   |
| 15) Especifica quais são as interações fundamentais da natureza?  |
| 16) Faz distinção entre partículas reais e partículas virtuais?   |
| 17) Identifica as partículas virtuais?  |
| a. Fótons.  |
| b. Glúons.  |
| c. Partículas W e Z.  |
| d. Grávitons.   |
| 18) Estabelece relação de causa e efeito entre as forças fundamentais e as partículas virtuais?   |
| 19) Menciona a importância da descoberta do bóson de Higgs para a validação do Modelo Padrão?   |
| 20) Apresenta o Modelo Padrão, o modo como estão classificadas as partículas subatômicas?   |

Fonte: Autoria própria.

Em síntese<sup>4</sup>, os resultados observados evidenciam que na discussão da FPE ora acontece no contexto da Física Moderna, ora no contexto da Física Moderna e Contemporânea. Domingui (2012, p. 1) considera que a Física Moderna e Contemporânea “tem como principal campo de estudo as partículas subatômicas”. As discussões neste trabalho tendem a partir de uma questão norteadora do tipo da pergunta 2 do quadro 2. O modo experimental utilizado para a detecção de partículas elementares é outro fato observado nos trabalhos, que geralmente, está associado à tecnologia dos aceleradores de partículas e seus detectores. Ainda mais fundamental que esses aspectos temos as forças fundamentais da natureza e recebem menos destaque nos trabalhos, assim como, o Modelo Padrão (perguntas 15 e 20 do quadro 2). Quanto aos outros aspectos advindos do quadro 2, quase não são tratados. Percebe-se que pouco se discute sobre a FPE no Ensino Médio como elemento de estudo, facilitador e integrador do conhecimento na compreensão da Física; propostas inovadoras e ativas sobre a Física Moderna e Contemporânea e seus subtemas como a FPE, campo desta pesquisa, parecem escassas. É necessário que novos

<sup>4</sup> Estes mesmos aspectos foram estudados no contexto do livro didático de Física aprovados no Plano Nacional do Livro e Material Didático de 2018 e 2021, que encontra-se em fase final da construção do texto com vistas à publicação.

caminhos sejam percorridos, que novos projetos de pesquisa sejam deliberados, de modo que a inclusão efetiva da FMC, em particular da FPE, possa trazer uma melhor compreensão das leis da Física.

Várias lacunas podem ser observadas relativas ao processo de ensino e aprendizagem da FPE evidenciada pela revisão implementada. Associando a isso a experiência do pesquisador e a de professor de Física de escola pública, o interesse por estudos no campo da FPE e a fabulosa experiência vivenciada no CERN surge esta pesquisa onde se procura responder: como o estudo sobre o Modelo Padrão com alunos do Ensino Médio pode promover a aprendizagem de conceitos capazes de subsidiá-los na compreensão de matéria e forças da natureza?

Para responder esta pergunta, foi desenvolvida esta pesquisa no contexto do processo de ensino e aprendizagem, baseado em uma metodologia de ensino capaz de subsidiar as ações didático-pedagógicas. Entretanto, por tratar-se de um trabalho de cunho científico, que exige o estabelecimento de roteiro capaz de validá-lo com esse caráter, adotar-se-á a pesquisa ação como fundamentação teórica de pesquisa.

Por outro lado, entende-se que ser professor implica na busca de adaptação em atendimento a uma formação plena em crescimento, na qual a inclusão da pesquisa como princípio científico e educativo corrobora na construção do novo a partir do que já se sabe, com reestruturação do conhecimento no entrelaçamento entre a teoria e a prática. O presente trabalho teve como objetivo elaborar uma sequência didática utilizando metodologia de ensino que favoreça a aprendizagem de conceitos da Física para subsidiar alunos do Ensino Médio na compreensão de matéria e forças da natureza, buscando desenvolver habilidades e competências com ações inovadoras e reflexivas em atendimento às transformações que vivemos.

No Capítulo 1 desta dissertação traremos uma contextualização histórica sobre a evolução dos modelos atômicos clássicos com transição para os modelos atômicos e modernos. Também iremos propor uma busca pelo entendimento conceitual de partícula elementar e suas características. No Capítulo 2 damos ênfase sobre o ensino de física no contexto tecnológico procurando versar sobre as transformações ocorridas no século XXI e sobretudo os avanços que nos permitiram a utilização das novas tecnologias no ensino.

No Capítulo 3 contextualizamos a teoria educacional cognitivista de David Ausubel e seus pressupostos para a aprendizagem significativa, apresentando a metodologia de ensino, planejamento e organização para os resultados pretendidos da aprendizagem. No Capítulo 4 apresentamos a metodologia de pesquisa em um itinerário descritivo das ações realizadas, o itinerário da pesquisa no Capítulo seguinte, resultados e discussões no subsequente e as considerações finais.



## **1. Estrutura da Matéria: uma síntese da Física de Partículas Elementares (FPE)**

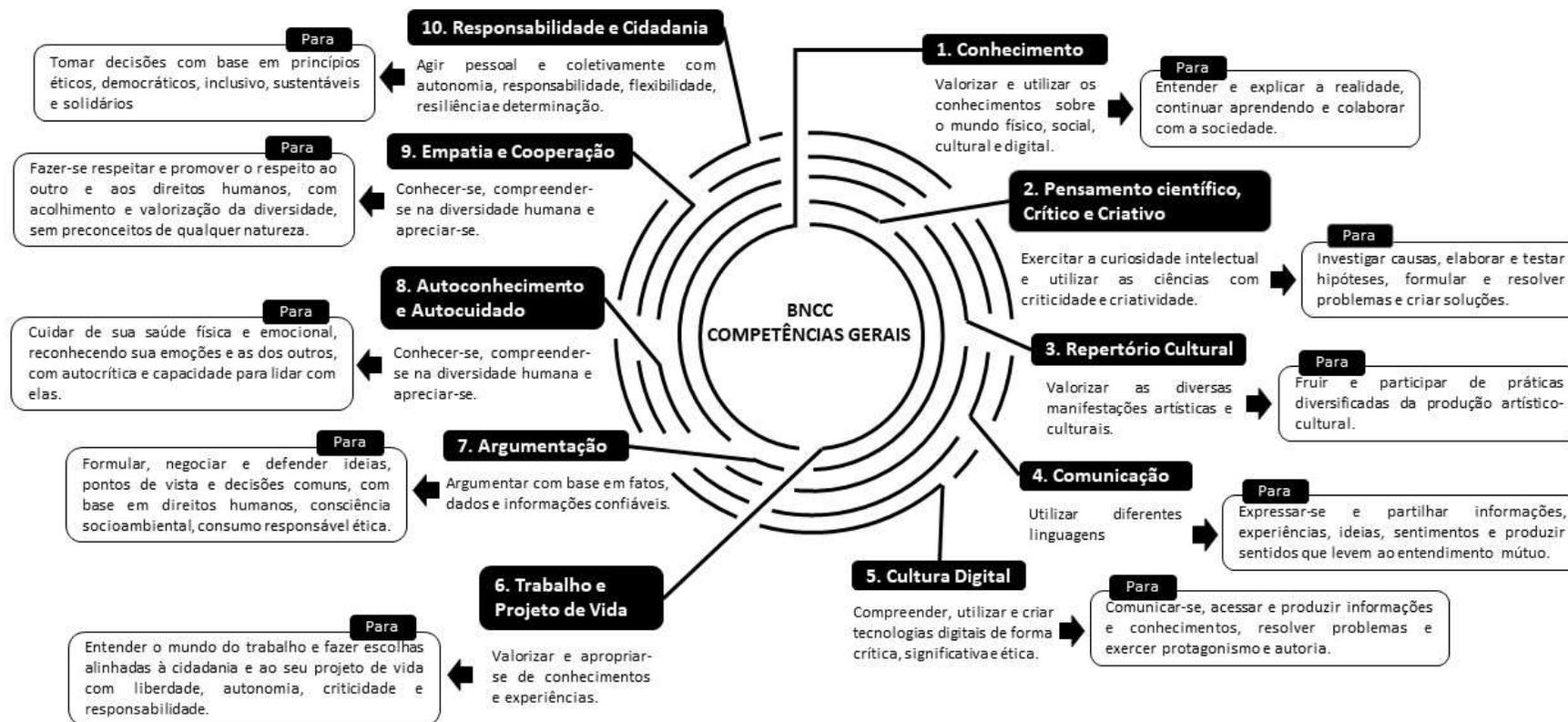
A questão que nos trouxe ao conhecimento denominado de Física de Partículas Elementares (FPE) remonta o período da Grécia antiga quando dois personagens bastante difundido nas aulas de Ciências, falamos de Leucipo (500 a.C. – 420 a.C.) e Demócrito (460 a.C. – 380 a.C.), postularam que a matéria seria formada por partículas discretas, indivisíveis e invisíveis. Vários outros personagens participaram e têm participado da busca para compreender do que a matéria é feita, no seu nível mais fundamental, e a cada passo dado, aprende-se o quão complexa é a natureza e os elementos que a constituem. Foi necessário sair de uma simples concepção geométrica de átomo à Teoria Quântica de Campos.

No contexto em que essa pesquisa foi desenvolvida, em turma de estudantes do 3º ano do Ensino Médio, questionamos: quais conteúdos da FPE devem ser abordados com esse público? Que relevância há no ensino de FPE para a formação na Educação Básica? A seguir apresentamos argumentos que evidenciam a resposta a essas perguntas.

### **1.1. Matriz de referência**

A etapa do Ensino Médio proposta na BNCC visa a universalização de conhecimentos adquiridos no Ensino Fundamental e responder às demandas e aspirações presentes e futuras dos envolvidos na Educação Básica. Para isso, ela se organiza na etapa do Ensino Médio com vistas ao desenvolvimento de competências ditas como gerais (veja Figura 1) e por áreas de conhecimento. No que concerne ao objeto de estudo desta pesquisa, temos a área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias.

Figura 1: Diagrama com as competências gerais da BNCC para Educação Básica.



Fonte: Adaptado de <http://www.luizrosa.com.br/novo-ensino-medio/bncc/>.

Em particular, na área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias busca-se promover

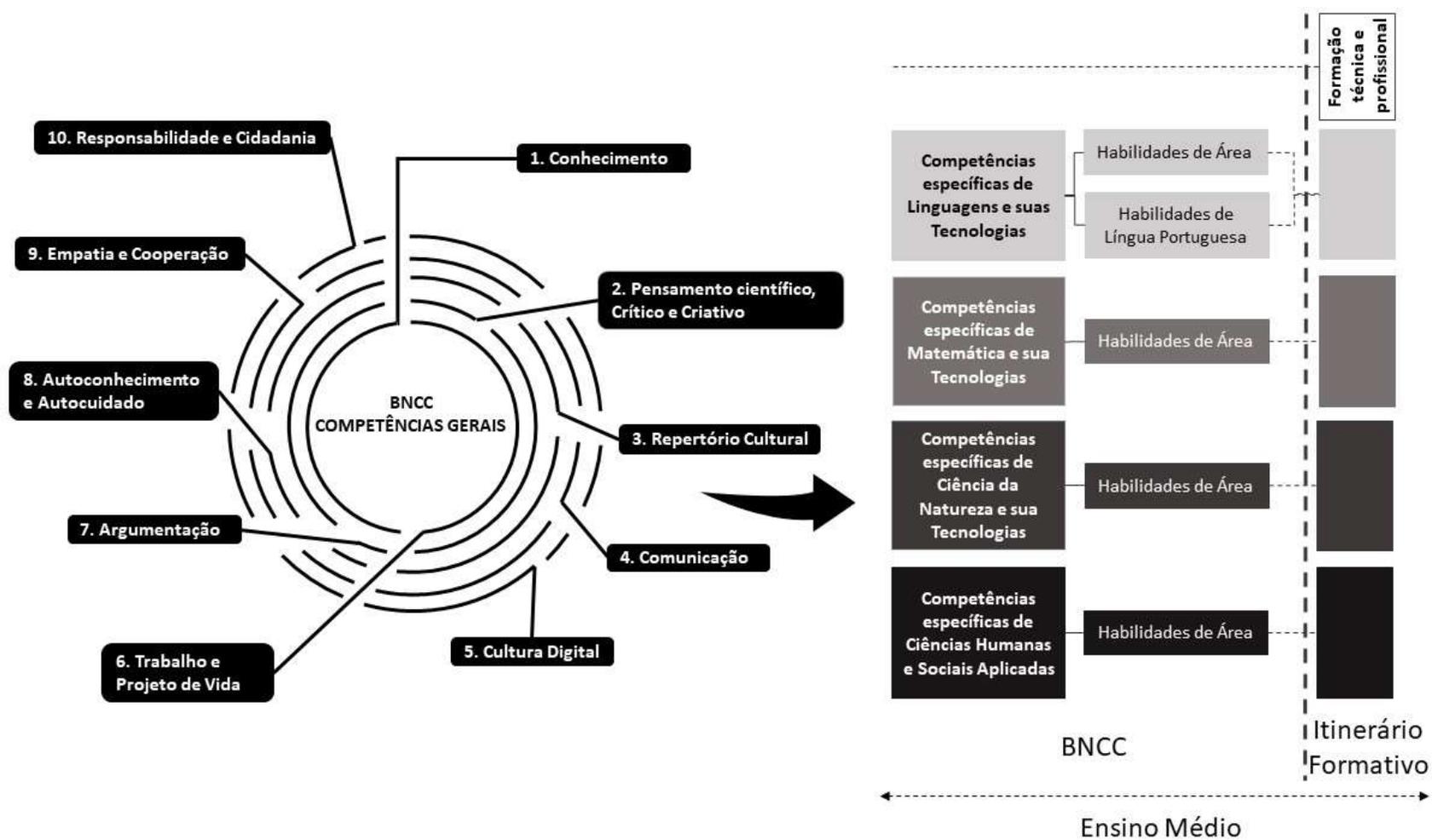
o

aprofundamento de conhecimentos estruturantes para aplicação de diferentes conceitos em contextos sociais e de trabalho, organizando arranjos curriculares que permitam estudos em astronomia, metrologia, física geral, clássica, molecular, **quântica** e mecânica, instrumentação, óptica, acústica, química dos produtos naturais, **análise de fenômenos físicos** e químicos, meteorologia e climatologia, microbiologia, imunologia e parasitologia, ecologia, nutrição, zoologia, dentre outros, considerando o contexto local e as possibilidades de oferta pelos sistemas de ensino (BRASIL, 2018, p.477) (grifo nosso).

Pode-se observar que na concepção desta área destacam-se de temas da Física e são considerados estruturantes, por exemplo, a mecânica quântica e a teoria da relatividade e suas relações com a estrutura da matéria. Os conhecimentos envolvendo a Física, sistematizados em leis, teorias, princípios e modelos, têm como envoltório as competências específicas (Figura 2).

Nesse diagrama da figura 2 se apresenta as competências gerais da educação básica que são trabalhadas no processo de ensino e aprendizagem, por meio do desenvolvimento das competências específicas. Para cada área de conhecimento são definidas competências específicas, articuladas àquelas desenvolvidas no Ensino Fundamental, que orientam as proposições curriculares.

Figura 2: Diagrama com as competências específicas da BNCC para o Ensino Médio.



Fonte: Adaptado de Brasil (2018).

Apresentamos as competências específicas de Ciências da Natureza e suas Tecnologias no quadro 2.

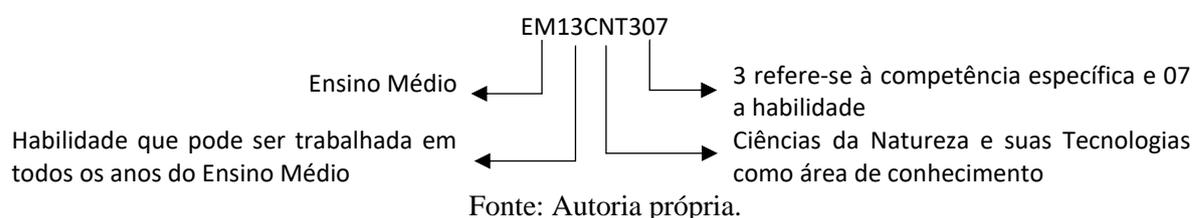
Tabela 1: Competências específicas das Ciências da Natureza e suas Tecnologias

|                          |  |
|--------------------------|--|
| Competência Específica 1 | Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global.   |
| Competência Específica 2 | Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis.  |
| Competência Específica 3 | Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC). |

Fonte: Brasil (2018).

Relacionadas a cada competência específica têm-se as habilidades. Na área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias encontramos 26 (vinte e seis) habilidades, que são identificadas por código alfanumérico do tipo mostrado na figura 3.

Figura 3: Código alfanumérico das habilidades.



Mas, antes de estabelecer relação entre as competências gerais com as específicas e as habilidades a serem desenvolvidas é necessário termos em mente quais conteúdos são abordados pela FPE no Ensino Médio. Segundo Fracalanza (2003), de um modo geral o principal referencial bibliográfico de apoio para o planejamento das aulas pelo professor é o livro didático; Neto e Fracalanza (2003) do aprendizado dos alunos (NETO; FRACALANZA, 2003); para Silva (2012) e Artuso (2019) pode ser um recurso didático que auxilia o trabalho do professor em sala de aula.

Para o Plano Nacional do Livro e Material Didático de 2021 (PNLD 2021) foram aprovadas 06 (seis) coleções de livros didáticos para o Ensino Médio. Estes livros estão sendo distribuídos gratuitamente às escolas públicas das redes estadual e federal. Neles encontramos o Manual do Professor, que faz descrição dos conteúdos a serem ministrados e a forma como

estão organizados. Várias orientações são discutidas que auxiliam o professor no planejamento (incluindo cronograma de aulas) e execução das aulas (BRASIL, 2021). Com o advento da BNCC, os livros didáticos têm um viés interdisciplinar e o manual auxilia o professor com questões teórico-metodológicas e didático-pedagógicas. Portanto, para identificar quais conteúdos da FPE são abordados usaremos o livro didático como fonte capaz de evidenciá-los.

Das coleções que constam na lista dos aprovados do PNLD 2021 a coleção de autoria de Amabis *et al* (2020), codificado com o número 0198P21203 no PNLD 2021, foi a escolhida para servir de referencial a professores e estudantes na escola pública onde desenvolvemos esta pesquisa. Ao analisar essa coleção, identificamos 02 (dois) capítulos com conteúdo da FPE no volume Universo e Evolução, cujos temas são: Noções de Física Quântica e Física Nuclear (capítulo 8 com 10 páginas) e Radioatividade (capítulo 11 com 8 páginas).

O livro apresenta uma seção intitulada “Por dentro da BNCC”, na qual encontram-se descritos os objetivos, justificativa, competências e habilidades a serem desenvolvidas com uso do volume Universo e Evolução, e mostramos essas informações no quadro 4 do que tange a FPE.

Quadro 3: Competências Geral e Específicas como envoltório da FPE.

| Objetivos, Justificativas, Competências e Habilidades da BNCC   |  |          |
|---|--|----------|
| Este volume aborda a visão científica atual sobre a origem do Universo e a formação de estrelas e planetas. Também trata do surgimento e da evolução da vida na Terra, mencionando a composição química das principais biomoléculas e algumas de suas características. Os estudantes poderão perceber relações entre diversos fenômenos universais, como o ciclo de vida das estrelas e a existência de diversos elementos químicos na Terra; propriedades da luz, sua emissão em estrelas e sua dualidade etc. Com isso, várias competências e habilidades da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) são mobilizadas e ajudam os estudantes a formar uma visão científica da história do Universo e da vida. Um dos benefícios do estudo das Ciências da Natureza é o conhecimento gerado que ajuda a responder dúvidas comuns da humanidade sobre nossas origens e aspectos do planeta e do Universo. Assim, esse volume justifica sua importância ao mostrar relações entre Ciência e sociedade, além de trazer muitas informações, atividades e relações que favorecem o entendimento da dinâmica da origem do Universo, da Terra, dos elementos químicos e da vida. |  |          |
| Competência Geral   | Habilidade   | Capítulo |
| Conhecimento  | Valorizar e utilizar os conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo físico, social, cultural e digital para entender e explicar a realidade, continuar aprendendo e colaborar para a construção de uma sociedade justa, democrática e inclusiva.  | 11       |
| Pensamento Científico, Crítico e Criativo   | Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos das diferentes áreas. | 8        |
| Autoconhecimento e Autocuidado  | Conhecer-se, apreciar-se e cuidar de sua saúde física e emocional, compreendendo-se na diversidade humana e reconhecendo suas emoções e as dos outros, com autocrítica e capacidade para lidar com elas  | 11       |
| Empatia e Cooperação  | Exercitar a empatia, o diálogo, a resolução de conflitos e a cooperação, fazendo-se respeitar e promovendo o respeito ao outro e aos direitos humanos, com acolhimento e valorização da diversidade de indivíduos e  | 11       |

|   | de grupos sociais, seus saberes, identidades, culturas e potencialidades, sem preconceitos de qualquer natureza.  |                 |
|---|---|-----------------|
| <b>Competência Específica 1</b>   |   |                 |
| Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global.  |   |                 |
| <b>Código</b>   | <b>Habilidade</b>   | <b>Capítulo</b> |
| EM13CNT101  | Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas.                             | 11              |
| EM13CNT103  | Utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, no ambiente, na indústria, na agricultura e na geração de energia elétrica.  | 11              |
| EM13CNT104  | Avaliar os benefícios e os riscos à saúde e ao ambiente, considerando a composição, a toxicidade e a reatividade de diferentes materiais e produtos, como também o nível de exposição a eles, posicionando-se criticamente e propondo soluções individuais e/ou coletivas para seus usos e descartes responsáveis.  | 11              |
| <b>Competência Específica 2</b>   |   |                 |
| Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis.   |   |                 |
| <b>Código</b>   | <b>Habilidade</b>   | <b>Capítulo</b> |
| EM13CNT202  | Analisar as diversas formas de manifestação da Vida em seus diferentes níveis de organização, bem como as condições ambientais favoráveis e os fatores limitantes a elas, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como <i>softwares</i> de simulação e de realidade virtual, entre outros).  | 8               |
| EM13CNT203  | Avaliar e prever efeitos de intervenções nos ecossistemas, e seus impactos nos seres vivos e no corpo humano, com base nos mecanismos de manutenção da Vida, nos ciclos da matéria e nas transformações e transferências de energia, utilizando representações e simulações sobre tais fatores, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como <i>softwares</i> de simulação e de realidade virtual, entre outros).  | 8 e 11          |
| EM13CNT209  | Analisar a evolução estelar associando-a aos modelos de origem e distribuição dos elementos químicos no Universo, compreendendo suas relações com as condições necessárias ao surgimento de sistemas solares e planetários, suas estruturas e composições e as possibilidades de existência de vida, utilizando representações e simulações, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como <i>softwares</i> de simulação e de realidade virtual, entre outros). | 8               |
| <b>Competência Específica 3</b>   |   |                 |
| Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC). |   |                 |
| <b>Código</b>   | <b>Habilidade</b>   | <b>Capítulo</b> |
| EM13CNT303  | Interpretar textos de divulgação científica que tratem de temáticas das Ciências da Natureza, disponíveis em diferentes mídias, considerando a apresentação dos dados, tanto na forma de textos como em equações, gráficos e/ou tabelas, a consistência dos argumentos e a coerência das conclusões, visando construir estratégias de seleção de fontes confiáveis de informações.  | 11              |
| EM13CNT304  | Analisar e debater situações controversas sobre a aplicação de conhecimentos da área de Ciências da Natureza (tais como tecnologias do  | 11              |

|            |   |    |
|------------|---|----|
|            | DNA, tratamentos com células-tronco, neuro tecnologias, produção de tecnologias de defesa, estratégias de controle de pragas, entre outros), com base em argumentos consistentes, legais, éticos e responsáveis, distinguindo diferentes pontos de vista.   |    |
| EM13CNT307 | Analisar as propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações (industriais, cotidianas, arquitetônicas ou tecnológicas) e/ou propor soluções seguras e sustentáveis considerando seu contexto local e cotidiano.  | 11 |
| EM13CNT309 | Analisar questões socioambientais, políticas e econômicas relativas à dependência do mundo atual em relação aos recursos não renováveis e discutir a necessidade de introdução de alternativas e novas tecnologias energéticas e de materiais, comparando diferentes tipos de motores e processos de produção de novos materiais. | 11 |

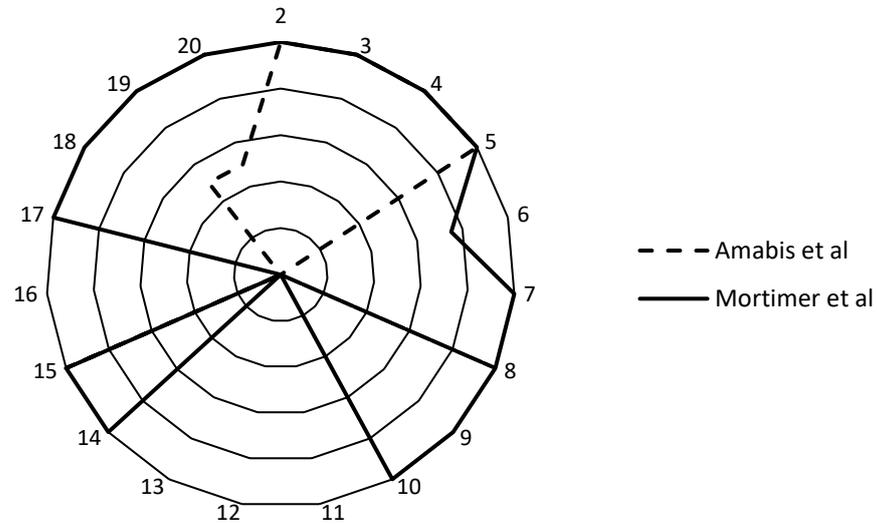
Fonte: Amabis et al (2020).

No quadro 4 faz-se associação entre as competências geral e específicas, habilidades e em quais capítulos do livro elas devem ser desenvolvidas. Cabe ressaltar que habilidade “são metas ou objetivos específicos a serem desenvolvidos, guiando o caminho para atingir as competências desejadas.” (AMABIS *et al*, 2020, p.XII).

Além dessas informações que orientam as ações do professor no processo de ensino e aprendizagem, precisamos conhecer os objetos de conhecimento da FPE contidos no livro didático. Para isso, analisamos Amabis *et al* (2020) para identificar quais conceitos são apresentados utilizando o quadro 2. O resultado evidencia que apenas 25,9% das perguntas levantadas receberam resposta “sim”. Se compararmos com outro livro didático aprovado no PNLD de 2021, por exemplo Mortimer et al (2020)<sup>5</sup> que alcançou 85,7% de resposta “sim”, podemos perceber significativa diferença de quantidade de conceitos. Isso exigirá do professor que ministrará FPE desprendimento para utilizar outros livros didáticos no planejamento e preparo de suas aulas. Na figura 4 mostramos essa comparação para cada uma das perguntas do quadro 2.

<sup>5</sup> Mortimer *et al*. Matéria, Energia e Vida: uma abordagem interdisciplinar – Materiais, Luz e Som: modelos e propriedades São Paulo: Editora Scipione, 1ª edição, 2020.

Figura 4: Comparativo para RS segundo o quadro 1



Fonte: Autoria própria.

Observando a figura 4 vemos indicados os números das perguntas do quadro 1 em que a linha contínua representa as respostas do livro de autoria de Mortimer *et al* (2020). A linha pontilhada refere-se às respostas do autor Amabis *et al* (2020). A área compreendida pela curva de Mortimer *et al* (2020) é maior, indicando maior quantidade de conceitos de FPE abordados.

Isto posto, e na perspectiva de transpor a discussão até aqui apresentada na prática de ensino, propomos a organização de uma matriz de referência que guie o desenvolvimento deste trabalho com vistas a responder o problema de pesquisa e o contexto de ensino e aprendizagem. Os detalhes da implementação da matriz serão trazidos no momento em que discutiremos a metodologia de ensino.

Quadro 4: Matriz de referência para o ensino de FPE no Ensino Médio.

| Competência Geral | Pensamento Científico, Crítico e | Competências Específicas | Habilidade   | Unidade Temática   | Objeto de Conhecimento  |
|-------------------|----------------------------------|--------------------------|--|--|---|
|                   |                                  |                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ EM13CNT101</li> <li>▪ EM13CNT103</li> <li>▪ EM13CNT104</li> <li>▪ EM13CNT201*</li> <li>▪ EM13CNT202</li> <li>▪ EM13CNT203</li> <li>▪ EM13CNT205*</li> <li>▪ EM13CNT209</li> </ul> | De que todas as coisas são feitas?<br>Noções de Relatividade<br>Radioatividade<br>Como são produzidas e/ou detectadas as partículas elementares? | Modelos atômicos: clássico e quântico.<br>Cinemática relativística.<br>Núcleo do átomo.<br>Forças Nucleares e as forças Fundamentais da Natureza.<br>Aceleradores de partículas: dos cinescópios ao LHC.<br>Definição de partícula elementar e suas propriedades.<br>Partícula e antipartícula. |
| Aut               | Conhecimento                     |                          |  |  |   |

|  |                         |   |                                |                    |
|--|-------------------------|---|--------------------------------|--------------------|
|  | Empatia e<br>Cooperação | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ EM13CNT301*</li> <li>▪ EM13CNT302*</li> <li>▪ EM13CNT303</li> <li>▪ EM13CNT304</li> <li>▪ EM13CNT306*</li> <li>▪ EM13CNT307</li> <li>▪ EM13CNT309</li> </ul> | As famílias das<br>Partículas. | O modelo do quark. |
|  |                         |   |                                | O Modelo Padrão.   |

(\*) Habilidades declaradas em Mortimer *et al* (2020) que não estão em Amabis *et al* (2020).

Fonte: Autoria própria.

Esta matriz de referência foi construída tendo como referência os livros didáticos do PNDL 2021 de autoria de Amabis *et al* (2020) e Mortimer *et al* (2020), porque a FPE será tratada com estudantes do Ensino Médio, o livro está organizado segundo a BNCC, é a principal referência de estudantes e professores do Ensino Médio. Contudo, para alcançar maior compreensão do conteúdo e melhor preparo a respeito dos conceitos envolvidos utilizamos outras referências: Griffiths (2020), Eisberg e Resnick (1988).

Os autores Mortimer *et al* (2020) apresentam os conteúdos da PFE de interesse na unidade temática Radiação e Aplicações, capítulo 8 intitulado Radioatividade e Partículas Elementares. Já os autores Amabis *et al* (2020) apresentam os conteúdos no capítulo 8, intitulado Noções de Física Quântica e Física Nuclear e no capítulo 9 intitulado Radioatividade. Portanto, o quadro 5 responde à questão levantada no início deste capítulo: “quais conteúdos da FPE devem ser abordados com esse público?”. Os objetos de conhecimentos serão organizados em uma sequência didática que discutiremos nesta pesquisa quando tratarmos da metodologia de ensino.

### 1.2. Por que ensinar FPE?

Os conteúdos da FPE são, geralmente, discutidos por meio de tópicos e dentro do componente curricular denominado de Física Moderna ou Física Moderna e Contemporânea (FMC). O objetivo é capacitar estudantes para entender, interpretar e desenvolver um pensamento crítico envolvendo questões da atualidade e distinguir fatos científicos de ficção científica.

Abordar uma física contemporânea, que se aproxima mais do cotidiano dos alunos, acrescentaria muito no que se refere ao desenvolvimento do senso crítico do estudante, mas também mostraria uma ciência viva e mais atrativa. (SILVA, 2019, p.47).

Podemos justificar a inserção da FMC e seus tópicos, de modo mais detalhado, por meio daquelas apresentadas por da Silva (2013): (a) é importante para a compreensão das tecnologias da atualidade, (b) é uma ação com vistas a atualização do currículo escolar, (c) possibilita discutir a mudança de paradigma da Física no processo de construção do conhecimento e (d) subsídio para discussões de questões sócio científicas e ambientais. Tais justificativas são contempladas na BNCC por meio das competências específicas mostradas no quadro 3. Isto é, a inserção da FMC no Ensino Médio é uma determinação advinda de documentos oficiais da educação brasileira.

Sobre a FPE, Neto *et al* (2020) afirma que trata-se de conteúdo capaz de fornecer ao estudante visão mais ampla da concepção de universo, de ciência e o desenvolvimento tecnológico e corrobora com Silva (2013) quando diz ser um conteúdo que atualiza o modo como a ciência é vivenciada nos dias atuais. Mas, na sala de aula, sua ausência ainda sofre com o pouco tempo destinado a carga horária: conteúdo ministrado no 3º ano do Ensino Médio se somente houver tempo.

Ostermann e Cavalcanti (2001) consideram a FPE como exemplo de sucesso do processo de construção humana do conhecimento e proporcionar ao estudante do Ensino Médio acesso a esse conhecimento favorece na formação de um cidadão consciente, participativo em questões científicas ou não, dando-lhe uma visão de mundo mais atualizada. Siqueira e Pietrocola (2006) corroboram com essa percepção, porque entendem que a discussão da FPE em sala de aula atualiza o saber sobre a Física com uma nova visão da natureza. A ideia do átomo constituído de elétron, próton e nêutron e esses sendo partículas elementares poderia ainda existir caso não se discuta a PFE em sala de aula, que passa a ser concebido de outra maneira: as verdadeiras partículas elementares são os quarks os léptons (o elétron compõe a família dos léptons).

A utilização de recursos tecnológicos em sala de aula pode trazer soluções inovadoras para o ensino da FMC, tendo em vista que é justificado o surgimento de novas tecnologias a partir de aplicações de conhecimentos advindos do final do século XIX. A teoria da relatividade de Einstein nos trouxe o sistema de posicionamento global (GPS) presente nos *smartphones*, podendo ser utilizado como alternativa atraente ao estudante para aprendizado de um novo conhecimento, que já faz uso do recurso tecnológico em sua geolocalização.

Segundo Ferreira (2021) recursos tecnológicos advindos do estudo FPE atingem as mais diferentes áreas do conhecimento sendo aplicados na vida em sociedade, na medicina, no ensino, avanços aeroespaciais, segurança, indústria 4.0, tecnologias emergentes entre outros. O Centro Europeu para Pesquisa Nuclear (CERN) e seus colaboradores desenvolvem tecnologias

a partir da pesquisa em seus aceleradores e detectores de partículas e sistema de análise de dados. O laboratório Europeu desenvolve ações conjuntas entre 25 países membros e seus associados com mais de 13.000 cientistas e colaboradores. Sua missão vai além da busca de inovação tecnológica e pesquisa como aplicações na medicina com a tomografia por emissão de pósitrons (PET – *positron emission tomography*) que proporciona diagnóstico mais preciso em pacientes com nódulos pulmonares.

Entre as várias inovações tecnológicas advindas do estudo da FPE desenvolvidas pelo Centro Europeu para Pesquisa Nuclear (CERN) no incremento de aparelhos utilizados na comunicação temos a tecnologia *touch screen*, revolucionária na interação com o dispositivo eletrônico. Essa nova tecnologia deixou para trás os acionamentos mecânicos e agora usa-se telas com sensibilidade ao toque para as mais diferentes funções e equipamentos. A tecnologia *touch screen* pode ser descrita pela interação de dois potenciais elétricos diferentes que ao toque na tela ocorre uma interação elétrica mediada por fótons (partículas mensageiras da força elétrica), fazendo com que a parte da superfície se descarregue na região de contato. A alteração do potencial elétrico da superfície pressionada é recebida por sensores posicionados nas extremidades da tela que comunicam o comando dado pelo operador do equipamento à unidade de processamento central (FILHO, TOSCANO, 2016).

Portanto, pode-se observar que a importância do conteúdo de FPE no currículo escolar propicia ao estudante:

- (a) Ter uma visão moderna e mais real da estrutura da matéria (sobre de que todas as coisas são feitas).
- (b) Para entender a relação entre a ciência e tecnologia em frente a sociedade com o pensamento crítico e reflexivo na frente dos questionamentos da modernidade.
- (c) Conhecer o processo de construção do conhecimento e as mudanças paradigmáticas da ciência, tendo novas maneiras de perceber os problemas que assolam o mundo contemporâneo – olhar crítico sobre a pobreza, falta de energia, e esgotamento de recursos naturais.
- (d) Contribuir na formação e no exercício da cidadania em questões sócio científicas, compreendendo o desenvolvimento ocorrido no último século e contribuição para diversas áreas da sociedade.

É claro que, e não podemos deixar de comentar, o contato com a teoria que fundamenta a FPE amplia o conhecimento da Física como ciência e pode despertar o interesse em estudos avançados na Física.

### 1.3.Pressupostos da FPE

A matriz de referência apresentada na seção 1.1 aponta vários conteúdos a serem abordados nesta pesquisa no contexto do processo de ensino e aprendizagem da FPE utilizando-se uma sequência didática. Assim, cabe-nos apresentar alguns pressupostos da teoria que sustenta as ideias presentes na FPE.

#### 1.3.1. O átomo

A teoria atômica da matéria, como afirma Peduzzi (2005), é uma notável descoberta advinda dos gregos. A resposta para a pergunta: “de que todas as coisas são feitas?” nos remete a busca da compreensão do universo e de suas leis.

Demócrito de Abdera (470-380 a.C.) e Leucipo de Mileto (460-370 a.C.), em oposição o pensamento de Aristóteles (384 a.C.), proporião que a matéria era descontinuada e formada por partículas discretas, indivisíveis e invisíveis. Outros já haviam pensado na possibilidade de haver um ou mais elementos que formariam toda a matéria conhecida: (a) Thales de Mileto (640-562 a.C.) a água seria a matéria primitiva que daria origem a todas as coisas, (b) Anaximandro (611-545 a.C) postulou a existência de uma substância que chamou de *apeiron* (significa indeterminado), (c) Anaxímenes (585-528 a.C.) entendia que o ar era a substância primitiva (um sólido seria o estado de condensação do ar), (d) Xenófanes de Cólofon (570-460 a.C) o elemento primordial era a terra, (e) para Empédocles de Agrigento (492-432 a.C.) os elementos terra, ar, fogo e água e suas combinações seriam os formadores de toda a matéria (PEDUZZI, 2005).

Os átomos de Demócrito e Leucipo são feitos de uma mesma substância em quantidade infinita (chamada *ideai*) e indivisível (*atomoi*), e os átomos diferem entre si devido aos arranjos e o espaçamento existentes entre as unidades da substância; o sólido era explicado como o arranjo da substância com o menor espaçamento entre elas (PEIXOTO, 2010). A discussão sobre a estrutura da matéria esteve presente durante todo o desenvolvimento da ciência e contou com a contribuição de vários estudiosos. Efetuando um salto na escala de tempo, mas se perder a generalidade, chegamos aos últimos anos do século XIX e primeiros anos do século XX.

O ano de 1900 pode ser considerado um marco no desenvolvimento da ciência como a conhecemos nos dias atuais. Algumas descobertas experimentais possibilitaram uma visão mais detalhada sobre o átomo para além da concepção de ser uma minúscula partícula indivisível (por exemplo, uma espécie de esfera dura), pois o átomo não tinha sido compreendido plenamente: (1) a descoberta do elétron e (2) a radioatividade.

Com o aperfeiçoamento dos tubos de raios catódicos, o desvio verificado na trajetória dos referidos raios quando submetidos a campos magnéticos, chamou atenção de vários cientistas para compreensão do fenômeno. Em 1899 o cientista J.J. Thomson observando a característica descrita, determinou a razão carga/massa da partícula constituinte dos raios, o elétron (CHASSOT, 2004).

Em 1909 o norte americano Robert Andrews Millikan, procurava mensurar o valor da massa do elétron, e para isso construiu um aparato experimental capaz de eletrizar gotas de óleo, e após repetir as mesmas condições por milhares de vezes, observou que as cargas elétricas eram proporcionais a um mínimo, elementar, o qual hoje é da ordem  $1,602 \times 10^{-19}C$ , e com esse resultado, ele encontrou o valor da massa do elétron (VEISSID, PEREIRA e PEÑA, 2014).

Esse resultado reforçou a ideia apresentada por Thomson em 1897: os elétrons seriam partículas subatômicas e em 1904 propôs um modelo para o átomo: uma esfera maciça de carga elétrica positiva onde os elétrons (partículas de carga negativa) estariam incrustados. A tentativa de Thomson era de explicar a radioatividade, o sistema periódico visto na tabela dos elementos químicos, a formação de moléculas e espectros de radiação (BLANCO, 2013).

A radioatividade, segundo Chassot (2004, p. 214), “foi, muito provavelmente, a mais revolucionária e mais emocionante descoberta do século” (século XIX). Isso pode ser exemplificado com o fato de Röntgen (que havia descoberto os raios X em 1895) ter sido o primeiro cientista laureado com o prêmio Nobel em 1902. Este nome radioatividade foi introduzido no universo científico por Marie Curie quando estudava a emissão de radiação espontânea do urânio pelos idos de 1898. Rutherford interessou-se pela radioatividade e “foi responsável pela nomenclatura dos três tipos de emissões: raios alfa e beta e radiações gama” (CHASSOT, 2004, p. 222). A realização de experimentos utilizando raios alfa (partícula alfa que mais tarde descobriu-se tratar do núcleo do átomo de hélio) levou Rutherford e colaboradores à descoberta no núcleo atômico.

A descoberta do núcleo atômico produziu mudança significativa no modelo de átomo, o modelo de Thomson. O modelo de Rutherford retira da esfera carregada positivamente os elétrons colocando-os em “órbitas” em torno do núcleo. Esta ideia também foi proposta pelo físico japonês Nagaoka em 1904 na revista *Nature*, trabalho citado por Rutherford quando em 1911 apresentou seus resultados advindos da análise da trajetória das partículas alfa ao colidirem com o núcleo do átomo (MELZER e AIRES, 2015).

Em 1912 passou a compor o rol de cientistas interessados na estrutura da matéria o dinamarquês Niels Bohr, que chegou a realizar estudos sob a supervisão de Rutherford em Cambridge. Bohr propôs ideias para explicar os espectros de radiação e contornar dificuldades

enfrentadas pelos modelos de Thomson e Rutherford: a estabilidade do átomo. Segundo Caruso e Oguri (2006) a proposta apresentada por Bohr tem como elemento decisivo para o surgimento de uma nova área de conhecimento na Física, a Mecânica Quântica, quando diz

Devemos renunciar a todas as tentativas de visualizar ou de explicar classicamente o comportamento dos elétrons ativos durante uma transição do átomo entre um estado estacionário e outro (CARUSO e OGURI, 2006, p. 384).

Sucedeu-se a isso a contribuição de Einstein quando introduziu o conceito de probabilidade ao modelo, de Broglie com a dualidade onda-partícula, Heisenberg com o princípio da incerteza de se localizar, ao mesmo tempo, a posição e a velocidade de um elétron num átomo até chegar Schrödinger com a formulação da mecânica quântica. A partir de um formalismo para a mecânica quântica foi possível descrever os diferentes orbitais de elétrons (CHASSOT, 2004).

Assim, o processo que começou por considerar o átomo como uma partícula indivisível, que assumia diferentes formas geométricas, culminou no surgimento de uma nova área de conhecimento da Física e na compreensão de átomo muito mais complexa que um simples sistema saturniano<sup>6</sup>.

### 1.3.2. O que há dentro do núcleo do átomo?

Nos últimos anos do século XIX se acreditava que grande parte do que se tinha a esclarecer sobre fenômenos naturais já estava concluído tendo em vista a completude das leis da Física que foram construídas ao longo da história. A mecânica descreve os movimentos, a termodinâmica sendo construída com observações e o eletromagnetismo bem fundamentado por Maxwell.

Um artigo escrito por Peter A. Schulz intitulado “*Dois nuvens ainda fazem sombra na reputação de Lord Kelvin*” desmistifica, de modo justo, célebres frases que anunciavam o início da Física Moderna. Segundo alguns registros Lord William Thomson (Lord Kelvin) teria encaminhado mensagem à *British Association for the Advancement of Science* que em síntese dizia: “não há nada de novo para ser descoberto na física, tudo o que resta são medições mais e mais precisas”, apontando também em uma de suas supostas versões: “No céu da física clássica existem apenas duas nuvens a serem dirimidas”, fazendo referência a radiação do corpo negro e a experiência de Michelson – Morley, temas que surgiam nos debates da época. Sobre o exposto, Schultz (2007) de modo bem fundamentado afirma:

Ao Lord Kelvin são atribuídas ainda outras frases, algumas verdadeiras e outras apócrifas, mas quanto ao futuro da física no limiar do século XX, dificilmente poderíamos imaginar um visionário mais arguto (SCHULTZ, 2007, p.9).

---

<sup>6</sup> Termo usado por Nagaoka em 1904 ao se referir ao modelo atômico proposto por ele.

As nuvens supostamente relatadas abrem duas grandes revoluções da Física do Século XX: a Teoria da Relatividade e a Mecânica Quântica, possibilitando o estudo do universo micro. As relações existentes entre esses campos da Física chamamos de Física Moderna e Contemporânea. A combinação da relatividade com a mecânica quântica proporciona condições para responder perguntas, que isoladamente não favorecem uma resposta. Por exemplo, a existência da antipartícula é discutida sob a luz do princípio de exclusão de Pauli (da mecânica quântica) e da invariância espaço-tempo (da relatividade). No atual extremo destes campos de estudo encontramos a FPE que sustenta o Modelo Padrão, onde observamos na afirmação de Kane (2003) que não se trata de um modelo e sim de uma teoria, pontuando que:

... é uma conclusão incorporada na mais sofisticada teoria matemática da natureza da história, o Modelo Padrão da física de partículas. Apesar da palavra “modelo” em seu nome, o Modelo Padrão é uma teoria abrangente que especifica quais são as partículas básicas e como elas interagem. Tudo o que acontece em nosso mundo (exceto os efeitos da gravidade) resulta da interação das partículas do Modelo Padrão de acordo com suas regras e equações (Kane 2003, p. 70-71).

Contudo, antes de detalharmos mais questões relacionadas a FPE e o Modelo Padrão cujo ensino para estudantes da educação básica é objeto de estudo desta proposta de pesquisa, vamos apresentar os elementos basilares desse campo da Física.

Vimos que Thomson presumiu a existência do elétron como constituintes do átomo. Rutherford avançou na discussão e apresentou o átomo contendo um núcleo pesado e “orbitado”. O núcleo do átomo mais leve, o átomo de hidrogênio, recebeu de Rutherford o nome de próton cujo modelo (átomo de um único elétron) foi tratado por Bohr explicando o espectro de radiação do hidrogênio. Dessa experiência, parece ter sido natural concluir que átomos com mais de um elétron deveriam ter mais de um próton no seu núcleo para manter a neutralidade natural e para explicar o peso atômico. Observando a Tabela Periódica, o próximo átomo é do elemento químico hélio, que embora tenha dois elétrons seu peso atômico é mais de quatro vezes que o hidrogênio. O lítio por sua vez pesa aproximadamente sete vezes mais que o átomo de hidrogênio, mas tem apenas três elétrons em suas “orbitais”. Portanto, como explicar tal fato?

Segundo Chassot (2004), o ano de 1932 foi significativo para a ciência porque neste ano foram descobertos o nêutron e o pósitron. Chadwick, que era aluno de Rutherford, neste ano descobriu o nêutron: partícula neutra com massa praticamente igual à do próton. Assim, o hélio tem no seu núcleo dois prótons e dois nêutrons. Outro fato associado a esta descoberta é a explicação para a existência de átomos isótopos cuja diferença se dá pela quantidade a mais de nêutrons no núcleo.

O pósitron foi descoberto por Dirac em 1928 ao escrever a versão relativística para a mecânica quântica em que descreve o comportamento do elétron como uma partícula relativística na ausência de potencial externo. Os autovalores encontrados para as energias dos elétrons previam energias negativas cujos estados, segundo Dirac, seriam preenchidos por elétrons incomuns que foram denominados de pósitrons: partícula com valores de massa e carga elétrica igual à do elétron, mas com carga oposta. Em 1931, Anderson, no Instituto de Tecnologia da Califórnia, comprovou experimentalmente a existência do pósitron de Dirac. Essa descoberta, aliado ao trabalho realizado por Dirac estabelecendo relação entre a relatividade e a mecânica quântica, produziu uma profunda descoberta sobre a estrutura da matéria: para todo tipo de partículas deve existir outra correspondente de mesma massa com carga elétrica oposta. Surge assim, o conceito de antipartícula (GRIFFITHS, 2020). Na tabela 2 mostramos algumas propriedades de partículas e suas antipartículas.

Tabela 2: Algumas propriedades de partículas e suas antipartículas.

| Partícula | Propriedades                      |                                   | Antipartícula | Propriedades                      |                                   |
|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
|           | Massa                             | Carga elétrica                    |               | Massa                             | Carga elétrica                    |
| Elétron   | $9,11 \times 10^{-31} \text{Kg}$  | $-1,602 \times 10^{-19} \text{C}$ | Pósitron      | $9,11 \times 10^{-31} \text{Kg}$  | $+1,602 \times 10^{-19} \text{C}$ |
| Próton    | $1,673 \times 10^{-27} \text{Kg}$ | $+1,602 \times 10^{-19} \text{C}$ | Antipróton    | $1,673 \times 10^{-27} \text{Kg}$ | $-1,602 \times 10^{-19} \text{C}$ |
| Nêutron   | $1,673 \times 10^{-27} \text{Kg}$ | 0                                 | Antinêutron   | $1,673 \times 10^{-27} \text{Kg}$ | 0                                 |

Fonte: Autoria própria.

Havia também um outro fenômeno relacionado ao núcleo do átomo, o decaimento beta (ou transmutação), que foi compreendido na década de 1930: um núcleo instável transforma-se noutro núcleo emitindo uma partícula beta. (Um núcleo radioativo A é transformado num núcleo mais leve B com a emissão de um elétron:  $A \rightarrow B + e$ . Por exemplo, o decaimento  ${}_{19}^{40}\text{K} \rightarrow {}_{20}^{40}\text{Ca}$ , potássio para cálcio).

O decaimento beta é um tipo de processo radioativo que ocorre em núcleos atômicos instáveis, nos quais há um desequilíbrio entre prótons e nêutrons. Esse desequilíbrio pode levar à transformação de um nêutron em um próton (ou vice-versa) dentro do núcleo, acompanhado pela emissão de uma partícula beta e um neutrino (ou antineutrino).

O referido decaimento pode ocorrer em duas formas: decaimento beta negativo ( $\beta^-$ ) e decaimento beta positivo ( $\beta^+$ ).

A explicação para este fenômeno é encontrada utilizando-se os princípios da conservação da carga elétrica, na massa e da energia cinética. Então, no ano de 1933 Fermi apresentou uma teoria para o decaimento beta mostrando que além do elétron outra partícula era emitida, bem mais leve, que chamou de neutrino. Assim, o processo de decaimento beta negativo ( $\beta^-$ ) é representado pela fórmula

$$n \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu} \quad (1)$$

em que o nêutron se origina da soma de um próton mais um elétron e um antineutrino  $\bar{\nu}$  (GRIFFITHS, 2020). Para o decaimento beta positivo ( $\beta^+$ ) um próton se transforma em um nêutron, emitindo um pósitron (a antipartícula do elétron) e um neutrino. Esta descoberta acrescenta mais uma partícula (e sua respectiva antipartícula) na busca pela compreensão da estrutura da matéria. Portanto, temos até aqui descoberto que no núcleo de um átomo há várias partículas, mas considerando que dessas a que tem carga elétrica é o próton e dois prótons devem se repelir mutuamente, em acordo com a lei de Coulomb, o que mantém os prótons unidos no interior do núcleo? Pode-se concluir que deve haver uma força com intensidade maior que a força coulombiana capaz de manter unidos prótons e nêutrons dentro do núcleo.

Mesmo sem conhecermos tal força é possível identificar algumas de suas propriedades: intensidade forte e de curto alcance. O primeiro a explicar força forte (nome dado a este tipo de interação, mais intensa que a força eletromagnética e gravitacional) foi o físico japonês Yukawa em 1935. Para Yukawa o que mantém os prótons e nêutrons no interior do núcleo é algum tipo de campo que deve obedecer a algumas condições. Esse campo não deveria ser os já conhecidos da Física Clássica, mas uma nova teoria precisava surgir para dar consistência à ideia de tal campo. Esta teoria está fundamentada em princípios da Mecânica Quântica e Relatividade chamada de Teoria Quântica de Campos. Mas, antes de prosseguir, vamos trazer à memória outro tipo de partícula inserida nas discussões de FPE, que é o fóton.

No ano de 1905 Einstein explicou o efeito fotoelétrico considerando que a luz é composta de partículas denominadas fótons cuja energia é dada por  $E = h\nu$  (*quantum* de luz), em que  $h$  é a constante de Planck e  $\nu$  a frequência. Em 1906 Millikan realizou experimentos procurando contestar a teoria de Einstein, trazendo como resultado a comprovação da ideia do *quantum* de luz. Contudo, foi o trabalho de Compton sobre espalhamento de raios X num alvo de grafita que confirmou que Einstein estava correto (EISBERG e RESNICK, 1988).

O fóton na Teoria Quântica de Campos assume papel fundamental para explicar o campo elétrico quantizado, que envolve a repulsão entre dois prótons: há um fluxo de fótons passando entres as cargas. Assim, o fóton é visto como uma partícula mediadora da força eletromagnética.

*For one thing, this mechanism would have a hard time accounting for an attractive force. You might think of the mediating particles, rather, as 'messengers', and the message can just as well be 'come a little closer' as 'go away' (GRIFFITHS, 2020, p.18).*

Por um lado, esse mecanismo teria dificuldade para explicar uma força de atração. Poderia se pensar nas partículas mediadoras como sendo “mensageiras”, cujas mensagens podem ser tanto “se aproxima mais um pouco” quanto “vai embora” (nossa tradução).

Segundo Endler (2010), o trabalho publicado por Yukawa em 1935 lançou a pedra fundamental da Física de Alta Energia (ou FPE) que tratou da explicação das forças nucleares de curto alcance. Baseado na ideia de as forças eletromagnéticas (atração ou repulsão) serem bem explicadas pela troca de fótons, deveria existir uma partícula mediadora pela força (nuclear) forte. O fato de a força forte ser de curto alcance indicou a Yukawa que esta partícula mediadora deveria ser pesada, porque devido ao fóton ter massa de repouso zero, as forças eletromagnéticas têm longo alcance (infinito).

Podemos determinar a massa dessa partícula usando o princípio da incerteza de Heisenberg:  $\Delta E \Delta t \cong \hbar$ . Quando dois prótons trocam tal partícula cuja massa é  $m$  violam temporariamente o princípio da conservação da energia de um valor  $mc^2$  (energia de repouso). O princípio da incerteza de Heisenberg diz que se pode “emprestar” uma energia  $\Delta E$  desde que se devolva essa energia num intervalo de tempo  $\Delta t$ , obedecendo a relação  $\Delta E \Delta t \cong \hbar$  ( $\hbar = h/2\pi$ ). Assim, empresta-se um  $\Delta E = mc^2$  com tempo suficiente para que a partícula mediadora vá de um próton a outro. A partícula terá de cruzar uma distância  $r_0$ , deve fazer isso com uma velocidade muito grande (uma fração da velocidade da luz), consumindo  $\Delta t = \frac{r_0}{c}$ . Substituindo essas suposições no princípio da incerteza de Heisenberg, temos

$$mc^2 \cdot \frac{r_0}{c} = \hbar \quad (2)$$

$$m = \frac{\hbar}{r_0 c} \quad (3)$$

Usando  $r_0 = 10^{-13} \text{ cm}$  (tamanho típico de um núcleo), calcula-se a massa da partícula.

$$m = \frac{1,055 \times 10^{-34}}{10^{-15}(3 \times 10^8)} = 0,352 \times 10^{-27} \text{ Kg} \quad (4)$$

$$m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ Kg} \quad (5)$$

$$m = 386 m_e. \quad (6)$$

A massa da partícula de Yukawa é estimada como sendo 300 vezes maior que a massa do elétron e certa de 1/6 da massa do próton,  $m_{\text{elétron}} > m > m_{\text{próton}}$ , e por isso recebeu o nome de méson (meio-peso).

Nos anos seguintes ao trabalho de Yukawa e as investigações sobre a radiação cósmica apontaram a existência de um fluxo considerável de partículas que penetram a atmosfera terrestre cuja massa eram 200 vezes a massa do elétron denominadas de mésons  $\mu$  e múons. No

ano de 1947 Lattes, Occhialini e Powell mostraram a existência de um méson  $\pi$  (ou pión) que decai em um méson  $\mu$  e num neutrino muônico resultado do decaimento. Nesse mesmo ano foram descobertas novas partículas por Rochester e Butler, que publicaram uma fotografia obtida numa câmara de bolhas de traços de partículas quando decai em duas cargas secundárias formando um V. Uma análise detalhada mostra que essas partículas carregadas são de fato um  $\pi^+$  e um  $\pi^-$ . Porém, surge uma nova partícula neutra com massa pelo menos duas vezes maior que a do pión, que recebe o nome de  $K^0$  (káon). Outras partículas com massa intermediária foram encontradas e formam o grupo denominado mésons k ou káons. Além dessas, surgiram as do grupo chamado híperon.

Essa profusão de partículas requer de o leitor aprofundar-se em leituras de vários trabalhos sobre estas descobertas, mas o que importa para o momento é que estes grupos são formados de partículas subatômicas chamadas *estranhas*: demonstram alta probabilidade de ocorrência em comparação com seu tempo de vida médio longo, ou seja, a velocidade de decaimento não correspondia às previsões teóricas (ENDLER, 2010). Moreira (2007, p. 163) afirma que “A estranheza é uma propriedade da matéria, análoga à carga elétrica, que algumas partículas têm e outras não.”.

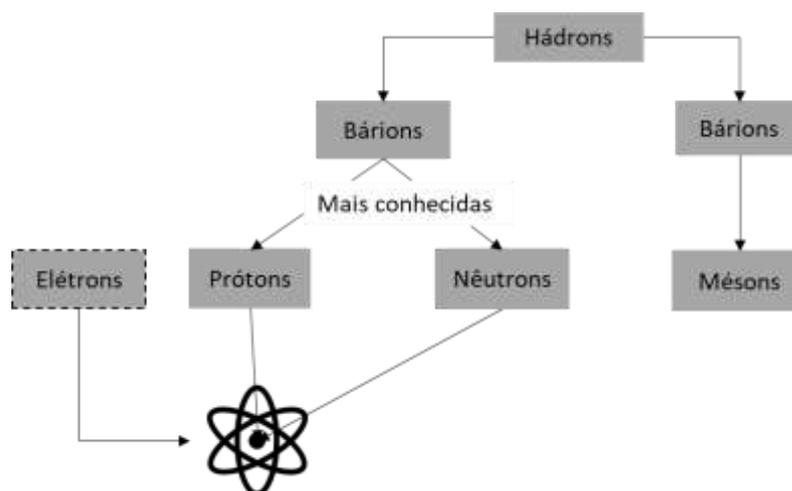
A abundância de partículas que interagem fortemente requereu a necessidade de organizá-las em famílias segundo algumas propriedades. Assim, surgem as famílias dos bárions e dos mésons e essas formam o grupo maior de partículas que interagem por meio da força forte chamado de hádrons (vem do grego e significa maciço, robusto, forte).

When the Nobel Prizes were first awarded in 1901, physicists knew something of just two objects which are now called "elementary particles": the electron and the proton. A deluge of other "elementary" particles appeared after 1930; neutron, neutrino,  $\mu$  meson (sic),  $\pi$  meson, heavier mesons, and various hyperons. I have heard it said that "the finder of a new elementary particle used to be rewarded by a Nobel Prize, but such a discovery now ought to be punished by a \$10,000 fine". (GRIFFITHS, 2020, p.33).

Quando o prêmio Nobel foi pela primeira vez dado a um cientista, em 1901, os físicos sabiam da existência de apenas duas partículas elementares: o elétron e o próton. Depois, em 1930, um dilúvio de partículas elementares surgiu: nêutron, neutrino, méson  $\mu$ , méson  $\pi$ , mésons pesados e várias outras. Eu ouvi dizer que encontrar uma nova partícula elementar era algo que levaria ao prêmio Nobel, mas agora quem descobrir uma deverá pagar U\$ 10,000 de multa. (Les Prix Nobel de 1955, Fundação Nobel, Stockholm apud Griffiths, 2020, p. 33, nossa tradução).

Portanto, na busca por saber o que há no interior do núcleo de um átomo, chega-se a um conjunto numeroso de partículas além das mais conhecidas, os prótons e os nêutrons. Na figura 5 mostramos uma organização das partículas em famílias.

Figura 5: Organização familiar das partículas.



Fonte: Autoria própria.

Vemos que aquilo que parecia ser indivisível se mostra de modo contrário e apresenta uma complexidade que exigiu a constituição de famílias para se poder organizar um número expressivo de partículas subatômicas. Mas, o conhecimento a respeito do átomo não para aqui.

A tecnologia denominada de espectroscopia tornou-se fundamental para o conhecimento de importantes regularidades relacionadas à estrutura do átomo, para a formulação do modelo de Bohr e para a descoberta de novos elementos químicos.

O espectro do hidrogênio apresenta um conjunto de raias espectrais e em cada uma das raias observa-se outras raias bem mais finas cuja distância entre elas é da ordem de  $10^{-4}$  vezes a distância entre raias adjacentes; denomina-se isso de *estrutura fina* do átomo de hidrogênio. (CARUSO e OGURI, 2006).

O modelo de Bohr proporciona a determinação da energia do elétron ou a frequência por meio de um único número quântico, assim explicando o espectro do átomo de hidrogênio. Contudo, as raias da estrutura fina não surgem explicitamente no modelo teórico de Bohr. Assim, levanta-se a hipótese de a energia do elétron estar associada a outro número quântico capaz de mostrar as raias da estrutura fina do átomo de hidrogênio. O trabalho de Wilson-Sommerfeld introduz o segundo número quântico ao considerar a “órbita” do elétron elíptica introduziu:  $n = n_r + n_\theta$ , em que  $n$  é o número quântico principal,  $n_r$  devido à quantização do momento linear e  $n_\theta = l + 1$  da quantização do momento angular ( $l$ ). Apesar disso, o problema da degenerescência não foi efetivamente resolvido. Mas, ao tratar esse problema sob a perspectiva relativística, Sommerfeld conseguiu reproduzir a estrutura fina do átomo de hidrogênio, ficando este resultado conhecido como teoria de Bohr-Sommerfeld. Novos

resultados experimentais mostram que a teoria de Bohr-Sommerfeld continha falhas, por exemplo, o espectro do íon  $H_e^+$  mostrava uma estrutura fina que a teoria não conseguia prever. Segundo Caruso e Oguri (2006), Uhlenbech e Goudsmit, 1925, introduziram a ideia de o número  $n_\theta$  estar relacionado ao um número semi-inteiro, ou seja,  $n_\theta = l + \frac{1}{2}$  o que explicaria a estrutura fina do íon  $H_e^+$ . Este novo número foi denominado de *spin*.

Outra técnica que envolvia a espectroscopia era submeter o espectro de radiação a campo magnético. Em 1896 Zeeman observou o alargamento das linhas espectrais produzidas por campo magnético externo, fato conhecido com efeito Zeeman. Zeeman considerava que a luz é emitida por partículas carregadas que estariam no interior do átomo e junto de Lorentz determinou, a partir de suas observações, a relação carga/massa do elétron (CHASSOT, 2004). Este feito, segundo Caruso e Oguri (2006) foi decisivo para que Pauli estabelecesse o princípio da exclusão: dois elétrons de um certo sistema não podem ocupar o mesmo estado.

Em 1921, Stern e Gerlach utilizando uma técnica parecida com a de Zeeman, mas ao invés de observar raias espectrais, fizeram com que um feixe de átomo de prata (possui um elétron na sua última camada) fosse submetido a um campo magnético externo e se os elétrons não demonstrassem ter *spin* observariam o mesmo se não houvesse campo magnético externo, mostrando que os átomos não seriam afetados pelo campo. Mas, o feixe desdobrou em dois mostrando que os átomos possuem um momento magnético e deve-se ao *spin* (EISBERG e RESNICK, 1988).

Em síntese, para se explicar o estado em que determinado elétron encontra-se no átomo são necessários conhecer quatro números quânticos, a saber,  $n, l$  e  $m$  e o *spin*, que é compreendido como uma propriedade intrínseca do elétron, que também se manifesta noutras partículas subatômicas: o elétron, o próton e o nêutron têm *spin*  $\pm \frac{1}{2}$ .

O advento do *spin* gera a formação de grupos de partículas chamados de férmions, partículas que têm *spin* semi-inteiro ( $\frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \dots$ ), e bósons que têm *spin* inteiro. Os férmions mais leves são chamados de léptons (do grego leve) e os mais pesados, como o próton e nêutron, são chamados de bárions e pertencem à família dos hádrons (MOREIRA, 2007).

Segundo Moreira (2007), entre os anos de 1960 e 1961 Murray Gell-Mann e Yuval Ne'eman desenvolveram, de modo independente, uma classificação que é considerada a primeira tentativa bem-sucedida de estabelecer relação entre as partículas subatômicas a partir de um princípio básico. Muitas partículas podiam ser agrupadas em famílias contendo com oito

partículas e o que as inseriam numa determinada família eram o *spin* e o número bariônico<sup>7</sup>. Este trabalho pode ser comparado ao de Mendeleev para a Tabela Periódica: criaram uma tabela periódica da Física.

Gell-Mann e outro físico chamada Zweig propuseram, trabalhando independentemente, que os padrões observados nas partículas subatômicas poderiam ser explicados se elas fossem formadas por partículas ainda mais elementares as quais Gell-Mann chamou de *quarks*. Tais partículas deveriam assumir certas propriedades que causava espanto: teriam que ter carga elétrica fracionária, não existiriam livremente (ou confinados) e para explicar a natureza dos hádrons eles deveriam ser formados por pares ou tríades de *quarks* e *antiquarks* (GRIFFITHS, 2020). Atualmente, aceita-se que os quarks e o elétron são verdadeiramente partículas elementares, e as outras formadas de quarks. Quarks e elétrons são “tijolos” que estruturam a matéria, isto é, não são os átomos a unidade elementar de matéria.

Os quarks são de três tipos (ou sabores) mostrado na tabela 3 a seguir.

Tabela 3: Tipos de *quarks*.

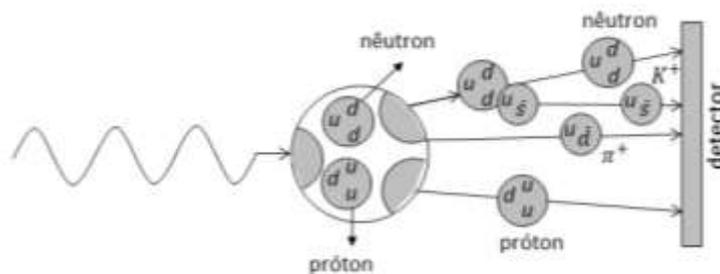
| <i>Quark</i>        | Carga elétrica  | Massa (MeV/c <sup>2</sup> ) | <i>Spin</i> | Descobridor                        | Local/Ano             |
|---------------------|-----------------|-----------------------------|-------------|------------------------------------|-----------------------|
| <i>up (u)</i>       | $+\frac{2}{3}e$ | 2,2                         | 1/2         | M. Gell-Mann e George Zweig / 1964 | SLAC Collb. / 1968    |
| <i>down (d)</i>     | $-\frac{1}{3}e$ | 4,7                         |             | M. Gell-Mann e George Zweig / 1964 | SLAC Collb. / 1968    |
| <i>estrange (s)</i> | $-\frac{1}{3}e$ | 96                          |             | M. Gell-Mann / 1964                | raios cósmicos        |
| <i>charm</i>        | $+\frac{2}{3}e$ | 1280                        |             | C.C.Ting e B. Richter              | SLAC e BNL / 1974     |
| <i>bottom</i>       | $-\frac{1}{3}e$ | 4180                        |             | Leon M. Lederman                   | Fermilab Collb / 1977 |
| <i>Top</i>          | $+\frac{2}{3}e$ | 173100                      |             | CDF e DØ Collb.                    | Fermilab / 1995       |

Fonte: Abdalla, 2006 (adaptado).

O modelo do *quark* possibilita a explicação de várias propriedades observadas nas partículas subatômicas. Por exemplo, as propriedades atribuídas aos prótons podem ser expressas a partir dos *quarks*: carga elétrica do próton  $1e = \frac{2}{3}e$  (*quark up*) +  $\frac{2}{3}e$  (*quark up*) -  $\frac{1}{3}e$  (*quark down*).

<sup>7</sup> É o número total de bárions presente em um sistema menos o número total de antibárions (MOREIRA, 2007, p. 163).

Figura 6: Interação radioativa com o núcleo atômico



Fonte: Autoria própria.

Emitindo partículas radioativas no núcleo do átomo, conseguimos observar seu interior, na figura 6 ilustramos essa interação. Descobrimos pelos resultados das pesquisas que a carga do próton está concentrada num pequeno “caroço”, assim como do experimento de Rutherford descobriu-se que a carga positiva do átomo está concentrada no seu núcleo. Entretanto, no caso do próton, a evidência sugere que existam três “caroços” ou invés de um. Isso torna-se um resultado favorável ao modelo dos quarks, obviamente não conclusivo.

Mas, havia uma questão teórica que refutava o modelo dos *quarks*: o princípio da exclusão de Pauli. Na sua formulação original, o princípio da exclusão dizia que dois elétrons não podem ocupar o mesmo estado quântico. Entretanto, percebeu-se mais tarde que a mesma regra aplicava-se a todas as partículas com spin semi-inteiro (a prova disso é uma das mais importantes realizações da teoria de campo quântico). Para resolver este problema Greenberg propôs que a ideia de haver outra propriedade para os *quarks*, a cor. E mesmo não havendo relação com o conceito de cor na óptica essa propriedade passou a ser usada com os quarks (MOREIRA 2007).

The color hypothesis sounds like sleight of hand, and many people initially considered it the last gasp of the quark model. As it turned out, the introduction of color was extraordinarily fruitful (GRIFFITHS, 2020, p. 43).

A hipótese da cor surge como um truque de mágica, e muitas pessoas consideram que isso resolvia a última lacuna no modelo de quark. A proposta da cor foi uma das mais frutíferas ideias do nosso tempo (nossa tradução).

Portanto, a cor (no contexto da FPE) tornou-se uma propriedade da matéria, assim como, a carga elétrica o é. As cores atribuídas aos *quarks* são: vermelho, verde e azul. Quando se trata de *antiquarks*, estes têm cores antivermelho, antiverde e antiazul. Algumas partículas não têm cor, isto é, cor branca que é o caso dos léptons (elétron é um lépton). Ao todo são 36 *quarks*: 06 *quarks* (*u, d, s, charme, bottom, top*), como cada um pode apresentar três cores, então temo 18, e soma-se a isso 18 *antiquarks*.

#### 1.4. Partículas mediadoras ou virtuais

A partir das discussões nas seções anteriores podemos definir o que são partículas elementares: são partículas que não apresentam estrutura interna. Desse modo, temos 06 léptons (elétron, múon, neutrino do elétron, tau, neutrino do múon, neutrino do tau) e os 06 *quarks* como as verdadeiras partículas elementares (cada uma com suas antipartículas). Por outro lado, para formar os hádrons (bárions e mésons) é necessário manter unidas partículas elementares e é neste contexto que surgem as partículas mediadoras ou virtuais.

Os fótons são as partículas mediadoras da força ou interação eletromagnética. Cargas elétricas de sinais contrários se atraem (por exemplo, um elétron e um próton) e a força de atração pode produzir mudança de trajetória das partículas envolvidas. Esse fato pode ser interpretado como um espalhamento e, sendo assim, há troca de energia e momento de ambas. Se uma das partículas emite um fóton a outra irá absorvê-lo, e nesse processo de troca de fótons há a manifestação da força ou interação eletromagnética. E seguindo esta lógica, troca de partículas mediadoras para explicar a força, temos para a força gravitacional os grávitons, força fraca as partículas  $W^+$ ,  $W^-$  e  $Z^0$ , e a força forte os glúons (MOREIRA. 2007).

Tabela 4: Propriedades das partículas mediadoras e sua relação com os tipos de interação.

| Propriedade                  | Força gravitacional      | Força fraca           | Força eletromagnética | Força forte     |
|------------------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|
| <b>Atua sobre:</b>           | massa-energia            | sabor                 | carga elétrica        | Carga cor       |
| <b>Partículas sujeitas</b>   | Todas                    | Quarks e léptons      | Partículas carregadas | Quarks e glúons |
| <b>Partículas mediadoras</b> | gráviton (não observado) | $W^+$ , $W^-$ e $Z^0$ | Fóton ( $\gamma$ )    | Glúons          |
| <b>Intensidade</b>           | $10^{-40}$               | $10^{-5}$             | $10^{-2}$             | 10              |
| <b>Alcance</b>               | $\infty$                 | $\ll 10^{-15}m$       | $\infty$              | $10^{-15}m$     |
| <b>Seção de choque</b>       | -                        | $10^{-42}m^2$         | $10^{-36}m^2$         | $10^{-30}m^2$   |
| <b>Vidas médias</b>          | -                        | $10^{-8}s$            | $10^{-16}s$           | $10^{-23}s$     |

Fonte: Adaptado de Endler (2010).

Na tabela 4 são apresentadas as quatro forças fundamentais da natureza e que podem ser classificadas de acordo com suas intensidades. Pode-se observar que a força gravitacional é a mais fraca das quatro forças e assim no contexto da FPE podemos negligenciá-la.

A Interação Eletromagnética ocorre entre as partículas que possuem carga elétrica, podendo ser classificada como atrativa ou repulsiva; tal interação é nula para toda matéria eletricamente neutra, com equilíbrio entre as cargas positivas e negativas, como a encontramos na natureza em sua composição comum. Em uma escala pontuada por uma potência de base 10, sua ordem de grandeza de  $10^{-2}$ , alcance infinito e tempo médio de vida  $10^{-16}$  segundos. A Interação Gravitacional ocorre entre as partículas que possuem carga de massa, sendo sempre atrativa, estando presente no núcleo atômico. Em um estudo comparativo das interações no

núcleo do átomo, observamos que a Interação Eletromagnética é bem maior que a Interação Gravitacional, fato a se destacar pela justificativa da estabilidade nuclear indeferida por tais ações. Sua intensidade na escala apontada corresponde a ordem de grandeza de  $10^{-40}$ , alcance infinito e tempo médio de vida indeterminado; o fato de possuir uma ordem de grandeza de muito pequeno valor, em comparação às demais interações, corrobora com sua não aplicação no estudo da Física de partículas. A Interação Forte está presente nas partículas que apresentam carga de cor, tem intensidade 10 na ordem de grandeza apontada, alcance de  $10^{-13}$  cm e tempo de vida médio de  $10^{-23}$  segundos, sendo responsável pela permanência dos prótons e nêutrons no núcleo atômico. Tal interação por sua característica afeta os Bárions e Mésons formados por Quarks, mas não atingem os Léptons por não possuírem tal propriedade quântica. A Interação Fraca atua sobre as partículas que possuem carga de sabor como Léptons e Quarks, sendo descaracterizada pela sua intensidade nos Bárions e Mésons devido a maior ação das interações eletromagnética e forte. É muito significativa nas interações entre os neutrinos pois se manifesta de modo exclusivo para essas partículas. Os decaimentos radioativos alfa, beta e gama são exemplos de atuação da interação fraca pela instabilidade do núcleo atômico; o decaimento alfa emite núcleos de hélio ou partículas alfa, o decaimento beta emite elétrons ou pósitrons, o decaimento gama emite um quantum de radiação eletromagnética. A intensidade da Interação Fraca é da ordem de grandeza  $10^{-5}$ , alcance muito menor que  $10^{-13}$  cm e tempo de vida médio  $10^{-8}$  segundos (ENDLER, 2010).

As quatro interações fundamentais tiveram sua justificativa teórica no século XX em conjunto com a Física Quântica e a teoria da Relatividade Geral. A busca pelo Santo Graal da Física, passou ser a tentativa de unificação de todas as áreas do conhecimento através da junção das interações fundamentais, como ilustrado na figura 1, desbravando uma tentativa Albert Einstein em seus últimos dias, assim como vislumbrou o filme Interestelar de Christopher Nolan. Esta proposta ganhou o nome de teoria da Grande Unificação (TGU). Na década de 60, S. Glashow, A. Salam e S. Weinberg apresentaram uma teoria unificadora para as interações eletromagnética e fraca: a teoria eletrofraca; como resultado da proposta, os bósons  $W^+$ ,  $W^-$  e  $Z^0$  foram encontrados pelo CERN em 1983 com colisões energéticas a 540 GeV entre prótons e sua antipartícula. A experiência mostrou que os fótons e os bósons de gauge que possuem massa nula em baixas energias, apresentam massividade na mistura de suas massas em uma única interação com energias acima de 100 GeV. A unificação apresentada e experimentalmente comprovada no acelerador LEP, corrobora com a busca da TCU como Santo Graal em altas energias (ENDLER, 2010).

### 1.5. Como são produzidas e detectadas as partículas elementares?

Os elétrons e os prótons podem ser produzidos ou detectados de modo mais simples do que as outras partículas estruturantes da matéria. Por exemplo, para produzir elétrons basta que se aqueça um filamento de metal que eles surgiram e se aplicar uma diferença de potencial criará um feixe de elétrons. Os antigos televisores de tubo de imagem (cinescópio) funcionam com esse princípio.

Para produzir prótons ioniza-se o hidrogênio. Se você está usando prótons para atingir um alvo, não necessita falar de elétrons. Eles, quando excitados, contém tanta energia que tiram os elétrons do caminho, então, um tanque de hidrogênio é um tanque de prótons. Mas para produzir outros tipos de partículas elementares são necessárias outras tecnologias que envolvem raios cósmicos, aceleradores de partículas ou reatores nucleares.

#### 1.5.1 Raios cósmicos

O nosso planeta é constantemente bombardeado por partículas de alta energia (principalmente prótons) que vêm do espaço. A fonte que origina estas partículas ainda é um mistério, e quando colidem com átomos na atmosfera produzem uma “chuva” de partículas secundárias (na maioria das vezes produzem mésons: píons, káons e múons, que chegam na superfície da Terra) que nos atinge o tempo todo. Como fonte de partículas elementares, os raios cósmicos apresentam duas vantagens: é de graça e tem alta energia (maior do que se poderia produzir num laboratório). Contudo, apresentam duas desvantagens: são difíceis de serem detectados e controlados, requer do pesquisador paciência e um pouco de sorte.

#### 1.5.2 Reatores nucleares

Quando um núcleo radioativo é desintegrado pode emitir uma variedade de partículas – nêutrons, neutrinos, partícula alfa (formada por dois nêutrons e dois prótons), raio beta (elétrons ou pósitrons) e raio gama (fótons).

#### 1.5.3 Aceleradores de partículas

Inicia-se com elétrons ou prótons que são acelerados com alta energia para colidir e quebrar um alvo. Por meio de tecnologia avançada pode-se estudar a partícula gerada após a colisão. Hoje pode-se gerar feixe secundário de pósitron, múons, píons, káons e antiprótons, que podem ser utilizados para atingir um alvo. As partículas estáveis – elétron, próton, pósitron e antipróton – podem ficar confinadas em grandes cíclotrons girando por horas com alta velocidade até que chegue o momento de usá-las para atingir um alvo. Em geral, quanto mais pesada for a partícula que se deseja estudar mais energia é necessária na colisão. Por esse motivo

que as partículas mais leves foram descobertas primeiro, e com os avanços tecnológicos as partículas pesadas têm sido descobertas. Atualmente, a partícula mais pesada que foi descoberta é a  $Z^0$  cuja massa é 100 vezes maior que a massa do próton, e quanto maior a energia mais próximo uma partícula chega da outra. Então se você deseja estudar a interação de curto alcance é preciso que a partícula tenha alta energia. Em termos da mecânica quântica, ao momento da partícula está associado um comprimento de onda  $\lambda = h/p$  (comprimento de onda de de Broglie), em que  $h$  é a constante de Planck. Para grandes comprimentos de onda (baixo momento) você consegue obter informações de sistemas com grande estrutura, mas como trabalha-se com partículas extremamente pequenas você precisa de pequeno comprimento de onda e logo terá um momento alto. Este fato pode ser analisado usando o princípio da incerteza de Heisenberg:  $\Delta x \Delta p \geq \hbar/2$ , quanto  $\Delta x$  pequeno  $\Delta p$  é grande, consequentemente a energia é alta (GRIFFITHS, 2020).

#### 1.5.4 Detectores

Detectores de partículas são dispositivos importantes no estudo da física de partículas que possibilitam a compreensão da estrutura da matéria e interações fundamentais. Esses instrumentos são projetados para identificar, medir e caracterizar partículas subatômicas que são produzidas em diversos processos naturais e experimentais. Os detectores podem variar desde dispositivos simples, até complexas câmaras de alta precisão e tecnologia avançada. Ao interceptar partículas carregadas ou neutras, esses detectores registram informações sobre suas propriedades, como energia, momento e trajetória.

Existem diversos tipos de detectores de partículas, incluindo o contador Geiger, câmara de nuvens, câmara de bolhas, câmara de fagulhas, emulsão fotográfica, contador de Cerenkov, cintiladores, entre outros. Atualmente, são utilizados dispositivos que empregam a capacidade computacional para rastrear a trajetória das partículas e exibi-las em uma tela. Quando uma partícula carregada com alta energia atravessa um meio material, ela ioniza os átomos ao longo de seu percurso. Os íons gerados desencadeiam uma reação, tornando visível a trajetória da partícula, na qual gotículas ou bolhas se formam conforme a partícula avança. É importante ressaltar que na região por onde a partícula carregada passa, há a presença de um campo magnético que exerce uma força sobre ela, resultando em uma trajetória curvilínea. A medição do raio da curvatura permite que seja calculado seu momento linear por meio da relação  $R = pc/qB$ , em que  $c$  é a velocidade da luz,  $B$  o valor do campo magnético,  $q$  a carga e  $p$  o momento

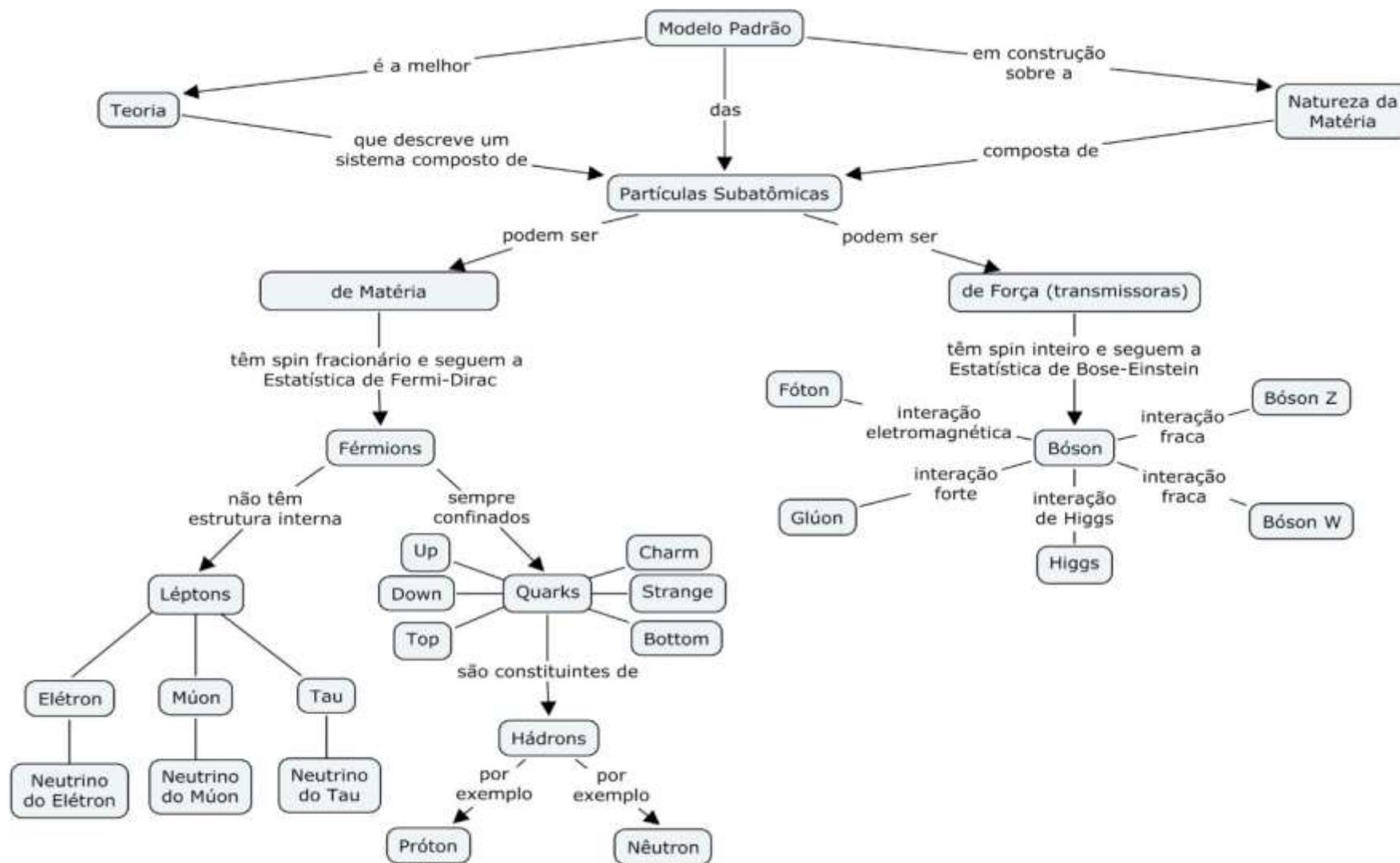
linear. No caso em que a partícula não tenha carga, neutra, não deixar rastro possível de ser observado (GRIFFITHS, 2020).

### 1.6. O Modelo Padrão

O pensamento científico sempre evolui por etapas entre gerações. No passado o homem procurou respostas a indagações tentando entender a estrutura da matéria desde os pensamentos dos sábios gregos, as teorias sobre os modelos atômicos e sua evolução para a proposta teórica do modelo padrão. Hoje discutimos, além da descrição de como as partículas interagem entre si, para formação da matéria na composição do universo, os limites para o conhecimento construído.

O modelo padrão busca descrever a estrutura da matéria e o modo como as partículas que a estruturam são organizadas e unidas por das forças fundamentais vistas da seção 2.6. Em síntese, Moreira (2017) apresenta por meio de um mapa conceitual (Figura 7) as relações entre os constituintes do modelo que o definem como uma teoria.

Figura 7: Mapa conceitual descrevendo o modelo padrão.



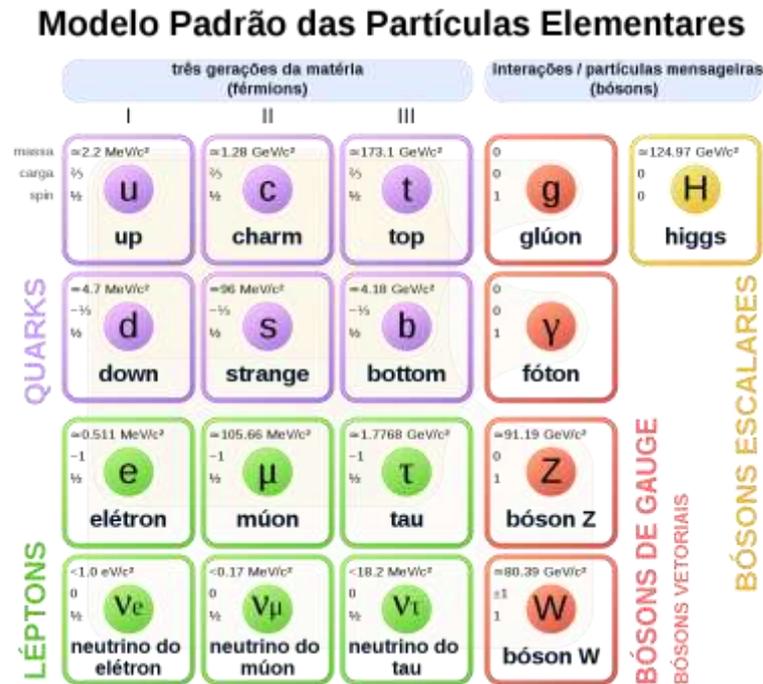
Fonte: Moreira (2017, p.21)

Vê-se na figura 7 que o grupo (ou família) dos *léptons* é formado de 6 (seis) partículas elementares (elétron, *múon*, *tau*, neutrino do elétron, neutrino do *múon* e neutrino do *tau*). Pertencem ao grupo (ou família) dos *hádrons* partículas que, ao contrário dos *léptons*, apresentam estrutura interna. A estrutura interna dessas partículas é constituída de *quarks*. Os *quarks* são classificados como *up*, *down*, *top*, *charm*, *strange* e *bottom* e têm carga elétrica fracionada:  $\pm \frac{2}{3}e$  e  $\pm \frac{1}{3}e$  ( $e$  é a carga do elétron). Outra propriedade nada convencional atribuída aos *quarks* é a carga cor (pode ser vermelha, azul ou verde), que tem subsídio no princípio de exclusão de Pauli (GRIFFITHS, 2020). Próton e nêutron são formados de *quarks*; a carga elétrica do próton é formada de dois *quarks up* (cada um com carga elétrica  $\frac{2}{3}e$ ) e um *quark down* (carga elétrica  $-\frac{1}{3}e$ ), resultando na carga  $+e$ ; o nêutron é formado de dois *quarks down* e um *up*. O fato de a carga elétrica do *quark* ser fracionada não desconstrói o conceito de quantização da carga elétrica, um *quantum* de carga elétrica continua sendo  $e$ .

Segundo Moreira (2007), este modelo é um referencial teórico que incorpora a cromodinâmica quântica (formalismo da força forte) e a teoria eletrofraca (que aborda tanto a força fraca como a eletromagnética). Mas, apesar do seu sucesso, não consegue (até os dias atuais) incorporar a gravidade devido a força gravitacional ter estrutura diferente das outras interações: o gráviton, partícula mediadora não se adequa a quântica e não foi detectada.

A base teórica do modelo é a chamada Teoria Quântica de Campos, que descreve a matéria utilizando o conceito de campo quântico. A massa de uma partícula, incluindo as que constituem o modelo, são formadas devido a um campo chamado campo de Higgs. No ano de 2012, cientistas do CERN anunciaram a descoberta do bóson de Higgs, partícula proposta como validadora do modelo padrão porque seria responsável pela origem de toda a massa das outras partículas que constituem o modelo. Cabe lembrar que o conceito de massa envolve duas teorias fundamentais da Física, a relatividade e a mecânica quântica.: a massa relativística possui uma equivalência à energia. Portanto, teoriza-se que quando o campo de Higgs recebe energia suficiente ele cria uma partícula. E quando uma partícula de Higgs interage com outras partículas elementares, ela transfere energia na forma de massa para as partículas (PIMENTA, 2013).

Figura 8: Representação das famílias das partículas elementares e mediadoras.



Fonte: ICTP-SAIFR.org (adaptado)

## 1.7. Elementos Basilares

É comum representar o modelo padrão na forma da figura 8, e que assume uma estrutura do tipo de uma tabela que alguns denominam de tabela periódica da Física. Nela são mostradas as três famílias de férmions e os bósons responsáveis pelas interações.

Pode-se observar as várias questões que se apresentam na discussão sobre o ensino de física que aborda a FPE e consideramos merecer destaque (mesmo tendo sido mencionadas anteriormente), são os elementos basilares de uma proposta de pesquisa, a saber, o problema de pesquisa e o objetivo da pesquisa. A partir destes poder-se-ão traçar caminhos e estratégias capazes de evidenciar uma resposta ao problema com atingimento do objetivo estabelecido. Assim, temos:

### 1.7.1 Problema de pesquisa

Como o estudo sobre o Modelo Padrão com alunos do Ensino Médio pode promover a aprendizagem de conceitos capazes de subsidiá-los na compreensão de matéria e forças da natureza?

### 1.7.2 Objetivo geral

Investigar a partir de uma sequência didática sobre o Modelo Padrão e a Física de Partículas Elementares a aprendizagem de conceitos sobre a estrutura da matéria e forças da natureza dos alunos de nível médio.

Preocupa-nos saber de que modo podemos alcançar o objetivo proposto e assim responder o problema. Para isso devemos estabelecer um caminho que evidencie uma resposta. Neste caminho será necessário responder às seguintes questões (norteadoras): (1) “Como elaborar uma sequência didática para o ensino e aprendizagem sobre o Modelo Padrão e a Física de Partículas Elementares?”, (2) Que metodologia de ensino pode facilitar o processo de ensino e aprendizagem de alunos do Nível Médio para a compreensão da estrutura da matéria? e (3) “Como avaliar a aprendizagem de conceitos subsidiadores da compreensão de matéria e forças da natureza de alunos do Ensino Médio?”. Portanto, temos como desdobramento do objetivo geral os objetivos específicos.

#### 1.7.3 Objetivos específicos:

1.7.3.1 Construir uma sequência didática para o ensino e aprendizagem sobre o Modelo Padrão

1.7.3.2 Utilizar metodologia de ensino capaz de facilitar aprendizagem de alunos do Nível Médio para compreensão da estrutura da matéria.

1.7.3.3 Avaliar a aprendizagem de conceitos subsidiadores da compreensão de matéria e forças da natureza de alunos do Ensino Médio.

Cabe lembrar que esta pesquisa foi desenvolvida dentro da linha de pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Ensino Tecnológico (PPGET) que visa alternativas mediadoras para a eficácia do ensino e aprendizagem em contextos tecnológicos. Então outro elemento basilar são os sujeitos envolvidos na pesquisa.

## 2. Ensino de Física no Contexto Tecnológico

As diversas transformações ocorridas no século XXI, sobretudo nos avanços tecnológicos de informação e comunicação, permitem que a essas novas tecnologias sejam utilizadas a serviço do ensino “utilizando-os na construção de um saber que promova a emancipação dos indivíduos e o respeito às diversidades pessoais e culturais” (PENÃ, 2003, p.16).

As mudanças socioculturais influenciadas principalmente pelas tecnologias digitais da informação e comunicação (TIC) permitem que usuários se conectem e se comuniquem mesmo estando em diferentes bairros, cidades, países ou continentes. Com o advento das tecnologias digitais e sua proliferação para diversas áreas de conhecimento surge a necessidade de uma educação que possibilite que o indivíduo tenha acesso a essas informações, a fim de conscientizar o indivíduo de sua responsabilidade como cidadão ativo, ou seja, uma educação transformadora.

Libâneo (2007) entende que é papel das instituições propiciar o acesso aos recursos tecnológicos de modo organizado e inclusivo de modo que o processo possa ser participativo com melhoria na qualidade de aprendizagem.

Moran (2000) aponta a necessidade da participação inclusiva na utilização dos recursos tecnológicos com mudança no processo metodológico. Comenta o autor que o tradicionalismo enraizado no processo formativo com protagonismo do professor, precisa ceder espaço para um aprendizado coletivo e participativo com inclusão de novos recursos.

“ensinar com as novas mídias será uma revolução se mudarmos simultaneamente os paradigmas convencionais do ensino, que mantêm distantes professores e alunos. Caso contrário, conseguiremos dar um verniz de modernidade, sem mexer no essencial”. (MORAN, 2000, p. 63)

Sales (2017) entende que o desenvolvimento tecnológico provoca mudanças sociais e que o uso de ferramentas tecnológicas cotidianas quando aplicadas no ensino, propicia a construção do conhecimento com caráter rotineiro e motivador. Na Justificativa desse pensamento Sales (et al., 2017, p. 48) aponta:

O jovem na atualidade não pode mais estar numa sala de aula com um professor de Física que faça uso de pincel e quadro apenas, mas do profissional que faça uso de metodologias ativas e das tecnologias digitais, como outros recursos didáticos, para a devida motivação de sua aula, não somente de forma extrínseca, mas principalmente aquela que vem de dentro, a motivação intrínseca, afinal, existem muitos atrativos sedutores para o nativo digital extra-ambiente de aprendizagem.

Com a implementação da BNCC novas diretrizes no processo educativo foram deferidas; é importante lembrar que os PCN já deliberavam o uso de recursos tecnológicos como instrumentos colaborativos para aprendizagem, buscando um ensino de melhor

qualidade. As práticas educativas com uso da informática no processo educativo já eram citadas, permitindo “criar ambientes de aprendizagem que fazem sugerir novas formas de pensar e aprender” (BRASIL, 1998, p.17).

Libâneo (2007, p.310), ressalta: “o exercício profissional do professor compreende, ao menos, três atribuições: à docência, a atuação na organização e na gestão da escola e da produção de conhecimento pedagógico”. O pensamento destaca a importância do professor em ter conhecimento do manuseio das ferramentas tecnológicas com disposição para aplicação, tendo em vista o fácil manejo pelos aprendizes tendo em vista o acesso rotineiro e prático dos recursos. O uso contínuo de aplicativos na comunicação social, jogos e softwares diversos, traz conforto a uma nova geração que cresce cercada de constantes novidades tecnológicas.

Esclarece esse assunto Penã (2003) dizendo que:

Para atingir esses fins, é imprescindível que os educadores desempenhem um novo papel, abandonando a simples transmissão do conhecimento acadêmico, assumindo a função de mediadores, integrando os meios técnicos com a aprendizagem; ultrapassando a mera atualização científica e pedagógica, para criar espaços de participação e reflexão; e estimulando os educandos a tomarem decisões para processar, sistematizar e comunicar as informações (PENÃ 2003, p. 16).

Penã (2003) reforça a proposta inclusiva do uso de recursos tecnológicos, apontando que (...) “democratizar os meios para uma nova prática pedagógica é uma ação que deve atender a todos os indivíduos, possibilitando melhorias na qualidade de vida”.

Os conceitos da Física têm origem na explicação dos fenômenos naturais, na busca de um contexto que formalize um entendimento do universo ao redor. Compreender a Física e sua significação para o avanço da ciência, permitirá ao estudante compreensão da natureza, crescimento em conhecimento e participação efetiva da vida em sociedade com percepção que as modificações pelos avanços tecnológicos trazem influência na sua formação (BALTHAZAR, 2010).

Presenciamos constantes transformações, onde recursos tecnológicos sofrem evolução com utilização na construção de novos conhecimentos. Em paralelo a esta explosão de novidades, novos problemas são enfrentados no cotidiano acadêmico; o uso de novas tecnologias busca minimizar as dificuldades, na adequação das parcerias entre a prática pedagógica e a tecnologias para a realização de processos educacionais significativos em sala de aula, estimulando o aluno na ação educativa de modo a tornar o processo ensino e aprendizagem prazeroso e significativo.

A utilização de novas práticas educativas corrobora com a aprendizagem de novos conhecimentos que podem ser construídos quando associados aos saberes significativos, com novas significações e generalizações. O uso dos recursos tecnológicos proporciona imersão

nesse conhecimento adquirido pelas experimentações, despertando um fazer consciente com significado. A afirmação de D`Ambrosio (1996) aponta que:

[...] o comportamento, que também chamamos fazer, ou ação ou prática, e que está identificado com o presente, determina a teorização, explicações organizadas que resultam de reflexão sobre o fazer, que é o que comumente chamamos saber e que muitas vezes se chama simplesmente conhecimento (D'AMBROSIO, 1996, p. 19).

Este diálogo propicia ao educando a articulação de suas respostas pelo uso das ferramentas com os fenômenos naturais, levando-o a uma mudança de modelo com relação ao estudo e reflexão ativa sobre o conhecimento.

A natureza é ativa na constituição do conhecimento segundo a epistemologia piagetiana, nesta visão, o processo construtivo de marca cognitiva implica a existência de métodos ativos onde o sujeito é participante do seu processo de conhecer. Ele compreende, cria, edifica, modifica, ou seja, o conhecimento é elaborado por ele, não é recebido pronto, nem mesmo está nele (Gisele Rizzoni, 2010).

[...] Os educadores precisam refletir sobre a necessidade e clareza epistemológica de sua prática pedagógica, bem como se adaptar ao uso dessas tecnologias minimizando os problemas encontrados, de modo a trazer os estudantes para novas e mais prazerosas formas de ensinar e aprender (Kenski 2008).

A utilização de novos recursos tecnológicos em sala de aula, possibilita ao aprendiz participar do seu processo de conhecer, ficando claro na afirmação o envolvimento do sujeito no seu processo cognitivo. Esta descrição pode ser entendida pela afirmação:

[...] os conhecimentos derivam da ação, não no sentido de meras respostas associativas, mas no sentido muito mais profundo da associação do real com as coordenações necessárias e gerais da ação. Conhecer um objeto é agir sobre ele e transformá-lo, apreendendo os mecanismos dessa transformação vinculados com as ações transformadoras. [...] (PIAGET, 1970, p. 30).

O professor tem a missão de criar situações de modo que o aprendiz possa assimilar, inventar, reconstruir com aceitação do processo de desenvolvimento cognitivo deste, com papel fundamental nessa ação compartilhada, agindo como mediador do saber. Caminhando com uma prática ativa em deferimento a proposta descrita, se observa “[...] especial relevo à pesquisa espontânea da criança ou do adolescente e exigindo-se que toda verdade a ser adquirida seja reinventada pelo aluno, ou pelo menos reconstruída e não simplesmente transmitida. [...]” (PIAGET, 1998, p. 15).

A utilização de recursos tecnológicos em sala de aula pode trazer soluções inovadoras para o ensino da FMC tendo em vista que é justificado o surgimento de novas tecnologias a partir de aplicações de conhecimentos advindos do final do século XIX. A teoria da relatividade de Einstein nos trouxe o sistema de posicionamento global (GPS) presente nos smartphones,

podendo ser utilizado como alternativa atraente ao discente para aprendizado de um novo conhecimento, que já faz uso do recurso tecnológico em sua geolocalização.

Segundo Ferreira (2021) recursos tecnológicos advindos do estudo do modelo padrão atingem as mais diferentes áreas do conhecimento sendo aplicados na vida em sociedade, na medicina, no ensino, avanços aeroespaciais, segurança, indústria 4.0, tecnologias emergentes entre outros.

O Centro Europeu para Pesquisa Nuclear (CERN) e suas colaborações desenvolvem tecnologias e aplicações tecnológicas a partir da pesquisa em seus aceleradores, detectores e sistemas de análise de dados. O laboratório Europeu desenvolve ações conjuntas entre 25 países membros e seus associados com mais de 13.000 cientistas e colaboradores, sua missão vai além da busca de inovação tecnológica e pesquisa. Como desenvolvimento de aplicações tecnológicas observamos desenvolvimento de inovações para o tratamento de câncer, imagens médicas e gestão de dados médicos para análise (FERREIRA, 2021).

Como aplicações na medicina muito observamos fora do campo da ficção científica, Tomógrafos emissores de Pósitrons (antimatéria) são utilizados de um modo muito eficiente na oncologia. Como inovações tecnológicas de aparelhos de comunicação e desenvolvimento de sistemas autônomos pela geolocalização, percebemos grandes avanços pela pesquisa colaborativa.

Entre os programas desenvolvidos pelo CERN para o ensino da FPE, observamos a escola de física para professores, visitas virtuais aos laboratórios de pesquisa, atividades práticas nos laboratórios de ensino, interação de pesquisadores com professores e alunos através de programas educacionais como o MasterClasses.

O software educativo Spy (CERN) realiza simulações pela análise de dados coletados pelo detector CMS (CERN), contribuindo com o ensino relacionado ao estudo da FPE e o Modelo Padrão em sua constituição elementar, forças da natureza e compreensão sobre a realização de pesquisas concernentes a estrutura da matéria.

Pesquisas sobre a teoria do modelo padrão das partículas elementares possibilitaram o desenvolvimento de novas tecnologias como o tomógrafo emissor de pósitrons (PET) que através da emissão de antimatéria, contribuem no tratamento de câncer. Partindo da compreensão sobre a funcionalidade do PET, o ensino do MP pode ser deliberado pelo estudo do dispositivo tecnológico em sua emissão de radiação como também através de simuladores de sua funcionalidade.

Moran (2000) aponta que a aplicação das TIC pode favorecer o uso de metodologias ativas pela interatividade do educando com o tema a ser explorado; o uso do simulador dentre

os diferentes recursos tecnológicos, pode favorecer um aprendizado significativo e lúdico pelo modo autônomo participativo com o objeto de estudo.

O simulador MatRad é um software profissional utilizado pelas clínicas de tratamento oncológicos que pode ser adaptado para o ensino. O programa simula a interação da radiação com a matéria, calculando a dose a ser aplicada em função volumétrica do elemento a ser tratado. O estudo do MP das partículas elementares tem o objetivo apresentar as partículas elementares constituintes da estrutura da matéria, se dedicando também ao estudo da radiação emitida pelas partículas e a interação entre elas; a partir da análise do tratamento adequado pela emissão radioativa de fótons, prótons ou íons pesados, pelo uso do simulador o estudo do MP é contemplado.

Entre as inovações tecnológicas advindas do estudo da FPE desenvolvidas pelo Centro Europeu para Pesquisa Nuclear (CERN) no incremento de aparelhos utilizados na comunicação, observamos a tecnologia *touch* como revolucionário na interação com o dispositivo eletrônico. Após a apresentação da nova tecnologia os acionamentos mecânicos perderam espaço para as telas com sensibilidade ao toque nos mais diferentes equipamentos.

Entre as diferentes funcionalidades ligadas ao uso da inovação tecnológica um simples toque no dispositivo ou elevada pressão sobre a tela diferem diferentes comandos. A funcionalidade do equipamento se dá pela funcionalidade semelhante à de um capacitor que libera elétrons armazenados pela tendência de retorno ao seu lugar original. A separação dos elétrons da estrutura atômica implica em vencer a força eletrostática de atração com os prótons, o campo elétrico que define a força elétrica em sua região, precisa ser vencido. A tecnologia *touch* pode ser descrita pela interação de dois potenciais elétricos diferentes, ao se tocar na tela ocorre uma interação elétrica mediada pelos fótons, partículas mensageiras da força elétrica, fazendo com que a parte da superfície se descarregue na região de contato, com alteração do potencial elétrico da superfície pressionada; esta mudança é recebida por sensores posicionados nas extremidades da tela que comunicam o comando dado pelo operador do equipamento a unidade de processamento central (FILHO, TOSCANO, 2016).

Avanços tecnológicos apontados podem subsidiar a compreensão do estudo do Modelo Padrão das partículas elementares pelas propriedades constituintes em suas aplicações, objetivando a compreensão da composição elementar da estrutura da matéria, a emissão da radiação pelas partículas e suas interações.

Nós professores e intermediadores na construção do conhecimento, precisamos nas ações disponibilizar aos estudantes, possibilidades para o saciar da sede do conhecimento de modo que nossos aprendizes ao avaliarem seu ambiente de estudo, tenham pleno conhecimento

do espaço que ocupam e possibilidades de desenvolvimento cognitivo que lhe é oferecido em um verdadeiro ambiente do saber.

### 3. Sequência didática no contexto da Aprendizagem Significativa

#### 3.1. Pressupostos da Aprendizagem Significativa

A teoria cognitivista de David Ausubel pressupõe que a aprendizagem é significativa quando um novo conhecimento adquire significado a partir de informações preconcebidas. Por meio de subsunçores, que são “conhecimentos específicos existentes na estrutura de conhecimento do indivíduo” uma nova informação faz sentido quando realiza conexão com as informações de sua estrutura cognitiva (MOREIRA, 2012, p.14).

Novas ideias e informações podem ser aprendidas e retidas na medida em que conceitos relevantes e inclusivos estejam adequadamente claros e disponíveis na estrutura cognitiva do indivíduo e funcionem, dessa forma, como ponto de ancoragem às novas ideias e conceitos'. (MOREIRA 2011a, p. 160).

Segundo Moreira (2011a, p.150), quando se aprende de maneira significativa, os novos conhecimentos podem sofrer ressignificações ao longo do tempo pois são construídos a partir da “organização e integração do material na estrutura cognitiva que é o resultado dos processos por meio dos quais se adquire e utiliza o conhecimento”. Esse autor diz que Ausubel aponta que os conceitos específicos se conectam formando um ancoradouro conceitual e escalonado fazendo novas conexões com conhecimentos mais gerais.

A Física como disciplina das Ciências da Natureza tem como objeto de estudo os fenômenos naturais. Por meio da observação e/ou teorização, hipóteses são testadas e validadas formando uma estrutura científica constituída em leis, princípios, teorema etc., nos trazendo a compreensão dos mecanismos que as regem. Considerando a estrutura cognitiva como uma organização de subsunçores que segundo Moreira (2012, p. 28) constituem “conhecimento prévios especificamente relevantes para a aprendizagem de outros conhecimentos”, podemos estabelecer novos e importantes vínculos para uma aprendizagem significativa, considerando sua ressignificação a partir de sucessivas interações. No momento em que fazemos conexões com o mundo ao nosso redor, construímos saberes e evoluímos em nossa formação cognitiva fundamentando conceitos físicos pela experimentação.

Entre os caminhos percorridos para construção cognitiva dos conceitos da Física, a efetiva interação com o universo macroscópico ao redor corrobora com a construção de conhecimentos tendo em vista a relação intrínseca com o meio. A diferenciação progressiva (DP) apontada por Moreira (2012, p. 20) como um “(...) processos de atribuições de novos significados a um dado subsunçor resultante de sucessivas utilizações desse subsunçor para dar significado a novos conhecimentos” defere que concepções podem se estender para novas significações como também sua extrapolação.

Segundo Moreira (2012) a diferenciação progressiva caminha junto com a reconciliação integrativa (RI) e são essenciais para o desenvolvimento do conhecimento significativo. Moreira (2012, pág. 22) aponta a reconciliação integrativa ou integradora como “um processo dinâmico da estrutura cognitiva que consiste em integrar significados, resolver inconsistências e fazer superordenações”, que podem se manifestar em graus diferentes de intensidade.

A diferenciação progressiva se conecta com as ideias ancoras para dar significado aos novos conhecimentos (aprendizagem significativa subordinada), ou seja, os novos conhecimentos são integrados e relacionados com base no entendimento que o aprendiz já possui, sendo essa abordagem mais comum nesse contexto. A reconciliação integrativa ocorre com menos frequência sendo construídos os novos conhecimentos pelos processos de abstração, indução e síntese (aprendizagem significativa superordenadas) (Moreira 2012, pág. 22).

No ensino da Física o conceito de força como subsunçor passa por diferenciação progressiva entre os ensinamentos fundamentais e médios quando seu universo significativo se expande dentro do meio visível sendo facilitador na análise e explicação de fenômenos cotidianos; se a aprendizagem for significativa a diferenciação progressiva produz evolução entre os níveis de conhecimento.

O Ensino Médio muitas vezes aplicado pela aprendizagem mecânica da Física não privilegia um conhecimento significativo tendo em vista a pouca interação com os conceitos existentes na estrutura cognitiva. Pela não conexão com os subsunçores existentes na estrutura cognitiva, o resultado é um conhecimento sem significação (Moreira, 2011a), sendo esquecido após sua aplicação secular nas avaliações.

É importante lembrar o que diz Moreira (2012, p.32), apontando que ambos “não constituem uma dicotomia: estão ao longo de um mesmo contínuo”, com demanda em certas observações como a transição entre aprendizagem mecânica e significativa não acontecer de modo espontânea, tendo em vista a necessidade da presença de fatores como a vontade do estudante de aprender, o material de aprendizagem ser potencialmente significativo, o modo da intervenção do professor, condicionantes nem sempre atendidos.

Segundo a teoria cognitivista de Ausubel existem duas condicionantes para a aprendizagem ser significativa: que o material seja potencialmente significativo e que o aprendiz tenha uma predisposição para aprender (Moreira 2012, p. 24).

Para Ausubel et al., (1980, p. 37):

O potencial significativo do material a ser aprendido varia não somente em relação à experiência educacional prévia como também a fatores tais como idade, ocupação, condições socioculturais.

Segundo Moreira (2012, p. 25):

(...) o material deve ser relacionável a determinados conhecimentos e o aprendiz deve ter esses conhecimentos prévios necessários para fazer esse relacionamento.

A primeira condição aponta que o material deve se adequar à estrutura cognitiva do aprendiz, com seus subsunçores preparados para novas ancoragens em construções mais específicas e gerais. Segundo Moreira (2012, p. 25) a atribuição de significado ao material cabe ao aprendiz pois é nele que existe a significação, se o mesmo for utilizado para memorização o estudo será mecânico e sem significado.

A segunda condição concede que o aprendiz de modo não-arbitrário e não-linear deve relacionar ao seus subsunçores (conhecimento prévios). Para Ausubel, Novak e Hanesian (1980, p. 58):

(...) a aquisição de novas informações depende amplamente das ideias relevantes que já fazem parte da estrutura cognitiva, e que a aprendizagem significativa nos seres humanos ocorre por meio de uma interação entre o novo conteúdo e aquele já adquirido.

Os novos conhecimentos, ou seja, “o resultado da interação, que ocorre entre o novo material e a estrutura cognitiva existente, é a assimilação dos significados velhos e novos, dando origem a uma estrutura mais altamente diferenciada”, Ausubel, Novak e Hanesian. (1980). A motivação é inerente ao material apresentado, cabe ao aprendiz o desejo de interagir e de se relacionar com o novo conhecimento, tendo vontade de aprender.

De acordo com a teoria educacional de Ausubel, Novak e Hanesian (1980) apresentada, em ressonância com as condicionantes apontadas por Moreira (2012), propomos para o processo de ensino e aprendizagem uma sequência didática para o ensino do Modelo Padrão da Física de Partículas Elementares.

### 3.2. Sequência didática

O ensino das Ciências tem sido objeto de discussão nos últimos anos, justificado pelo baixo desempenho dos aprendizes quando avaliado seu conhecimento científico. Tal contenda, nos remete ao questionamento das práticas educacionais sem eficiências no processo de ensino e aprendizagem. Vivenciamos constantes apelos da sociedade que busca novas habilidades e competências profissionais com perfis inovadores e reflexivos, inerentes de um ensino inovador, consoante ao desenvolvimento científico e tecnológico comumente ausente do ambiente escolar.

Piaget (1970) aponta que a psicologia da aprendizagem parte da consideração de que esta se realiza por meio do desenvolvimento mental, através da linguagem e da compreensão. Para isso, a primeira tarefa do professor é a de gerar um interesse como instrumento com o qual poder entender e atuar com o estudante. A segunda, considera que o aprendiz tem autonomia no processo de construção de seu conhecimento, sendo respeitado na evolução de seu desenvolvimento psicológico.

[...] conhecimento se dá por um processo de interação radical entre o sujeito e o objeto, entre o indivíduo e a sociedade, entre o organismo e o meio. (BECKER, 2001, p. 36).

Buscando este novo caminho, a BNCC aponta que “a Ciência e a Tecnologia tendem a ser encaradas não somente como ferramentas capazes de solucionar problemas, tanto os dos indivíduos como os da sociedade, mas também como uma abertura para novas visões de mundo” (BRASIL, 2017, p. 547).

Segundo Mozena (2014, p. 327), a BNCC é apresentada “como uma promessa de regular a educação básica no país e melhorar a qualidade do seu ensino reconhecido como falido”. Tal pensamento corrobora com a inclusão de novos temas como a FMC no ensino secundarista, buscando uma melhor compreensão do universo, como também conhecimento e influências das novas tecnologias sobre nossas vidas.

A BNCC defere que por meio das novas competências e habilidades presentes no Ensino Médio, que o estudante deverá ter a oportunidade de “analisar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo” (BRASIL, 2017, p. 539), sendo importante esse deferimento nas novas propostas de projetos pedagógicos. Assim, o professor precisa pensar de que modo encaminhará o processo de ensino e aprendizagem e uma das alternativas é o uso de uma sequência didática.

A sequência didática (doravante SD) é um instrumento de ensino constituído por atividades que buscam apresentar uma sequência de técnicas e habilidades como debates, pesquisa literária, trabalhos em grupos, atividades em simuladores ou entrevistas, executadas pelos alunos com intermediação de um professor orientador. Tais atividades devem ser ordenadas estrategicamente de modo crescente em aprofundamento, buscando um controle ordenado e moderador nas interações interpessoais e cognitivas desenvolvidas.

Zabala (2014) conceitua que as sequências didáticas são:

um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos (ZABALA, 2014, p.24).

Aponta Zabala (2014) que além dos aspectos cognitivos, se observa na prática educativa pela SD, o desenvolvimento de habilidades para resolução de conflitos sociais sejam grupais ou pessoais em campos de trabalhos de conteúdos procedimentais e atitudinais. Também delibera que a articulação ordenada seria fator primordial na metodologia, sendo para o método, o tipo de ordenação da atividade fator característico primário importante. Como sequências de atividades para unidade deve-se incluir as fases de planejamento, aplicação e avaliação de modo que se faça uma análise prática processual.

De acordo com Zabala (2014), é necessário buscar respostas na Sequência Didática de forma que:

- Possibilite a avaliação das ideias ancoras dos estudantes em relação aos novos temas que serão assimilados;
- Tenha significado e funcionalidade dentro do contexto biológico, atendendo ao nível de desenvolvimento do aprendiz;
- Apresente aos alunos uma oportunidade de progresso a partir das habilidades e competências que possuem atualmente;
- Estimule conexões entre os conhecimentos recentemente adquiridos e os pré-existentes, através da introdução de um conflito cognitivo que motive o aluno;
- Aumente a autoestima dos alunos por meio da aquisição de novos conhecimentos, incentivando o desenvolvimento de habilidades que promovam a autonomia na compreensão de novos conteúdos

Deve-se considerar também uma interação entre as dimensões conceitual, procedimental e atitudinal do conteúdo sequenciado, procurando no decorrer da unidade o aprofundamento que devem ser aplicadas na SD em quatro etapas: comunicação da lição, estudo individual do livro didático, repetição do conteúdo assimilado e avaliação do professor (ZABALA, 2014, p.73).

Para Zabala (2014) tais aplicações buscam permitir a introdução nas:

(...) diferentes formas de intervenção aquelas atividades que possibilitem uma melhora de nossa atuação nas aulas, como resultado de um conhecimento mais profundo das variáveis que intervêm e do papel que cada uma delas tem no processo de aprendizagem dos meninos e meninas (ZABALA, 2014, p.73).

Para a Diretoria de Apoio à Gestão Educacional, órgão vinculado à Secretaria de Educação Básica pelo Ministério de Educação, atividades articuladoras diversificadas podem contribuir para construção da prática de ensino, pontuando que ao se organizar uma sequência didática o professor pode:

(...) incluir atividades diversas como leitura, pesquisa individual ou coletiva, aula dialogada, produções textuais, aulas práticas, etc., pois a sequência de atividades visa trabalhar um conteúdo específico, um tema ou um gênero textual da exploração inicial até a formação de um conceito, uma ideia, uma elaboração prática ou uma produção escrita (BRASIL, 2012, p-21).

Por meio da SD é possível modificar em parte a metodologia tradicional, uma vez que a mesma apresenta umas propostas envolventes ao discente em suas atividades, buscando a construção de uma aprendizagem significativa.

### 3.3. Planejamento do Ensino

Como planejamento de ensino, o alinhamento construtivo originado pela teoria construtivista, se coloca como elemento facilitador no processo de aprendizagem; proposto por John Biggs (BIGGS, TANG, 2011), pode ser compreendido pelo modo de planejamento, projeção, demarcação e avaliação do ensino (SOUZA, 2016). Pela aplicação do alinhamento construtivo se busca facilitação para atingir os objetivos desejados no projeto de pesquisa, pois:

[...] fornece técnicas que lhes permitem alinhar ensino e avaliação aos resultados pretendidos da aprendizagem, a fim de que o ensino requeira que os alunos se envolvam em atividades de aprendizagem que são projetadas para atingir os resultados, e a avaliação projetada para informar quão bem os resultados foram atingidos. (Biggs; Tang, 2011 apud Mendonça, 2015 p. 2)

A SD proposta será elaborada seguindo o alinhamento construtivo, objetivando a responsabilização e motivação no engajamento do aprendiz (SOUZA, 2016), com foco centrado no aluno, possibilitando sua participação ativa, buscando estimular sua autoestima, “e o *autoconceito* em relação às aprendizagens que se propõem” (ZABALA, 2014, p. 85).

Para Biggs, Tang (2011) o planejamento de ensino para o alinhamento construtivo deve entrelaçar e equiparar os Resultados Pretendidos da Aprendizagem (*Intended Learning Outcome*), com as Atividades de Ensino e Aprendizagem (*Teaching Learning Activities*) e Atividades de Avaliação (*Assessment Task*), como mostra a figura 9.

Figura 9: Esquema do Alinhamento Construtivo.



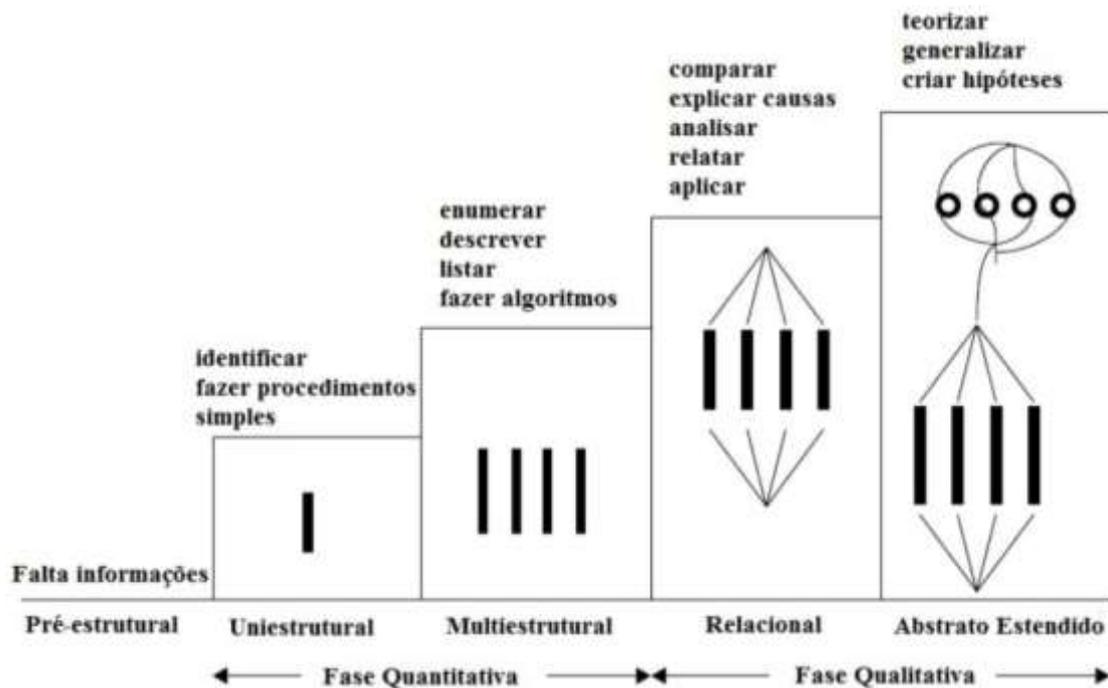
Fonte: BIGGS (1999, apud MENDONÇA, 2015)

Biggs e Tang (2011) apontam a Taxonomia SOLO (*Structure of the Observed Learning Outcome*) para auxílio na verificação dos resultados pretendidos da aprendizagem assim como os níveis cognitivos pretendidos em cada planejamento de ensino, e conseqüentemente, em cada atividade de ensino, de aprendizagem e avaliação. Tais objetivos, também buscaram alcançar: Conhecimentos específicos, Habilidades diversas e Conceitos éticos importantes na temática estudada.

Dentro dos níveis definidos pela taxonomia SOLO o planejamento de ensino desta pesquisa defere o uso do método, com transição entre as fases quantitativa e qualitativa para os níveis cognitivos desejados (Fig. 10), possibilitando ao aluno construir o aprendizado em cada fase com ações específicas e objetivas.

No que se refere às atividades de ensino e aprendizagem o alinhamento permite realizar uma evolução entre os níveis possibilitando que o aluno preencha todas as etapas necessárias para a construção de seu aprendizado (BIGGS, TANG, 2011 apud MENDONÇA, 2015).

Figura 10: Estrutura taxonômica SOLO



Fonte: BIGGS e TANG (2011 apud MENDONÇA, 2015).

A Estrutura Taxonômica SOLO apresentada pela figura 10, descrever o progresso cognitivo dos alunos em relação a um determinado tópico, abordando as fases quantitativa quanto qualitativa do desenvolvimento, permitindo uma avaliação abrangente de seu entendimento.

À medida que os aprendizes avançam de um nível para o próximo, eles demonstram um aumento quantitativo na complexidade de seu entendimento e habilidades. Isso pode ser medido pela quantidade de informações que o aluno é capaz de manipular e pela capacidade de abordar situações mais complexas (Mendonça 2015, pág.8 ).

Na fase quantitativa da Taxonomia SOLO, o aprendiz progride através dos níveis de complexidade, passando do nível mais básico, Pré-estrutural, para o nível Uniestrutural e o mais avançado, Multiestrutural. Na fase Pré-estrutural ele não compreende adequadamente o tema e pode ter equívocos ou falta de entendimento, na fase Uniestrutural o aprendiz compreende apenas uma única parte isolada do tema; na fase Multiestrutural o é capaz de compreender várias partes isoladas do tema, mas não consegue integrá-las de maneira significativa (Mendonça 2015, pág.9).

Na fase qualitativa o aprendiz se concentra na qualidade das conexões e na profundidade da compreensão, esta etapa abrange os níveis Relacional e Abstrato Estendido. Na fase Relacional o aprendiz consegue fazer conexões entre as partes isoladas do tema e

começar a ver as inter-relações; na fase do Abstrato Estendido, ele é capaz de generalizar, aplicar de maneira criativa e entender profundamente o tópico em diferentes contextos (Mendonça 2015, pág.9).

Mendonça, Coelho (2018) propõem que a rubrica seja uma proposta significativa e estratégica na avaliação de desempenho do aprendiz em suas contribuições. Brookhart (2013, p. 4), define uma rubrica como sendo “um conjunto coerente de critérios sobre o trabalho a ser realizado pelos estudantes que inclui descrições de níveis de desempenho”. Pontuamos a utilização de rubricas para verificação da avaliação do conhecimento, seguindo critérios claros e objetivos sobre o que se deve apresentar em diferentes níveis de desempenho.

Para rubrica proposta, apontamos avaliação do grau de desenvolvimento na linha horizontal, pelos dois processos principais da estrutura cognitiva nos níveis: marginal, adequado, bom e excelente; em cada nível do grau de conhecimento, um score distribuído de modo proporcional defere em ressonância com uma tabela distributiva, o desenvolvimento obtido (APÊNDICE E). Na linha vertical, o grau de complexidade tem seu sentido crescente pela avaliação dos níveis cognitivos: uniestrutural, multiestrutural, relacional e abstrato estendido, segundo a taxonomia SOLO.

Portanto, este trabalho tem como teoria educacional a aprendizagem significativa para orientar o modo como o processo de ensino e aprendizagem se dará, tem a sequência didática como estrutura do processo, o planejamento por meio do alinhamento construtivos e para avaliar o grau de desenvolvimento dos sujeitos a taxonomia solo.

#### 4. Itinerário da Pesquisa

Na pesquisa apresentamos resposta sobre como o Modelo Padrão pode contribuir com a melhoria no entendimento da estrutura da matéria e a compreensão a respeito das forças da natureza. Há de se observar a necessidade de atender as novas diretrizes vigentes da educação brasileira (BNCC), difundir o estudo da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio e atenuar a falta de propostas aplicadas ao ensino da Física de Partículas Elementares (FPE) no referido nível.

Observamos a metodologia da pesquisa científica qualitativa como capaz de orientar as etapas da pesquisa e garantir a validação como trabalho científico. Parece-nos evidente que na área do Ensino o uso da pesquisa qualitativa configura-se como um forte viés. De acordo com Bogdan e Biklen (1982), a pesquisa qualitativa apresenta cinco características estruturantes: (1) possui como fonte direta dos dados o ambiente natural sendo o pesquisador o elemento principal, (2) tem predomínio na coleta de dados descritiva, (3) maior atenção da parte dos pesquisadores com o processo e não com o produto final, (4) a análise dos dados possui um tendência indutiva (mas evita o indutivismo ingênuo) no processo e (5) o significado é a maior preocupação do pesquisador no questionamento qualitativo.

##### 4.1. Sujeitos da pesquisa

Esta pesquisa teve como sujeitos estudantes do 3º ano do Ensino Médio, de escola pública de Manaus, autorizada pelo comitê de ética, sob o parecer 5.580.406, de 12 de agosto de 2022. Os estudantes participaram das ações previamente planejadas pelo pesquisador, que observou os efeitos de todas as ações e as avaliou conforme os resultados obtidos na sua implementação no ensino e aprendizagem, no campo da FPE. Assim, os estudantes precisaram demonstrar as evidências de aprendizagem de conhecimentos prévios, advindos de componentes curriculares anteriores ao 3º ano do Ensino Médio, que se articularam, possibilitando ao educando a construção intelectual, crítica e integradora com o novo conhecimento a ser aprendido, isto é, os sujeitos devem evidenciar na sua estrutura cognitiva conceitos como, por exemplo, o princípio da conservação da energia para que o novo conhecimento seja incorporado de modo significativo. Caso os sujeitos não demonstrassem ter estabilidade de conceitos prévios seria necessário implementar ação que organizasse sua estrutura cognitiva.

Como características significativas ao desenvolvimento, temos: (1) uma infraestrutura com ambientes laboratoriais e sala de aula adequada, (2) apoio de recursos tecnológicos, (3)

acervo bibliográfico. Já as questões didático-pedagógicas concernentes a pesquisa são: (1) uma proposta acadêmica com experiências de ensino vivenciada de modo a apresentar uma formação profissional com conhecimentos integrados ao trabalho, à ciência e à tecnologia, habilitado a desempenhar suas atividades interagindo de forma criativa e dinâmica no estudo, (2) conhecimentos prévios predominantemente significativos, advindos dos componentes curriculares anteriores ao 3º ano do Ensino Médio, que possibilitam ao educando a construção intelectual, crítica e integradora do saber.

É importante ressaltar que o professor ao realizar a pesquisa experimentou um processo pedagógico e científico. E apesar de não ser o principal sujeito desta pesquisa, experimentou uma transformação participativa quando interagiu com o objeto deste estudo e a produção de novos conhecimentos.

#### 4.2. Pesquisa-ação

A pesquisa científica vislumbra com um dos objetivos em um estudo, a construção de um novo a partir do que já se sabe, com possibilidades de reestruturação do conhecimento e novos entrelaçamentos a partir do saber teórico e a prática educativa. Garcia (2009, p. 177) cita: “a pesquisa do professor tem como finalidade o conhecimento da realidade para transformá-la, visando à melhoria de suas práticas pedagógicas e à autonomia do professor”.

Na busca de um processo emancipatório e não invasivo, onde o aprendiz se torna reflexivo e crítico em suas ações e necessidades, Demo (2006, p. 42) afirma que:

Pesquisa como princípio científico e educativo faz parte de todo processo emancipatório, no qual se constrói o sujeito histórico autossuficiente, crítico e autocrítico, participante e capaz de reagir contra a situação de objeto e de não cultivar o outro como objeto.

Avaliamos que a condução de um papel formativo significativo, nos remete para uma postura mediadora na qual devemos desenvolver um papel ativo e estimulador no ambiente de estudo, não como detentores do saber. É salutar que o processo ocorra por meio de relações e problemas significativos intrínsecos no meio social com participação coletiva e intermediação de pessoas experientes, de modo que a inteligência emocional e maturidade sejam determinantes no processo de emancipação e transformação “[...] a experiência humana é medida com as interpretações que as pessoas realizam com o mundo social” (FORNER e LATORRE, 1996, p. 87).

A evolução do conhecimento científico nos traz melhorias na qualidade de vida com avanços no desenvolvimento da tecnologia sendo importante e significativo o conhecimento dessa realidade e suas interações. O Ministério da Educação por meio da BNCC apresenta a

inclusão do estudo de tópicos da Física Moderna no conteúdo programático do Ensino Médio, buscando uma plena formação cidadã.

De acordo com o guia do PNLD 2012,

Os Tópicos de Física Moderna caracterizam-se por explorar as rupturas produzidas na estrutura conceitual da Física, na passagem do século XIX para o século XX, inclusive envolvendo o conceito de paradigma do ponto de vista epistemológico, e também por apresentar, por meio de um enfoque de cunho mais informativo, alguns aparatos e processos tecnológicos que incorporam, no seu funcionamento, elementos básicos da física nuclear e de partículas. (BRASIL, 2011, p. 74).

Nosso objeto de pesquisa busca elaborar uma sequência didática visando o estudo da estrutura da matéria no Ensino Médio, com o objetivo de aproximação do conhecimento contemporâneo e o entendimento de sua evolução tecnológica nas aplicabilidades cotidianas de nossas vidas. Propomos uma abordagem qualitativa, justificada pela abordagem cognitivista. Para Sandín Esteban (2003) esta metodologia

... abrange basicamente aqueles estudos que desenvolvem os objetivos de compreensão dos fenômenos socioeducativos e a transformação da realidade. Nos últimos anos, apareceram com grande força os estudos que, de uma perspectiva qualitativa e colaborativa, estão voltados para a valoração da prática educativa e a tomada de decisões (processos, programas, inovações) e também os processos de pesquisa qualitativa cujo objetivo fundamental é a emancipação dos sujeitos. Portanto, a pesquisa qualitativa se refere ao que tradicionalmente denominamos metodologias orientadas à avaliação e tomada de decisões (ESTEBAN, 2003, p.54).

A estratégia de pesquisa, propõe a construção e o uso de uma sequência didática apresentada como produto educacional baseada na Teoria de Aprendizagem Significativa (TAS), com aplicação cíclica identificação → planejamento → ação → pesquisa → ressignificação, sendo os instrumentos de coleta de dados a observação, a solução do problema, a atividade avaliativa e os questionários.

A proposta tem como base epistemológica a Pesquisa-Ação do tipo estratégica, apontada por Thiollent (1988) como sendo uma pesquisa que envolve aspectos reais nas situações e problematizações, identificada pela possível construção do conhecimento pelas ações e interações entre a prática e a pesquisa.

Segundo Thiollent (1988, p.15),

A Pesquisa-Ação é um tipo de pesquisa social de base empírica que é concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo no qual os pesquisadores e participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo.

Lara e Molina (2011) apontam como características importantes da Pesquisa-Ação uma larga relação interativa entre o sujeito investigado e o pesquisador, procurando ações assertivas na sequência da pesquisa e objetivos concretos nos resultados. A Pesquisa-Ação busca como

objetivo a solução ou esclarecimento dos problemas observados com intencionalidades durante todas as ações e tomadas de decisão.

Segundo Lara e Molina (2011) a Pesquisa-Ação como metodologia da pesquisa trata-se:

[...] de um método, ou de uma estratégia de pesquisa agregando vários métodos ou técnicas de pesquisa social, com os quais se estabelece uma estrutura coletiva, participativa e ativa ao nível da captação de informação. A metodologia das ciências sociais considera a pesquisa-ação como qualquer outro método. Isto quer dizer que ela a toma como objeto para analisar suas qualidades, potencialidades, limitações e distorções. A metodologia oferece subsídios de conhecimento geral para orientar a concepção da pesquisa-ação e controlar o seu uso (THIOLLENT, 1988, p. 25-26).

Lara e Molina (2011) deferem que do ponto de vista estratégico da pesquisa:

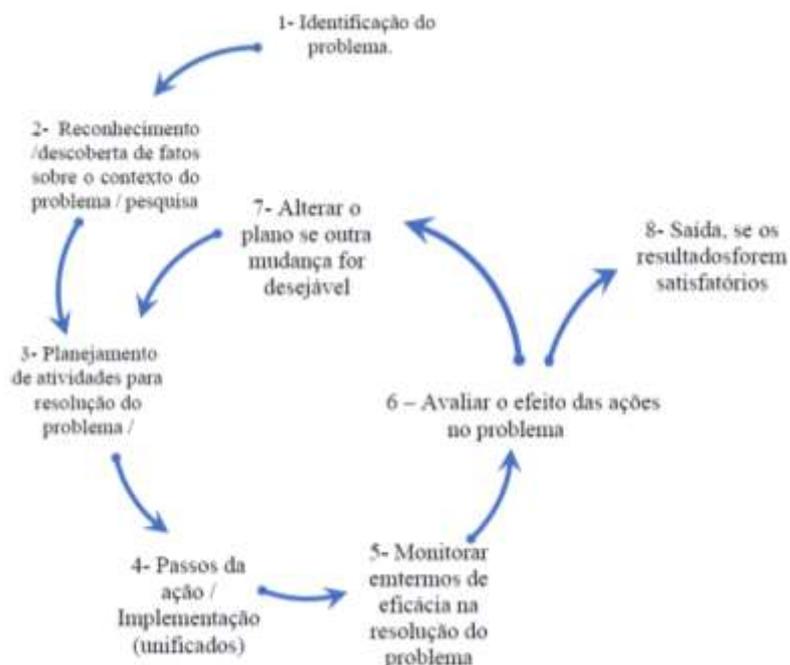
a pesquisa-ação pode ser vista como modo de conceber e de organizar uma pesquisa social de finalidade prática e que esteja de acordo com as exigências próprias da ação e da participação dos atores da situação observada. [...] Uma pesquisa concebida sem esse tipo de exigência corre o risco de se limitar a uma simples reprodução de lugares-comuns e de encobrir manipulações por parte de quem "fala mais alto" nas situações observadas. O fato de manter na pesquisa-ação algum tipo de exigência metodológica e científica não deve ser interpretado como "cientificismo", "positivismo" ou "academicismo". É apenas um elemento de defesa contra as ideologias passageiras e contra a mediocridade do senso comum (THIOLLENT, 1988, p. 26).

A busca pela superação entre as lacunas da teoria e a prática, com intervenção de modo inovador durante a pesquisa e não somente como recomendação no final do projeto, são características significativas apontadas por Engel (2000) na pesquisa-ação, que ainda pontua a possibilidade no estudo de ações humanas passíveis de mudanças que requer praticidade na resposta.

Thiollent (1988) aponta características da pesquisa-ação entre a prática cíclica e a pesquisa científica como sendo: participativa, contínua, proativa, deliberada, inovadora, problematizada, disseminada, compreendida, documentada e inovadora, que confirmam o objetivo desta proposta de pesquisa.

Dentro de um processo cíclico idealizado por um planejamento da atividade prática (identificação → reconhecimento → planejamento), aplicação (ação → pesquisa) e avaliação dos resultados (ressignificação) como proposto por Thiollent (1988), deferimos a metodologia de investigação com um planejamento de ação do tipo estratégica (Figura 11), onde após a avaliação dos efeitos da ação analisa-se os resultados.

Figura 11: Ciclo da pesquisa-ação.



Fonte: McKay e Marshall (2001) (adaptado pelo autor).

#### 4.3. Coleta de dados

Dentro da sequência didática a coleta de dados foi deferida pela aplicação de questionários como também um diário de bordo que acompanhou os discentes em todas as etapas da pesquisa. Os instrumentos de realização da pesquisa seguiram o alinhamento construtivo e a taxonomia SOLO como elementos norteadores no planejamento de ensino. A aplicação dos questionários objetiva verificar os conhecimentos prévios no início da pesquisa e verificação final de indícios de aprendizado. O diário de bordo visa registrar os resultados das etapas desenvolvidas no projeto de pesquisa, com observações conclusivas sobre o aprendizado do estudo feito.

#### 4.4. Análise dos dados

Durante as etapas de aplicação da sequência didática com coleta de dados nas atividades desenvolvidas, a análise qualitativa deles foi deferida pela aplicação de rubricas com escore como critério de avaliação, seguindo o planejamento de ensino.

#### 4.5. Etapas de elaboração, aplicação e avaliação da pesquisa

##### Etapa 1 – Identificando o problema

O objeto de estudo busca apresentar um problema sobre a Física Moderna e Contemporânea pelo estudo da FPE, buscando um pensamento crítico e reflexivo no aprendiz sobre a relação entre a ciência, tecnologia, ambiente e sociedade perante a modernidade.

## Etapa 2 – Reconhecimento / Descoberta dos fatos sobre o contexto do problema

A partir de uma pesquisa de revisão sistemática sobre o tema, percebemos pouca discussão sobre a Física de Partículas Elementares (FPE) no Ensino Médio como elemento estudo, facilitador e integrador do conhecimento na compreensão do Ensino de Física; dentro desta análise procuraremos responder “como a discussão sobre o Modelo Padrão da Física de Partículas com alunos do Ensino Médio pode promover a aprendizagem de conceitos capazes de subsidiá-los na compreensão de matéria e forças da natureza?”.

## Etapa 3 – Planejamento das atividades

No decorrer da proposta apresentaremos uma caminhada investigativa em cinco unidades com uma conexão central, possuindo natureza metodológica deferida pelo desenvolvimento sequenciado em seus desdobramentos, onde cada uma difere um objetivo, apoiando uma ação subsequente na unidade posterior.

## Etapa 4 – Passos da ação / implementação

Seguindo as orientações de Zabala (2014) implementamos a sequência didática utilizando vários recursos tecnológicos e um jogo.

## Etapa 5 – Monitoramento / eficácia na resolução do problema

Em acompanhamento a aplicação da sequência didática observa-se de modo contínuo os resultados que apontem atribuições de novos significados aos conhecimentos prévios, resolução de inconsistências, integração de significados com super ordenações, desenvolvendo atividades para ajustar dificuldades percebidas.

## Etapa 6 – Avaliação das ações

Seguindo o alinhamento construtivo e a taxonomia SOLO busca-se projeção para os resultados pretendidos da aprendizagem por meio de rubricas, avaliando as informações coletadas em cada aula, questionários, atividades experimentais, questões norteadoras na sistematização do conhecimento. Pela possibilidade estratégica apontada pela metodologia da pesquisa a etapa 7 (alteração do plano) não será realizada.

## Etapa 8 – Saída satisfatória

Pela proposta estratégica da metodologia de pesquisa, seguiremos para etapa final com avaliação dos resultados e apresentação da sequência didática como produto educacional. A decisão da saída na etapa seis do processo cíclico da pesquisa-ação é motivada pela satisfação de resultados e pelo tempo estabelecido para o desenvolvimento deste trabalho.

## **5. Implementação da Sequência Didática**

### **5.1 Apresentação**

Para Zabala (2014) a Sequência Didática (SD) deve propor práticas educativas com objetivos educacionais conhecidos de modo que sejam preparadas, organizadas e articuladas para realização de um processo educacional. É importante na sua organização que o professor procure justificativa para duas indagações que definem o sentido e a importância do ato de se educar: “Para quem educar? Para quem ensinar?” perguntas capitais que apontam para uma intervenção pedagógica introspectiva (ZABALA, 2014, p.28).

A Sequência Didática apresentada foi aplicada no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Estado do Amazonas – Campus Manaus Centro, nas turmas de 3º ano do curso técnico de nível médio em edificações, códigos IEDF31 (contendo 32 estudantes) e IEDF32 (contendo 25 estudantes). Os encontros (aulas de 50 min) aconteceram entre os dias 13/09/2022 e 16/11/2022, nas terças e quartas-feiras, no horário das 16h às 17h50min, totalizando uma carga horária de 07h30min para cada turma. O curso técnico em edificações visa formar profissionais dotados de competências e habilidades para desempenho de atividades na área de construção civil, auxiliando o engenheiro civil ou arquiteto nas fases de trabalhos relacionadas ao planejamento, projeto, execução, manutenção e restauração de edificações.

O componente curricular Física 3 tem carga horária total de 80 horas, distribuída em 200 dias letivos, em dois encontros semanais (terças e quartas-feiras), dessas 62 horas são aulas teóricas e 16 horas aulas práticas (laboratório de Física). A ementa desse componente contempla a Relatividade, Teoria Quântica e Física Nuclear com grau de complexidade proporcional ao nível de ensino e que são teorias necessárias para compreender o modelo padrão.

### **5.2 Carga horária**

Para o atingimento dos objetivos, a carga horária envolvida no processo de ensino e aprendizagem foi dividida do seguinte modo (anexo neste relatório temos os planos de aula):

1. Unidade 1: Levantamento dos conhecimentos prévios - 50min (participação de 55 estudantes das turmas).

2. Os processos de ensino e aprendizagem possuíram as seguintes cargas horárias:

2.1 Unidade 2: Descobrimos sem ver - 50min (equivalente a 1 aulas);

2.2 Unidade 3: Experimentação na produção do conhecimento - 2h e 30min (equivalente a 3 aulas de 50 minutos);

2.3 Unidade 4: Identificando partículas elementares - 1h e 40min (equivalente a 2 aulas de 50 minutos);

2.4 Unidade 5: O Modelo Padrão (equivalente a 2 aulas de 50 minutos).

### 5.3 Atividades de Aprendizagem:

1- Os estudantes realizaram experimento que utiliza de uma caixa fechada contendo vários objetos e encontrar um modo de descobrir a forma dos objetos sem abrir a caixa.

2 -Lançaram aleatoriamente uma bola de vidro ou metal para colidir com outras bolas (arranjadas e fixas dentro de uma caixa) e medir indiretamente o tamanho médio dessas bolas.

3- Utilizaram os simuladores: espalhamento Rutherford (Phet), carga/massa do elétron (IFCE), SPY (CERN) e o jogo sprace game (SPRACE.org) para conhecer e compreender o comportamento das partículas que compõem a estrutura da matéria.

4- Utilizar de um jogo de cartas para identificar propriedades das partículas que compõem o modelo padrão.

### 5.4 Desenvolvimento

Para que a sequência didática seja organizada é necessário que o professor busque justificativa para duas indagações que definem o sentido e a importância do ato de se educar: “Para quê educar? Para quê ensinar?” perguntas capitais que apontam para uma intervenção pedagógica introspectiva (ZABALA, 2014, p.28).

Zaballa (2014) aponta que a SD deve ser significativa, funcional e satisfatória para o desenvolvimento do aprendiz a partir de suas competências e habilidades, de acordo com seus conhecimentos prévios; deste modo organizamos a sequência didática em quatro unidades.

Na Unidade I (quadro 6) trabalhamos o modo experimental desenvolvido na Física para a compreensão da estrutura da matéria.

Quadro 5: Componentes da Unidade I

| Unidade I   | Partes da unidade               | Aulas  | Duração |
|---|---------------------------------|--------|---------|
|   | Parte 1 – Conhecimentos prévios | Aula 1 | 50 min  |
| <b>Resultados pretendidos da aprendizagem:</b> O aluno deve demonstrar conhecimentos prévios de conceitos |                                 |        |         |

|   |
|---|
| envolvidos na Física que estuda a estrutura da matéria a começar pelo conceito de átomo e seus constituintes, a propriedade conhecida como carga elétrica, os conceitos de velocidade, força e energia.                             |
| <p><b>O que faz o professor?</b></p> <p>1. Aplica questionário com 10 (dez) perguntas e analisa o resultado, havendo necessidade implementa organizador prévio; e</p> <p>2. Utiliza de videoaula para organização de conceitos.</p> |
| <p><b>O que faz o aluno?</b></p> <p>1. Responde o questionário; e</p> <p>2. Dedica atenção à videoaula.</p>   |

Fonte: Autoria própria.

Na Unidade II (quadro 7) é apresentado aos alunos uma proposta para descoberta de um objeto desconhecido dentro de uma caixa buscando entendimento sobre o papel da experimentação na produção do conhecimento.

Quadro 6: Componentes da Unidade II

| Unidade II  | Partes da unidade | Aulas  | Duração |
|---|-------------------|--------|---------|
| Parte 1 – O que há dentro da caixa?   |                   | Aula 2 | 50 min  |
| <b>Resultados pretendidos da aprendizagem:</b> O aluno deve descrever com clareza os procedimentos adotados para descobrir as propriedades dos objetos dentro de uma caixa fechada  |                   |        |         |
| <p><b>O que faz o professor?</b></p> <p>1. Seleciona três objetos com formas esférica, cilíndrica e cúbica, introduz cada um desses em caixa de sapatos (sem a presença do aluno), lacra a caixa com fita adesiva; e</p> <p>2. Formando grupos em sala distribui uma caixa para cada grupo, trocando as caixas até que todos os grupos as tenham utilizado.</p> |                   |        |         |
| <p><b>O que faz o aluno?</b></p> <p>1. Realiza o experimento da caixa de sapatos, anota as observações e responde a pergunta “o que há dentro da caixa?”.</p> <p>2. Os grupos devem declarar o que há dentro da caixa seguido das propriedades identificadas dos objetos.</p>   |                   |        |         |

Na Unidade III (quadro 8) é apresentado aos alunos os experimentos: descobrindo o tamanho da bola, simulando os Modelos de Thomson e Rutherford e carga elétrica num campo magnético uniforme.

Quadro 7: Componentes da Unidade III

| Unidade III  | Partes da Unidade | Aulas  | Duração |
|--|-------------------|--------|---------|
| Parte 1 – Descobrimo o tamanho da bola   |                   | Aula 3 | 50 min  |
| <b>Resultados pretendidos da aprendizagem:</b>   |                   |        |         |
| <p>1. Saber como é possível determinar o tamanho de uma bola de gude de modo indireto e por meio da colisão;</p> <p>2. Observar o papel da experimentação na produção de conhecimento; e</p> <p>3. Familiarizar-se com conceitos e procedimentos empregados pelos cientistas na Física</p> |                   |        |         |
| <p><b>O que faz o professor?</b></p> <p>1. Constrói, seguindo as instruções, o recurso que será utilizado no experimento;</p> <p>2. Organiza os grupos; e</p> <p>3. Orienta os estudantes como proceder com o experimento.</p>   |                   |        |         |
| <b>O que faz o aluno?</b>  |                   |        |         |

|  |        |        |
|--|--------|--------|
| 1. Calcula o tamanho de uma bola de gude por meio da colisão perfeitamente elástica entre bolas de gude;<br>2. Participa de roda de conversa discursando sobre os resultados e procedimentos utilizados.   |        |        |
| Parte 2 – Simulando os Modelos de Thomson e Rutherford   | Aula 4 | 50 min |
| <b>Resultados pretendidos da aprendizagem:</b><br>1. Identificar qualitativamente as principais características dos átomos a partir da compreensão de Thomson e Rutherford;<br>2. Descrever qualitativamente as características destes modelos.<br>3. Comparar os modelos observando suas diferenças.  |        |        |
| <b>O que faz o professor?</b><br>1. Disponibiliza com uso de computador o simulador Phet disponível em: <a href="https://phet.colorado.edu/pt_BR/">https://phet.colorado.edu/pt_BR/</a> .<br>2. Orienta os estudantes quanto ao uso da simulação do Phet intitulada Espalhamento de Rutherford.<br>3. Expõe sobre as características dos modelos e sua relação com a estrutura da matéria. |        |        |
| <b>O que faz o aluno?</b><br>1. Realiza o experimento no simulador;<br>2. Responde a atividade de aprendizagem.  |        |        |
| Parte 3 – Carga elétrica num campo magnético   | Aula 5 | 50 min |
| <b>Resultados pretendidos da aprendizagem:</b><br>1. Demonstrar habilidade para calcular a razão carga/massa do elétron;<br>2. Reconhecer que a carga elétrica é uma propriedade importante na discussão sobre estrutura da matéria  |        |        |
| <b>O que faz o professor?</b><br>1. Disponibiliza com uso de computador o simulador Carga/Massa do elétron.<br>2. Orienta os estudantes quanto ao uso do simulador.<br>3. Relembra os estudantes do formalismo usado para determinar a relação carga/massa do elétron.   |        |        |
| <b>O que faz o aluno?</b><br>1. Ouve, participa e toma nota dos dados extraídos do simulador.<br>2. Calcula o valor Carga/Massa.   |        |        |

Fonte: Autoria própria.

Na Unidade IV (quadro 9) apresenta-se os aceleradores e detectores de partículas como instrumentos modernos no estudo da estrutura da matéria e a classificação das várias partículas elementares.

Quadro 8: Componentes da Unidade IV

| Unidade IV  | Partes da unidade | Aulas  | Duração |
|---|-------------------|--------|---------|
| Parte 1 – Aceleradores e detectores de partículas.  |                   | Aula 6 | 50 min  |
| Parte 2 – Identificando partículas elementares em um simulador  |                   | Aula 7 | 50 min  |
| <b>Resultados pretendidos da aprendizagem:</b><br>1. Identificar as propriedades das partículas elementares;<br>2. Descrever as famílias ou grupo que formam o Modelo Padrão;<br>3. Explicar o conceito “partícula elementar”.  |                   |        |         |
| <b>O que faz o professor?</b><br>1. Apresenta o simulador SPY e suas funcionalidades;<br>2. Instala o software, o <i>Sprace Game</i> , nos computadores da escola;<br>3. Prepara os questionários e o material a ser utilizado;<br>4. Apresenta o jogo e suas funcionalidades;<br>5. Auxilia na identificação das propriedades das partículas elementares a partir do jogo. |                   |        |         |
| <b>O que faz o aluno?</b><br>1. Ouve, participa e toma nota dos dados extraídos do jogo.<br>2. Executa as missões propostas nas atividades.   |                   |        |         |

Fonte: Autoria própria.

Na unidade V (quadro 10) conceituamos partícula elementar e quais propriedades classificam as partículas em suas famílias/grupos, a tabela periódica da Física mais conhecida

como modelo padrão.

Quadro 9: Componentes da unidade V

| Unidade V   | Partes da unidade         | Aulas  | Duração |
|---|---------------------------|--------|---------|
|   | Parte 1 – O Modelo Padrão | Aula 8 | 50 min  |
|   | Parte 2 – Quem eu sou?    | Aula 9 | 50 min  |
| <b>Resultados pretendidos da aprendizagem:</b>                                |                           |        |         |
| 1. Nomear as famílias e partículas elementares de acordo com o Modelo Padrão; |                           |        |         |
| 2. Identificar propriedades quânticas das partículas.                         |                           |        |         |
| <b>O que faz o professor?</b>   |                           |        |         |
| 1. Apresenta em aula expositiva o Modelo Padrão.                              |                           |        |         |
| 2. Imprime na Escola as cartas do jogo “Quem eu sou?”;                        |                           |        |         |
| 3. Informa as regras do jogo de cartas.                                       |                           |        |         |
| <b>O que faz o aluno?</b>   |                           |        |         |
| 1. Ouve, participa e toma nota dos dados extraídos do jogo.                   |                           |        |         |

Fonte: Autoria própria.

Para averiguar se o resultado pretendido foi alcançado lançamos mão da técnica da rubrica porque Mendonça e Coelho (2018) propõem que ela seja uma proposta significativa e estratégica na avaliação de desempenho do aprendiz. Brookhart (2013, p. 4), define uma rubrica como sendo “um conjunto coerente de critérios sobre o trabalho a ser realizado pelos estudantes que inclui descrições de níveis de desempenho”. Pontuamos a utilização de rubricas para verificação da avaliação do conhecimento, seguindo critérios claros e objetivos sobre o que se deve apresentar em diferentes níveis de desempenho.

## 6. Resultados e discussões

### 6.1 – Unidade I: Levantamento dos conhecimentos prévios

Após deferimentos do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) pelos discentes, apresentamos a proposta da sequência didática a ser desenvolvida, detalhando suas unidades de ensino. A partir da construção apresentada, pelo planejamento das unidades e seus respectivos resultados pretendidos, implementamos a sequência didática, iniciando com a averiguação dos conhecimentos prévios com questões abertas e fechadas deferidas no apêndice A, sendo respondido por 55 alunos (Figura 12).

Figura 12: Levantamento dos conhecimentos prévios



Fonte: Autoria própria

Segundo Brasil (2012, p.20) o conhecimento prévio é fator significativo na construção do saber, a contribuição deferida pela SD nesta construção se dá pela possibilidade de ordenação, estruturação e articulação dos saberes de modo progressivo.

Iniciamos o processo de implementação do produto educacional com o levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos cujo subsunçor é estrutura da matéria. Foram apresentadas 10 questões (abertas e fechadas) em que eles poderiam expressar seu conhecimento sobre esse subsunçor (APÊNDICE A). Caso observássemos instabilidade de conceitos, tais como de que modo um átomo está estruturado e seus componentes, haveria a necessidade de utilizar organizador prévio. No quadro 11 apresentamos o resultado desse levantamento.

Quadro 10: Perguntas feitas aos trabalhos selecionados por meio da revisão sistemática.

| Questão | Resultado  |
|---------|--|
| Q1      | 93,5% dos alunos entendem haver uma constituição elementar clássica para a estrutura da matéria.   |
| Q2      | Percebemos instabilidade de conceitos nesta questão: apenas 18,2% dos 55 alunos declararam que a estrutura do átomo se aproxima do modelo de Rutherford, isto é, a maioria ainda compreende o átomo como aqueles no início do século XX.                                       |
| Q3      | Observamos instabilidade de conceito porque apenas 16,4% dos alunos demonstraram ter conhecimento sobre a estrutura do átomo.  |
| Q4      | Buscamos identificar se os alunos sabem a diferença entre elétrons, prótons e nêutrons e 85,4% declaram haver diferença devido a carga elétrica.   |
| Q5      | Na questão anterior percebemos estabilidade do conceito de carga elétrica relacionada aos componentes clássicos do átomo, mas quando buscamos saber sobre outra propriedade dessas partículas, a saber, a massa, apenas 14,5% dos alunos sabem que o próton é a mais “pesada”. |
| Q6      | 34,5% dos alunos demonstraram saber a relação entre a velocidade de uma partícula e sua energia. A energia é um conceito fundamental na FPE; FPE é a Física de alta energia.   |
| Q7      | 43,6% demonstraram conhecer que a energia cinética de uma partícula é proporcional ao quadrado da velocidade.  |
| Q8      | 30,9% dos alunos demonstraram conhecimento fundamental sobre a quantidade de movimento: a relação entre a massa e a velocidade da partícula. Conceito importante para compreender a FPE.   |
| Q9      | O princípio da conservação da quantidade de movimento é fundamental na caracterização de partículas elementares e 41,8% dos alunos demonstram estabilidade nesse conceito.   |
| Q10     | Buscamos saber se os alunos tinham conhecimento das forças fundamentais da natureza e 68,3% demonstraram conhecer sua existência.  |

Fonte: Autoria própria

Em discussão pelo apresentado na tabela 17 em observância as respostas do questionário aplicado (tabela 5), 93,5% das afirmações apontam para um pensamento comum para pergunta Q1 como deferiu uma das respostas: “ a matéria é constituída por átomos, os quais, por sua vez, são formados por elétrons, prótons e nêutrons” confirmando o entendimento de uma constituição elementar clássica para a estrutura da matéria (APÊNDICE A).

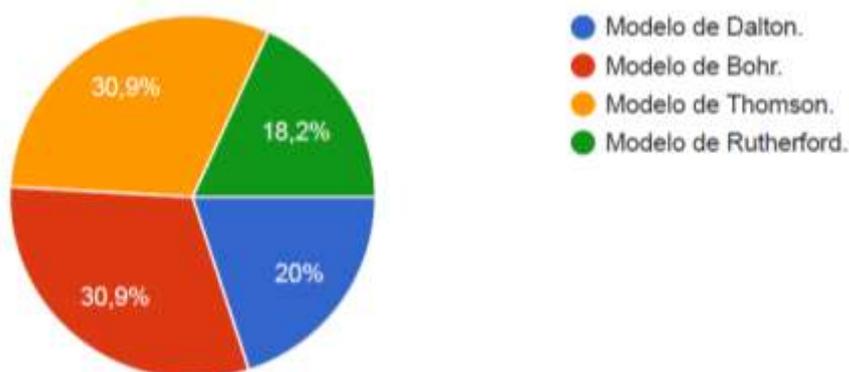
Tabela 5: Algumas das respostas dos alunos envolvendo a questão Q1

| Alunos | Respostas   |
|--------|---|
| 1      | “A matéria é tudo aquilo que percebemos com os nossos sentidos, ou seja, tudo ao nosso redor. E tudo isso é formado por átomos.” (Aluno A1) |
| 2      | “Ela é constituída por átomos que por sua vez é constituído por prótons, nêutrons e elétrons.” (Aluno A2)                                   |
| 3      | “A matéria é formada por átomos, estes são formados por partículas menores que são os prótons, nêutrons e elétrons.” (Aluno A3)             |

Fonte: Autoria própria

Quando perguntado sobre os modelos atômicos clássicos, percebemos dúvidas significativas apontadas pelas respostas da questão Q2 (Figura 13) do apêndice A, com 30,9% de acerto; tal dúvida aponta para o não entendimento sobre a estrutura dos modelos clássicos.

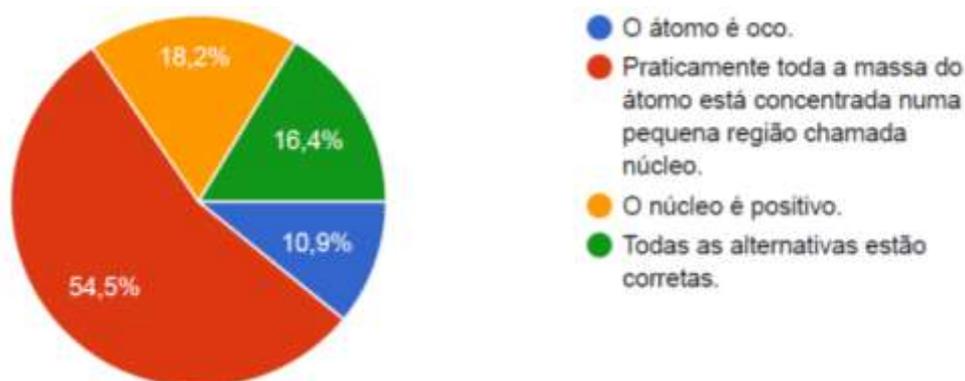
Figura 13: Percentuais de acertos para respostas da Questão 2



Fonte: Autoria própria

Pelas respostas da Q3 (Figura 14) do apêndice A, com 16,4% de acertos, verificamos um desconhecimento significativo sobre o experimento realizado por Rutherford, mostrando instabilidade no conceito sobre a estrutura atômica.

Figura 14: Percentuais de acertos para respostas da Questão 3



Fonte: Autoria própria

Sobre as diferenças apontadas entre elétrons, prótons e nêutrons da questão Q4 (APÊNDICE A), percebemos conhecimentos prévios sobre a propriedade da carga elétrica (85,4% das respostas), sem pontuação de outras características quânticas ou composição elementar (tabela 6); na questão Q5 (APÊNDICE A) se verifica pelo acerto em 14,5% das respostas, pouco conhecimento sobre a massividade das partículas e volumétrica da estrutura atômica.

Tabela 6: Algumas das respostas dos alunos envolvendo a Questão 4

| Alunos | Respostas  |
|--------|--|
| 1      | “A carga elétrica.” (Aluno A1)   |
| 2      | “prótons ficam no núcleo dos átomos e são positivos, nêutrons ficam no núcleo do átomo e não possuem carga elétrica, elétrons ficam na eletrosfera e tem cargas negativas.” (Aluno A2) |

|          |   |
|----------|---|
| <b>3</b> | “Eles se diferem de acordo com sua carga elétrica. Prótons possuem carga positiva, elétrons carga negativa e nêutrons possuem carga neutra. Pode-se dizer que diferem também por sua posição dentro do átomo. Elétrons ficam nos orbitais da eletrosfera, já os prótons e nêutrons ficam no núcleo atômico.” (Aluno A3) |
|----------|---|

Fonte: Autoria própria

A tabela 7 aponta respostas para questões compreendidas entre Q6 e Q10 (APÊNDICE A); tais questionamentos procuram avaliar conhecimentos da mecânica essenciais para compreensão da proposta.

Tabela 7: Resultados parciais do questionário prévio

|         | Questões |       |       |       |       |
|---------|----------|-------|-------|-------|-------|
|         | Q6       | Q7    | Q8    | Q9    | Q10   |
| Acertos | 34,5%    | 43,6% | 30,9% | 41,8% | 68,3% |

Fonte: Autoria própria.

Observamos nos resultados encontrados um rendimento abaixo da linha mediana, percebendo a necessidade de organizadores prévios, tratados em aula expositiva de conceitos alusivos à estrutura clássica do átomo; apontamos que a ausência de subsurçores tenha relação com as dificuldades no estudo pelos problemas vividos no período pandêmico.

No ano de 2019 em que os participantes da pesquisa cursaram o 1º ano do ensino médio, uma epidemia global causada pelo vírus SARS COVID 19 nos trouxe novos desafios educacionais; o confinamento obrigatório nos levou a novas práticas pedagógicas sem preparação adequada. O aprendiz por sua vez esteve imerso na utilização de recursos tecnológicos, sem preparo e desfavorecido por sua condição sócio econômica; muito se perdeu na qualidade do estudo e não efetivação de uma recuperação no retorno acadêmico.

Como intervenção para os indicadores obtidos após aplicação do questionário sobre os conhecimentos prévios, apresentamos o vídeo: “uma breve história do átomo” do YouTuber Pedro Loos concluindo com uma rodada de conversa. Em nosso produto educacional temos indicadores para diferentes ações que podem ser aplicadas como organizadores prévios do tema em questão.

## 6.2 Análise da Unidade II – Descobrimo sem ver

### 6.2.1 – Aula 2: O que há dentro da caixa?

A Unidade II propõe conhecer o papel da experimentação na produção de conhecimento; na segunda aula de acordo com o plano de ensino (APÊNDICE B) os discentes separados em grupos de 4 componentes desenvolveram atividade de aprendizagem (APÊNDICE C) com objetivo de identificar e descrever um sistema fechado (uma caixa contendo um objeto) para descobrir o tipo de objeto dentro da caixa, descrevendo sua forma,

massa (comparando a algo que eles conheçam) e o tipo de material (borracha, madeira, metal etc.). A pesquisa procura na referida atividade, conexão com nosso problema de pesquisa, identificando como os objetos e suas características poderiam ser descobertos sem serem vistos, em similaridade a descoberta dos quarks.

Como resultados da atividade de aprendizagem realizada por 55 alunos, observamos em sua primeira parte rendimentos médios de 68,7% e 67,5% (Tabelas 8 e 9) na parte subsequente.

Tabela 8: Percentual de respostas da atividade de aprendizagem (descoberta dos objetos)

| GRUPOS        | 1                       | 2     | 3   | 4     | 5     | 6     | 7   | 8   |
|---------------|-------------------------|-------|-----|-------|-------|-------|-----|-----|
| Identificação | forma, massa e material |       |     |       |       |       |     |     |
| Acertos       | 58,3%                   | 83,3% | 50% | 83,3% | 66,6% | 58,3% | 75% | 75% |
| Total         | 68,7%                   |       |     |       |       |       |     |     |

Fonte: autoria própria

Tabela 9: Percentual de respostas para sistematização do ensino

| GRUPOS    | 1                      | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   |
|-----------|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Descrição | resposta das perguntas |     |     |     |     |     |     |     |
| Acertos   | 40%                    | 80% | 80% | 60% | 60% | 60% | 80% | 80% |
| Total     | 67,5%                  |     |     |     |     |     |     |     |

Fonte: Autoria própria

Para resposta das duas perguntas finais apresentadas: que outras informações podem ser obtidas do objeto escondido sobre as mesmas condições citando os procedimentos que poderiam ser utilizados? Você sabe de alguma descoberta da ciência cujo procedimento experimental se assemelha ao que você utilizou neste experimento? qual? A pesquisa procurou buscar uma conexão com as descobertas científicas. Pontuamos resultados suficientes para para primeira indagação e não conhecimento para a segunda pergunta, para maioria dos grupos (APÊNDICE C).

Observamos resultados satisfatórios para o desenvolvimento da atividade com descrição das características dos objetos escondidos dentro da caixa, sendo o objetivo da proposta: “familiarizar-se com conceitos e procedimentos empregados no processo de investigação” atingido pelas respostas obtidas.

Buscando os níveis cognitivos apontados pela rubrica seguindo a taxonomia SOLO, apontamos resultados aceitáveis para atividade de aprendizagem com evolução entre os níveis uniestrutural e multiestrutural apontados pelas tabelas do apêndice E. Observamos nos resultados encontrados, um bom grau de desenvolvimento dentro dos conceitos estudados, com identificação e descrição satisfatória para os resultados pretendidos da aprendizagem dentro dos

graus de complexidade desejados.

Observamos indícios para compreensão do papel da experimentação na produção de conhecimento, segundo os resultados apresentados.

### 6.3 Análise da Unidade III – A experimentação na produção do conhecimento

#### 6.3.1 - Aula 3 – Descobrimo o tamanho da bola

A terceira aula propõe um experimento mais elaborado, com maior grau de complexidade (veja Figura 15). Um roteiro foi apresentado para que os alunos pudessem experienciar o modo experimental usado na física de partículas: colisão de um projétil com um alvo. O projétil, que no experimento é uma bola de gude, representa a partícula  $\alpha$  no experimento de Rutherford e bolas de gude dentro de uma caixa com aberturas laterais.

Na referida atividade a pesquisa busca compreensão do papel da experimentação na produção de conhecimento pela determinação do raio de uma esfera por meio de medida indireta, seguindo um planejamento de ensino (APÊNDICE B). Participaram da atividade de aprendizagem 55 alunos de duas turmas, em grupos de estudo com 5 componentes; cada grupo recebeu um roteiro de aprendizagem (APÊNDICE C) e um protótipo experimental; dentro da sequência de estudo, uma esfera era lançada na pista da plataforma e as probabilidades do modelo experimental definiram a medida.

Figura 15: Alguns alunos em atividade de aprendizagem – Aula 3



Fonte: Autoria própria

A atividade foi desenvolvida seguindo o planejamento de aprendizagem (APÊNDICE

C); durante o roteiro de estudo desenvolvido, os discentes encontraram todas as variáveis para o cálculo da medida do raio de modo indireto como também manifestaram dificuldades com a operação matemática probabilística, com resultados gerais satisfatórios (tabela 10).

Tabela 10: Respostas da atividade de aprendizagem

| GRUPOS                             | 1                | 2            | 3            | 4            | 5            | 6            | 7            | 8            |
|------------------------------------|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Cálculo do raio indireto</b>    | <b>certo</b>     | <b>certo</b> | <b>certo</b> | <b>certo</b> | <b>certo</b> | <b>certo</b> | <b>certo</b> | <b>certo</b> |
| <b>Medida do erro experimental</b> | <b>não soube</b> | <b>25%</b>   | <b>0,8%</b>  | <b>9%</b>    | <b>4,2%</b>  | <b>73%</b>   | <b>18%</b>   | <b>12%</b>   |
| <b>Média do erro</b>               | <b>17,75%</b>    |              |              |              |              |              |              |              |

Fonte: Autoria própria

Segundo a sistematização do ensino para respostas do questionário da pergunta Q1 no apêndice C: qual o papel da experimentação da produção do conhecimento? podemos diferenciar progressivamente o conhecimento requerido na referida questão e perceber o papel da experimentação da produção do conhecimento na área da Física. Apesar das dificuldades enfrentadas pelos alunos – pouca experiência com experimento e nos cálculos matemáticos, sanadas durante a aula – eles cumpriram com o objetivo. Na tabela 11 destacamos algumas respostas.

Tabela 11: Algumas das respostas dos alunos envolvendo a questão 1

| Aluno    | Respostas   |
|----------|---|
| <b>1</b> | “a comprovação efetiva de um conhecimento antes teorizado e agora visto na prática.” (Aluno A1)                         |
| <b>2</b> | “provar que por meio de experimentos é possível alcançar resultados sem utilizar instrumentos de medição.” (Aluno A2)   |
| <b>3</b> | “a partir da experimentação podemos testar teorias, desta forma há uma maneira de comprovar pelos cálculos.” (Aluno A3) |

Fonte: Autoria própria

Pontuamos pelas respostas deferidas indícios sobre a compreensão da experimentação na produção de conhecimento com familiarização de conceitos e procedimentos empregados pelos cientistas. Para as perguntas 2, 3 e 4 do questionário deferido (APÊNDICE C), sobre a influência de variáveis nos resultados experimentais, pontuamos 100% de respostas assertivas.

Seguindo os resultados pretendidos da aprendizagem alinhados pelos planejamentos de ensino, aprendizagem e avaliação, observamos na rubrica deferida (APÊNDICE D), sucesso no grau de desenvolvimento e evolução entre os níveis uniestructural e multiestructural da taxonomia SOLO pelos graus de complexidade.

Para o entendimento do tema da unidade I: “o papel da experimentação na produção de

conhecimento”, pontuamos indícios de aprendizagem significativa pelos resultados das duas condicionantes da APS onde observamos objetivos sólidos e participação predisposta dos discentes pela busca da realização nas propostas apresentadas.

### **6.3.2 - Aula 4 : Simulando os modelos de Thomson e Rutherford**

Recebemos os alunos com pontualidade, efetuando a frequência e apresentação do plano de aula. A primeira atividade foi desenvolvida por 54 alunos das turmas participantes da pesquisa, os resultados pretendidos para aprendizagem buscavam identificar quais descobertas foram fundamentais no processo de construção do conhecimento a respeito do átomo, descrevendo alguns princípios estabelecidos a partir desse processo (quadro 7 – parte 1).

Seguindo o planejamento de ensino (APÊNDICE B), foi apresentado em aula expositiva as principais descobertas científicas que possibilitaram a compreensão do átomo para os chamados modelos atômicos clássicos, como organizadores prévios para a aprendizagem do modelo padrão (APÊNDICE E). A decisão de utilizar um organizador prévio advém dos resultados do questionário de conhecimentos prévios, haja vista que a questão Q2 (veja quadro 11) obteve 18,2% de respostas favoráveis ao modelo clássico mais aceito, a saber, o modelo de Rutherford.

Para atividade de aprendizagem os alunos em duplas interagiram com o simulador *Phet* estudando o experimento do espalhamento de Rutherford na busca das principais características dos modelos atômicos de Thomson e Rutherford (APÊNDICE C). Algumas dúvidas surgiram sobre a funcionalidade do simulador, sendo sanadas com orientações. Na figura 16 temos o registro desse momento.

Figura 16: Alguns alunos em atividade de aprendizagem – Aula 4



Fonte: Autoria própria

A atividade prevista para ser realizada em 50min aconteceu na normalidade, sendo feito no final da mesma a sistematização do ensino com resposta em um questionário apresentado com questões abertas e fechadas, e transcrição para o google formulário.

Sistematizando a aprendizagem, encontramos no questionário proposto (APÊNDICE C), a busca na identificação de características dos modelos atômicos estudados nas questões 1, 2, 3 e 4; apontamos na Tabela 12 os resultados da pesquisa:

Tabela 12: Atividade de aprendizagem - resultados percentuais das questões

|         | Questões |       |       |       |
|---------|----------|-------|-------|-------|
|         | Q1       | Q2    | Q3    | Q4    |
| Acertos | 62,9%    | 70,3% | 88,8% | 92,5% |
| Média   | 78,7%    |       |       |       |

Fonte: autoria própria

Pelos critérios estabelecidos pela rubrica (APÊNDICE D), pontuamos uma média significativa nas respostas que convergem para um excelente grau de desenvolvimento para o conceito.

As questões 5 e 6 do questionário na atividade de aprendizagem (APÊNDICE C), avaliam a descrição de características dos modelos atômicos clássicos para os resultados pretendidos de aprendizagem. A Tabela 13 defere indícios de percentuais assertivos

encontrados na pesquisa:

Tabela 13: Atividade de aprendizagem - resultados percentuais das questões

|         | Questões |       |
|---------|----------|-------|
|         | Q5       | Q6    |
| Acertos | 61,1%    | 72,2% |
| Média   | 66,75%   |       |

Fonte: autoria própria

Segundo a média de 66,75% entre as questões da tabela 13, observamos redução no grau de desenvolvimento para “bom” segundo a rubrica apresentada (APÊNDICE D), sendo o resultado satisfatório. Pontuamos na Figura 17 respostas da questão 5 (APÊNDICE C), versando sobre o modelo atômico de Rutherford.

Figura 17: Algumas das repostas dos alunos envolvendo a Questão 5

Com o experimento que fizemos, observamos que a maioria das partículas passam pelo átomo sem mudar de direção, e com isso percebemos que os átomos são relativamente vazios e não possuem carga elétrica que DALTÔN falou. Sei as partículas alfa são de espécies maiores de núcleos, elas desviam, e isso ocorre porque as duas possuem cargas iguais, positivas.

De acordo com o que foi visualizado nos simuladores as partículas alfa não desviam do núcleo e poucas retrocediam, levando à conclusão que o átomo não poderia ser maciço. Quanto aos desvios, foi perceptível que os núcleos possuíam uma carga positiva da mesma forma que as partículas alfa. Ou seja, as cargas positivas das partículas alfa e do núcleo se afastam.

Justifica-se no experimento que a grande maioria das partículas atacam o átomo sem se desviar demonstrando que o átomo tem uma estrutura praticamente vazia. O desvio que algumas partículas alfa do se aproximarem do núcleo está em virtude das duas terem carga positiva semelhante e ferromagnetismo de que cargas de mesmo sinal se repelem.

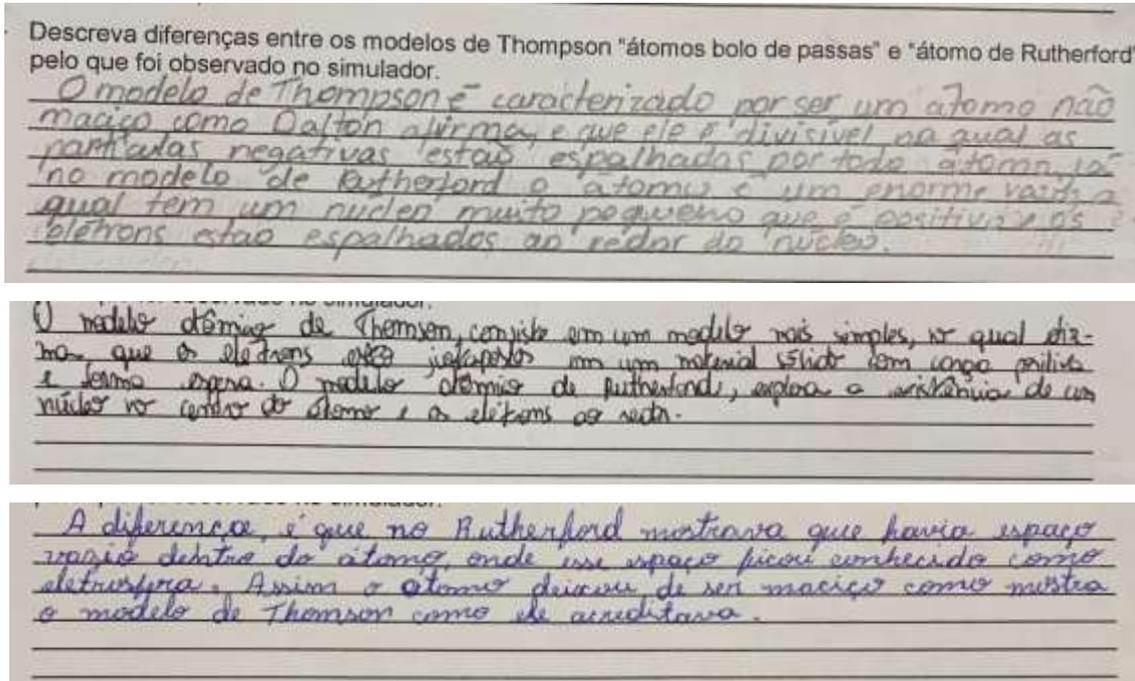
Fonte: Autoria própria

Observamos na primeira afirmação que o aprendiz além de apontar o significado das trajetórias descritas pelas partículas alfa no experimento de Rutherford, efetuou comparação com o modelo atômico de Dalton apontando indícios de reconciliação integradora em sua observação. As duas seguintes afirmativas consolidam o pensamento assertivo na descrição esperada sobre o modelo atômico estudado, apontando indícios de diferenciações progressivas.

Observamos para respostas da questão 6 da atividade de aprendizagem (Figura 18), afirmações em ressonância com 72,2% do que foi pontuado para pergunta na pesquisa, apontado convergência para o que diz Zabala (2014) quando propõe que se propicie ao aprendiz

relações entre os recentes conhecimentos e os prévios através de um conflito cognitivo e motivador. O discente aponta diferença entre os modelos estudados e pontua construção pelo conflito cognitivo de seus conhecimentos prévios.

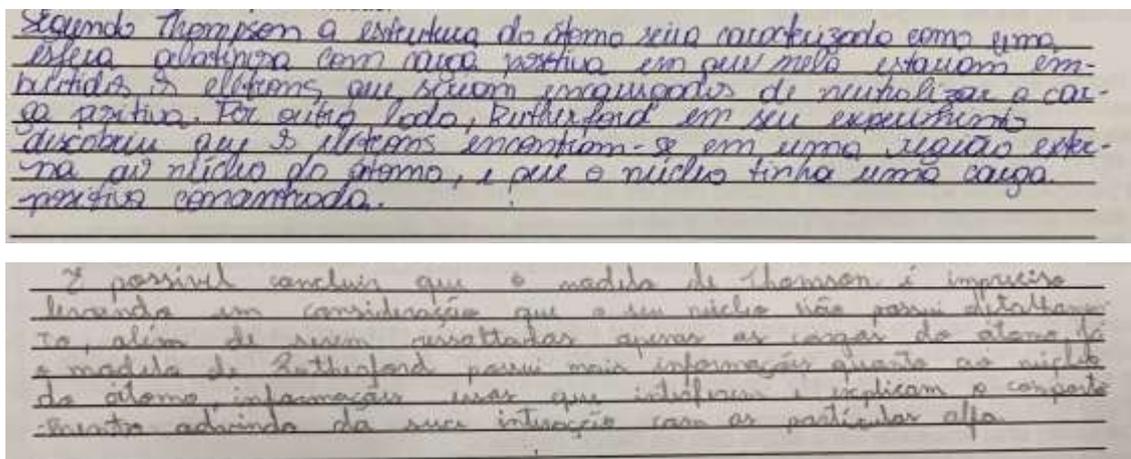
Figura 18: Algumas das repostas dos alunos envolvendo a questão 6



Fonte: Autoria própria

Em análise nas respostas da questão 7 do apêndice C (Figura 19), encontramos respostas condizentes com o esperado em 53,7% das afirmações; é importante pontuar resultados decrescentes frente aos anteriores graus de complexidade da taxonomia SOLO, com grau de desenvolvimento adequado.

Figura 19: Algumas das repostas dos alunos envolvendo a Questão 7



Fonte: Autoria própria

Apontamos indícios de modificação nos subsunçores pela diferenciação progressiva e

reconciliação integradora, observando conexões entre os conhecimentos prévios e os novos conhecimentos em comparação com os resultados discutidos anteriormente sobre respostas do questionário de conhecimentos prévios para as questões Q2 e Q3 (APÊNDICE A).

Pontuamos para SD analisada a proposta de Zabala (2014) de atividades significativas, funcionais e satisfatórias ao nível de desenvolvimento do aprendiz, apresentando ao discente a possibilidade de evolução a partir de suas competências e habilidades atuais, pontuando assim indícios de aprendizagem significativa pelas condicionantes de Moreira (2012).

### 6.3.3 - Aula 5: Carga num campo magnético uniforme

Segundo o planejamento de ensino para Unidade III (APÊNDICE B), a aula 5 buscava reconhecer a carga elétrica como uma propriedade importante na discussão sobre a estrutura da matéria. A atividade defere a utilização de um simulador virtual com o objetivo de reconhecer as propriedades quânticas da carga elétrica, importante na caracterização das partículas elementares. Os alunos foram divididos em duplas, utilizaram o simulador do laboratório virtual da Universidade Federal do Ceará para estudar o comportamento de um feixe de elétrons sujeito a um campo magnético. De acordo com o planejamento de aprendizagem (APÊNDICE C), a atividade foi executada de modo prática no ambiente de pesquisa (Figura 20).

Figura 20: Uso de simulador para compreensão de carga elétrica



Fonte: Autoria própria

Segundo os resultados da pesquisa, a tabela 14 aponta para respostas da atividade de aprendizagem (APÊNDICE C), onde os participantes extraíram informações sobre as grandezas

físicas da tensão elétrica (G1), medida do campo magnético (G2) e raio da trajetória do elétron (G3) no simulador, efetuando o cálculo de sua razão  $q/m$  (C4). Após a obtenção das variáveis de estudo no simulador, o cálculo da razão foi assertivo para 85,7% dos presentes.

Tabela 14: Atividade de aprendizagem – resultados para razão  $q/m$  do elétron

|         | Grandezas Físicas |      |      | Cálculo |
|---------|-------------------|------|------|---------|
|         | G1                | G2   | G3   | C4      |
| Dados   | 100%              | 100% | 100% | -       |
| Acertos | 100%              |      |      | 85,7%   |

Fonte: Autoria própria

Tais resultados foram avaliados em ressonância com a tabela 15 que defere os índices percentuais de acertos para 4 questões abertas segundo a sistematização do estudo pelo roteiro de aprendizagem (APÊNDICE C).

Tabela 15: Sistematização do ensino

|         | Questões |       |       |       |
|---------|----------|-------|-------|-------|
|         | Q1       | Q2    | Q3    | Q4    |
| Acertos | 82,1%    | 60,7% | 35,7% | 85,7% |
| Média   | 68,7%    |       |       |       |

Fonte: Autoria própria

Para os resultados pretendidos de aprendizagem (APÊNDICE C), segundo os níveis cognitivos da taxonomia SOLO pretendidos e avaliados pela rubrica (APÊNDICE D), observamos indícios de que os discentes no grau B+ reconheceram os modos experimentais e parcialmente das propriedades estudadas do elétron, como também calcularam a razão  $q/m$  do elétron, pelos resultados das tabelas.

Pelos resultados satisfatórios apresentados, pontuamos resposta à pergunta da unidade II: de que todas as coisas são feitas? deferindo indícios de aprendizagem significativa na discussão sobre a aprendizagem de conceitos capazes de subsidiar na compreensão de matéria e forças da natureza.

## 6.4 Análise da Unidade IV – Identificando partículas elementares.

### 6.4.1 - Aula 6: Aceleradores e detectores de partículas.

Buscando Zaballa (2014) quando propõe atividades em que o discente eleve sua autoestima pelo novo aprendizado despertando sua autonomia para compreensão de novos conhecimentos, a Unidade IV defere discussão sobre a descoberta e identificação das partículas, em um mini MasterClasses. A referida atividade foi planejada a partir da capacitação na Escola de Física do CERN. Caso o professor venha usar o produto educacional e não tenha experimentado essa capacitação, a aula 6 está formatada nesse considerando essa possibilidade.

A ausência parcial no produto educacional não descaracteriza o mesmo.

Seguindo o planejamento de ensino (APÊNDICE B), como organizador prévio, apresentamos em aula expositiva (Figura 21) diferentes tipos de aceleradores e detectores de partículas em sua evolução histórica e funcionalidades (APÊNDICE E); o Grande Colisor de Hadrões (LHC) foi objeto do estudo, sendo em particular avaliado o Solenoide Múon Compacto (CMS) e suas particularidades na detecção de partículas, tendo em vista a atividade de aprendizagem planejada (APÊNDICE C).

Figura 21: Atividade de ensino – Aula 6



Fonte: Autoria própria

A interação com novas tecnologias, seja pelo uso de simuladores, laboratórios virtuais ou simplesmente um software educacional, proporciona imersão no conhecimento de modo a despertar uma exploração consciente dos fenômenos da natureza estudados na Física.

Moran (2000) define que o experimento significativo com o uso de recursos tecnológicos, têm um grau aditivo para o conhecimento com acentuação em novas reflexões, generalizações, levando a indagação das abrangências e limites de seus parâmetros.

Como parte última na atividade de ensino, um software educacional do CERN foi apresentado; SPY é um simulador que estuda a detecção de partículas subatômicas de um modo prático e atrativo, descrevendo o funcionamento operacional do CMS (colisor de múons) no CERN. Através do aplicativo, o aprendiz se remete ao universo microscópico da estrutura da matéria possibilitando a compreensão dos resultados pretendidos de aprendizagem.

A segunda parte da Unidade IV (aula 6), propunha como atividade de aprendizagem

(APÊNDICE C), a utilização do simulador virtual do CMS para verificação dos resultados pretendidos da aprendizagem (Figura 22). Pela diversidade na funcionalidade do mesmo, uma descrição detalhada de suas etapas se fez necessário em um roteiro, de modo a proporcionar sua compreensão.

Figura 22: Atividade de aprendizagem – Aula 7



Fonte: Autoria própria

De forma aleatória, 10 eventos foram escolhidos no simulador virtual de modo que 50 alunos pudessem identificar partículas primárias e secundárias (Fig. 22); na continuidade da atividade de aprendizagem, a sistematização do ensino foi realizada em questões abertas, sendo respondidas individualmente.

Como resposta da atividade de aprendizagem (APÊNDICE C), a tabela 16 aponta os resultados pretendidos de aprendizagem observando o planejamento de ensino (APÊNDICE B).

Tabela 16: Identificação e classificação das partículas

| Nível cognitivo | Partículas |             |
|-----------------|------------|-------------|
|                 | Primárias  | secundárias |
| Identificar     | 68,4%      | 67,5%       |
| Classificar     | 68,4%      | 67,5%       |

Fonte: Autoria própria

Para identificação e classificação das partículas primárias e secundárias, segundos os níveis cognitivos da taxonomia SOLO avaliados pela rubrica (APÊNDICE D), observamos

indícios de um bom grau de desenvolvimento (tabela 16).

Para proposta crescente de ensino, seguindo níveis cognitivos da taxonomia SOLO, avaliamos a sistematização de aprendizagem pela respostas das questões (APÊNDICE C), apresentadas na tabela 17.

Tabela 17: Sistematização do ensino

|         | Questões |       |       |       |
|---------|----------|-------|-------|-------|
|         | Q1       | Q2    | Q3    | Q4    |
| Acertos | 70,2%    | 53,8% | 76,9% | 82,7% |
| Média   | 70,9%    |       |       |       |

Fonte: Autoria própria

Em análise a sistematização do ensino, pontuamos respostas para questões 1: como diferenciar os bósons W e Z no simulador ? e questão 2: como diferenciar os elétrons dos múons no simulador ? onde apontamos indícios para os resultados pretendidos de aprendizagem para diferenciação das partículas por suas propriedades quânticas (tabela 18).

Tabela 18: Algumas das respostas dos alunos para as Questões 1 e 2.

| Questão | Respostas  |
|---------|--|
| 1       | “os bósons W surgem a partir do decaimento de um neutrino e um múon ou de um neutrino e um elétrons enquanto Z do decaimento de dois múons ou dois elétrons.” (Aluno A1) |
| 1       | “é diferenciado através do decaimento; no decaimento do W ocorre através de múons e de neutrinos, no decaimento do Z através de dois elétrons.” (Aluno A2)               |
| 2       | “os elétrons são detectados no calorímetro de eletromagnéticos, deixando calor e energia para trás e os múons são detectados nas câmaras de múons.” (Aluno A3)           |
| 2       | “elétrons depositam toda energia no calorímetro eletromagnético; múons atravessam o sistema de calorímetros e deixam traços no sistema de múons.” (Aluno A4)             |

Fonte: autoria própria

Observamos que pela transferência de propriedades quânticas das partículas (decaimento) apontadas pelos discentes, temos indícios de diferenciação para as partículas primárias e secundárias nas respostas apresentadas.

Segundo o que aponta a tabela 17, analisando a questão 3: como a carga de uma partícula pode ser diferenciada num detector ? Pontuamos na tabela 19 resultados pretendidos de aprendizagem segundo planejamento de ensino (APÊNDICE B).

Tabela 19: Algumas das respostas dos alunos para as Questões 3.

| Alunos | Respostas  |
|--------|--|
| 1      | “a carga elétrica de uma partícula pode ser determinada de acordo com a curva que faz no detector.” (Aluno A1) |

|   |  |
|---|--|
| 2 | “ dependendo de sua curva dentro do campo, sendo positiva no sentido horário e negativa no sentido anti-horário.” (Aluno A2) |
| 3 | “irá depender da curva, já partículas que não tem curva, não apresentam carga.” (Aluno A3)                                   |

Fonte: autoria própria

Ao afirmar o sentido de desvio da partícula dentro de um campo magnético pela ação da força magnética, o aluno aponta indícios de diferenciação das partículas pela propriedade quântica da carga elétrica.

Pelos resultados também encontrados para questão 4 (82,7%), observando a média dos acertos das questões na tabela 17 (70,9%), concluímos indícios de um bom grau de desenvolvimento para resultados pretendidos de aprendizagem no nível cognitivo relacional, de acordo com os critérios apresentados pela rubrica (APÊNDICE D).

Pelos resultados pretendidos de aprendizagem observamos indícios de identificação, classificação e diferenciação de partículas na atividade de aprendizagem, com relações entre os novos conhecimentos de forma não-arbitrária e não-literal, a seus conhecimentos prévios. Como aponta Moreira (2012), a aprendizagem potencialmente significativa não se condiciona na realização de atividades interessantes dentro de sua área de conforto, mas na predisposição do aprendiz de relacionar à sua estrutura cognitiva os novos conhecimentos.

Deferimos resultados satisfatórios dentro dos objetivos pretendidos na referida unidade.

#### **6.4.2 - Aula 7: Identificando partículas elementares em um simulador**

Na continuidade da Unidade IV, seguindo o planejamento de ensino e aprendizagem (APÊNDICE C), os discentes executaram o *sprace game*, jogo digital que desafia o aluno a cumprir várias missões (Figura 23), respondendo questões encaminhadas a partir da atividade desenvolvida. O respectivo software teve instalação prévia nos computadores, sendo os alunos orientados a jogarem a fase tutorial do aplicativo em suas residências.

Observamos que os mesmos chegaram com antecedência ao ambiente de estudo, tomando iniciativa de iniciar as atividades antes do horário previsto; no início da aula interferimos na ação para orientações, seguindo o planejamento de ensino.

Figura 23: Alguns alunos em atividade de aprendizagem – Aula 7



Fonte: Autoria própria

A atividade foi empolgante, demonstrando os alunos motivação nos estudos, externando dúvidas e descobertas com entusiasmo, sendo realizada no tempo previsto. A sistematização da atividade de aprendizagem foi deferida a partir do término de cada “missão realizada”.

A missão 1 defere a captura de um lépton de cada tipo para identificação de suas propriedades no laboratório espacial. Como resultados pretendidos de aprendizagem, seguindo o planejamento de ensino (APÊNDICE B), a tabela 20 abaixo aponta identificação da composição dos Férmions e Hádrans seguindo a atividade de aprendizagem (APÊNDICE C).

Tabela 20: Sistematização do ensino

| Tabelas | Nome   | Símbolo | Massa | Carga | Composição |
|---------|--------|---------|-------|-------|------------|
| 1       | 100%   | 100%    | 98,2% | 100%  | -          |
|         | 99,55% |         |       |       |            |
| 2       | 95,8%  | 95,8%   | 85,4% | 100%  | 100%       |
|         | 95,4%  |         |       |       |            |
| 3       | 100%   | 100%    | 86,9% | 100%  | 97,8%      |
|         | 96,94% |         |       |       |            |
| Média   | 97,29% |         |       |       |            |

Fonte: Autoria própria

Observamos pelos resultados apresentados a identificação das partículas pelo grau de complexidade, sendo pontuado como excelente o grau de desenvolvimento seguido a avaliação

do nível cognitivo pela taxonomia SOLO apresentado pela rubrica (APÊNDICE D).

A missão 2 busca a captura de dois tipos de mésons a partir do decaimento da partícula Tau. A tabela 21 aponta os resultados para descrição da composição dos Férmions e Hádrons seguindo a atividade de aprendizagem (APÊNDICE C), seguindo os resultados pretendidos de aprendizagem.

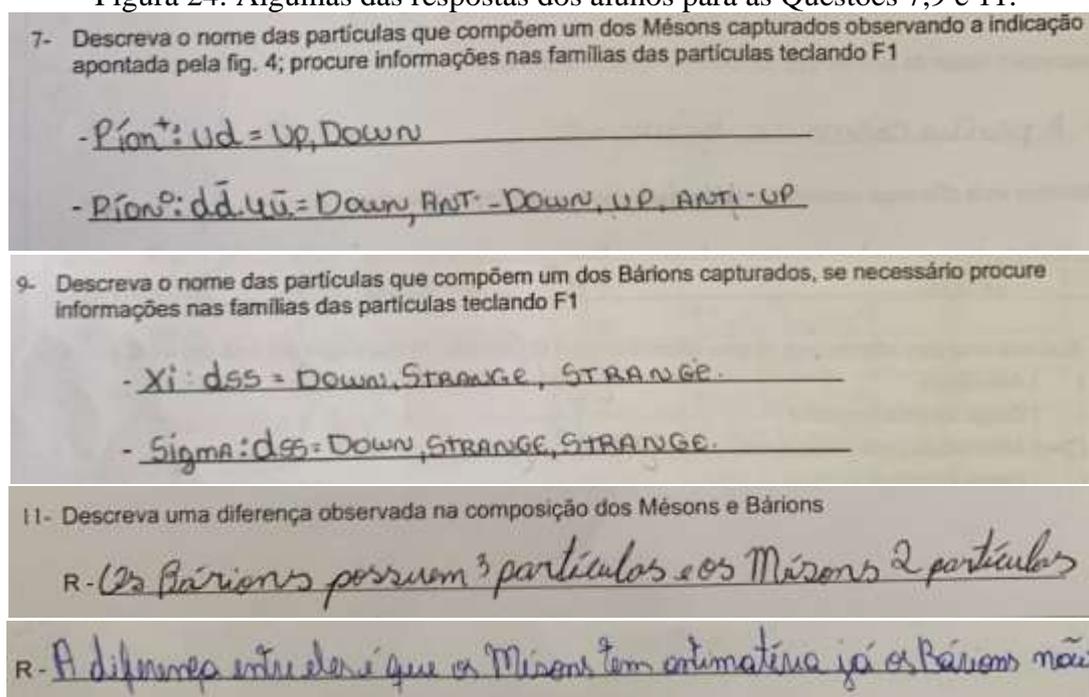
Tabela 21: Sistematização do ensino

| Questões | Q3    | Q4    | Q6    | Q7    | Q9    | Q10   | Q11   |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Acertos  | 100%  | 95,8% | 82,6% | 54,3% | 86,9% | 95,6% | 65,2% |
| Média    | 82,9% |       |       |       |       |       |       |

Fonte: Autoria própria

Observamos nos percentuais de acertos da tabela 21, indícios que apontam para os resultados pretendidos; algumas das questões apresentadas na tabela 21, deferem respostas conforme a Figura 24.

Figura 24: Algumas das respostas dos alunos para as Questões 7,9 e 11.



Fonte: Autoria própria

Percebemos pelos resultados da tabela 21 e respostas apresentadas, indícios dos resultados pretendidos; observando como exemplo na questão Q9 a descrição de bárions em sua representação simbólica e nomenclatura; na questão Q11 percebemos para diferentes respostas com indícios de 65% nos acertos, a composição estrutural para os Hádrons como também a identificação da presença da antipartícula como elemento diferenciador.

Pelos resultados observados na pesquisa, identificamos indícios dos resultados

pretendidos de aprendizagem para descrição das partículas no grau de complexidade, sendo pontuado como A - o grau de desenvolvimento seguido a avaliação do nível cognitivo pela taxonomia SOLO apresentado pela rubrica (APÊNDICE D).

A missão 3 propõe a construção de 1 próton e 1 nêutron a partir das partículas capturadas e identificadas no laboratório. Como resposta da última unidade de ensino, apontamos resultados da atividade de aprendizagem (APÊNDICE C), pela tabela 22 abaixo:

Tabela 22: Sistematização do ensino

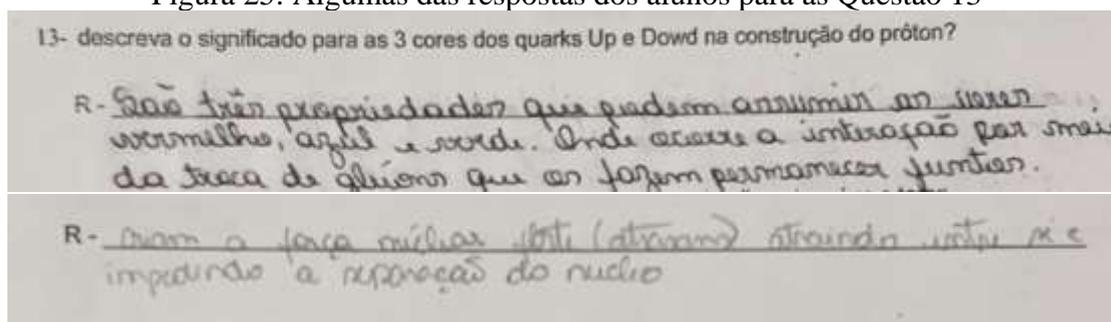
| Questões | Q12    | Q13    | Q14   | Q15 |
|----------|--------|--------|-------|-----|
| Acertos  | 93,75% | 18,75% | 73,1% | 76% |
| Média    | 65,4%  |        |       |     |

Fonte: Autoria própria

Seguindo a atividade de aprendizagem, a missão 4 defere a montagem do núcleo de Hidrogênio; para sua realização é necessário a montagem dos prótons e nêutrons a partir de outras partículas capturadas. As questões Q12 à Q15 apontam uma proposta para resposta da pergunta tema da Unidade IV, identificando partículas elementares e suas características.

A questão Q12 versa sobre a constituição elementar do próton e defere resultados satisfatórios para o entendimento. Para a questão Q13 encontramos poucos indícios de conhecimento da propriedade quântica da cor (18,75%), sendo apresentado em algumas respostas a identificação da força forte (Figura 25).

Figura 25: Algumas das respostas dos alunos para as Questão 13



Fonte: Autoria própria

A questão Q14 apresenta o conceito de partícula elementar e explicação sobre o entendimento. Na maioria das respostas encontramos a visão clássica do conceito, conforme pontuamos: “Partículas elementares são aquelas que não são compostas por outras partículas”; “é uma partícula que não possui nenhuma subestrutura”; “átomos são feitos de partículas menores: prótons e nêutrons; os prótons e nêutrons são compostos por partículas elementares conhecidas como quarks”.

Percebemos diferenciação progressiva pela modificação dos subsunçores quando em comparação com a questão Q1 dos conhecimentos prévios (APÊNDICE A), discutida em sua resposta anteriormente. Observamos nas respostas o não apontamento das propriedades quânticas que descrevem as partículas elementares.

Para a questão Q15 onde foi solicitado identificação das partículas elementares entre as alternativas apontadas, encontramos resultado satisfatório. Deferidos indícios dos resultados pretendidos de aprendizagem para o entendimento do conceito de partícula elementar e sua explicação dentro do grau de complexidade, pontuamos como sendo bom o grau de desenvolvimento seguido a avaliação do nível cognitivo pela taxonomia SOLO apresentado pela rubrica (APÊNDICE D).

## **6.5 Análise da Unidade V – O Modelo Padrão**

### **6.5.1 - Aula 8: O Modelo Padrão**

Seguindo o planejamento de ensino (APÊNDICE B), a última aula da sequência didática propõe ações que propiciem relações entre os recentes conhecimentos e os prévios através de um conflito cognitivo e motivador; em uma aula expositiva o professor apresentou as descobertas que levaram a teoria do Modelo Padrão das partículas elementares e propriedades quânticas do spin, carga elétrica, energia, momento e estranheza (APÊNDICE E).

### **6.5.2 - Aula 9: Quem eu sou?**

Seguindo as condicionantes propostas por Moreira (2012) para a aprendizagem significativa, as práticas metodológicas educacionais devem ser abordagens estratégicas e facilitadoras para o processo do ensino aprendizagem, que se conectam com o cognitivo do aprendiz de modo relevante, buscando tornar o processo de ensino mais eficaz e envolvente.

Os jogos lúdicos são estratégias que empregam elementos de diversão, interatividade e desafio, que podem promover aprendizagem significativa. Se utilizados em ambientes educacionais de maneira adequada, trazem engajamento aos aprendizes de maneira mais envolvente e eficaz, contribuindo com novas habilidades cognitivas e sociais como: tomada de decisões na resolução de problemas, estímulo a criatividade, avaliação imediata do desempenho, tornando o aprendizado mais relevante com compreensão profunda na aplicação do conhecimento (ROCHA, CABRAL NETO, 2021).

Para a atividade proposta descrita nesta unidade, se aplica a atividade em busca do entendimento de como podemos ter a descoberta de uma partícula a partir do conhecimento de

suas propriedades quânticas, não se atendo ao estudo do método utilizado e sua eficiência.

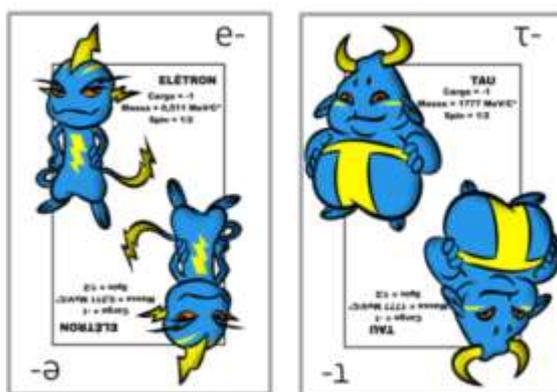
Na sequência, 50 alunos participantes da pesquisa realizaram atividade de aprendizagem (APÊNDICE C), além de responder um questionário em busca dos resultados pretendidos da aprendizagem. Na referida atividade foi realizado o jogo lúdico: quem sou eu? com regras definidas e uso de um artefato representando as 61 partículas do modelo padrão (APÊNDICE F).

O jogo começa quando cada pessoa do grupo escolhe uma carta, fixando na testa da pessoa a sua direita; esta pessoa não deve conhecer a carta escolhida. O jogador que recebeu a primeira carta em sua testa deve iniciar a rodada de perguntas no jogo. Em jogadas subsequentes cada participante deve efetuar uma pergunta sobre o nome da partícula na carta, seu grupo familiar ou propriedade quântica representada na mesma (carga elétrica, carga de massa, carga de cor e spin). O jogador à sua direita, que deve efetuar a próxima jogada respondendo sim ou não. A cada três rodadas os participantes recebem uma carta auxiliar distribuída pelo jogador que inicia a rodada, que será observada por 1 min e devolvida ao jogo. Ganha o jogo o primeiro jogador que na sua jogada apontar o nome da partícula que representa a sua carta citando três propriedades quânticas corretamente.

A construção do artefato buscou apoio em propostas semelhantes, observadas nos artigos: “uma proposta de UEPS para ensinar Física de Partículas por meio de jogos de cartas” e “o imaginário de professores de física sobre o uso de jogos no ensino da Física de Partículas”.

Na artigo de Jesus e Gomes (2019), uma proposta de UEPS para ensinar Física de Partículas por meio de jogos de cartas, observamos semelhanças no protótipo pelo apontamento das propriedades quânticas da carga elétrica, massa e spin com design de enquadramento padrão retangular (Figura 26).

Figura 26: Exemplo de cartas léptons



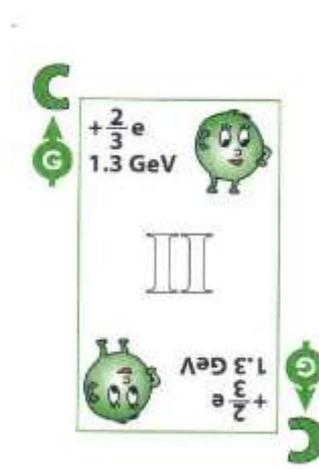
Fonte: Jesus e Gomes (2019)

Apontamos na proposta (APÊNDICE F), a propriedade quântica da cor e geração

familiar com diferenciação no design do artefato, representação das partículas, nomenclatura com inclusão da família dos bósons.

Na proposta do artigo de Silva (2019), o imaginário de professores de física sobre o uso de jogos no ensino da Física de Partículas, observamos a utilização de cartas lúdicas desenvolvidas pelo Prof. Hélio Takai para o ensino de conceitos do Modelo Padrão na atividade: o pôquer das partículas; a proposta para o jogo contém 52 cartas, 48 delas representando os férmions (*quarks* e *leptons*) e 04 cartas coringas (Figura 27).

Figura 27: Exemplo de carta quark charm

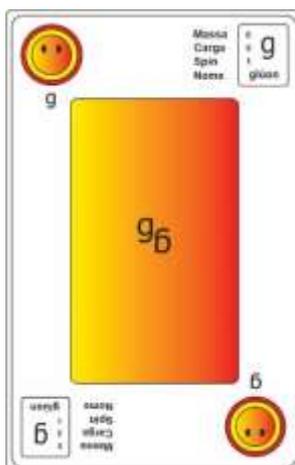


Fonte: Silva (2019)

Observamos no artefato da pesquisa semelhanças no apontamento das propriedades quânticas da carga elétrica, cor, massa e grupo familiar com design de enquadramento padrão retangular.

Apontamos no artefato da pesquisa (Fig. 28), diferenciação no design de apresentação das propriedades quânticas, representação e posicionamento das partículas, ausências das cartas coringa, inclusão da nomenclatura das partículas, propriedades quânticas da cor no retângulo central, spin e grupo familiar dos bósons, com acréscimo de 13 cartas objetivando completude das 61 partículas elementares do Modelo Padrão.

Figura 28: Artefato representativo da partícula elementar Glúon



Fonte: Autoria própria

É importante referendar que o artefato apresentado, busca viabilidade na atividade de aprendizagem para a Unidade V da Sequência Didática, onde estudamos o Modelo Padrão e as propriedades quânticas das partículas elementares, sendo necessário complementar as duas propostas apresentadas.

Acreditamos que nosso artefato consuma a proposta iniciada nos trabalhos dos professores citados, objetivando contribuir com ensino do Modelo Padrão das partículas elementares.

No decorrer da atividade de aprendizagem objetivamos buscar elevação da autoestima pelo novo aprendizado despertando habilidades que permitam sua autonomia para compreensão de novos conhecimentos, pelo que propõe (Zaballa, 2014).

Observamos no desenvolvimento da atividade, engajamento em aprender as regras do jogo: quem sou eu?, busca de habilidades que pudessem trazer vantagens para atingir o objetivo final em cada rodada da partida (Figura 29). Com o decorrer do jogos, as variáveis reconhecidas que apontavam a vitória: sabor, grupo familiar e propriedades quânticas da carga elétrica, spin e cor eram assertivas em breves rodadas, sem a necessidade de solicitação das cartas de apoio.

Figura 29: Atividade de aprendizagem - Aula 9



Fonte: Autoria própria

Percebemos no decorrer da atividade de aprendizagem, indícios de reconhecimento das propriedades quânticas das partículas e grupo familiar, deferindo a descrição das partículas elementares de acordo com o Modelo Padrão.

Na sequência complementar da unidade em aula posterior, foi disponibilizado link para resposta ao questionário via Google formulário (APÊNDICE G); a atividade de sistematização da aprendizagem foi realizada individualmente por 57 alunos presentes e participantes da pesquisa.

Em avaliação aos resultados do apêndice G, observamos na questão 1 indícios de diferenciação progressiva sobre a compreensão da estrutura da matéria antes percebida na questão 1 do apêndice A de modo diferente. O átomo formado por prótons, elétrons, e nêutrons agora possui na estrutura interna do núcleo, uma composição mais elementar com propriedades quânticas. Observamos uma nova estrutura cognitiva com subsunçores adquirindo significação resultante de sucessiva utilização. A tabela 23 aponta algumas respostas:

Tabela 23: Algumas das respostas dos alunos para questão 1 do questionário final

| Alunos | Respostas  |
|--------|--|
| 1      | “são partículas que existem dentro do átomo formado por estruturas menores ainda.” (Aluno A1)  |
| 2      | “uma partícula elementar, além de ser idealizada como a menor parte das coisas, é caracterizada por propriedades que existem para justificar a existência delas, como a propriedade da cor que os quarks apresentam.” (Aluno A2) |
| 3      | “a partícula elementar apresenta propriedades quânticas intrínsecas a elas como a cor, estranheza, carga elétrica e massa.” (Aluno A3)   |

Fonte: autoria própria

Sobre o entendimento do agrupamento das partículas em famílias (Questão 2) segundo o Modelo Padrão (APÊNDICE G), observamos em 84,2% das respostas indícios de aprendizagem significativa, observando a proposição de um discente quando diz: “*o modelo padrão é composto de duas famílias, são chamadas de férmions e bósons. Sendo os férmions constituintes de matéria, enquanto os bósons estão diretamente ligados à força*”. Para descrição das partículas elementares do modelo padrão (Questão 3) em observância aos resultados pretendidos da aprendizagem, pontuamos indicadores de acerto em cerca de 61,4% das respostas para 50% das partículas (tabela 24).

Tabela 24: Algumas das respostas dos alunos para questão 3 do questionário final

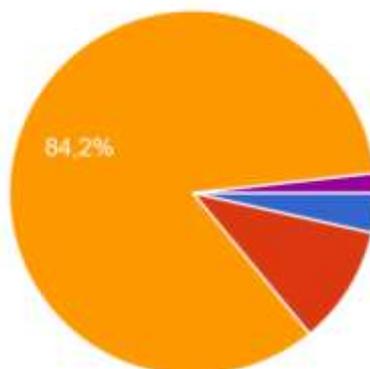
| Aunos | Respostas  |
|-------|--|
| 1     | “existem 61 partículas elementares no modelo padrão: 36 quarks (6 partículas, 6 antipartículas com 3 cores), 12 léptons (6 léptons e suas antipartículas) e 13 bósons (8 glúons, 1 fóton, 2 bósons W, 1 bózon Z e 1 bózon de Higgs.” (Aluno A1)  |
| 2     | “os quarks: up, down, charm,top, strange e bottom cada um com sua antimatéria, cor e anti-cor, formando 36 no total. Nos léptons há o elétron, pósitron, táu, e neutrinos, com sua anti-matéria formam 12. Nos Bósons há o gluon, fóton, bóson W e bóson de Higgs, sendo 13 (8 gluons e w+ e w-) inteirando assim 61 partículas ao total” (Aluno A2) |

Fonte: autoria própria

A questão 6 do apêndice H corrobora com os resultados das questões 2 e 3 quando defere respostas assertivas em cerca de 73,7% , apoiada por 68,4% das alternativas corretas da questão 4 que identifica as partículas constituintes dos férmions. Segundo os resultados pretendidos de aprendizagem, apontam indícios de um bom grau de desenvolvimento para a diferenciação progressiva, obtido pelo grau de complexidade da taxonomia SOLO, segundo o “nomear” das famílias e partículas elementares do Modelo Padrão apontado pela rubrica (APÊNDICE D).

As questões 5 e 7 do apêndice G apontam para o aprendizado de conceitos capazes de subsidiar na compreensão de matéria e forças da natureza; observamos pelo resultado da questão 5, indícios de diferenciação progressiva pela modificação do subsunçor força agora mais refinado pelo conhecimento da força forte, segundo acerto de 84,2% nas respostas (Figura 30).

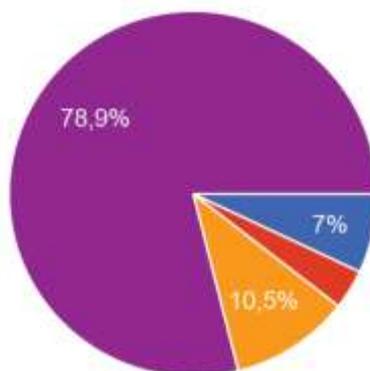
Figura 30: Percentual de acerto para resposta da Questão 5



Fonte: Autoria própria

Observamos na Questão 7 pelos acertos de 78,9% das respostas (Figura 31), indícios de que o entendimento da composição da estrutura da matéria adquiriu um novo significado pelas novas interações dos subsunçores. Percebemos que no conjunto hierárquico da estrutura cognitiva, mudança na ordem pela lei da conservação da energia presente na propriedade quântica da carga elétrica sendo mais abrangente que a conservação da energia.

Figura 31: Percentual de acerto para resposta da Questão 7



Fonte: Autoria própria

As questões 8, 9 e 10 do apêndice G, pontuam os resultados pretendidos de aprendizagem para descrição das propriedades quânticas das partículas elementares; observamos na questão 8 que 36,8 % declararam conexão entre a carga de cor e a força forte sendo significativa 74,4% das respostas, deferindo indícios do significado das cores verde, vermelha e azul na construção dos quarks “up e down”(tabela 25).

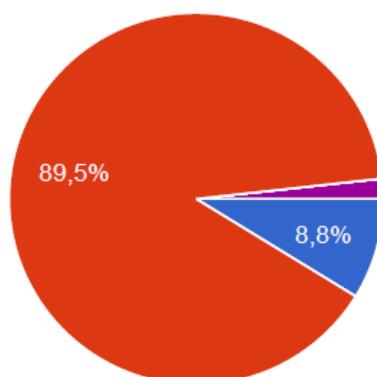
Tabela 25: Algumas das respostas dos alunos para questão 8 do questionário final

| ALUNOS | RESPOSTAS  |
|--------|--|
| 1      | “As cores presentes nesses quarks indicam que eles estão submetidos à propriedade da força nuclear forte.” (Aluno A1)                                      |
| 2      | “As cores servem para demonstrar que a força nuclear forte atua sobre essas partículas fazendo com que elas fiquem presas, RGB formam o branco” (Aluno A2) |
| 3      | “Prótons são formados por 2 up e somente 1 down. As cores descrevem a ação da força nuclear forte, sendo presente tecnicamente o glúons” (Aluno A3)        |

Fonte: autoria própria

Pontuamos para a questão 9 do apêndice G, identificação assertiva em 89,5% para o conhecimento de algumas propriedades quânticas das partículas elementares (Figura 32), sendo também satisfatórios os resultados da questão 10.

Figura 32: Percentual de acerto para resposta da Questão 9



Fonte: Autoria própria

Segundo os resultados pretendidos da aprendizagem apontamos indícios de um excelente grau de desenvolvimento para a diferenciação progressiva, obtido pelo grau de complexidade para identificação da taxonomia SOLO, segundo a rubrica apresentada (APÊNDICE D). Deferimos também pelos resultados da questão 7 avaliados pela rubrica, indícios para o grau complexidade de descrição das propriedades quânticas, com bom grau de desenvolvimento.

Pelos resultados satisfatórios em avaliação as ações do problema apresentado, em ressonância com os resultados pretendidos de aprendizagem, apontamos saída da pesquisa observados indícios de aprendizagem significativa para conceitos sobre a estrutura da matéria e forças da natureza a partir da discussão sobre o Modelo Padrão e a Física de Partículas Elementares.

Na etapa a seguir iremos apresentar justificativas que corroboram com os indícios apresentados pela sequência didática proposta.

### 6.3 Houve aprendizagem potencialmente significativa?

Moreira (2012) define duas condições para a aprendizagem significativa: que o material de aprendizagem seja potencialmente significativo e que o aprendiz tenha predisposição para aprender.

Apontamos que a sequência didática apresentada possui um significado lógico em ressonância com os resultados pretendidos da aprendizagem em cada unidade de ensino, pela sua relação significativa e apropriada estrutura cognitiva.

Observamos pelo monitoramento da eficácia na resolução do problema que as atividades de ensino, aprendizagem e avaliação apresentadas se relacionaram com os conhecimentos prévios de forma não-arbitrária e não-literal, segundo os resultados apresentados.

Em cada unidade de ensino encontramos respostas satisfatórias para os resultados pretendidos onde os participantes demonstraram interesse na busca para executar relações entre seus conhecimentos prévios e os novos conhecimentos, concretizando assim a segunda condicionante, isto é, predisposição para aprender.

Observamos durante a aplicação da pesquisa uma aproximação entre o participante da pesquisa e o pesquisador, buscando uma ação conjunta para resolução do problema de modo colaborativo, onde as ações entre a pesquisa e a prática apontaram indícios de aprendizagem significativa.

Concluimos que pelas justificativas apresentadas segundo condicionantes de Moreira (2012), que pelas discussões sobre o Modelo Padrão e a Física de Partículas Elementares, se promoveu aprendizagem significativa de conceitos que foram capazes de subsidiar melhor compreensão de matéria e forças da natureza.

## Considerações finais

Toda caminhada inicia com uma preparação, desafios com novas experimentações a serem vencidas e fechamento de etapa em busca de metas vindouras. Em cada etapa vencida, construímos conhecimentos partindo de um olhar adormecido pelo continuísmo da rotina; saindo de uma prática secular, despertando para um pensamento centrado, crítico e pesquisador, onde um novo modo de pensar e agir se faz presente no que antes era desconhecido e rotineiro.

O ensino da Física Moderna e Contemporânea está presente no nível básico pela BNCC, sendo pouco observado inovações nas práticas educativas, onde lacunas na aplicação de subtemas como o estudo do Modelo Padrão das Partículas Elementares é maior ainda.

Por meio da apresentação dos resultados de nosso projeto de pesquisa, buscamos contribuir com melhorias para o ensino de física, subsidiando professores para uma prática inovadora que possa despertar no aprendiz atitudes favoráveis e que sejam motivadoras para uma aprendizagem significativa de novos conteúdos.

Segundo a pesquisa realizada em que busca a aplicação de uma sequência didática sobre o Modelo Padrão e a Física de Partículas Elementares para aprendizagem de conceitos na busca da compreensão sobre a estrutura da matéria e forças da natureza, esperamos trazer contribuições significativas para inserção do tema com um material potencialmente significativo.

As unidades de ensino desenvolvem uma sequência dinâmica, significativa e funcional seguindo a proposta de Zaballa (2014) de modo a favorecer o nível de desenvolvimento do aprendiz possibilitando ao discente possibilidade de evolução a partir de suas competências e habilidades; observamos indícios de uma aprendizagem potencialmente significativa segundo resultados conclusivos.

Na caminhada percebemos que se buscarmos conhecimento e planejarmos as ações, o resultado é positivo para o ensino; como professor evoluímos nas práticas educativas, os impactos sofridos pelo confronto das rotineiras ações em sala de aula e o aprendizado de novas intervenções, nos trouxeram crescimento em nossa vida.

Durante o desenvolvimento da pesquisa, realizamos conexões e almejamos crescimento na realização de atividades de pesquisa e extensão; na divulgação de nosso produto educacional, projetamos ações corroborativas junto aos nossos colegas professores, como também em intervenções educativas em nosso ambiente de trabalho.

Projetamos na pesquisa uma proposta que pudesse favorecer uma aprendizagem significativa, observamos na proposta indícios de resultados eficientes que nos permitem

afirmar que nosso produto está preparado para contribuir com as práticas educativas que favoreçam a aprendizagem de conceitos capazes de subsidiar o entendimento de matéria e forças da natureza.

Após o término da longa estrada com seus trechos vencidos, a figura de um novo professor se fará presente a partir das experimentações vividas, conhecimentos adquiridos pelas aplicações vivenciadas no processo formativo.

Louvado seja Deus !

## **Produto Educacional**

O mestrado profissional na área do ensino defere como resultado da aplicação e pesquisa acadêmica o desenvolvimento de um produto educacional a ser aplicado por educadores ou profissionais atuantes no ensino.

Como proposta para o ensino do Modelo Padrão das partículas elementares no nível médio apresentamos como produto educacional uma sequência didática com objetivo de oportunizar aos alunos o favorecimento de uma aprendizagem significativa segundo a teoria de David Ausubel.

Buscamos no desenvolvimento da sequência didática apresentar uma discussão sobre o Modelo Padrão e a Física de Partículas Elementares com alunos do Ensino Médio na tentativa de promover a aprendizagem de conceitos capazes de subsidiá-los na compreensão de matéria e forças da natureza.

Nosso produto foi configurado em cinco unidades que se conectam, possuindo natureza metodológica apontada pelo desenvolvimento sequenciado em seus desdobramentos, onde cada uma difere um objetivo, apoiando uma ação subsequente na unidade posterior.

Dentro de cada unidade de ensino apresentamos as linhas gerais de cada aula, o plano de aula, os planejamentos de ensino, aprendizagem e avaliação seguindo o alinhamento construtivo e a taxonomia solo, com introdução, objetivos de aprendizagem, eixo estruturante, habilidades relacionadas à competência geral e específica segundo a BNCC.

Na primeira unidade buscamos a identificação dos conhecimentos prévios; na sequência buscamos identificar o papel da experimentação na produção do conhecimento, seguindo com a identificação das partículas elementares e estudo do Modelo Padrão.

Em nosso planejamento apontamos um desenvolvimento de 9 aulas, totalizando uma carga horária de 7h30min que pode ser modificada de acordo com a necessidade do professor em seu ambiente acadêmico. Inicialmente apresentamos uma breve discussão sobre a aprendizagem significativa, seguindo por uma contextualização histórica sobre os modelos atômicos, o núcleo do átomo, Modelo Padrão, finalizando com uma análise sobre as forças fundamentais da natureza.

Em cada aula apresentamos um plano de aula que aponta os resultados pretendidos da aprendizagem, ações do professor e aluno, estratégias e avaliação do ensino. As atividades de aprendizagem foram planejadas para responder às condicionantes da teoria cognitivista da Aprendizagem Significativa, sendo construídas com material de baixo custo e uso de recursos tecnológicos comuns na maioria das escolas. Como auxílio na verificação de desempenho dos

educandos, a utilização da rubrica se apresenta de modo significativo com apoio de um score para orientação do professor.

Deferimos um designer moderno na apresentação de nosso produto, conectado com recursos tecnológicos de fácil acesso, de modo a facilitar a utilização do professor; buscando apresentar resposta para Marques et al (2019) quando aponta a necessidade de ações inovadoras sobre o tema com testagem em sala de aula.

Bom uso !

## REFERÊNCIAS

ABDALLA, M. C. B. **O discreto charme das Partículas Elementares**. São Paulo: Editora UNESP, 2006.

AGUIAR, R. ICTP-SAIFR realiza Escola em Lima sobre Física de Altas Energias e Cosmologia. **ictp-saifr.org**, 2021. Disponível em:< [https://www.ictp-saifr-realiza-escola-em-lima-sobre-fisica-de-altas-energias-e-cosmologia/](https://www.ictp-saifr.org/ictp-saifr-realiza-escola-em-lima-sobre-fisica-de-altas-energias-e-cosmologia/)>. Acesso em: 29 out. 2021.

AMABIS, J. M. et al. **Moderna Plus – Ciências da Natureza e suas Tecnologias: universo e evolução**. São Paulo: Editora Moderna, 1ª edição, 2020.

ARTUSO, Alysson Ramos et al. Livro didático de física—quais características os estudantes mais valorizam? **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 41, 2019.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia Educacional**. Trad. Eva Nick e outros. Rio de Janeiro: Interamericana. 1980.

BALTHAZAR, W. F.; OLIVEIRA, A. L. **Partículas Elementares no Ensino Médio: uma abordagem a partir do LHC**. São Paulo: Editora Livraria da Física: Rio de Janeiro: CBPF – Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (Coleção Tópicos em Física). 2010.

BATISTA, C. A.; SIQUEIRA, M. A inserção da Física Moderna e Contemporânea em ambientes reais de sala de aula: uma sequência de ensino aprendizagem sobre radioatividade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. Florianópolis, v.34, n.3, p.880-902, 2017.

BECKER, F. **Educação e construção do conhecimento**. Porto Alegre: Artmed, 2001.

BIGGS, J.; TANG, C. **Teaching for Quality Learning at University**. 4. ed. Berkshire, England: Society for Research into Higher Education & Open University Press, 2011.

BLANCO, J, L.; TORREGROSA, J. M.; ALEMANY, F. S. ¿ Los modelos atómicos de Thomson y Rutherford que se presentan habitualmente en las clases se corresponden con sus aportaciones?. **Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas**, 2013.

BOGDAN, R.; BIKLEN, S.K. **Qualitative Research for Education**. Boston, Allyn and Bacon, inc., 1982.

BRASIL, Ministério da Educação. **Base Nacional Curricular Comum**. Brasília, DF: MEC, 2018. Disponível em:< <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>>. Acesso em 24 de mar. 2022.

\_\_\_\_\_. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**. Brasília, DF, MEC/SEMT, 2000.

\_\_\_\_\_. **Guia de livros didáticos: PNLD – Física**. Brasília, DF, MEC/SEB, 2011.

\_\_\_\_\_. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. **Fundamentos pedagógicos e estrutura geral da BNCC**. Brasília, DF, 2017. Disponível em:

[http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/historico/BNCC\\_EnsinoMedio\\_embaixa\\_site\\_110518.pdf](http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/historico/BNCC_EnsinoMedio_embaixa_site_110518.pdf). Acesso em 16 ago. 2021.

\_\_\_\_\_. Ministério da Educação. **Guia Digital do PNDL 2021: obras didáticas por área de conhecimento e específicas**. Secretaria de Educação Básica. Fundo Nacional do Desenvolvimento da Educação. Brasília, DF:MEC. 2021. Disponível em: <<https://pndl.nees.ufal.br/>>. Acesso em 20 de out. 2021.

\_\_\_\_\_. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais + (PCN+) - Ciências da Natureza e suas Tecnologias**. Brasília, DF, MEC, 2002. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf> . Acesso em 18 ago. 2021.

BROOKHART, S. M. **How to create and use rubrics for formative assessment and grading**. Alexandria, VA: ASCD, 2013.

CARUSO, F.; OGURI, V. **Física Moderna: Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos**, Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2006.

CERN, **Introduction to the “International Masterclasses” education programme on 1 December, 2021**. Disponível em: <https://home.cern/news/announcement/cern/introduction-international-masterclasses-education-programme-1-december>. Acesso: 02 dez. 2021

CHASSOT, A. I. **A ciência através dos tempos**. São Paulo: Moderna, 2ª edição, 2004.

D'AMBRÓSIO, U. **Educação matemática: da teoria à prática**. Campinas, SP: Papyrus, 1996, p. 17-28. Coleção Perspectivas em Educação Matemática.

DEMO, P. **Pesquisa: princípio científico e educativo**. 12. Ed. São Paulo: Cortez, 2006.

DOMINGUINI, L. Física moderna no Ensino Médio: com a palavra os autores dos livros didáticos do PNLEM. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 2, p. 1-7, 2012.

EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física Quântica**, Editora Campos. Rio de Janeiro, 1988.

ENGEL, G. I. Pesquisa-ação. **Educar**, Curitiba, n. 16, p. 181-191, 2000.

ENDLER, A. M. F. **Introdução a Física de partículas**. São Paulo: Editora Livraria da Física: Rio de Janeiro: CBPF – Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (Coleção Tópicos em Física). 2010.

ESTEBAN, M. P. S. **Investigación Cualitativa en Educación. Fundamentos y Tradiciones**. Madrid. Mc Graw and Hill Interamericana, 2003.

FERREIRA, R. CERN Tecnologias e aplicações tecnológicas. In: **Escola Avançada de Professores no CERN Online em Língua Portuguesa**, CERN, 2021.

FILHO, A. G.; TOSCANO, C. **Física: interação e tecnologia**. São Paulo: Leya, v. 3, 2016.

FORNER, A.; LATORRE, A. **Diccionario terminológico de investigación educativa y psicopedagógica**. Barcelona: EUB, 1996.

GARCIA, V. C. G. Fundamentação teórica para as perguntas primárias: O que é Matemática? Porque Ensinar? Como se ensina e como se aprende? **Revista Educação**. Vol. 32. nº 2. Porto Alegre, 2009.

GRIFFITHS, D. **Introduction to elementary particles**. John Wiley & Sons, 2020.

JESUS, R. T.; GOMES, A. R. G. Proposta de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa para Ensinar Física de Partículas por meio de Jogos de Cartas. **Revista do Professor de Física**, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 47–84, 2019. DOI: 10.26512/rpf.v3i1.22573. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/view/22573>. Acesso em: 7 jun. 2022.

KANE, G. The Dawn of physics beyond the standard model. **Scientific American**, june: 70-71. 2003. Disponível em: <http://particle-theory.physics.lsa.umich.edu/kane/Kane5p.pdf>. Acesso em: 01 de out. 2021.

KENSKI, V. M. **Educação e Tecnologias: o novo ritmo da informação**. – 3 ed. Campinas, SP: Papirus, 2008.

KNEUBIL, F. B. Explorando o CERN na física do Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 2, p. 1-9, 2013.

Laboratório virtual da Universidade Federal do Ceara. Disponível em: <https://www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/materiais-fisica-moderna>. Acesso em: 23 maio 2022.

LARA, A. M. B.; MOLINA, A. A. **Pesquisa Qualitativa: apontamentos, conceitos e tipologias**. In: Cèzar de Alencar Arnaut de Toledo; Maria Teresa Claro Gonzaga. (Org.). Metodologia e Técnicas de Pesquisa nas Áreas de Ciências Humanas. Maringá: EEduem, 2011, v. 01, p. 121-172.

LIBÂNEO, J. C. et al. **Educação escolar: políticas, estrutura e organização**. 5.ed. São Paulo: Cortez, 2007.

MARQUES, T. C. F.; MARTINS, T. C.; NOVAIS, A. D. L. F.; GOMES, L. M.; PASCHOAL, C. M. M.; FERNANDES, C. S.; FERREIRA, F. C. L. Ensino de física moderna e contemporânea na última década: revisão sistemática de literatura. **Scientia Plena**, 15(7), 1–8. 2019.

MEGID NETO, Jorge; FRACALANZA, Hilário. O livro didático de ciências: problemas e soluções. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 9, n. 2, p. 147-157, 2003.

MELZER, E. E. M.; AIRES, J. A. A história do desenvolvimento da teoria atômica: um percurso de Dalton a Bohr. **Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas**, v. 11, n. 22, p. 62-77, 2015.

MENDONÇA, A. P.; **Alinhamento Construtivo: Fundamentos e Aplicações**. In: Gonzaga, Amarildo M. (Organizador). Formação de Professores no Ensino Tecnológico: Fundamentos e Desafios. 1a. ed. ISBN 978-85-444-0369-3. Curitiba, PR: CRV, 2015. p. 109-130.

MENDONÇA, A. P.; COELHO, I. M. W. **Rubrica e suas contribuições para avaliação de desempenho de estudantes**. In: Souza, Ana C. R. de. et. al. (Organizadores). *Formação de Professores e Estratégias de Ensino: perspectivas teórico-práticas*. 1ª. ed. ISBN: 978-85-473-1021-9, Curitiba: Appris, 2018.

McKAY, J.; MARSHALL, P. **The Dual Imperatives of Action Research**. *Information Technology & People*, v. 14, n. 1, p. 46-59, 2001.  
<http://dx.doi.org/10.1108/09593840110384771>

MORTIMER *et al.* **Matéria, Energia e Vida: uma abordagem interdisciplinar – Materiais, Luz e Som: modelos e propriedades**. São Paulo: Editora Scipione, 1ª edição, 2020.

MORAN, J. M. et al. **Novas tecnologias e mediação pedagógica**. 6. ed. Campinas: Papirus, 2000.

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

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa: a teoria e textos complementares**. São Paulo: Editora Livraria da Física. 2012.

\_\_\_\_\_. **Física de Partículas: uma abordagem conceitual e epistemológica**. São Paulo: Editora Livraria da Física. 2011

\_\_\_\_\_. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: EPU. 2011a.

\_\_\_\_\_. **O Bóson de Higgs na mídia, na Física e no Ensino da Física**. Texto de apoio ao professor de física, v.28, n. 2, 2017. Disponível em: [https://www.if.ufrgs.br/public/tapf/tapf\\_v28n2\\_moreira.pdf](https://www.if.ufrgs.br/public/tapf/tapf_v28n2_moreira.pdf). Acesso em 02 de mar. de 2022.

MOZENA, E. **Investigando enunciados sobre a interdisciplinaridade no contexto das mudanças curriculares para o ensino médio no Brasil e no Rio Grande do Sul**. 2014. Tese (Doutorado em Ensino de Física) – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

NETO, J. A. S. et al. Proposta de modelos para o ensino de física de partículas elementares na educação básica. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 7, p. 43242-43257, 2020.

OLIVEIRA, D.; MAXWELL, S. **Física de Partículas Elementares nos Livros Didáticos: Uma Análise nas obras do PNLD 2018**. XXIV Simpósio Nacional de Ensino de Física – SNEF 2021

OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. H. Física moderna e contemporânea no ensino médio: elaboração de material didático, em forma de pôster, sobre partículas elementares e interações fundamentais. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 16, n. 3, p. 267-286, dez. 1999.

OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. de H. Um pôster para ensinar Física de Partículas na escola. *Física na escola*. São Paulo. Vol. 2, n. 1 (maio 2001), p. 13-18, 2001.

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. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, V.18, n.2, p.135-151, 2001.

PEDUZZI, L. O. Q. Do átomo grego ao átomo de Bohr. **Florianópolis: Departamento de Física/UFSC**, 2005.

PEIXOTO, M. C. D. Rhusmos e movimento dos átomos na física de Demócrito. **Kriterion: Revista de Filosofia**, v. 51, p. 413-428, 2010.

PEÑA, M. D. J.; ALVES, M. R.; PEPPE, M. A. Educação, tecnologia e humanização. **Cad. Pós – Grad. Educ. Arte. Hist. Cult.**, v. 3, n. 1, p. 9-19, 2003.

PhET – Physics Education Technology. Disponível em <http://phet.colorado.edu/>. Acesso em: 13 fev. 2023.

PIAGET, J. **Psicologia e pedagogia**. Tradução de Dirceu Accioly Lindoso e Rosa Maria Ribeiro da Silva. São Paulo, ed. Forense, 1970.

\_\_\_\_\_. **Para onde vai a educação?** Tradução de Ivete Braga. 14ª ed. Rio de Janeiro: José Olympio, 1998.

PIMENTA, J. J. M. et al. O bóson de Higgs. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 2, p. 1-14, 2013.

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, 1999.

ROCHA, A. C.; CABRAL NETO, J. S. **Ensinando números quânticos usando a gamificação** 2021. 116 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino Tecnológico). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Campus Manaus Centro, 2021.

RIZZONI, G. A sala de aula sob o olhar do construtivismo piagetiano: perspectivas e implicações. In: V CINFE- Congresso Internacional de Filosofia e Educação, Caxias de sul-RS, **Anais**, mai. 2010. Disponível em: [https://www.ucs.br/site/midia/arquivos/Construtivismo\\_Piagetiano.pdf](https://www.ucs.br/site/midia/arquivos/Construtivismo_Piagetiano.pdf). Acesso em 03 abr. 2022.

SALES, G. L. et al. Gamificação e ensinagem híbrida na sala de aula de Física: metodologias ativas aplicadas aos espaços de aprendizagem e na prática docente. **Conexões-Ciência e Tecnologia**, v. 11, n. 2, p. 48, 2017.

SAMPAIO, R. F.; MANCINI, M. C. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. **Revista Brasileira de Fisioterapia**. 2007

SCHULZ, P. A. Duas nuvens ainda fazem sombra na reputação de Lord Kelvin. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.29, n.4, São Paulo, 2007.

SILVA, J. R. N.; ARENGHI, L. E. B.; LINO, A. Porque inserir física moderna e contemporânea no ensino médio? Uma revisão das justificativas dos trabalhos acadêmicos. **Revista Brasileira Ensino Ciência Tecnologia**, v. 6, n. 1, 2013.

SILVA, L. L. O imaginário de professores de física sobre o uso de jogos no ensino da física de partículas elementares. **Revista Eletrônica Ludus Scientiae**, v. 3, n. 1, 2019.

SILVA, M. A. A fetichização do livro didático no Brasil. **Educação & Realidade**, v. 37, p. 803-821, 2012.

SIQUEIRA, M.; PIETROCOLA, M. A Transposição Didática aplicada a teoria contemporânea: A Física de Partículas elementares no Ensino Médio. **X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Londrina**, v. 13, p. 14, 2006.

SOUZA, P. R.; **Aprendizagem significativa e alinhamento construtivo: uma proposta para o ensino de circuitos elétricos**. Manaus: IFAM, 2016

SPRACE. sprace.org, c2018. Disponível em: < <https://sprace.org.br/index.php/education-outreach/sprace-game/>>. Acesso em 02 de jun. 2022.

TERRA FILHO, M. et al. Thoracic positron emission tomography: preliminary results of a Brazilian experiment. **Jornal de Pneumologia**, v. 26, p. 183-188, 2000.

THIOLLENT, M. **Metodologia da Pesquisa-Ação**. 4 ed. São Paulo: Cortez, 1988.

TRIPP, D. Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, v. 31, p. 443-466, set./dez. 2005. ISSN 3. Tradução: Lólio Lourenço de Oliveira.

VEISSID, N.; PEREIRA, L. A.; PEÑA, A. F. V. Uma abordagem diferente na estatística do experimento Millikan. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 1, p. 1-6, 2014.

ZABALA, A. **A prática educativa: como ensinar**. tradução: Ernani F. Rosa; revisão técnica: Nalú Farenzena. Porto Alegre: Ed. Penso, 2014.

**APÊNDICES**

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO - CONHECIMENTOS PRÉVIOS

APÊNDICE B – PLANOS DE ENSINO

APÊNDICE C – LEITURA TEXTUAL E SISTEMATIZAÇÃO

APÊNDICE C – ATIVIDADES DE APRENDIZAGEM

APÊNDICE D – RUBRICAS

APÊNDICE E – ATIVIDADES DE ENSINO

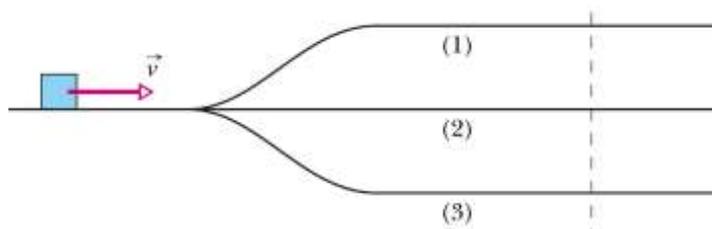
APÊNDICE F – PROTÓTIPO

APÊNDICE G – QUESTIONÁRIO FINAL

## APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO - CONHECIMENTOS PRÉVIOS

| QUESTIONÁRIO – CONHECIMENTOS PRÉVIOS   |
|--|
| <b>1. IDENTIFICAÇÃO:</b>   |
| <b>AULA 01</b>   |
| <p>Prezado estudante,</p> <p>Apresentamos este questionário com o propósito de <b>identificar quais conhecimentos prévios</b> demonstra ter para a aprendizagem do Modelo Padrão (objeto de conhecimento que será discutido nas aulas). Assim, pedimos que responda as perguntas/questões com a máxima atenção. <b>Fique à vontade e tranquilo</b> porque não se trata de uma avaliação, mas tão somente uma averiguação daquilo que você já sabe para daí iniciarmos no processo de ensino e aprendizagem. Então vamos iniciar!</p>   |
| <p>Q1 - Na sua opinião do que é constituída a matéria?</p> <p>Q2 - (NCERT*, 2020) De acordo com qual modelo atômico os elétrons estão encrustados num “gel” de carga positiva?</p> <p><input type="checkbox"/> Modelo de Dalton</p> <p><input type="checkbox"/> Modelo de Bohr</p> <p><input type="checkbox"/> Modelo de Thomson.</p> <p><input type="checkbox"/> Modelo de Rutherford.</p> <p>Q3 - (NCERT*, 2020) O experimento realizado por Rutherford, em que bombardeia uma fina lâmina de ouro com partículas <math>\alpha</math>, mostra, que a maioria das partículas atravessam a lâmina de ouro, enquanto algumas são espalhadas com grandes ângulos. O que este resultado nos diz a respeito da estrutura do átomo?</p> <p><input type="checkbox"/> O átomo é oco.</p> <p><input type="checkbox"/> Praticamente toda a massa do átomo está concentrada numa pequena região chamada núcleo</p> <p><input type="checkbox"/> O núcleo é positivo.</p> <p><input type="checkbox"/> Todas as alternativas estão corretas.</p> <p>Q4 - No que se diferem os elétrons, prótons e nêutrons?</p> <p>Q5 - (HEWITT, 2008) O que contribui mais para a massa de um átomo, os elétrons ou os prótons? E para o volume de um átomo (seu tamanho)?</p> <p><input type="checkbox"/> Os elétrons; os elétrons.</p> <p><input type="checkbox"/> Os prótons; os prótons.</p> <p><input type="checkbox"/> Os prótons; os elétrons</p> <p><input type="checkbox"/> Os elétrons; os prótons.</p> <p>Q6 - (HALLIDEY; RESNICK; WALKER, 2008) Na figura 1 um bloco que se move horizontalmente pode seguir três caminhos diferentes, que diferem apenas na altura, para chegar à linha de chegada tracejada. Ordene os caminhos de acordo (a) com a velocidade</p> |

do bloco na linha de chegada e (b) o tempo de percurso do bloco até a linha de chegada, em ordem decrescente.



De acordo com a velocidade:

- 3, 2, 1  
 3, 1, 2  
 1, 2, 3  
 2, 3, 1

De acordo com o tempo:

- 3, 1, 2  
 1, 2, 3  
 3, 2, 1  
 2, 1, 3

Q7 - (HEWITT, 2008) Um carro movendo-se possui energia cinética. Se ele acelera até ficar duas vezes mais rápido, quanta energia cinética ele possui, comparativamente?

- Duas vezes  
 Quatro vezes  
 Oito vezes  
 A mesma energia cinética

Q8 - (HEWITT, 2008) O que possui maior momento linear (quantidade de movimento), um carro de 1 tonelada movendo-se a 100Km/h, um caminhão de 2 toneladas movendo-se a 50Km/h ou uma motocicleta de 500Kg movendo-se com velocidade 200Km/h?

- A motocicleta.  
 O caminhão.  
 O carro.  
 Todos possuem a mesma quantidade de movimento.

Q9 - (HEWITT, 2008) A nave estelar *Enterprise* é perseguida no espaço por uma nave de guerra *Klingon* que se move com a mesma velocidade. O que acontece ao valor do módulo da velocidade da nave *Klingon* quando ela dispara um projétil contra a *Enterprise*? O que ocorre com a *Enterprise* quando ela dispara em resposta?

- Aumenta; diminui.  
 Diminui; diminui  
 Aumenta; aumenta.  
 Diminui; aumenta

Q10 - Existe diferentes tipos de força na natureza. Na coluna da direita temos algumas destas forças. Então, relacione a coluna da direita com a coluna da esquerda.

- ( 1 ) Força gravitacional
- ( 2 ) Força elétrica
- ( 3 ) Força magnética
- ( 4 ) Força elástica
- ( 5 ) Força de atrito

( ) Se dois corpos possuem carga elétrica, ambos estarão sujeitos a uma atração mútua (caso as cargas sejam de sinal contrários) ou uma repulsão mútua (caso as cargas sejam de mesmo sinal).

( ) Todo material apresenta uma região com comportamento elástico e quando uma força compressiva ou de estiramento é aplicada sobre ele, este se deforma elasticamente, retornando ao seu tamanho inicial quando a força é retirada

( ) Quando dois corpos estão em contato, havendo ou não movimento relativo entre eles, experimentarão resistência ao movimento devido o contato entre as superfícies.

( ) Se dois corpos possuem massa, ambos estão sujeitos a uma atração mútua proporcional às suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância.

( ) Se dois corpos são dotados de propriedade magnética (por exemplo, um ímã), ambos estarão sujeitos a uma atração mútua (polo N de um ímã com o polo S de outro ímã) ou repulsão mútua (polo N de um ímã com o polo N de outro ímã); ou se uma carga elétrica se movimenta numa região onde há um campo magnético, essa experimentará uma mudança na sua trajetória a depender do modo como o campo magnético é aplicado em relação a direção do movimento.

NCERT\* - National Council of Educational Research and Training

## APÊNDICE B – PLANOS DE ENSINO

| <b>PLANOS DE ENSINO</b>  |
|--|
| <b>AULA 02 – O QUE HÁ DENTRO DA CAIXA?</b>   |
| <b>1. OBJETO DE CONHECIMENTO:</b>  |
| <b>2. RESULTADOS PRETENDIDOS DE APRENDIZAGEM</b>   |
| Os alunos devem demonstrar conhecimentos a respeito da compreensão que tem do átomo, partícula e partícula elementar, velocidade da luz e partículas com alta velocidade, conservação da energia e quantidade de movimento, forças da natureza e carga elétrica. Identificar e descrever um sistema fechado objetivando compreender o papel da experimentação na produção de conhecimento e familiarizar-se com conceitos e procedimentos empregados pelos cientistas.   |
| <b>Competência específica:</b><br>CNT2: Construir e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar decisões éticas e responsáveis.<br>CNT3: Analisar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação. |
| <b>Habilidade:</b> EM13CNT205; EM13CNT301.   |
| <b>3. O QUE FAZ O PROFESSOR?</b>   |
| Irá dividir a turma em 4 grupos deliberando o roteiro experimental com ações da atividade e objetivo a ser alcançados; no final das atividades da Unidade II, uma rodada de conversa irá auxiliar com informações a respeito da aprendizagem.  |
| <b>4. O QUE FAZ O ALUNO?</b>   |
| O aluno investigará um sistema fechado (uma caixa contendo um objeto) para descobrir o tipo de objeto dentro da caixa, descrevendo sua forma, massa (comparando a algo que eles conheçam) e o tipo de material (borracha, madeira, metal etc.).  |
| <b>5. ESTRATÉGIA DE ENSINO</b>   |
| -Sistematização por meio de atividade experimental.  |
| <b>6. AVALIAÇÃO</b>  |
| - Respostas obtidas pelo questionário; sistematização segundo experimentação com aplicação de Rubrica.   |
| <b>7. INSTRUMENTOS/RECURSOS</b>  |
| - Questionário; caixas de papelão, objetos de diferentes formas e tamanhos.  |
| <b>8. REFERÊNCIAS</b>  |
| AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. Psicologia Educacional. Trad. Eva Nick e outros. Rio de Janeiro: Interamericana. 1980.<br>MOREIRA, M. A. Aprendizagem Significativa: a teoria e textos complementares. São Paulo: Editora Livraria da Física. 2012.   |

|  |
|--|
| <b>AULA 03 – DESCOBRINDO O TAMANHO DA BOLA</b>   |
| <b>2. OBJETO DE CONHECIMENTO</b>   |
| O conteúdo desta aula terá o propósito de responder a seguinte questão: de que modo podemos conhecer o tamanho de uma bola de gude por meio de medida indireta?  |
| <b>3. RESULTADOS PRETENDIDOS DE APRENDIZAGEM</b>   |
| <b>Os alunos devem:</b><br>Identificar como é possível determinar o tamanho de uma bola de gude por meio do fenômeno da colisão, o papel da experimentação na produção de conhecimento e familiarizar-se com conceitos e procedimentos empregados pelos cientistas   |
| <b>Competência específica:</b><br>CNT2: Construir e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar decisões éticas e responsáveis.<br>CNT3: Analisar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação. |
| Habilidade: EM13CNT205; EM13CNT301.  |
| <b>4. O QUE FAZ O PROFESSOR?</b>   |
| O professor apresentará uma proposta experimental:<br>Na atividade de aprendizagem, os grupos organizados irão desenvolver uma prática experimental para compreender como pode-se fazer medida indireta de um objeto.  |
| <b>5. O QUE FAZ O ALUNO?</b>   |
| Na realização da atividade os estudantes calcularão o tamanho de uma bola de gude por meio da colisão perfeitamente elástica. Na continuidade da aula, participarão de uma roda de conversa discursando sobre os resultados e procedimentos utilizados.  |
| <b>6. ESTRATÉGIA DE ENSINO</b>   |
| Sistematizar por meio de atividade experimental um modo capaz de determinar o tamanho de uma bola de gude.   |
| <b>7. AVALIAÇÃO</b>  |
| Respostas obtidas pelo instrumento perguntas/questões.   |
| <b>8. INSTRUMENTOS / RECURSOS</b>  |
| Caixas de papelão, objetos de diferentes formas e tamanhos, esferas de aço, tabuleiro com plano inclinado e régua milimetrada.   |
| <b>9. REFERÊNCIAS</b>  |

AMABIS, J. M. et al. **Moderna Plus – Ciências da Natureza e suas Tecnologias: universo e evolução**. São Paulo: Editora Moderna, 1ª edição, 2020.

CARUSO, F.; OGURI, V. **Física Moderna: Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos**, Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2006. MORTIMER *et al.* **Matéria, Energia e Vida: uma abordagem interdisciplinar – Materiais, Luz e Som: modelos e propriedades**. São Paulo: Editora Scipione, 1ª edição, 2020. SOUSA, J. J. F.; PORTES, D. F.; BARROS, S. S.

**Experimento para a medida indireta do raio de uma esfera e a compreensão da construção do modelo atômico de Rutherford**. In: XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física. Vitória, ES, jan. 2009.

## **AULA 04 – SIMULANDO OS MODELOS DE THOMSON E RUTHERFORD**

### **2. OBJETO DE CONHECIMENTO**

- Os modelos atômicos de Thomson e Rutherford.

### **3. RESULTADOS PRETENDIDOS DE APRENDIZAGEM**

#### **Os alunos devem:**

Identificar quais descobertas foram fundamentais no processo de construção do conhecimento a respeito do átomo, descrevendo alguns princípios estabelecidos a partir desse processo.

#### **Competência específica:**

CNT1: Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global

**Habilidade:** EM13CNT101

### **4. O QUE FAZ O PROFESSOR?**

Apresenta as principais descobertas científicas que possibilitaram a compreensão do átomo como os chamados modelos atômicos clássicos.

### **5. O QUE FAZ O ALUNO?**

Ouve, participa e toma nota a respeito das descobertas que levaram a compreensão dos modelos atômicos clássicos, desenvolve atividades em um simulador virtual respondendo questões encaminhadas pelo professor.

### **6. ESTRATÉGIA DE ENSINO**

- Aula expositiva com aplicação de uma sequência de ensino-aprendizagem em um simulador virtual.

### **7. AVALIAÇÃO**

- Resultados obtidos pelos critérios de uma rubrica, pela identificação da descoberta no processo de construção do conhecimento.

### **8. INSTRUMENTOS / RECURSOS**

- Simulador virtual.

### **9. REFERÊNCIAS**

|  |
|--|
| <p>AMABIS, J. M. et al. <b>Moderna Plus – Ciências da Natureza e suas Tecnologias: universo e evolução</b>. São Paulo: Editora Moderna, 1ª edição, 2020.</p> <p>GURGEL, I.; PIETROCOLOA, M. O papel da imaginação no pensamento científico: análise da criação científica de estudantes em uma atividade didática sobre o espalhamento de Rutherford. <b>Caderno Brasileiro de Ensino de Física</b>, v. 28, n. 1: p. 91-122, abr. 2011</p> <p>PHET. Interactive Simulations da Universidade do Colorado. 2016. Disponível em: <a href="https://phet.colorado.edu/sims/html/rutherford-scattering/latest/rutherford-scattering_pt_BR.html">https://phet.colorado.edu/sims/html/rutherford-scattering/latest/rutherford-scattering_pt_BR.html</a>. Acesso em: 01 jul 2022.</p> |
| <b>AULA 05 – CARGA ELÉTRICA NUM CAMPO MAGNÉTICO</b>  |
| <b>2. OBJETO DE CONHECIMENTO</b>   |
| - A descoberta do elétron: experimentos de Thomson e Millikan, o conceito de carga elétrica (múltipla da carga do elétron e fração da carga do elétron).   |
| <b>3. RESULTADOS PRETENDIDOS DE APRENDIZAGEM</b>   |
| Os alunos devem:   |
| - Reconhecer os modos experimentais adotados por Thomson, Millikan e propriedades do elétron (carga elétrica, massa etc.);   |
| - Calcular a relação carga/massa do elétron.   |
| <b>Competência específica:</b>   |
| CNT1: Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global  |
| <b>Habilidade:</b> EM13CNT101  |
| <b>4. O QUE FAZ O PROFESSOR?</b>   |
| Apresenta o experimento de Thomson e Millikan com a descoberta do elétron e o conceito de carga elétrica.  |
| <b>5. O QUE FAZ O ALUNO?</b>   |
| Ouve, participa e toma nota a respeito das descobertas que levaram as propriedades do elétron e respondem a questões encaminhadas pelo professor após realizar atividade virtual de aprendizagem.  |
| <b>6. ESTRATÉGIA DE ENSINO</b>   |
| - Aula expositiva com realização de atividade virtual de aprendizagem.   |
| <b>7. AVALIAÇÃO</b>  |
| - Respostas obtidas pelos critérios de uma rubrica, segundo os resultados pretendidos da aprendizagem identificados na atividade desenvolvida.   |
| <b>8. INSTRUMENTOS / RECURSOS</b>  |
| - Simulador virtual.   |
| <b>9. REFERÊNCIAS</b>  |

|  |
|--|
| DIAS, N. L. <b>Determinação da razão carga massa do elétron</b> . Laboratório virtual da Universidade Federal do Ceara. Disponível em: <a href="https://www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/materiais-fisica-moderna">https://www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/materiais-fisica-moderna</a> . Acesso em: 23 maio 2022. CARUSO, F.; OGURI, V. <b>Física Moderna: Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos</b> , Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2006.  |
| <b>AULAS 06 – ACELERADORES E DETECTORES DE PARTÍCULAS</b>  |
| <b>2. OBJETO DE CONHECIMENTO</b>   |
| - Aceleradores e detectores de partículas.   |
| <b>3. RESULTADOS PRETENDIDOS DE APRENDIZAGEM</b>   |
| Os alunos devem:<br>- Identificar e classificar partículas em um simulador virtual;<br>- Diferenciar partículas a partir de suas propriedades quântica em um simulador virtual.  |
| <b>Competência específica:</b><br>CNT2: Construir e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar decisões éticas e responsáveis.<br>CNT3: Analisar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação. |
| <b>Habilidade:</b> EM13CNT205; EM13CNT307; EM13CNT308.   |
| <b>4. O QUE FAZ O PROFESSOR?</b>   |
| Através de uma aula expositiva o professor apresenta diferentes tipos de aceleradores e detectores de partículas, suas funcionalidades e o experimento da câmara de nuvens.  |
| <b>5. O QUE FAZ O ALUNO?</b>   |
| Ouve, participa e toma nota a respeito da funcionalidade, características e evolução dos aceleradores e detectores de partículas que levaram a descobertas e confirmação de modelos teóricos, observando partículas na câmara de nuvens. Realiza atividade em duplas identificando partículas a partir de suas propriedades quânticas e funcionalidade do simulador virtual.   |
| <b>6. ESTRATÉGIA DE ENSINO</b>   |
| - Aula expositiva com uso de simulador virtual.  |
| <b>7. AVALIAÇÃO</b>  |
| - Respostas obtidas pelos critérios de uma rubrica, segundo os resultados pretendidos da aprendizagem identificados no estudo proposto com uso de um simulador virtual.  |
| <b>8. INSTRUMENTOS / RECURSOS</b>  |
| - Experimento da câmara de nuvens; simulador virtual.  |
| <b>9. REFERÊNCIAS</b>  |

ABDALLA, M. C. B. **O discreto charme das Partículas Elementares**. São Paulo: Editora UNESP, 2006.

BALTHAZAR, W. F.; OLIVEIRA, A. L. **Partículas Elementares no Ensino Médio: uma abordagem a partir do LHC**. São Paulo: Editora Livraria da Física; Rio de Janeiro: CBPF – Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (Coleção Tópicos em Física). 2010.

CERN, **Introduction to the “International Masterclasses” education programme on 1 December, 2021**. Disponível em: <https://home.cern/news/announcement/cern/introduction-international-masterclasses-education-programme-1-december>. Acesso: 02 dez. 2021

## **AULA 07 – IDENTIFICANDO PARTICULAS ELEMENTARES EM UM SIMULADOR**

### **2. OBJETO DE CONHECIMENTO**

- Identificando partículas elementares em um simulador

### **3. RESULTADOS PRETENDIDOS DE APRENDIZAGEM**

Os alunos devem:

- Identificar e descrever a composição dos Férmions e Hádrons;
- Explicar o conceito de partícula elementar.

Competência específica:

CNT2: Construir e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar decisões éticas e responsáveis.

CNT3: Analisar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação.

Habilidade: EM13CNT201; EM13CNT301; EM13CNT302; EM13CNT303.

### **4. O QUE FAZ O PROFESSOR?**

O professor apresenta o software educativo sprace game explicando seus objetivos e funcionalidades.

### **5. O QUE FAZ O ALUNO?**

Executa a rotina definida pelo software educativo com o objetivo de cumprir as missões propostas, respondendo questões encaminhadas pelo professor a partir da atividade desenvolvida.

### **6. ESTRATÉGIA DE ENSINO**

- Uso de um software educacional.

### **7. AVALIAÇÃO**

- Respostas obtidas pelos critérios de uma rubrica, segundo os resultados pretendidos da aprendizagem identificados na atividade de aprendizagem.

### **8. INSTRUMENTOS / RECURSOS**

- Software educacional.

### **9. REFERÊNCIAS**

|  |
|--|
| <p>MOREIRA, M. A. <b>Física de Partículas: uma abordagem conceitual e epistemológica</b>. São Paulo: Editora Livraria da Física. 2011.</p> <p>SPRACE. sprace.org, c2018. Disponível em: &lt; <a href="https://sprace.org.br/index.php/education-outreach/sprace-game/">https://sprace.org.br/index.php/education-outreach/sprace-game/</a>&gt;. Acesso em 02 de jun. 2022.</p>   |
| <b>AULA 08 e 09 – O MODELO PADRÃO / QUE EU SOU?</b>  |
| <b>2. OBJETO DE CONHECIMENTO</b>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- O Modelo Padrão das partículas elementares.</li> <li>- Propriedades quânticas da partícula.</li> </ul>  |
| <b>3. RESULTADOS PRETENDIDOS DE APRENDIZAGEM</b>   |
| <p>Os alunos devem:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nomear as famílias e partículas elementares de acordo com o Modelo Padrão;</li> <li>- Identificar e descrever propriedades quânticas das partículas.</li> </ul>   |
| <p>Competências específicas:</p> <p>CNT2: Construir e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar decisões éticas e responsáveis.</p> <p>CNT3: Analisar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação.</p> |
| Habilidade: EM13CNT201; EM13CNT301; EM13CNT302.  |
| <b>4. O QUE FAZ O PROFESSOR?</b>   |
| Apresenta as descobertas que levaram a teoria do Modelo Padrão das partículas elementares, propriedades quânticas do spin, carga elétrica, energia, momento e estranheza.  |
| <b>5. O QUE FAZ O ALUNO?</b>   |
| Ouve, participa e toma nota a respeito das descobertas que levaram a compreensão da teoria do Modelo Padrão das partículas elementares, além de participar de atividade com cartas e responder um questionário em busca dos resultados pretendidos da aprendizagem.  |
| <b>6. ESTRATÉGIA DE ENSINO</b>   |
| - Aula expositiva com atividade lúdica.  |
| <b>7. AVALIAÇÃO</b>  |
| - Resultados obtidos pelos critérios de uma rubrica, pela identificação da descoberta no processo de construção do conhecimento.   |
| <b>8. INSTRUMENTOS / RECURSOS</b>  |
| - Cartas.  |
| <b>9. REFERÊNCIAS</b>  |

ABDALLA, M. C. B. **O discreto charme das Partículas Elementares**. São Paulo: Editora UNESP, 2006. MOREIRA, M. A. **Física de Partículas: uma abordagem conceitual e epistemológica**. São Paulo: Editora Livraria da Física. 2011. JESUS, R. T.; GOMES, A. R. G. Proposta de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa para Ensinar Física de Partículas por meio de Jogos de Cartas. **Revista do Professor de Física**, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 47–84, 2019. DOI: 10.26512/rpf.v3i1.22573. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/view/22573>. Acesso em: 7 jun. 2022.

#### 10. CRONOGRAMA

| Aula | Conteúdo   | Recurso Didático             |
|------|--|------------------------------|
| 01   | - Identificação de conhecimentos prévios.              | - Aplicação do questionário; |
| 02   | - O que há dentro da caixa?                            | - Atividades experimentais;  |
| 03   | - Determinando o tamanho da bola.                      | - Atividades experimentais;  |
| 04   | - Simulando os modelos de Thomson e Rutherford.        | - Simulador virtual.         |
| 05   | - Carga elétrica num campo magnético                   | - Simulador virtual.         |
| 06   | - Aceleradores e detectores de partículas.             | - Simulador virtual.         |
| 07   | - Identificando partículas elementares em um simulador | - Simulador Virtual.         |
| 08   | - O Modelo Padrão.                                     | - Aula expositiva.           |
| 09   | - Quem eu sou?   | -Atividade lúdica.           |

## APÊNDICE C – ATIVIDADES DE APRENDIZAGEM

| <b>ATIVIDADES DE APRENDIZAGEM</b>   |                             |       |                  |
|---|-----------------------------|-------|------------------|
| <b>AULA 02</b>  |                             |       |                  |
| <b>1. IDENTIFICAÇÃO:</b>  |                             |       |                  |
| <b>2. Título:</b> O que há dentro da caixa?   |                             |       |                  |
| <b>3. Objetivos:</b><br>- Determinar a forma, a massa e o tipo de objeto escondido dentro de uma caixa;<br>- Familiarizar-se com conceitos e procedimentos empregados no processo de investigação.  |                             |       |                  |
| <b>4. Materiais utilizados:</b><br>- Caixa de papelão com tampa;<br>- Objetos de diferentes formas, massa e material;<br>- Bolas de gude, pedaços de madeira, cola.                                 |                             |       |                  |
| <b>5. Procedimento experimental:</b><br>Você recebeu uma caixa contendo um objeto desconhecido. Sem abrir/violar a caixa descubra que objeto ela guarda, sua forma, sua massa e o tipo do material. |                             |       |                  |
| <b>6. Dados obtidos:</b>  |                             |       |                  |
| Caixa   | Forma                       | Massa | Tipo de material |
| 1   |                             |       |                  |
| 2   |                             |       |                  |
| 3   |                             |       |                  |
| 4   |                             |       |                  |
| Obs: Anote todas as observações para descrição das perguntas abaixo.<br>Massa comparativa – pilha grande  |                             |       |                  |
| <b>6. Responda:</b>   |                             |       |                  |
| 1. Qual procedimento você adotou para descobrir as características do objeto? Por que adotou tal procedimento?  |                             |       |                  |
|   | <b>Descrição conclusiva</b> |       |                  |
| <b>Forma</b>  |                             |       |                  |
| <b>Massa</b>  |                             |       |                  |
| <b>Material</b>   |                             |       |                  |
| 2. Que outras informações podem ser obtidas do objeto escondido sobre as mesmas condições citando os procedimentos que poderiam ser utilizados?   |                             |       |                  |
| 3. Você sabe de alguma descoberta da ciência cujo procedimento experimental se assemelhar ao que você utilizou neste experimento? Qual?   |                             |       |                  |

## 9. REFERÊNCIAS

AMABIS, J. M. et al. **Moderna Plus – Ciências da Natureza e suas Tecnologias: universo e evolução**. São Paulo: Editora Moderna, 1ª edição, 2020.

GUEGEL, I.; PIETROCOLA, M. O papel da imaginação no pensamento científico: análise da criação científica de estudantes em uma atividade didática sobre o espalhamento de Rutherford. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. São Paulo, v. 28, n. 1: p. 91-122, abr. 2011.

SIQUEIRA, M. R. **Do visível ao indivisível: uma proposta de ensino de física de partículas elementares para a Educação Básica**. 2006. Dissertação (Mestrado) - IFUSP, São Paulo.

## AULA 03

### 1. Identificação

**2. Título:** descobrindo o tamanho da bola

### 3. Objetivos:

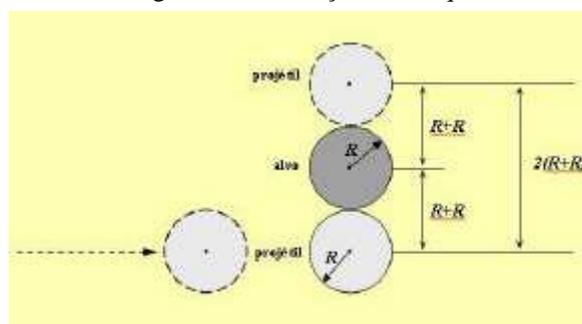
- Determinar o tamanho de uma bola de gude por meio de medida indireta;
- Compreender o papel da experimentação na produção de conhecimento;

### 4. Resumo teórico:

Choque ou colisões tem estudo na mecânica em seus diferentes tipos, com avaliação da quantidade de movimento e conservação da energia dos corpos, sendo possível o auxílio da matemática com o estudo probabilístico.

Esferas de mesmo raio  $R$  podem sofrer colisão desde que o centro da esfera projétil (EP) fique dentro da dimensão demarcada por  $2R$  ( $R + R$ ) (fig. 1).

Fig. 1 – área de seção de choque



Fonte: Souza, Pontes e Barros (2009)

A largura do tabuleiro ( $D$ ), o número de esferas alvo ( $N$ ) e o raio da esfera ( $R$ ), são variáveis que se relacionam com a probabilidade matemática ( $P_{\text{MODELO}}$ ) de uma colisão.

Análises mostram que as relações acima citadas são deferidas pela sentença:

$$P_{\text{MODELO}} \propto N \cdot 4R / D \quad (1)$$

A probabilidade experimental ( $P_{\text{EXP}}$ ) é definida em função da razão entre o número de colisões ( $C$ ) e a quantidade total de lançamentos ( $Q$ ):

$$P_{\text{EXP}} \propto C / Q \quad (2)$$

Igualando as sentenças (1) e (2) obtemos a medida indireta do raio da esfera ( $R = R_{\text{IND}}$ ) avaliado de modo indireto.

$$R_{\text{IND}} = D \cdot P_{\text{EXP}} / 4N \quad (3)$$

### 5. Materiais utilizados:

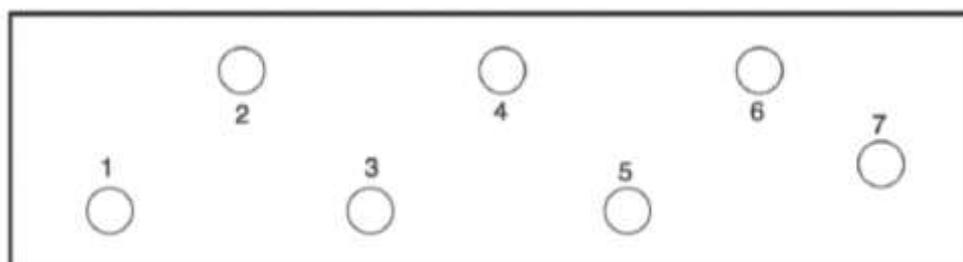
- Esferas de aço;

- Tabuleiro;
- Plano inclinado;
- Régua centimétrica;
- Paquímetro.

### 6. Procedimento experimental:

- Posicione as esferas alvo (EA) de acordo com a configuração abaixo (Fig.1):

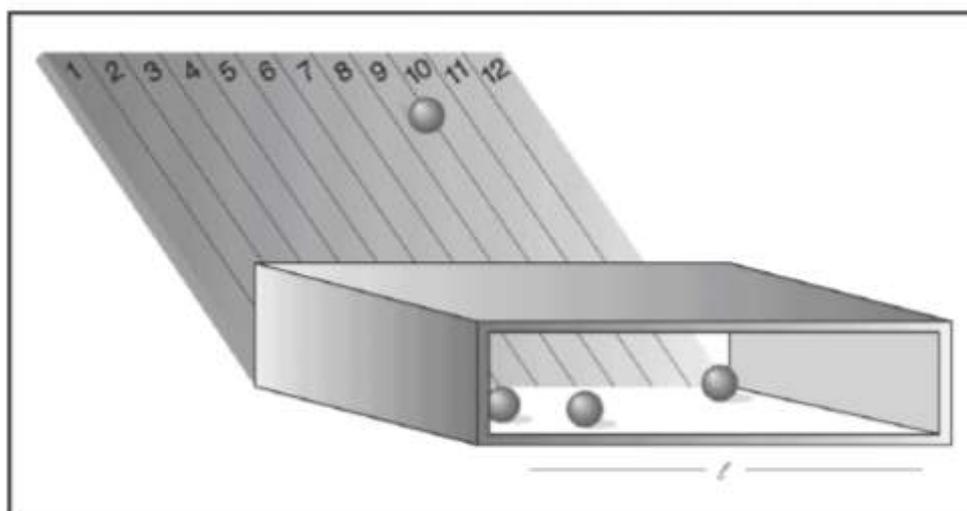
Fig. 1 – possíveis posições das esferas alvo



Fonte: Caruso; Oguri (2006)

- Siga as orientações abaixo:

Fig. 2 – artefato experimental



Fonte: Caruso; Oguri (2006)

- Acesse o endereço eletrônico <https://www.sorteador.plataformadesorteio.com.br/> sorteando 125 números entre 1 e 12;
- Posicione a esfera projétil (EP) na trilha equivalente ao primeiro número sorteado, observando a figura 2;
- Abandone a esfera projétil (EP) posicionada na parte superior do plano inclinado, projetando seu deslocamento perpendicular a largura (D) da caixa;
- Observe o resultado de cada lançamento fazendo anotação quando ocorre colisão (X) ou não colisão (O), contando-se apenas a primeira colisão, na tabela 1;
- Calcule a probabilidade experimental de colisão ( $P_{EXP}$ ) após o lançamento (Eq.1), anotando na tabela 1;
- Repita as seqüências descritas até o 125 número sorteado;
- Calcule o raio da esfera de modo indireto (Eq. 2) com os dados obtidos;

- Determine o raio da esfera de modo direto com ajuda de um paquímetro;
- Calcule o erro da medida indireta do raio (Eq. 3);

Orientação:

- Escolha as posições de lançamento de modo aleatório (bloqueando o olhar para caixa com as mãos), de modo a evitar direcionamento intencional para o choque ou interferência no experimento.

Equações:

$$P_{EXP} = Q_C / Q_L \text{ (Eq. 1)}$$

$$R_{IND} = D P_{EXP} / 4N \text{ (Eq. 2)}$$

$$E \% = ((R_{DIR} - R_{IND}) / R_{IND}) 100\% \text{ (Eq. 3)}$$

Siglas:

EA – Esferas alvo

EP - Esfera projétil

$P_{EXP}$  - Probabilidade experimental de colisão (tabela 1)

$Q_C$  - Quantidade de colisões

$Q_L$  - Quantidade de lançamentos

D - Largura

N – Número de esferas

$R_{DIR}$  – Raio direto (medido com paquímetro)

$R_{IND}$  – Raio indireto (calculado probabilisticamente)

E – Erro da medida indireta do raio

C – Colisão

## 7. Dados obtidos:

Tabela 1

| Lançamento (L) | Colisão (C) | Número de Colisões (NC) | Probabilidade Experimental ( $P_{EXP} = Q_C/Q_L$ ) |
|----------------|-------------|-------------------------|--|
| 1              |             |                         |  |
| 2              |             |                         |  |
| 3              |             |                         |  |
| 4              |             |                         |  |
| 5              |             |                         |  |

Obs: Continuação da tabela em folha complementar

## 8. Questionário:

- 1- Qual o papel da experimentação na produção do conhecimento?
- 2- Se a largura (D) do tabuleiro for reduzida o que acontece com o número de colisões?
- 3- Se o raio (R) das esferas for ampliado o que acontece com o número de colisões?
- 4- Se a quantidade (Q) de esferas for reduzida o que acontece com o número de colisões?

## 9. BIBLIOGRAFIA

AMABIS, J. M. et al. **Moderna Plus – Ciências da Natureza e suas Tecnologias: universo e evolução**. São Paulo: Editora Moderna, 1ª edição, 2020.

CARUSO, F.; OGURI, V. **Física Moderna: Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos**, Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2006.

GUEGEL, I.; PIETROCOLA, M. O papel da imaginação no pensamento científico: análise da criação científica de estudantes em uma atividade didática sobre o espalhamento de Rutherford. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. São Paulo, v. 28, n. 1: p. 91-122, abr. 2011.

SIQUEIRA, M. R. **Do visível ao indivisível: uma proposta de ensino de física de partículas elementares para a Educação Básica**. 2006. Dissertação (Mestrado) - IFUSP, São Paulo.  
SOUSA, J. J. F.; PORTES, D. F.; BARROS, S. S. **Experimento para a medida indireta do raio de uma esfera e a compreensão da construção do modelo atômico de Rutherford**. In: XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física. Vitória, ES, jan. 2009.

## AULA 04

### 1. IDENTIFICAÇÃO

### 2. TÍTULO

- Simulando os modelos de Thomson e Rutherford

### 3. OBJETIVOS

- Identificar as principais características dos modelos atômicos de Thomson e Rutherford apontadas experimentalmente.
- Descrever as características dos modelos atômicos de Thomson e Rutherford, comparando suas diferenças com o avanço das experimentações.

### 4. MATERIAL UTILIZADO

- Simulador virtual Phet colorado.

### 5. PROCEDIMENTOS

- Na plataforma de busca Google digite: phet colorado; entre no site e nas simulações de física (fenômenos quânticos) selecione o experimento virtual o espalhamento Rutherford (Fig. 1).

Parte 1

- Selecione a simulação átomo de Bolo de passas (fig.1);
- Acione o botão azul liberando a emissão das partículas alfa e observe a simulação;
- Varie a emissão de partículas alfa entre os limites máximo e mínimo observando a simulação; selecione exibir a trajetória.

Figura 1: átomo Bolo de passas



Fonte: Phet Colorado

Parte 2

- Selecione a simulação átomo de Rutherford (fig.2);

Figura 2: átomo de Rutherford

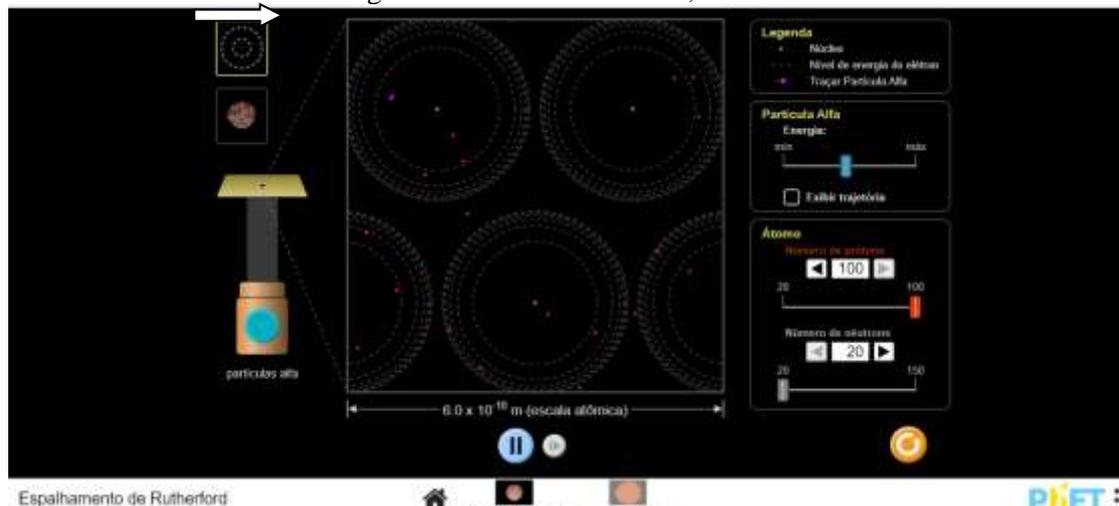


Fonte: Phet Colorado

- Selecione a escala a escala atômica de  $6,0 \times 10^{-10} \text{m}$  (fig.3).

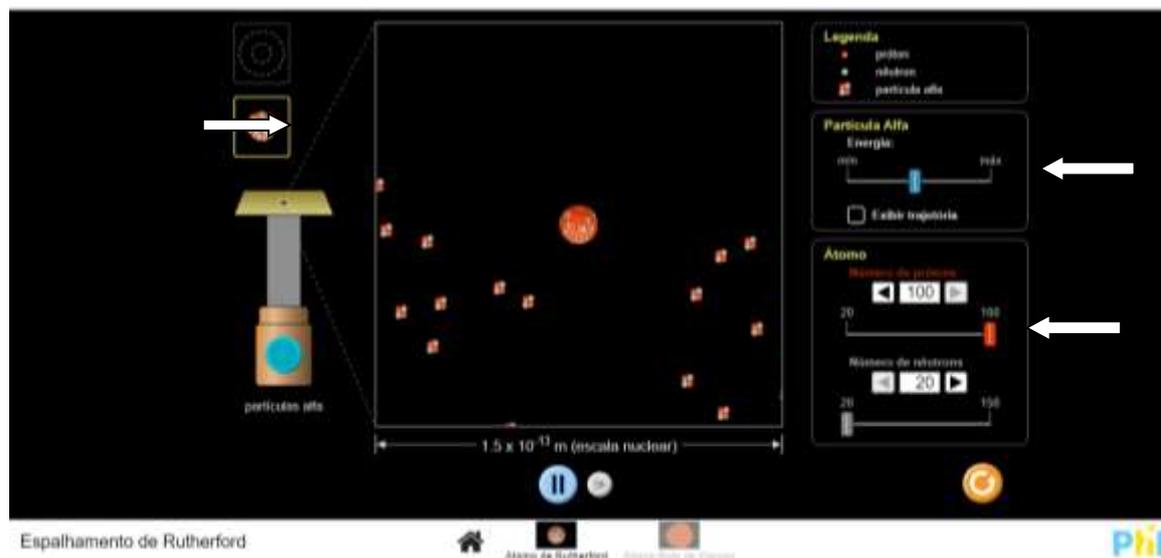
- Acione o botão azul liberando a emissão das partículas alfa;

- Observe a interação das partículas alfa com o núcleo do átomo, variando a energia das partículas alfa e o número de prótons e nêutrons no núcleo do átomo; selecione exibir a trajetória (fig.3).

Figura 3: escala atômica de  $6,0 \times 10^{-10} \text{m}$ 

Fonte: Phet Colorado

- Selecione a escala a escala atômica de  $1,5 \times 10^{-13} \text{m}$  (fig.4).
- Acione o botão azul liberando a emissão das partículas alfa;
- Observe a interação das partículas alfa com o núcleo do átomo, variando a energia das partículas alfa e o número de prótons e nêutrons no núcleo do átomo; selecione exibir a trajetória (fig.4).

Figura 4: escala atômica de  $1,5 \times 10^{-13} \text{m}$ 

Fonte: Phet Colorado

## 6. SISTEMATIZAÇÃO

Com base na atividade desenvolvida, *utilizando o simulador*, responda as perguntas abaixo também disponibilizadas no link do Google formulário: <https://forms.gle/3C6EcqU59e72zkzy9> (enviadas ao google chat)

- 1- O modelo atômico sugerido por Thompson propôs que o átomo era uma esfera sólida carregada positivamente salpicada de elétrons como uvas passas em um pudim. A definição de Thomson proposta pela simulação “átomo bolo de passa” identifica que:
  - a) O átomo tinha um enorme vazio.
  - b) As partículas alfas atravessariam o átomo com um desvio mínimo.
  - c) O átomo possuía um núcleo central muito pequeno.
  - d) O átomo possuía carga elétrica.
  - e) O átomo tinha grande massa.
  
- 2- Identifique a alternativa errada para proposta do modelo atômico de Thompson.
  - a) O átomo era constituído por uma esfera sólida e neutra.
  - b) Era encrustado de elétrons com cargas negativas.
  - c) Seu modelo era conhecido com pudim de passas.
  - d) Sua maior parte era vazia mais possuía um núcleo sólido.
  - e) Partículas poderiam atravessa-lo com um pequeno desvio.
  
- 3- Sabendo que partículas alfas possuem carga elétrica positiva identifique o motivo de sua interação com o núcleo do átomo segundo o simulador “átomo de Rutherford” ou porque se desviam?
  - a) O desvio observado era causado pela carga negativa do núcleo.
  - b) As partículas eram desviadas por serem muito pesadas.
  - c) O átomo possui um núcleo positivo e sua parte mais massiva se concentra em um volume extremamente pequeno.
  - d) O átomo possui um núcleo negativo atraindo as partículas alfa.
  - e) O átomo possui um núcleo sem carga elétrica.
  
- 4- Identifique para o modelo atômico proposto por Rutherford a característica que melhor representa a estrutura atômica?
  - a) Uma estrutura sólida e positiva carregada de elétrons negativos que o manteria neutro.
  - b) Os elétrons permaneciam parados em sua órbita circular.
  - c) Sua maior parte era um grande vazio mais possuía um núcleo com grande massa concentrada com elétrons circulando em órbita esféricas.
  - d) Uma maçaroca positiva diferente para cada elemento químico.
  - e) Era indivisível e indestrutível não podendo ser criado.
  
- 5- Descreva o significado das trajetórias descritas pelas partículas alfa no experimento de Rutherford de acordo com seu modelo proposto.
  
- 6- Descreva diferenças entre os modelos de Thompson “átomos bolo de passas” e “átomo de Rutherford” pelo que foi observado no simulador.
  
- 7- Comparando a trajetória das partículas no simulador para os modelos do “bolo de passas” (Thompson) e do “átomo de Rutherford” o que você conclui sobre as mudanças para estrutura interna do átomo segundo as teorias apresentadas.

## 9. REFERÊNCIA

AMABIS, J. M. et al. **Moderna Plus – Ciências da Natureza e suas Tecnologias: universo e evolução**. São Paulo: Editora Moderna, 1ª edição, 2020.

GURGEL, I.; PIETROCOLOA, M. O papel da imaginação no pensamento científico: análise da criação científica de estudantes em uma atividade didática sobre o espalhamento de Rutherford. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 1: p. 91-122, abr. 2011

PHET. Interactive Simulations da Universidade do Colorado. 2016. Disponível em: [https://phet.colorado.edu/sims/html/rutherford-scattering/latest/rutherford-scattering\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/rutherford-scattering/latest/rutherford-scattering_pt_BR.html). Acesso em: 01 jul 2022.

## AULA 05

### 1. IDENTIFICAÇÃO:

**2. Título:** Carga elétrica num campo magnético uniforme

### 3. Objetivos:

- Reconhecer a carga elétrica e massa do elétron como propriedade de uma partícula atômica.
- Calcular a razão carga/massa do elétron;

### 4. Resumo teórico

Ao acelerar um elétron de massa **m** e carga elétrica **e** por um potencial **V**, ele adquire uma energia cinética **E<sub>c</sub>** definida pela expressão:

$$\frac{1}{2} mv^2 = qV$$

(1)

Onde **v** corresponde a velocidade do elétron.

Ao se deslocar dentro de um campo magnético uniforme **B**, sofre ação da força magnética **F** definida pela sentença:

$$F = qvB$$

(2)

Onde tal força tem ação centrípeta, descrevendo o elétron uma trajetória circular de raio **R**.

Igualando-se a força magnética à força centrípeta, observamos:

$$mv^2/R = qvB$$

(3)

Pela comparação das equações (1) e (3), temos:

$$q/m = 2V/(RB)^2$$

(4)

Onde a equação (4) define a razão **q/m** do elétron.

### 5. Material utilizado:

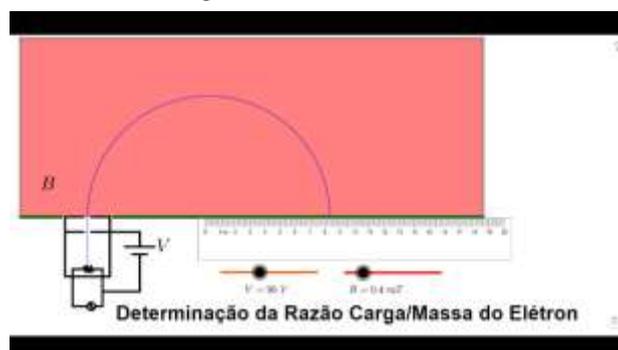
- Laboratório virtual,

Acesso: <https://www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/razao-carga-massa-do-eletron>

### 6. Procedimentos:

- 1- Pelo acesso indicado, digite o endereço eletrônico no navegador;

Fig. 1: tela do simulador



A figura 1 apresentada mostra a tela do simulador virtual que gera um feixe de elétrons lançados perpendicularmente ao campo magnético  $B$ ; sofrendo ação da força magnética que tem ação centrípeta, os elétrons descrevem uma trajetória circular como indica a figura.

2- Observe os itens do simulador virtual:

- Cursor para modificação da tensão elétrica;
- Cursor para modificação do campo magnético;
- Régua centimétrica.

3- De modo aleatório escolha um valor para tensão elétrica entre 50V e 150V, anotando na tabela 1.

4- Defina um valor para o campo magnético  $B$  de modo a obter uma trajetória semicircular anotando na tabela 1.

5- Com auxílio da régua efetue a medida do diâmetro da circunferência, calculando o raio, anotando na tabela 1.

6- Repita o procedimento para outros valores da tensão elétrica, campo magnético e respectivo raio da trajetória obtido, anotando até completar a tabela.

7- Calcule a razão carga/massa do elétron pela equação 4 do resumo teórico para cada tomada de dados.

### 7. Dados obtidos:

Tabela 1

|   | Tensão elétrica<br>(Volts) | Campo magnético<br>( $\times 10^{-3}$ Tesla) | Raio<br>(cm) | Razão carga/massa<br>(Coulomb/quilograma) |
|---|----------------------------|--|--------------|---|
| 1 |                            |  |              |   |
| 2 |                            |  |              |   |
| 3 |                            |  |              |   |
| 4 |                            |  |              |   |
| 5 |                            |  |              |   |

### 6. SISTEMATIZAÇÃO

Com base na atividade desenvolvida responda as perguntas abaixo:

- 5- Determine o valor médio da razão carga/massa ( $q/m$ ) obtido pelo simulador.

- 6- Sabendo que a massa do elétron é  $9,109 \times 10^{-31}$  kg calcule o valor de sua carga elétrica  $q$  pelo resultado obtido na média da razão entre a  $q/m$ .
- 7- Sabendo que o valor conhecido pela literatura é de  $q/m = 1,759 \times 10^{11}$  C/kg determine o erro percentual do valor encontrado pela média calculada.
- 8- Qual seria a provável trajetória da partícula se a mesma tivesse uma carga elétrica positiva (pósitron)?

Calculo do erro percentual:  $E \% = ((V_{\text{REAL}} - V_{\text{CALCULADO}}) / V_{\text{CALCULADO}}) 100\%$  (Eq.1)

### Cálculos

- 1- Determine o valor médio da razão carga/massa ( $q/m$ ) obtido pelo simulador.
- 2- Sabendo que a massa do elétron é  $9,109 \times 10^{-31}$  kg calcule o valor de sua carga elétrica  $q$  pelo resultado obtido na média da razão entre a  $q/m$ .
- 3- Sabendo que o valor conhecido pela literatura é de  $q/m = 1,759 \times 10^{11}$  C/kg determine o erro percentual do valor encontrado pela média calculada.  
 $E \% = ((V_{\text{REAL}} - V_{\text{CALCULADO}}) / V_{\text{CALCULADO}}) 100\%$  (Eq.1)
- 4- Qual seria a provável trajetória da partícula se a mesma tivesse uma carga elétrica positiva (pósitron)? Represente com um desenho (abaixo a trajetória do elétron)

### 9. BIBLIOGRAFIA

CARUSO, F.; OGURI, V. **Física Moderna: Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos**, Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2006.

DIAS, N. L. **Determinação da razão carga massa do elétron**. Laboratório virtual da Universidade Federal do Ceara. Disponível em: <https://www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/materiais-fisica-moderna>. Acesso em: 23 maio 2022.

### AULA 06

#### 1. IDENTIFICAÇÃO:

**2. Título:** Aceleradores e detectores de partículas

#### 3. Objetivos:

- Identificar partículas em um detector virtual;
- Classificar e diferenciar partículas a partir de suas propriedades quântica em um simulador virtual.

#### 4. Introdução teórica

A interação com novas tecnologias, seja pelo uso de simuladores, laboratórios virtuais ou simplesmente um software educacional, proporciona imersão no conhecimento de modo a despertar uma exploração consciente dos fenômenos da natureza estudados na Física.

A evolução da tecnologia tem transformado profundamente a maneira como aprendemos; uma das ferramentas mais impactantes que surgiu nesse contexto é o uso de simuladores educacionais que oferecem uma abordagem inovadora para o ensino e a aprendizagem, permitindo uma experiência prática e imersiva em ambientes controlados e realistas.

Um simulador educacional é uma representação virtual ou interativa de um sistema ou processo do mundo real. Ele permite que os alunos explorem conceitos complexos, pratiquem

habilidades e tomem decisões em um ambiente seguro e virtual, replicando situações da vida real de maneira controlada.

O software educacional SPY é um simulador para detecção de partículas subatômicas que de um modo prático e atrativo descreve o funcionamento operacional do CMS (colisor de múons) no CERN. Através do aplicativo, o aprendiz se remete no universo microscópico da estrutura da matéria possibilitando a compreensão de que todas as coisas são feitas.

### 5. Material utilizado:

- Simulador virtual.

### 6. Procedimentos:

- 1- Digite no navegador o endereço eletrônico: <https://www.i2u2.org/elab/cms/ispay-webgl/>;
- 2- Clique na pasta open file;
- 3- Clique na mensagem “open files from the Webb” (Fig.1);
- 4- Com os eventos abertos (Fig. 2), selecione o arquivo N5/ com um clique;
- 5- Clique no arquivo “masterclass2019 1.ig” carregando os eventos;
- 6- Clique no primeiro evento” Events/Run\_1/Event\_1” apertando no botão “load” a seguir (Fig.3);
- 7- Analise o evento anotando o que se pede na tabela, passando para o evento a seguir selecionando a tecla “next event”.

Fig. 1 – Acesso para os arquivos do simulador

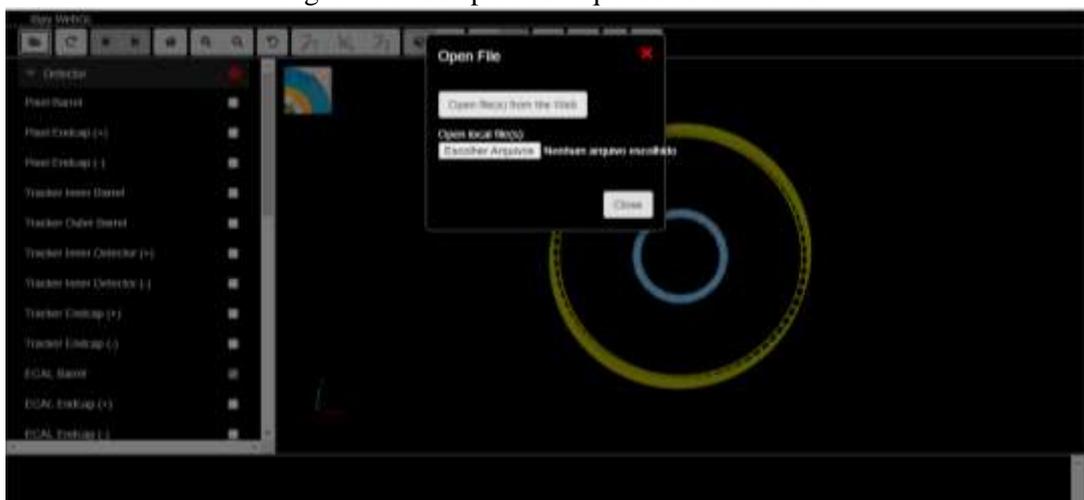
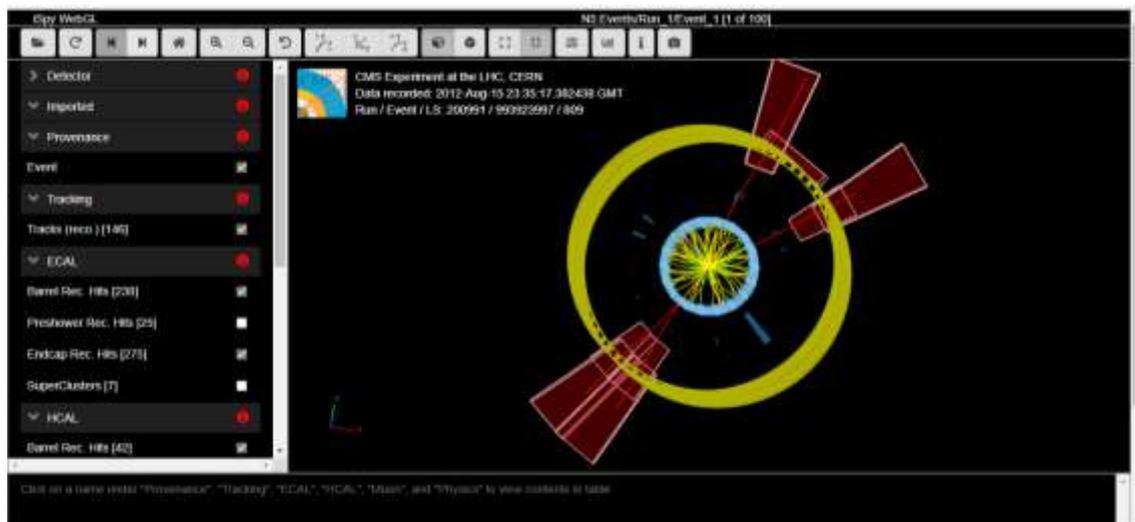


Fig. 2 – Acesso para abertura do evento (Files N5/)



Fig. 3 – Evento de análise



## 7. Resultados obtidos:

Tabela 1

| Partículas | secundaria |   |   | primaria |       |   |          |
|------------|------------|---|---|----------|-------|---|----------|
|            | $\mu$      | e | U | $W^{+-}$ | $Z^0$ | H | $Z_{00}$ |
| Evento 1   |            |   |   |          |       |   |          |
| Evento 2   |            |   |   |          |       |   |          |
| Evento 3   |            |   |   |          |       |   |          |
| Evento 4   |            |   |   |          |       |   |          |
| Evento 5   |            |   |   |          |       |   |          |
| Evento 10  |            |   |   |          |       |   |          |
| Evento 13  |            |   |   |          |       |   |          |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Evento 14  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Evento 17  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Evento 21  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <p><b>Simbologia das partículas:</b> Méon (<math>\mu</math>), elétron (e), neutrino(U), bóson (W), bóson (Z), Higgs (H) e Zoo (Z).</p>   |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <p><b>. SISTEMATIZAÇÃO</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1- Como diferenciar os Bósons W e Z no simulador?</li> <li>2- Como diferenciar os elétrons dos méons no simulador?</li> <li>3- Como a carga elétrica de uma partícula pode ser diferenciada num detector?</li> <li>4- Quais propriedades quânticas identificam as partículas primárias a partir da detecção das partículas secundárias nos detectores? <ol style="list-style-type: none"> <li>a) Força nuclear forte e fraca</li> <li>b) Massa e carga elétrica.</li> <li>c) Cor e estranheza</li> <li>d) Gravidade e energia</li> <li>e) Matéria e energia escura</li> </ol> </li> </ol>  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <p><b>7. BIBLIOGRAFIA</b></p> <p>ARAÚJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. S. <b>Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades.</b> Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 25, Nº. 2, Junho, 2003.</p> <p>BALTHAZAR, W. F.; OLIVEIRA, A. L. <b>Partículas Elementares no Ensino Médio: uma abordagem a partir do LHC.</b> São Paulo: Editora Livraria da Física: Rio de Janeiro: CBPF – Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (Coleção Tópicos em Física). 2010.</p> <p>CERN, <b>Introduction to the “International Masterclasses” education programme on 1 December, 2021.</b> Disponível em: <a href="https://home.cern/news/announcement/cern/introduction-international-masterclasses-education-programme-1-december">https://home.cern/news/announcement/cern/introduction-international-masterclasses-education-programme-1-december</a>. Acesso: 02 dez. 2021</p> |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>AULA 07</b>   |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>1. IDENTIFICAÇÃO:</b>   |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>2. Título:</b> Identificando partículas em um simulador   |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <p><b>3. Objetivo:</b></p> <p>- Identificar e descrever a composição dos Férmions, Hádrons e explicar o conceito de partícula elementar.</p>   |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <p><b>4. Material utilizado:</b></p> <p>- Software educacional.</p>  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <p><b>5. Procedimentos:</b></p> <p>Olá!!!</p> <p>A partir deste momento você entrará no mundo Quântico, selecione as opções “novo jogo” (Fig.1), “piloto novato” e siga as orientações na sequência:</p>   |  |  |  |  |  |  |  |  |

Fig. 1 – Tela inicial do jogo



Fonte: SPRACE GAME

## Parte 1 – Entendendo o jogo e seus comandos

- 1- Inicie a seção de treinamento para compreensão dos comandos do jogo e ao concluir, responda as questões no item 8 deste roteiro (sistematização), antes de iniciar a primeira missão;
- 2- Vamos iniciar o treinamento, siga o tutorial.

## Parte 2 – Cumprindo os objetivos das missões

- 3- Desenvolva o jogo procurando completar a missão 1 (fig.2), respondendo as questões no item 8 deste roteiro, antes de seguir para missão posterior;
- 4- Siga com as missões 2, 3 e 4 (parte 1 - átomo de hidrogênio), apresentando as informações solicitadas na sistematização das informações.

Fig. 2 – Tela da missão do nível 1



Fonte: SPRACE GAME

## 6. SISTEMATIZAÇÃO

**Missão 1**

- 1- Em que universo no jogo você foi inserido?  
 Microscópico  
 Macroscópico
- 2- Complete a tabela 1 identificando os Férmions capturados na missão 1, sua massa e carga elétrica, selecionando F1 para obter as informações.

Tabela 1

| Partículas | Nome | Símbolo | Massa | Carga Elétrica |
|------------|------|---------|-------|----------------|
| 1          |      |         |       |                |

3- Assinale uma das alternativas abaixo, identificando o significado do traço apontado na Fig. 3:

- ( ) Anti-tau  
 ( ) Carga elétrica negativa  
 ( ) Antimatéria  
 ( ) Massa desprezível

Fig. 3 – Férmions



Fonte: SPRACE GAME

Descreva o nome da família que constituem os Quarks e Léptons ?

### Missão 2

4- Complete a tabela 2 identificando os Mésons capturados na missão 2, sua massa, carga elétrica e composição, selecionando F1 para obter informações.

Tabela 2

| Partículas | Nome | Símbolo | Massa | Carga Elétrica | Composição |
|------------|------|---------|-------|----------------|------------|
| 1          |      |         |       |                |            |

–

5- Assinale uma das alternativas abaixo, identificando o significado do traço apontado na fig. 4 ( d ) :

- ( ) Anti-átomo  
 ( ) Carga elétrica negativa  
 ( ) Antimatéria (anti quark down)  
 ( ) Massa negativa

6- Descreva o nome das partículas que compõem um dos Mésons capturados observando a indicação apontada pela fig. 4; procure informações nas famílias das partículas teclando F1

### Missão 3

Fig. 4 – Hádrons



Fonte: SPRACE GAME

- 7- Complete a tabela 3 identificando os Bárions capturados na missão 3, sua massa, carga elétrica e composição, selecionando F1 para obter informações.

Tabela 2

| Partículas | Nome | Símbolo | Massa | Carga Elétrica | Composição |
|------------|------|---------|-------|----------------|------------|
| 1          |      |         |       |                |            |

- 8- Descreva o nome das partículas que compõem um dos Bárions capturados, se necessário procure informações nas famílias das partículas teclando F1
- 9- Descreva o nome da família que constitui os Mésons e Bárions
- 10- Descreva uma diferença observada na composição dos Mésons e Bárions
- Missão 4 – parte 1 (composição do núcleo do hidrogênio)**
- 11- Descreva a composição elementar encontrada no próton?
- 12- descreva o significado para as 3 cores dos quarks Up e Dowd na construção do próton?
- 13- Descreva o conceito de partícula elementar explicando seu entendimento sobre o tema.
- 14- Assinale as alternativas abaixo, identificando as partículas que você julga serem elementares

- |                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> Férmions | <input type="checkbox"/> Neutrino do tau |
| <input type="checkbox"/> Elétrons | <input type="checkbox"/> Hádrons         |
| <input type="checkbox"/> Prótons  | <input type="checkbox"/> Quark down      |
| <input type="checkbox"/> Quark up | <input type="checkbox"/> Mésons          |
| <input type="checkbox"/> Átomo    | <input type="checkbox"/> Múon            |

## 9. BIBLIOGRAFIA

MOREIRA, M. A. **Física de Partículas: uma abordagem conceitual e epistemológica**. São Paulo: Editora Livraria da Física. 2011.SPRACE. sprace.org, c2018. Disponível em: <<https://sprace.org.br/index.php/education-outreach/sprace-game/>>. Acesso em 02 de jun. 2022.

## AULA 09

### 1. IDENTIFICAÇÃO:

2. **Título:** Quem eu sou?

3. **Objetivo:**

- Apresentar características do Modelo Padrão pela nomeação das partículas elementares, reconhecendo e descrevendo suas propriedades quânticas.

#### 4. Material utilizado:

- Jogo de cartas lúdicas.

#### 5. Procedimentos:

**Título do jogo:** quem sou eu?

**Objetivo do jogo:** identificar a carta desconhecida;

**Material utilizado:**

- 61 cartas principais – cada carta representa uma das partículas elementares com propriedades quânticas da carga elétrica, carga de massa, carga de cor e spin.
- 4 cartas auxiliares – 3 cartas descrevem as famílias das partículas elementares e 1 uma carta descreve as cores que representam a Cromodinâmica Quântica (QCD).

**Número de participantes:** entre 4 e 6 jogadores

**Descritivo do jogo:**

- O jogo começa quando cada pessoa do grupo escolhe uma carta, fixando na testa da pessoa a sua direita; esta pessoa não deve conhecer a carta escolhida.

- O jogador que recebeu a primeira carta em sua testa deve iniciar a rodada de perguntas no jogo.

- Em jogadas subsequentes cada participante deve efetuar uma pergunta sobre o nome da partícula na carta, seu grupo familiar ou propriedade quântica representada na mesma (carga elétrica, carga de massa, carga de cor e spin).

- O jogador a sua direita, que deve efetuar a próxima jogada, lhe responde com apenas duas possíveis respostas: sim ou não.

A cada três rodadas, os participantes recebem uma carta auxiliar distribuída pelo jogador que inicia a rodada, que será observada por 1 min e devolvida ao jogo.

Ganha o jogo o primeiro jogador que na sua jogada apontar: o nome da partícula que representa a sua carta, citando três propriedades quânticas representadas na mesma, de modo correto.

#### 7. REFERÊNCIAS

JESUS, R. T.; GOMES, A. R. G. Proposta de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa para Ensinar Física de Partículas por meio de Jogos de Cartas. **Revista do Professor de Física**, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 47–84, 2019. DOI: 10.26512/rpf.v3i1.22573. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/view/22573>. Acesso em: 7 jun. 2022.

SILVA, L. L. O imaginário de professores de física sobre o uso de jogos no ensino da física de partículas elementares. **Revista eletrônica Ludus Scientiae**, Foz do Iguaçu, V. 3, N. 1, Jan./Jul. 2019. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/341206234\\_O\\_imaginario\\_de\\_professores\\_de\\_fisica\\_sobre\\_o\\_u\\_so\\_de\\_jogos\\_no\\_ensino\\_da\\_fisica\\_de\\_particulas\\_elementares/link/5eb4011a92851cbf7fae4b5c/download](https://www.researchgate.net/publication/341206234_O_imaginario_de_professores_de_fisica_sobre_o_u_so_de_jogos_no_ensino_da_fisica_de_particulas_elementares/link/5eb4011a92851cbf7fae4b5c/download). Acesso em: 14 jun. 2022.

## APÊNDICE D – RUBRICA DA ATIVIDADE DE APRENDIZAGEM (AULA 02)

| RUBRICAS   |   |   |  |           |   |          |           |           |          |
|--|---|---|--|-----------|---|----------|-----------|-----------|----------|
| 1. IDENTIFICAÇÃO:  |   |   |  |           |   |          |           |           |          |
| AULA 02 – O QUE HÁ DENTRO DA CAIXA?  |   |   |  |           |   |          |           |           |          |
|  |   | <br>Grau de desenvolvimento / RI*     |  |           |   |          |           |           |          |
| Conceito<br>RPA*   | Marginal  | Adequado  |  | Bom       | Excelente   |          |           |           |          |
|  | D<br>2,5  | C-<br>3,5   | C<br>4,2   | C+<br>5,0 | B-<br>6,0   | B<br>6,7 | B+<br>7,5 | A-<br>8,5 | A<br>9,2 |
| <br>Grau de complexidade / DP*<br>Identificar | Não foi capaz de identificar as características do objeto de um sistema fechado.  | Foi capaz de identificar apenas uma das características do objeto de um sistema fechado.                                | Foi capaz de identificar algumas das características do objeto de um sistema fechado.  |           | Foi capaz de identificar com clareza todas as características do objeto de um sistema fechado.                                  |          |           |           |          |
| <br>Grau de complexidade / DP<br>Descrever  | Não foi capaz de descrever os procedimentos adotados para descobrir as características do objeto de um sistema fechado. | Foi capaz de descrever um dos procedimentos adotados para descobrir as características do objeto de um sistema fechado. | Foi capaz de descrever parcialmente os procedimentos adotados para descobrir as características do objeto de um sistema fechado. |           | Foi capaz de descrever com clareza os procedimentos adotados para descobrir as características do objeto de um sistema fechado. |          |           |           |          |
| RPA* - Resultados pretendidos de aprendizagem, DP* - Diferenciação progressiva, RI* - Reconciliação integrativa                |   |   |  |           |   |          |           |           |          |
| Aula 02 - score da atividade de aprendizagem   |   |   |  |           |   |          |           |           |          |
| Resultado Pretendido da Aprendizagem - Identificar   |   |   |  |           |   |          |           |           |          |
| Marginal   | D   | Não identificou   |  |           |   |          |           |           |          |
| Adequado   | C-  | Identificou 1 propriedade em 1 caixas   |  |           |   |          |           |           |          |
|  | C   | Identificou 1 propriedade em 2 caixas   |  |           |   |          |           |           |          |
|  | C+  | Identificou 1 propriedade em 3 caixas   |  |           |   |          |           |           |          |
| Bom  | B-  | Identificou 2 propriedades em 1 caixas  |  |           |   |          |           |           |          |
|  | B   | Identificou 2 propriedades em 2 caixas  |  |           |   |          |           |           |          |
|  | B+  | Identificou 2 propriedades em 3 caixas  |  |           |   |          |           |           |          |
| Excelente  | A-  | Identificou 3 propriedades em 1 caixas  |  |           |   |          |           |           |          |
|  | A   | Identificou 3 propriedades em 2 caixas  |  |           |   |          |           |           |          |
|  | A+  | Identificou 3 propriedades em 3 caixas  |  |           |   |          |           |           |          |
| Resultado Pretendido da Aprendizagem - Descrever   |   |   |  |           |   |          |           |           |          |
| Marginal   | D   | Não descreveu   |  |           |   |          |           |           |          |
| Adequado   | C-  | Descreveu 1 propriedade em 1 caixas   |  |           |   |          |           |           |          |
|  | C   | Descreveu 1 propriedade em 2 caixas   |  |           |   |          |           |           |          |
|  | C+  | Descreveu 1 propriedade em 3 caixas   |  |           |   |          |           |           |          |
| Bom  | B-  | Descreveu 2 propriedades em 1 caixas  |  |           |   |          |           |           |          |
|  | B   | Descreveu 2 propriedades em 2 caixas  |  |           |   |          |           |           |          |
|  | B+  | Descreveu 2 propriedades em 3 caixas  |  |           |   |          |           |           |          |
| Excelente  | A-  | Descreveu 3 propriedades em 1 caixas  |  |           |   |          |           |           |          |
|  | A   | Descreveu 3 propriedades em 2 caixas  |  |           |   |          |           |           |          |

|  |   |  |     |     |  |     |     |   |     |      |
|--|---|--|-----|-----|--|-----|-----|---|-----|------|
|  | A+  | Descreveu 3 propriedades em 3 caixas   |     |     |  |     |     |   |     |      |
| <b>AULA 03 – DECOBRINDO O TAMANHO DA BOLA</b>  |   |  |     |     |  |     |     |   |     |      |
| <br>Grau de desenvolvimento / RI           |   |  |     |     |  |     |     |   |     |      |
| Conceito<br>RPA  | Marginal<br>D<br>2,5  | Adequado<br>C- C C+  |     |     | Bom<br>B- B B+   |     |     | Excelente<br>A- A A+  |     |      |
|  |   | 3,5  | 4,2 | 5,0 | 6,0  | 6,7 | 7,5 | 8,5   | 9,2 | 10,0 |
|  Grau de complexidade / DP<br>Identificar   | Não foi capaz de identificar as variáveis para calcular o tamanho da esfera de modo indireto. | Foi capaz de identificar uma das variáveis para calcular o tamanho da esfera de modo indireto.                                       |     |     | Foi capaz de identificar algumas variáveis para calcular o tamanho da esfera de modo indireto.   |     |     | Foi capaz de identificar todas variáveis para calcular o tamanho da esfera de modo indireto.              |     |      |
|  Grau de complexidade / DP<br>Calcular     | Não foi capaz de calcular o tamanho de da esfera de modo indireto.                            | Foi capaz de calcular o tamanho da esfera de modo indireto, sem demonstrar clareza na atividade e determinação do erro experimental. |     |     | Foi capaz de calcular o tamanho da esfera de modo indireto, sendo parcialmente claro no desenvolvimento matemático, com elevado erro experimental. |     |     | Foi capaz de calcular o tamanho da esfera de modo indireto de maneira clara, com baixo erro experimental. |     |      |
| Aula 03 - score da atividade de aprendizagem 2   |   |  |     |     |  |     |     |   |     |      |
| Resultado Pretendido da Aprendizagem - Identificar   |   |  |     |     |  |     |     |   |     |      |
| Marginal   | D   | Não identificou  |     |     |  |     |     |   |     |      |
| Adequado   | C+  | Identificou uma das variáveis  |     |     |  |     |     |   |     |      |
| Bom  | B+  | Identificou várias variáveis   |     |     |  |     |     |   |     |      |
| Excelente  | A+  | Identificou todas as variáveis   |     |     |  |     |     |   |     |      |
| Resultado Pretendido da Aprendizagem - Calcular  |   |  |     |     |  |     |     |   |     |      |
| Marginal   | D   | Não calculou   |     |     |  |     |     |   |     |      |
| Adequado   | C+  | Calculou o tamanho da esfera sem clareza e determinação do erro experimental   |     |     |  |     |     |   |     |      |
| Bom  | B+  | Calculou o tamanho da esfera de modo parcialmente claro com elevado erro experimental  |     |     |  |     |     |   |     |      |
| Excelente  | A+  | Calculou o tamanho da esfera de modo claro e baixo erro experimental   |     |     |  |     |     |   |     |      |
| <b>AULA 04 – SIMULANDO OS MODELOS DE THOMSON E RUTHERFORD</b>  |   |  |     |     |  |     |     |   |     |      |
| <br>Grau de desenvolvimento / RI         |   |  |     |     |  |     |     |   |     |      |
| Conceito<br>RPA  | Marginal<br>D<br>2,5  | Adequado<br>C- C C+  |     |     | Bom<br>B- B B+   |     |     | Excelente<br>A- A A+  |     |      |
|  |   | 3,5  | 4,2 | 5,0 | 6,0  | 6,7 | 7,5 | 8,5   | 9,2 | 10,0 |
|  Grau de complexidade / DP<br>Identificar | Não foi capaz de identificar características dos modelos atômicos estudados.                  | Foi capaz de identificar uma das características dos modelos   |     |     | Foi capaz de identificar certas características dos modelos atômicos, sem demonstrar   |     |     | Foi capaz de identificar as principais características dos modelos atômicos com                           |     |      |

|  |  |  |   |   |
|--|--|--|---|---|
|  |  | atômicos estudados.  | coerência nas ideais.   | clareza nas ideais.   |
| <p>↓</p> Grau de complexidade / DP<br>Descrever    | Não foi capaz de descrever nenhuma das características dos modelos atômicos estudados. | Foi capaz de descrever apenas uma das várias características dos modelos atômicos estudados.   | Foi capaz de descrever algumas características dos modelos atômicos, sem demonstrar clareza nas ideais.       | Foi capaz de descrever as principais características dos modelos atômicos com escrita fundamentada.     |
| <p>↓</p> Grau de complexidade / DP<br>Comparar     | Não foi capaz de comparar alguma das características dos modelos atômicos estudados.   | Foi capaz de comparar somente uma das diferentes características dos modelos atômicos estudados.                                     | Foi capaz fazer comparações parciais das características dos modelos atômicos, sem fundamentação qualitativa. | Foi capaz de comparar as principais características dos modelos atômicos com fundamentação consistente. |
| Aula 04 - score da atividade de aprendizagem 3     |  |  |   |   |
| Resultado Pretendido da Aprendizagem - Identificar |  |  |   |   |
| Marginal   | D  | Identificou respostas em até 25% na média das questões 1,2,3 e 4 do formulário, na atividade de aprendizagem.                        |   |   |
| Adequado   | C-   | Identificou respostas em até 35% na média das questões 1,2,3 e 4 do formulário, na atividade de aprendizagem.                        |   |   |
|  | C  | Identificou respostas em até 42% na média das questões 1,2,3 e 4 do formulário, na atividade de aprendizagem.                        |   |   |
|  | C+   | Identificou respostas em até 50% na média das questões 1,2,3 e 4 do formulário, na atividade de aprendizagem.                        |   |   |
| Bom  | B-   | Identificou respostas em até 60% na média das questões 1,2,3 e 4 do formulário, na atividade de aprendizagem.                        |   |   |
|  | B  | Identificou respostas em até 67% na média das questões 1,2,3 e 4 do formulário, na atividade de aprendizagem.                        |   |   |
|  | B+   | Identificou respostas em até 75% na média das questões 1,2,3 e 4 do formulário, na atividade de aprendizagem.                        |   |   |
| Excelente  | A-   | Identificou respostas em até 85% na média das questões 1,2,3 e 4 do formulário, na atividade de aprendizagem.                        |   |   |
|  | A  | Identificou respostas em até 92% na média das questões 1,2,3 e 4 do formulário, na atividade de aprendizagem.                        |   |   |
|  | A+   | Identificou respostas em 100% das questões 1,2,3 e 4 do formulário, na atividade de aprendizagem.                                    |   |   |
| Resultado Pretendido da Aprendizagem - Descrever   |  |  |   |   |
| Marginal   | D  | Não descreveu as respostas das questões 5 e 6 do formulário, na atividade de aprendizagem.   |   |   |
| Adequado   | C  | Descreveu apenas uma das várias características dos modelos atômicos nas questões 5 e 6 do formulário, na atividade de aprendizagem. |   |   |
| Bom  | B+   | Descreveu algumas características dos modelos atômicos nas questões 5 e 6 do formulário, na atividade de aprendizagem.               |   |   |
| Excelente  | A+   | Descreveu as principais características dos modelos atômicos nas questões 5 e 6 do formulário, na atividade de aprendizagem.         |   |   |
| Resultado Pretendido da Aprendizagem - Comparar    |  |  |   |   |
| Marginal   | D  | Não comparou alguma característica dos modelos atômicos na questão 7 do formulário, na atividade de aprendizagem.                    |   |   |
| Adequado   | C  | Comparou apenas uma das várias características dos modelos atômicos na questão 7 do formulário, na atividade de aprendizagem.        |   |   |
| Bom  | B+   | Comparou parcialmente as características dos modelos atômicos na questão 7 do formulário, na atividade de aprendizagem.,             |   |   |

|   |   |   |  |  |  |  |  |   |  |
|---|---|---|--|--|--|--|--|---|--|
| Excelente   | A+  | Comparou as principais características dos modelos atômicos na questão 7 do formulário, na atividade de aprendizagem.   |  |  |  |  |  |   |  |
| <b>AULA 05 – CARGA ELÉTRICA NUM CAMPO MAGNÉTICO</b>   |   |   |  |  |  |  |  |   |  |
| <br>Grau de desenvolvimento / RI        |   |   |  |  |  |  |  |   |  |
| Conceito  | Marginal<br>D<br>2,5  | Adequado<br>C- C C+<br>3,5 4,2 5,0  |  |  | Bom<br>B- B B+<br>6,0 6,7 7,5  |  |  | Excelente<br>A- A A+<br>8,5 9,2 10,0  |  |
| RPA   |   |   |  |  |  |  |  |   |  |
|  Grau de complexidade / DP<br>Reconhecer | Não foi capaz de reconhecer os modos experimentais e propriedades estudadas do elétron. | Foi capaz de reconhecer parcialmente os modos experimentais e propriedades estudadas do elétron.  |  |  | Foi capaz de reconhecer os modos experimentais e parcialmente as propriedades estudadas do elétron.            |  |  | Foi capaz de reconhecer com clareza os modos experimentais e propriedades estudadas do elétron.                                   |  |
|  Grau de complexidade / DP<br>Calcular  | Não foi capaz de calcular a propriedade do elétron estudada.                            | Foi capaz de desenvolver muito parcialmente os cálculos da propriedade do elétron, sem completar a atividade de aprendizagem proposta.                                    |  |  | Foi capaz de desenvolver alguns cálculos da propriedade do elétron de modo claro, sem completar as atividades. |  |  | Foi capaz de desenvolver completamente os cálculos da propriedade do elétron com baixo erro, completando toda atividade proposta. |  |
| Aula 05 - score da atividade de aprendizagem 4  |   |   |  |  |  |  |  |   |  |
| Resultado Pretendido da Aprendizagem - Reconhecer   |   |   |  |  |  |  |  |   |  |
| Marginal  | D   | Não reconheceu os modos experimentais e propriedades do elétron.  |  |  |  |  |  |   |  |
| Adequado  | C-  | Reconheceu parcialmente os modos experimentais e propriedades do elétron, pelos resultados incompletos da Tab. 1 na atividade de aprendizagem.                            |  |  |  |  |  |   |  |
|   | C+  | Reconheceu parcialmente os modos experimentais e propriedades do elétron, pelos resultados completos da Tab. 1 na atividade de aprendizagem.                              |  |  |  |  |  |   |  |
| Bom   | B-  | Reconheceu os modos experimentais e parcialmente as propriedades do elétron, pelos resultados da Tab. 1 e resolução de até 60% das questões na atividade de aprendizagem. |  |  |  |  |  |   |  |
|   | B   | Reconheceu os modos experimentais e parcialmente as propriedades do elétron, pelos resultados da Tab. 1 e resolução de até 67% das questões na atividade de aprendizagem. |  |  |  |  |  |   |  |
|   | B+  | Reconheceu os modos experimentais e parcialmente as propriedades do elétron, pelos resultados da Tab. 1 e resolução de até 75% das questões na atividade de aprendizagem. |  |  |  |  |  |   |  |
| Excelente   | A+  | Reconheceu com clareza os modos experimentais e propriedades do elétron, pelos resultados da Tab. 1 e questões 1,2, 3 e 4 na atividade de aprendizagem.                   |  |  |  |  |  |   |  |
| Resultado Pretendido da Aprendizagem - Calcular   |   |   |  |  |  |  |  |   |  |
| Marginal  | D   | Não calculou a razão q/m do elétron   |  |  |  |  |  |   |  |

|           |    |  |
|-----------|----|--|
| Adequado  | C- | Calculou parcialmente a razão $q/m$ do elétron como demonstrado na Tab. 1 pelos resultados incompletos na atividade de aprendizagem.       |
|           | C+ | Calculou parcialmente a razão $q/m$ do elétron como demonstrado na Tab. 1, respondendo a metade das questões da atividade de aprendizagem. |
| Bom       | B- | Calculou a razão $q/m$ do elétron como demonstrado na Tab. 1, respondendo até 60% das questões da atividade de aprendizagem.               |
|           | B+ | Calculou a razão $q/m$ do elétron como demonstrado na Tab. 1, respondendo até 75% das questões da atividade de aprendizagem.               |
| Excelente | A+ | Calculou a razão $q/m$ do elétron como demonstrado na Tab. 1, respondendo todas as questões da atividade de aprendizagem.                  |

### AULA 06 – ACELERADORES E DETECTORES DE PARTÍCULAS

|  |   | <br>Grau de desenvolvimento / RI     |     |     |   |     |     |  |     |     |           |  |  |
|--|---|--|-----|-----|---|-----|-----|--|-----|-----|-----------|--|--|
| RPA  | Conceito  | Marginal   |     |     | Adequado  |     |     | Bom  |     |     | Excelente |  |  |
|  |   | D  | C   |     | C+  | B-  | B   | B+   | A-  | A   | A+        |  |  |
|  |   | 2,5  | 3,5 | 4,2 | 5,0   | 6,0 | 6,7 | 7,5  | 8,5 | 9,2 | 10,0      |  |  |
| <br>Grau de complexidade / DP<br>Identificar | Não foi capaz de identificar as partículas no simulador virtual   | Foi capaz de identificar poucas partículas no simulador virtual  |     |     | Foi capaz de identificar a maioria das partículas no simulador virtual  |     |     | Foi capaz de identificar todas as partículas no simulador virtual  |     |     |           |  |  |
|  | Não foi capaz de classificar as partículas detectadas nos eventos estudados no simulador.                           | Foi capaz de classificar algumas das partículas detectadas nos eventos estudados no simulador.                         |     |     | Foi capaz de classificar a maioria das partículas detectadas nos eventos estudados no simulador.                              |     |     | Foi capaz de classificar todas as partículas detectadas nos eventos estudados no simulador.                              |     |     |           |  |  |
|  | Não foi capaz de diferenciar partículas a partir de suas propriedades quânticas nos eventos estudados no simulador. | Foi capaz de diferenciar poucas partículas a partir de suas propriedades quânticas nos eventos estudados no simulador. |     |     | Foi capaz de diferenciar a maioria das partículas a partir de suas propriedades quânticas nos eventos estudados no simulador. |     |     | Foi capaz de diferenciar todas as partículas a partir de suas propriedades quânticas nos eventos estudados no simulador. |     |     |           |  |  |

#### Aula 06 - score da atividade de aprendizagem 6

##### Resultado Pretendido da Aprendizagem - Identificar

|           |    |  |
|-----------|----|--|
| Marginal  | D  | Não foi capaz de identificar as partículas no simulador virtual          |
| Adequado  | C- | Foi capaz de identificar as partículas em até 35% dos eventos estudados  |
|           | C  | Foi capaz de identificar as partículas em até 42% dos eventos estudados  |
|           | C+ | Foi capaz de identificar as partículas em até 50% dos eventos estudados  |
| Bom       | B- | Foi capaz de identificar as partículas em até 60% dos eventos estudados  |
|           | B  | Foi capaz de identificar as partículas em até 67% dos eventos estudados. |
|           | B+ | Foi capaz de identificar as partículas em até 75% dos eventos estudados  |
| Excelente | A- | Foi capaz de identificar as partículas em até 85% dos eventos estudados  |
|           | A+ | Foi capaz de identificar as partículas em todos os eventos estudados     |

##### Resultado Pretendido da Aprendizagem - Classificar

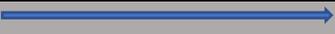
|          |    |   |
|----------|----|---|
| Marginal | D  | Não foi capaz de classificar as partículas secundárias nos eventos estudados        |
| Adequado | C- | Foi capaz de classificar as partículas secundárias em até 35% dos eventos estudados |

|   |    |   |
|---|----|---|
|   | C  | Foi capaz de classificar as partículas secundárias em até 42% dos eventos estudados   |
|   | C+ | Foi capaz de classificar as partículas secundárias em até 50% dos eventos estudados   |
| Bom   | B- | Foi capaz de classificar as partículas secundárias em até 60% dos eventos estudados   |
|   | B  | Foi capaz de classificar as partículas secundárias em até 67% dos eventos estudados   |
|   | B+ | Foi capaz de classificar as partículas secundárias em até 75% dos eventos estudados   |
| Excelente   | A- | Foi capaz de classificar as partículas secundárias em até 85% dos eventos estudados   |
|   | A+ | Foi capaz de classificar todas as partículas secundárias nos eventos estudados  |
| <b>Resultado Pretendido da Aprendizagem - Diferenciar</b> |    |   |
| Marginal  | D  | Não foi capaz de diferenciar partículas a partir de suas propriedades quânticas nos eventos estudados no simulador.   |
| Adequado  | C- | Foi capaz de diferenciar as partículas a partir de suas propriedades quânticas pelas respostas de até 35% das questões na atividade de aprendizagem.          |
|   | C  | Foi capaz de diferenciar as partículas a partir de suas propriedades quânticas pelas respostas de até 42% das questões na atividade de aprendizagem.          |
|   | C+ | Foi capaz de diferenciar as partículas a partir de suas propriedades quânticas pelas respostas de até 50% das questões na atividade de aprendizagem.          |
| Bom   | B- | Foi capaz de diferenciar as partículas a partir de suas propriedades quânticas pelas respostas de até 60% das questões na atividade de aprendizagem.          |
|   | B  | Foi capaz de diferenciar as partículas a partir de suas propriedades quânticas pelas respostas de até 67% das questões na atividade de aprendizagem.          |
|   | B+ | Foi capaz de diferenciar as partículas a partir de suas propriedades quânticas pelas respostas de até 75% das questões na atividade de aprendizagem           |
| Excelente   | A+ | Foi capaz de diferenciar todas as partículas primárias e secundárias nos eventos estudados, apontando resposta para as questões na atividade de aprendizagem. |

### AULA 07 – IDENTIFICANDO PARTÍCULAS ELEMENTARES EM UM SIMULADOR

|  |  | <br>Grau de desenvolvimento / RI |  |          |           |   |          |           |  |          |            |
|--|--|--|--|----------|-----------|---|----------|-----------|--|----------|------------|
| Conceito<br>RPA  | Marginal   |  | Adequado   |          |           | Bom   |          |           | Excelente  |          |            |
|  | D<br>2,5   |  | C-<br>3,5  | C<br>4,2 | C+<br>5,0 | B-<br>6,0   | B<br>6,7 | B+<br>7,5 | A-<br>8,5  | A<br>9,2 | A+<br>10,0 |
|  Grau de complexidade / DP<br>Identificar | Não foi capaz de identificar a composição dos Férmions e Hádrons na atividade. |  | Foi capaz de identificar a composição de poucos Férmions e Hádrons na atividade. |          |           | Foi capaz de Identificar a composição de alguns Férmions e Hádrons sem completar a atividade. |          |           | Foi capaz de identificar a composição da maioria dos Férmions e Hádrons contidos na atividade. |          |            |
|  Grau de complexidade / DP                | Não foi capaz de descrever a composição dos Férmions e                         |  | Foi capaz de descrever a composição de poucos Férmions e                         |          |           | Foi capaz de descrever a composição de alguns Férmions e Hádrons, sem                         |          |           | Foi capaz de descrever a composição da maioria dos   |          |            |

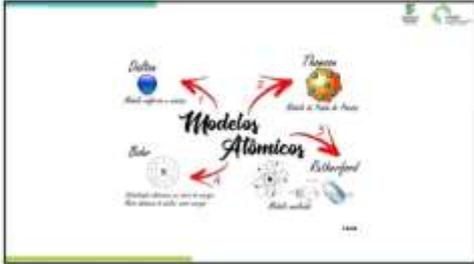
|  |  |   |   |  |
|--|--|---|---|--|
| Descrever  | Hádrons na atividade.  | Hádrons na atividade.   | demonstrar clareza na escrita.  | Férmions e Hádrons, demonstrando clareza na escrita  |
| <p style="text-align: center;">Grau de complexidade / DP</p> <p style="text-align: center;">Explicar</p>  | Não foi capaz de explicar o significado conceitual de partícula elementar. | Foi capaz de explicar de modo não claro o significado conceitual de partícula elementar, sem relacionar seus conhecimentos prévios.                               | Foi capaz de explicar de modo não claro o significado conceitual de partícula elementar, fazendo algumas relações com seus conhecimentos prévios. | Foi capaz de explicar de modo claro e objetivo o significado conceitual de partícula elementar, relacionando seus conhecimentos prévios. |
|  | Aula 07 - score da atividade de aprendizagem 7                             |   |   |  |
| Resultado Pretendido da Aprendizagem - Identificar   |  |   |   |  |
| Marginal   | D  | Não foi capaz de identificar as partículas no simulador virtual   |   |  |
| Adequado   | C-   | Foi capaz de identificar até 35% das 10 partículas na atividade de aprendizagem, pontuadas nas tabelas 1, 2 e 3.  |   |  |
|  | C  | Foi capaz de identificar até 42% das partículas na atividade de aprendizagem, pontuadas nas tabelas 1, 2 e 3.   |   |  |
|  | C+   | Foi capaz de identificar até 50% das partículas na atividade de aprendizagem, pontuadas nas tabelas 1, 2 e 3.   |   |  |
| Bom  | B-   | Foi capaz de identificar até 60% das partículas na atividade de aprendizagem, pontuadas nas tabelas 1, 2 e 3.   |   |  |
|  | B  | Foi capaz de identificar até 67% partículas na atividade de aprendizagem, pontuadas nas tabelas 1, 2 e 3.   |   |  |
|  | B+   | Foi capaz de identificar até 75% das partículas na atividade de aprendizagem, pontuadas nas tabelas 1, 2 e 3.   |   |  |
| Excelente  | A-   | Foi capaz de identificar até 85% das partículas na atividade de aprendizagem, pontuadas nas tabelas 1, 2 e 3.   |   |  |
|  | A+   | Foi capaz de identificar até 92% das partículas na atividade de aprendizagem, pontuadas nas tabelas 1, 2 e 3.   |   |  |
| Resultado Pretendido da Aprendizagem - Descrever   |  |   |   |  |
| Marginal   | D  | Não foi capaz de descrever a composição dos Férmions e Hádrons na atividade de aprendizagem.  |   |  |
| Adequado   | C-   | Foi capaz de descrever a composição de poucos Férmions e Hádrons pelas respostas de até 35% na média das questões 3,4,6,7,9,10 e 11 na atividade de aprendizagem. |   |  |
|  | C  | Foi capaz de descrever a composição de poucos Férmions e Hádrons pelas respostas de até 42% na média das questões 3,4,6,7,9,10 e 11 na atividade de aprendizagem. |   |  |
|  | C+   | Foi capaz de descrever a composição de poucos Férmions e Hádrons pelas respostas de até 50% na média das questões 3,4,6,7,9,10 e 11 na atividade de aprendizagem. |   |  |
| Bom  | B-   | Foi capaz de descrever a composição de alguns Férmions e Hádrons pelas respostas de até 60% na média das questões 3,4,6,7,9,10 e 11 na atividade de aprendizagem. |   |  |
|  | B  | Foi capaz de descrever a composição de alguns Férmions e Hádrons pelas respostas de até 67% na média das questões 3,4,6,7,9,10 e 11 na atividade de aprendizagem. |   |  |
|  | B+   | Foi capaz de descrever a composição de alguns Férmions e Hádrons pelas respostas de até 75% na média das questões 3,4,6,7,9,10 e 11 na atividade de aprendizagem. |   |  |

|  |  |  |  |   |
|--|--|--|--|---|
| Excelente  | A-   | Foi capaz de descrever a composição dos Férmions e Hádrons pelas respostas de até 85% na média das questões 3,4,6,7,9,10 e 11 na atividade de aprendizagem.  |  |   |
|  | A  | Foi capaz de descrever a composição dos Férmions e Hádrons pelas respostas de até 92% na média das questões 3,4,6,7,9,10 e 11 na atividade de aprendizagem.  |  |   |
|  | A+   | Foi capaz de descrever a composição dos Férmions e Hádrons com clareza e objetividade pelas respostas assertivas acima de 92% na média das questões 3,4,6,7,9,10 e 11 na atividade de aprendizagem.                                  |  |   |
| <b>Resultado Pretendido da Aprendizagem - Explicar</b>   |  |  |  |   |
| Marginal   | D  | Não foi capaz de explicar o significado de partícula elementar, apontado nas questões 12, 13, 14 e 15 na atividade de aprendizagem.  |  |   |
| Adequado   | C-   | Foi capaz de explicar o significado de partícula elementar de modo não claro, sem relacionar com conhecimentos prévios nas questões 12, 13, 14 e 15 na atividade de aprendizagem, com acertos de até 35% na média das questões.      |  |   |
|  | C  | Foi capaz de explicar o significado de partícula elementar de modo não claro, sem relacionar com conhecimentos prévios nas questões 12, 13, 14 e 15 na atividade de aprendizagem, com acertos de até 42% na média das questões.      |  |   |
|  | C+   | Foi capaz de explicar o significado de partícula elementar de modo não claro, sem relacionar com conhecimentos prévios nas questões 12, 13, 14 e 15 na atividade de aprendizagem, com acertos de até 50% na média das questões.      |  |   |
| Bom  | B-   | Foi capaz de explicar o significado de partícula elementar de modo não claro, relacionando com alguns conhecimentos prévios nas questões 12, 13, 14 e 15 na atividade de aprendizagem, com acertos de até 60% na média das questões. |  |   |
|  | B  | Foi capaz de explicar o significado de partícula elementar de modo não claro, relacionando com alguns conhecimentos prévios nas questões 12, 13, 14 e 15 na atividade de aprendizagem, com acertos de até 67% na média das questões. |  |   |
|  | B+   | Foi capaz de explicar o significado de partícula elementar de modo não claro, relacionando com alguns conhecimentos prévios nas questões 12, 13, 14 e 15 na atividade de aprendizagem, com acertos de até 75% na média das questões. |  |   |
| Excelente  | A-   | Foi capaz de explicar o significado conceitual de partícula elementar com clareza e objetividade nas questões 12,13, 14 e 15 com acertos de até 85% na média das questões.   |  |   |
|  | A  | Foi capaz de explicar o significado conceitual de partícula elementar com clareza e objetividade nas questões 12,13, 14 e 15 com acertos de até 92% na média das questões.   |  |   |
|  | A+   | Foi capaz de explicar o significado conceitual de partícula elementar com clareza e objetividade nas questões 12,13, 14 e 15 na atividade de aprendizagem.   |  |   |
| <b>AULA 08 – O MODELO PADRÃO DAS PARTÍCULAS ELEMENTARES</b>  |  |  |  |   |
|                                        |  |  |  |   |
| <b>Grau de desenvolvimento / RI</b>  |  |  |  |   |
| Conceito   | Marginal<br>D<br>2,5   | Adequado<br>C- C C+<br>3,5 4,2 5,0   | Bom<br>B- B B+<br>6,0 6,7 7,5  | Excelente<br>A- A A+<br>8,5 9,2 10,0                          |
| RPA  |  |  |  |   |
| Grau de complexidade / DP<br>Nomear<br> | Não foi capaz de nomear nenhuma família e partícula do modelo padrão na atividade. | Foi capaz de nomear uma família e poucas partículas do modelo padrão na atividade.   | Foi capaz de nomear a maioria das famílias e algumas partículas do modelo padrão na atividade. | Foi capaz de nomear as famílias e a maioria das partículas do |

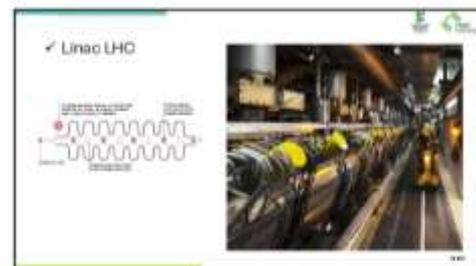
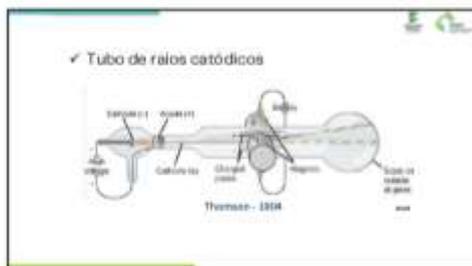
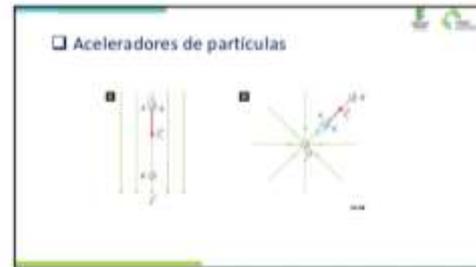
|   |  |  |   |   |
|---|--|--|---|---|
|   |  |  |   | modelo padrão na atividade.   |
| <p style="text-align: center;">Grau de complexidade / DP</p> <p style="text-align: center;">Identificar</p> | Não foi capaz de identificar nenhuma das propriedade quântica das partículas do modelo padrão apresentadas na atividade. | Foi capaz de identificar apenas uma das propriedade quântica das partículas do modelo padrão apresentadas na atividade.                | Foi capaz de identificar poucas propriedades quântica das partículas do modelo padrão apresentadas na atividade., sem mostrar clareza nas afirmações. | Foi capaz de identificar a maioria das propriedades quântica das partículas do modelo padrão apresentadas na atividade, de modo claro nas afirmações. |
| <p style="text-align: center;">Grau de complexidade / DP</p> <p style="text-align: center;">Descrever</p>   | Não foi capaz de descrever as propriedade quântica das partículas na atividade.  | Foi capaz de descrever algumas das propriedade quântica das partículas na atividade.   | Foi capaz de descrever a maioria das propriedade quântica das partículas na atividade.  | Foi capaz de descrever todas as propriedade quântica das partículas na atividade, demonstrando clareza e objetividade.                                |
| <b>Aula 08 - score da atividade de aprendizagem 8</b>   |  |  |   |   |
| <b>Resultado Pretendido da Aprendizagem - Nomear</b>  |  |  |   |   |
| Marginal  | D  | Não foi capaz de nomear as famílias e partículas do modelo padrão nas questões   |   |   |
| Adequado  | C-   | Foi capaz de nomear as famílias e partículas do Modelo Padrão em até 35% das questões 2, 3, e 6 no questionário final.                 |   |   |
|   | C  | Foi capaz de nomear as famílias e partículas do Modelo Padrão em até 42% das questões 2, 3, e 6 no questionário final.                 |   |   |
|   | C+   | Foi capaz de nomear as famílias e partículas do Modelo Padrão em até 50% das questões 2, 3, e 6 no questionário final.                 |   |   |
| Bom   | B-   | Foi capaz de nomear as famílias e partículas do Modelo Padrão em até 60% das questões 2, 3, e 6 no questionário final.                 |   |   |
|   | B  | Foi capaz de nomear as famílias e partículas do Modelo Padrão em até 67% das questões 2, 3, e 6 no questionário final.                 |   |   |
|   | B+   | Foi capaz de nomear as famílias e partículas do Modelo Padrão em até 75% das questões 2, 3, e 6 no questionário final.                 |   |   |
| Excelente   | A-   | Foi capaz de nomear as famílias e partículas do Modelo Padrão em até 85% das questões 2, 3, e 6 no questionário final.                 |   |   |
|   | A+   | Foi capaz de nomear todas as famílias e partículas das questões 2, 3, e 6 no questionário final.                                       |   |   |
| <b>Resultado Pretendido da Aprendizagem - Identificar</b>   |  |  |   |   |
| Marginal  | D  | Não foi capaz identificar nenhuma das propriedade quântica das partículas do modelo padrão apresentadas no questionário.               |   |   |
| Adequado  | C-   | Foi capaz identificar propriedade quântica das partículas do modelo padrão pelo acerto de até 35% das questões 7 e 9 do questionário.  |   |   |
|   | C  | Foi capaz identificar propriedade quântica das partículas do modelo padrão pelo acerto de até 40% das questões 7 e 9 do questionário.  |   |   |
|   | C+   | Foi capaz identificar propriedade quântica das partículas do modelo padrão pelo acerto de até 50% das questões 7 e 9 do questionário.  |   |   |
| Bom   | B-   | Foi capaz identificar propriedade quântica das partículas do modelo padrão pelo acerto de até 60% das questões 7 e 9 do questionário.  |   |   |
|   | B  | Foi capaz identificar propriedade quântica das partículas do modelo padrão pelo acerto de até 67 % das questões 7 e 9 do questionário. |   |   |
|   | B+   | Foi capaz identificar propriedade quântica das partículas do modelo padrão pelo acerto de até 75 % das questões 7 e 9 do questionário. |   |   |
| Excelente   | A-   | Foi capaz identificar propriedade quântica das partículas do modelo padrão pelo acerto de até 85% das questões 7 e 9 do questionário.  |   |   |

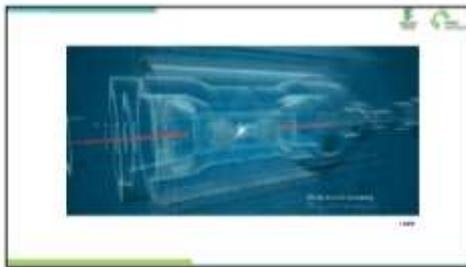
|   |    |   |
|---|----|---|
|   | A  | Foi capaz identificar propriedade quântica das partículas do modelo padrão pelo acerto de até 92% das questões 7 e 9 do questionário. |
|   | A+ | Foi capaz identificar as propriedade quântica das partículas do modelo padrão pelo acerto de 100% das questões 7 e 9 do questionário. |
| <b>Resultado Pretendido da Aprendizagem - Descrever</b> |    |   |
| Marginal  | D  | Não foi capaz descrever as propriedade quântica das partículas na atividade.  |
| Adequado  | C- | Foi capaz de descrever as propriedade quântica das partículas do modelo padrão pelo acerto de até 35% da questão 8 do questionário.   |
|   | C  | Foi capaz de descrever as propriedade quântica das partículas do modelo padrão pelo acerto de até 40 % na questão 8 do questionário.  |
|   | C+ | Foi capaz de descrever as propriedade quântica das partículas do modelo padrão pelo acerto de até 50 % na questão 8 do questionário.  |
| Bom   | B- | Foi capaz de descrever as propriedade quântica das partículas do modelo padrão pelo acerto de até 60 % na questão 8 do questionário.  |
|   | B  | Foi capaz de descrever as propriedade quântica das partículas do modelo padrão pelo acerto de até 67 % na questão 8 do questionário.  |
|   | B+ | Foi capaz de descrever as propriedade quântica das partículas do modelo padrão pelo acerto de até 75 % na questão 8 do questionário.  |
| Excelente   | A- | Foi capaz de descrever as propriedade quântica das partículas do modelo padrão pelo acerto de até 85 % na questão 8 do questionário.  |
|   | A+ | Foi capaz de descrever as propriedade quântica das partículas do modelo padrão pelo acerto de 100 % na questão 8 do questionário.     |

## APÊNDICE E – ATIVIDADE DE ENSINO

| ATIVIDADES DE ENSINO  |  |
|---|--|
| <b>1. IDENTIFICAÇÃO:</b>  |  |
| <b>AULA 03</b>  |  |
|    |    |
|  |  |
|  |  |

## AULA 05





### Detectores

São utilizados para:

- ☐ Determinar a trajetória das partículas
  - Câmara de bolhas, arames, propagação
- ☐ Detectores de silício
  - Medir a energia das partículas
  - Espectrômetro eletromagnético
  - Calorímetro hadrônico
- ☐ Medir momento das partículas
  - Câmara em campo magnético
- ☐ Identificar a partícula
  - Encontro de duas propriedades

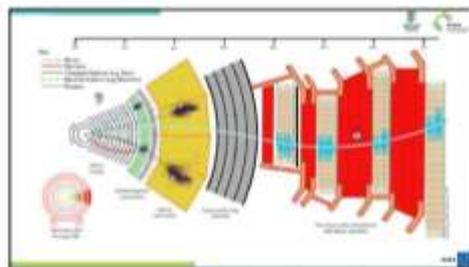
### ☐ Detectores de partículas

✓ Chapas fotográficas

### ✓ Câmara de bolhas

### ✓ Câmara de nuvens

### ✓ LHC



**É possível diferenciar elétrons de múons?**

Difícil depositar toda a energia no calorímetro e eletrofróntico

Muons atravessam o sistema de calorímetros e deixam traços no sistema de múons

**É possível identificar o Bóson de Higgs?**

**4 léptons:**

- 2 múons e 2 elétrons
- 4 múons ou 4 elétrons

**Identificando os bósons W e Z**

Decaimento da W

Decaimento do Z

**É possível diferenciar a carga da partícula?**

Ango do ríon expandido

Partículas positivas curvam no sentido horário

Partículas negativas curvam no sentido anti-horário

Valeu pela atenção!

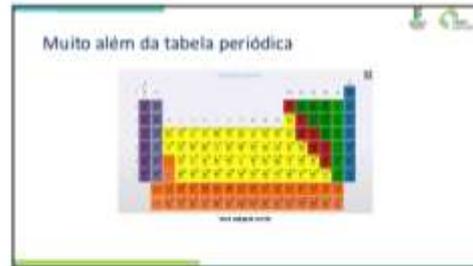
katien@barba@Fam.usp.br

**B. REFERÊNCIA**

ALBERT, J. M. et al. *Medicina Plus - Ciências da Saúde e suas Tecnologias, volumes 1 e 2*. São Paulo: Editora Elsevier, 1ª edição, 2021.

DEBETHUNE, et al. *Matéria, Energia e Vida: uma abordagem interdisciplinar*. Ribeirão, Luz e São Carlos: Instituto de Física de São Carlos, Editora Scipione, 1ª edição, 2020.

AULA 08



**QUARKS**

Up, Down, Strange (1964)  
Diracian

Charm (1974)  
Top (1975)  
Bottom (1975)  
Top (1995)  
127 x 38 (1986, Fermilab)

| Quarks      | Spin = 1/2 | Mass (GeV) | Charge (Elementary) | Year |
|-------------|------------|------------|---------------------|------|
| u (up)      | 0.0022     | 2/3        | 1964                |      |
| d (down)    | 0.0047     | -1/3       | 1964                |      |
| s (strange) | 0.14       | -1/3       | 1974                |      |
| c (charm)   | 1.2        | 2/3        | 1974                |      |
| b (bottom)  | 4.2        | -1/3       | 1977                |      |

**LEPTONS - leves**

Electron (1901)  
Thomson

Muon (1937)  
Anderson

Neutrinos do Elétron (1930)  
Pauli

Neutrinos do Múon (1947)  
Cowan

Tau (1975)  
Perl

Neutrinos do Tau (2001)  
OPUS 2 (2001) Collab. Fermilab

| Leptons      | Spin = 1/2 | Mass (GeV) | Charge (Elementary) | Year |
|--------------|------------|------------|---------------------|------|
| e (electron) | 0.000511   | -1         | 1901                |      |
| μ (muon)     | 0.105658   | -1         | 1937                |      |
| τ (tau)      | 1.777      | -1         | 1975                |      |

**FERMIONS**

| Leptons      |            | Quarks              |             | Year                |      |      |
|--------------|------------|---------------------|-------------|---------------------|------|------|
| Spin = 1/2   | Mass (GeV) | Charge (Elementary) | Spin = 1/2  | Charge (Elementary) | Year |      |
| e (electron) | 0.000511   | -1                  | u (up)      | 0.0022              | 2/3  | 1901 |
| μ (muon)     | 0.105658   | -1                  | d (down)    | 0.0047              | -1/3 | 1937 |
| τ (tau)      | 1.777      | -1                  | s (strange) | 0.14                | -1/3 | 1974 |
|              |            |                     | c (charm)   | 1.2                 | 2/3  | 1974 |
|              |            |                     | b (bottom)  | 4.2                 | -1/3 | 1977 |

**Partículas de interação**  
**BOSONS**

| Eletrofraca spin = 1               |                             |                |      | Força (spin)            |                             |                |      |
|------------------------------------|-----------------------------|----------------|------|-------------------------|-----------------------------|----------------|------|
| Nome                               | Massa (MeV/c <sup>2</sup> ) | Carga Elétrica | Spin | Nome                    | Massa (GeV/c <sup>2</sup> ) | Carga Elétrica | Spin |
| 1983<br>W <sup>-</sup><br>Wéilon W | 80.38                       | -1             | 1    | 1979<br>g<br>glúon      | 0                           | 0              | 1    |
| 1983<br>W <sup>+</sup><br>Wéilon W | 80.38                       | +1             | 1    | Bosão de Higgs spin = 0 |                             |                |      |
| 1961<br>Z <sup>0</sup><br>Zéilon Z | 91.188                      | 0              | 1    | Nome                    | Massa (GeV/c <sup>2</sup> ) | Carga Elétrica | Spin |
|                                    |                             |                |      | H                       | 125                         | 0              | 0    |



Propriedade quântica das partículas – Carga elétrica

**PROTON** =  $uud$  = barião  
 Carga Elétrica: +1  
 Spin: 1/2  
 Massa: 938 MeV/c<sup>2</sup>

**NEUTRON** =  $udd$  = barião  
 Carga Elétrica: 0  
 Spin: 1/2  
 Massa: 939 MeV/c<sup>2</sup>

Propriedade quântica das partículas – Cor

Propriedade quântica das partículas – Spin

Propriedade quântica das partículas – Estranheza

APÊNDICE F – PROTÓTIPO

**PROTÓTIPO**

**1. IDENTIFICAÇÃO:**

**AULA 08**

|  |  |  |
|--|--|--|
| <p>Massa 2,15 MeV/c<sup>2</sup><br/>Carga +2/3<br/>Spin 1/2<br/>Nome u</p> <p>u</p> <p>Massa 2,15 MeV/c<sup>2</sup><br/>Carga +2/3<br/>Spin 1/2<br/>Nome u</p> | <p>Massa 2,15 MeV/c<sup>2</sup><br/>Carga +2/3<br/>Spin 1/2<br/>Nome u</p> <p>u</p> <p>Massa 2,15 MeV/c<sup>2</sup><br/>Carga +2/3<br/>Spin 1/2<br/>Nome u</p> | <p>Massa 2,15 MeV/c<sup>2</sup><br/>Carga +2/3<br/>Spin 1/2<br/>Nome u</p> <p>u</p> <p>Massa 2,15 MeV/c<sup>2</sup><br/>Carga +2/3<br/>Spin 1/2<br/>Nome u</p> |
| <p>Massa 2,15 MeV/c<sup>2</sup><br/>Carga +2/3<br/>Spin 1/2<br/>Nome u</p> <p>u</p> <p>Massa 2,15 MeV/c<sup>2</sup><br/>Carga +2/3<br/>Spin 1/2<br/>Nome u</p> | <p>Massa 2,15 MeV/c<sup>2</sup><br/>Carga +2/3<br/>Spin 1/2<br/>Nome u</p> <p>u</p> <p>Massa 2,15 MeV/c<sup>2</sup><br/>Carga +2/3<br/>Spin 1/2<br/>Nome u</p> | <p>Massa 2,15 MeV/c<sup>2</sup><br/>Carga +2/3<br/>Spin 1/2<br/>Nome u</p> <p>u</p> <p>Massa 2,15 MeV/c<sup>2</sup><br/>Carga +2/3<br/>Spin 1/2<br/>Nome u</p> |

The image displays six cards arranged in a 2x3 grid. Each card features a large letter 'I' in the center, a small 'd' in the top-left corner, and a small 'p' in the bottom-right corner. The cards are color-coded and have different orientations:

- Card 1 (Green):** 'I' is vertical. Top-left 'd' has a sad face. Bottom-right 'p' has a happy face.
- Card 2 (Blue):** 'I' is vertical. Top-left 'd' has a sad face. Bottom-right 'p' has a happy face.
- Card 3 (Red):** 'I' is vertical. Top-left 'd' has a sad face. Bottom-right 'p' has a happy face.
- Card 4 (Yellow):** 'I' is vertical. Top-left 'd' has a happy face. Bottom-right 'p' has a sad face.
- Card 5 (Pink):** 'I' is vertical. Top-left 'd' has a happy face. Bottom-right 'p' has a sad face.
- Card 6 (Light Blue):** 'I' is vertical. Top-left 'd' has a happy face. Bottom-right 'p' has a sad face.

Each card also contains a small table with the following structure:

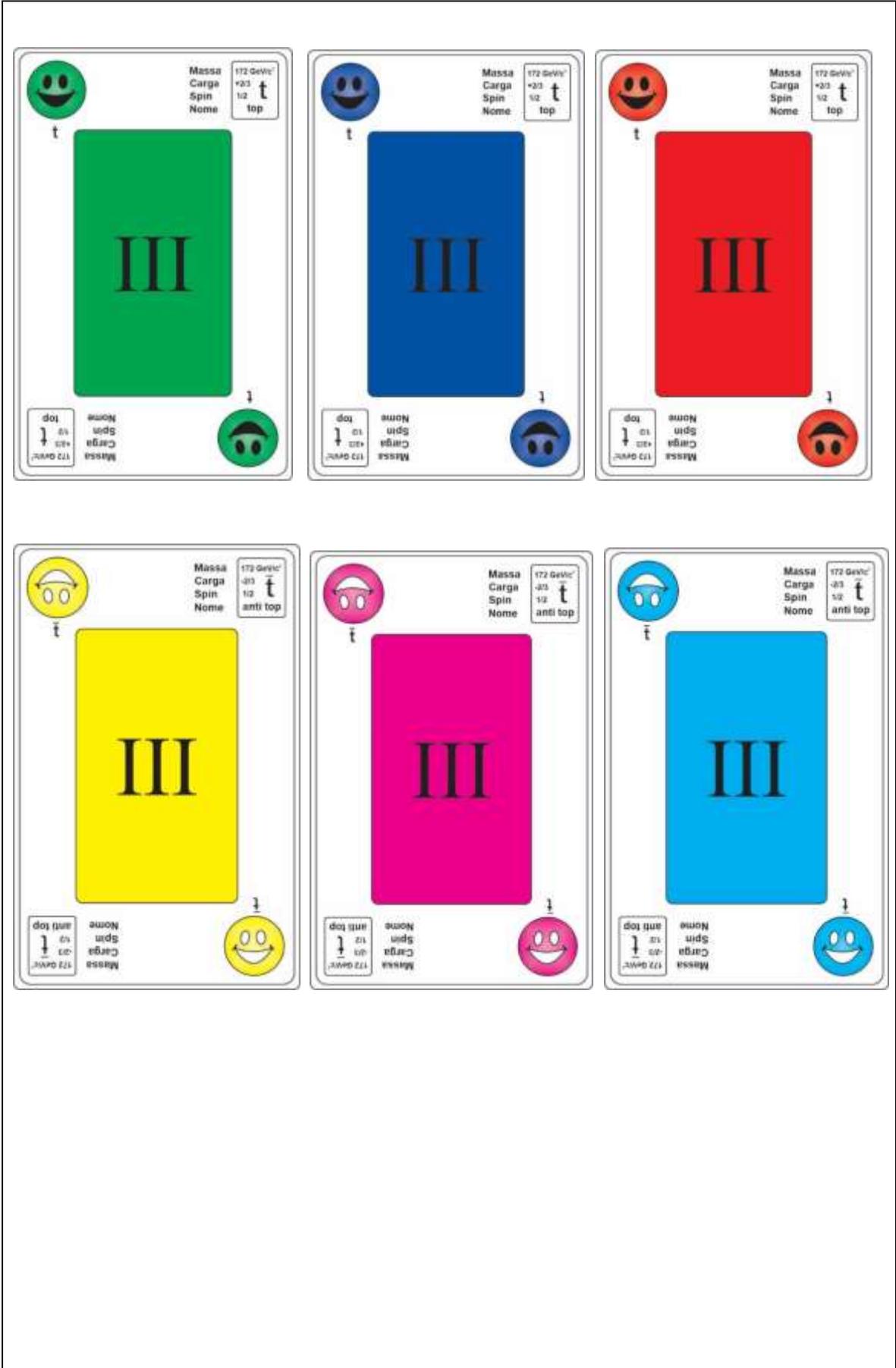
|       |                        |
|-------|------------------------|
| Massa | 4.8 MeV/c <sup>2</sup> |
| Carga | -1/3                   |
| Spin  | 1/2                    |
| Nome  | d                      |
|       | down                   |

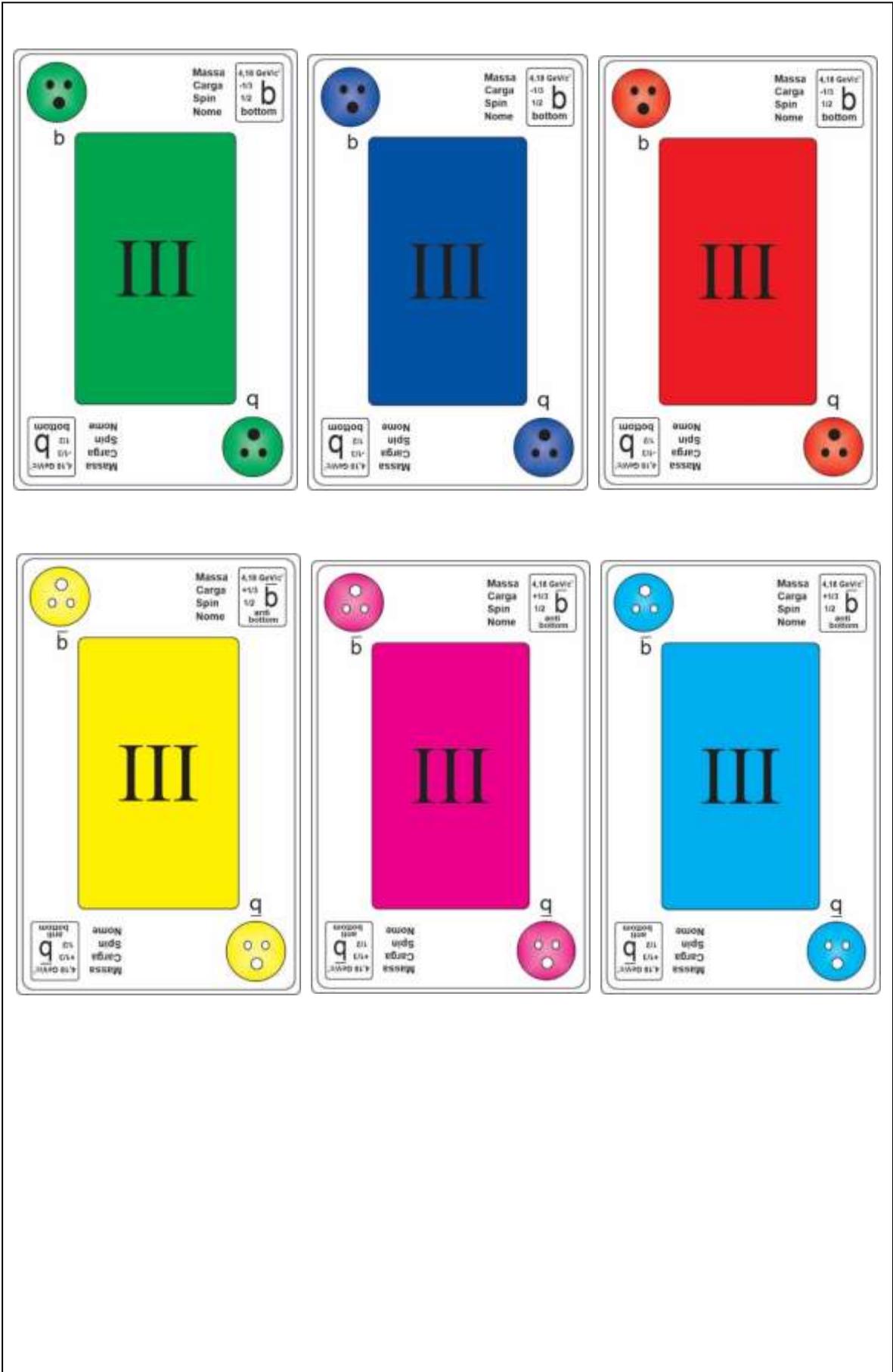
The image displays six cards, each representing a different color and spin state of the strange quark (S). Each card features a central 'II' symbol and a table of properties. The cards are arranged in two rows of three.

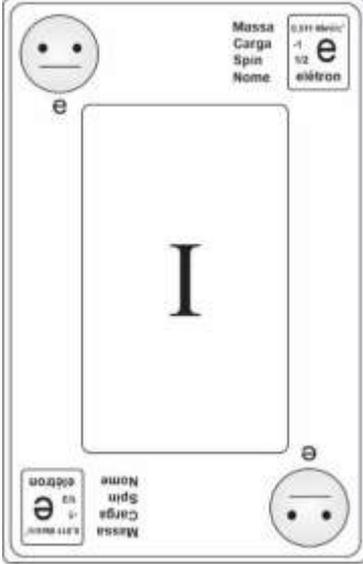
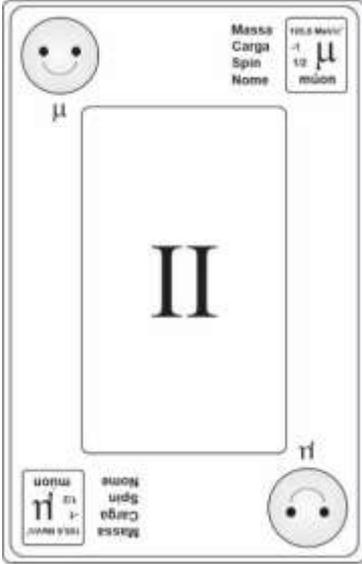
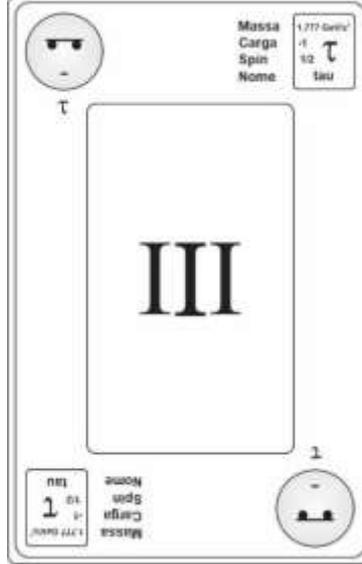
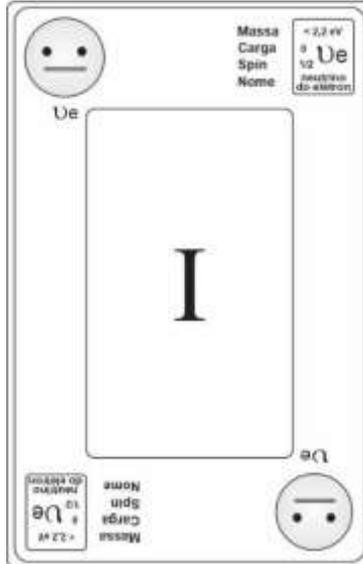
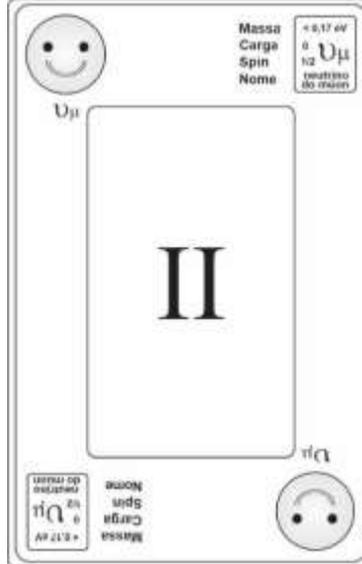
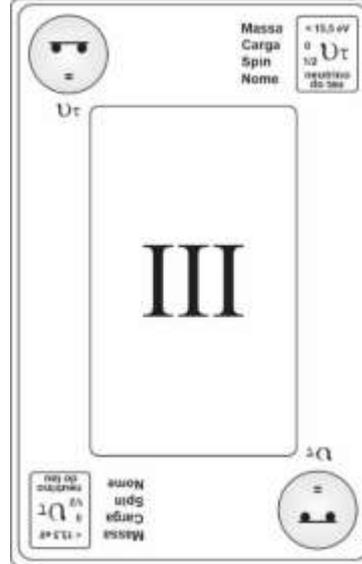
| Color   | Spin | Mass                   | Carga | Spin | Nome    |
|---------|------|------------------------|-------|------|---------|
| Green   | up   | 172 MeV/c <sup>2</sup> | -1/3  | 1/2  | strange |
| Blue    | down | 172 MeV/c <sup>2</sup> | -1/3  | 1/2  | strange |
| Red     | up   | 172 MeV/c <sup>2</sup> | -1/3  | 1/2  | strange |
| Yellow  | down | 172 MeV/c <sup>2</sup> | -1/3  | 1/2  | strange |
| Magenta | down | 172 MeV/c <sup>2</sup> | +1/3  | 1/2  | strange |
| Cyan    | up   | 172 MeV/c <sup>2</sup> | +1/3  | 1/2  | strange |

The image displays six cards arranged in two rows of three. Each card features a central Roman numeral 'II' on a colored rectangular background. The cards are surrounded by various icons and text boxes. The top row consists of three cards with green, blue, and red backgrounds. The bottom row consists of three cards with yellow, pink, and light blue backgrounds. Each card has a small icon in the top-left and bottom-right corners, and a text box in the top-right and bottom-left corners. The text boxes contain the words 'Massa', 'Carga', 'Spin', and 'Nome' followed by numerical values and a 'C' symbol. The icons are stylized faces with different expressions and colors.

| Row | Card Color | Top-Left Icon         | Bottom-Right Icon   | Top-Right Text  | Bottom-Left Text  |
|-----|------------|-----------------------|---------------------|---|---|
| 1   | Green      | Green sad face        | Green angry face    | Massa 1.27 GeV/c<br>Carga +23<br>Spin 1/2<br>Nome C charm | Massa 1.27 GeV/c<br>Carga +23<br>Spin 1/2<br>Nome C charm |
| 1   | Blue       | Blue sad face         | Blue angry face     | Massa 1.27 GeV/c<br>Carga +23<br>Spin 1/2<br>Nome C charm | Massa 1.27 GeV/c<br>Carga +23<br>Spin 1/2<br>Nome C charm |
| 1   | Red        | Red sad face          | Red angry face      | Massa 1.27 GeV/c<br>Carga +23<br>Spin 1/2<br>Nome C charm | Massa 1.27 GeV/c<br>Carga +23<br>Spin 1/2<br>Nome C charm |
| 2   | Yellow     | Yellow happy face     | Yellow sad face     | Massa 1.27 GeV/c<br>Carga +23<br>Spin 1/2<br>Nome C charm | Massa 1.27 GeV/c<br>Carga +23<br>Spin 1/2<br>Nome C charm |
| 2   | Pink       | Pink happy face       | Pink sad face       | Massa 1.27 GeV/c<br>Carga +23<br>Spin 1/2<br>Nome C charm | Massa 1.27 GeV/c<br>Carga +23<br>Spin 1/2<br>Nome C charm |
| 2   | Light Blue | Light Blue happy face | Light Blue sad face | Massa 1.27 GeV/c<br>Carga +23<br>Spin 1/2<br>Nome C charm | Massa 1.27 GeV/c<br>Carga +23<br>Spin 1/2<br>Nome C charm |





|   |   |  |
|---|---|--|
|  <p>Massa: <math>9.109 \times 10^{-31}</math> kg<br/>Carga: <math>-1.6 \times 10^{-19}</math> C<br/>Spin: <math>\frac{1}{2}</math><br/>Nome: elétron</p> <p><b>I</b></p> <p>Massa: <math>9.109 \times 10^{-31}</math> kg<br/>Carga: <math>-1.6 \times 10^{-19}</math> C<br/>Spin: <math>\frac{1}{2}</math><br/>Nome: elétron</p> |  <p>Massa: <math>1.883 \times 10^{-28}</math> kg<br/>Carga: <math>-1.6 \times 10^{-19}</math> C<br/>Spin: <math>\frac{1}{2}</math><br/>Nome: múon</p> <p><b>II</b></p> <p>Massa: <math>1.883 \times 10^{-28}</math> kg<br/>Carga: <math>-1.6 \times 10^{-19}</math> C<br/>Spin: <math>\frac{1}{2}</math><br/>Nome: múon</p>  |  <p>Massa: <math>1.777 \times 10^{-27}</math> kg<br/>Carga: <math>-1.6 \times 10^{-19}</math> C<br/>Spin: <math>\frac{1}{2}</math><br/>Nome: tau</p> <p><b>III</b></p> <p>Massa: <math>1.777 \times 10^{-27}</math> kg<br/>Carga: <math>-1.6 \times 10^{-19}</math> C<br/>Spin: <math>\frac{1}{2}</math><br/>Nome: tau</p> |
|  <p>Massa: <math>0.17 \text{ eV}</math><br/>Carga: <math>0</math><br/>Spin: <math>\frac{1}{2}</math><br/>Nome: neutrino</p> <p><b>I</b></p> <p>Massa: <math>0.17 \text{ eV}</math><br/>Carga: <math>0</math><br/>Spin: <math>\frac{1}{2}</math><br/>Nome: neutrino</p>  |  <p>Massa: <math>1.883 \times 10^{-28}</math> kg<br/>Carga: <math>-1.6 \times 10^{-19}</math> C<br/>Spin: <math>\frac{1}{2}</math><br/>Nome: múon</p> <p><b>II</b></p> <p>Massa: <math>1.883 \times 10^{-28}</math> kg<br/>Carga: <math>-1.6 \times 10^{-19}</math> C<br/>Spin: <math>\frac{1}{2}</math><br/>Nome: múon</p> |  <p>Massa: <math>0.13 \text{ eV}</math><br/>Carga: <math>0</math><br/>Spin: <math>\frac{1}{2}</math><br/>Nome: neutrino</p> <p><b>III</b></p> <p>Massa: <math>0.13 \text{ eV}</math><br/>Carga: <math>0</math><br/>Spin: <math>\frac{1}{2}</math><br/>Nome: neutrino</p>  |

The image displays six educational cards arranged in two rows of three. Each card represents a particle and includes a name, mass, charge, spin, and a smiley face.

**Top Row:**

- Card I:** Name: elétron; Mass: 0,011 931 MeV/c<sup>2</sup>; Charge: -1; Spin: 1/2. Smiley face: neutral.
- Card II:** Name: múon; Mass: 105,6 583 MeV/c<sup>2</sup>; Charge: +1; Spin: 1/2. Smiley face: happy.
- Card III:** Name: anti táu; Mass: 1,777 042 MeV/c<sup>2</sup>; Charge: +1; Spin: 1/2. Smiley face: neutral.

**Bottom Row:**

- Card I:** Name: vértice de quarks; Mass: 2,2 eV; Charge: 0; Spin: 0. Smiley face: neutral.
- Card II:** Name: vértice de quarks; Mass: 6,17 eV; Charge: 0; Spin: 0. Smiley face: happy.
- Card III:** Name: vértice de quarks; Mass: 15,5 eV; Charge: 0; Spin: 0. Smiley face: neutral.

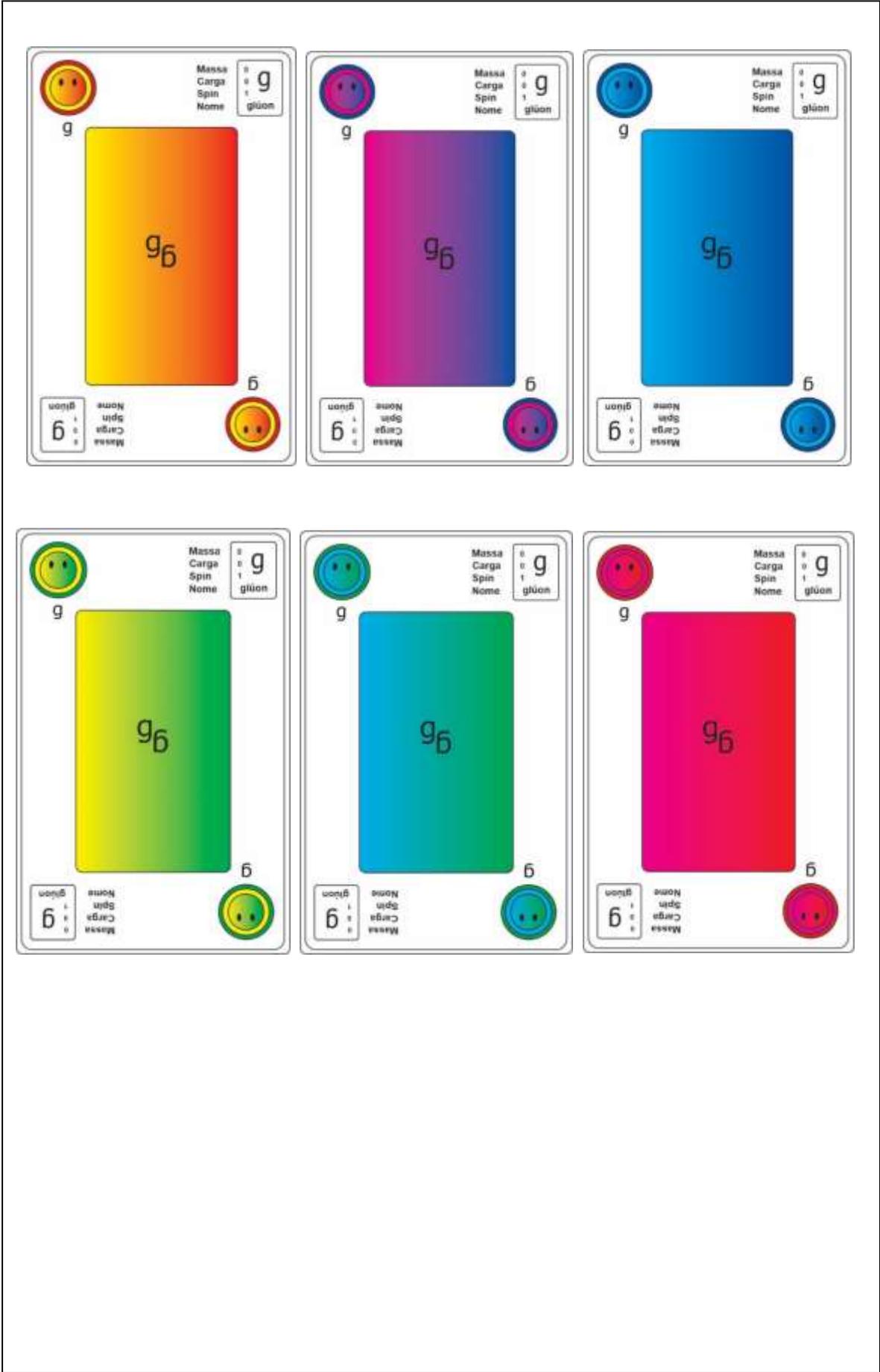
The image displays five educational cards for bosons, arranged in two rows. Each card features a central box with the particle symbol, a top-left smiley face icon, and a bottom-right smiley face icon. The top-right and bottom-left corners contain a table with particle properties: Massa, Carga, Spin, and Nome.

**Top Row:**

- W<sup>+</sup> Card:** Top-left smiley face is happy (+). Top-right table: Massa 80.4 GeV/c<sup>2</sup>, Carga +1, Spin 1, Nome bóson W. Bottom-right smiley face is neutral (+).
- W<sup>-</sup> Card:** Top-left smiley face is neutral (-). Top-right table: Massa 80.4 GeV/c<sup>2</sup>, Carga -1, Spin 1, Nome bóson W. Bottom-right smiley face is neutral (-).
- H Card:** Top-left smiley face is sad (-). Top-right table: Massa 125 GeV/c<sup>2</sup>, Carga 0, Spin 0, Nome higgs. Bottom-right smiley face is sad (-).

**Bottom Row:**

- γ Card:** Top-left smiley face is winking. Top-right table: Massa 0, Carga 0, Spin 1, Nome fóton. Bottom-right smiley face is neutral (-).
- Z<sup>0</sup> Card:** Top-left smiley face is neutral (0). Top-right table: Massa 91.2 GeV/c<sup>2</sup>, Carga 0, Spin 1, Nome bóson Z. Bottom-right smiley face is neutral (0).



Two identical cards and a diagram illustrating the properties of gluons.

The cards show the following information:

- Top-left: A circular icon with red, green, and blue segments.
- Top-right: A table with the following data:

|       |       |
|-------|-------|
| Massa | g     |
| Carga | g     |
| Spin  | 1     |
| Nome  | gluon |
- Center: A large empty box containing the symbol  $g_6$ .
- Bottom-left: A table with the following data:

|       |   |
|-------|---|
| gluon | g |
| Nome  | g |
| Carga | g |
| Spin  | 1 |
| Massa | g |
- Bottom-right: A circular icon with red, green, and blue segments.

The diagram on the right shows a Venn diagram with three overlapping circles representing the color charges of gluons:

- Red circle: R
- Green circle: G
- Blue circle: B
- Yellow intersection (R and G):  $\bar{B}$
- Purple intersection (R and B):  $\bar{G}$
- Cyan intersection (G and B):  $\bar{R}$
- White intersection (R, G, and B):  $\bar{0}$

## APÊNDICE G – QUESTIONÁRIO FINAL

| QUESTIONÁRIO FINAL   |
|--|
| <b>1. IDENTIFICAÇÃO:</b>   |
| <b>AULA 08</b>   |
| <p><b>O MODELO PADRÃO DAS PARTÍCULAS ELEMENTARES</b></p> <p>Prezado estudante,<br/>Apresentamos este questionário com o propósito de identificar quais novos conhecimentos demonstras ter sobre a aprendizagem do Modelo Padrão (objeto de conhecimento discutidos na aula). Assim, pedimos que responda as perguntas/questões com a máxima atenção.<br/>Fique à vontade e tranquilo porque não se trata de uma avaliação, mas tão somente uma averiguação daquilo que você aprendeu no processo de ensino e aprendizagem.<br/>Então vamos iniciar!</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Para além da ideia de indivisibilidade o que caracteriza uma partícula elementar?</li> <li>Segundo o Modelo Padrão as partículas elementares podem ser agrupadas em famílias, algo parecido com a tabela periódica dos químicos. Quais as famílias previstas no Modelo Padrão?</li> <li>Quais partículas elementares você tem conhecimento de sua existência?</li> <li>A palavra "léptons" vem do grego "leve", pois <b>são as partículas subatômicas que não sofrem influência da força nuclear forte que mantém os prótons e os nêutrons unidos, participam somente das interações eletromagnéticas e fracas</b>. Essas partículas não ficam no núcleo do átomo e podem viajar por conta própria. Assinale a alternativa abaixo que apresenta partículas constituintes desse grupo.       <ol style="list-style-type: none"> <li>Nêutron, próton e elétron</li> <li>Elétron, múon, táu e seus neutrinos</li> <li>Fóton, bósons de Higgs e glúons</li> <li>Neutrinos, quarks e bósons Z e W</li> <li>Nêutrons e neutrinos</li> </ol> </li> <li>O próton, por exemplo, é uma partícula constituída de dois "quarks up" e um "quark down", portanto ele não é uma partícula elementar nos moldes do Modelo padrão. Assinale que tipo de força é responsável por manter unidos esses quarks?       <ol style="list-style-type: none"> <li>Força Gravitacional</li> <li>Força Eletromagnética</li> <li>Força Nuclear Forte</li> <li>Força Elástica</li> <li>Força Nuclear Fraca</li> </ol> </li> <li>Os Bósons são partículas mediadoras de SPIN inteiro, sendo o nome uma *homenagem a um físico indiano Satyendra Nath Bose. Diga-nos quais as partículas desta família que você tem conhecimento?</li> <li>(GREF) Uma outra ideia muito importante que caracteriza o modo como os * físicos "enxergam" a natureza reside no fato de que apesar das modificações que são observadas no mundo natural, algumas quantidades físicas se mantêm constantes, desde que não haja influência externa: são as chamadas leis da conservação. Sabendo que um quark tipo "up" tem carga elétrica <math>2/3</math> e um quark tipo "down" tem carga</li> </ol> |

elétrica  $-1/3$  em unidades da carga fundamental, para conservar a carga dos prótons e nêutrons, é verdade apontar:

- a) Um próton tem três quarks tipo "down";
  - b) Um neutron tem três quarks tipo "up";
  - c) Um próton tem três quarks tipo "up";
  - d) Um próton tem quatro quarks tipo "down";
  - e) Um neutron têm dois quark "down" e um "up".
8. Descreva o significado para as cores: verde, azul e vermelha dos quarks "Up" e "Down" na construção dos Prótons e Nêutrons?
9. Entre as alternativas abaixo aponte a que representa propriedades quânticas das partículas elementares:
- a) Número atômico, spin, carga elétrica e massa
  - b) Cor, spin, massa e carga elétrica
  - c) Peso, massa molar, spin e energia
  - d) Carga elétrica, força, cor e energia
  - e) Massa, radiação e energia
10. (PNLD 2021) Cientistas anunciaram a descoberta de uma nova partícula que pode ser a peça que faltava para fechar o Modelo Padrão, o quebra-cabeças de equações elementares da Física que descreve a composição e o funcionamento de toda a matéria visível do Universo. Há fortes indícios de que ela seja o bóson de Higgs, a partícula elementar que dá massa a todas as outras [...] cuja existência é prevista teoricamente há [mais de] 50 anos, mas nunca foi provada experimentalmente. O Estado de S. Paulo. São Paulo, 5 jul. 2012. Disponível em: <<https://www.estadao.com.br/noticias/geral,descobertapartícula-que-explicaria-origem-do-universo,896193>>. (Acesso em: 5 ago. 2020.)

Considere as afirmações:

- I. O resultado apresentado é definitivo: foi constatada experimentalmente a existência do bóson de Higgs.
  - II. O bóson de Higgs é a partícula responsável por dar massa a tudo que existe no Universo.
  - III. A previsão inicial da existência da partícula é da década de 1980.
- Pode-se afirmar que:

- a) Somente a afirmação I está correta
- b) Somente a afirmação II está correta
- c) Somente as afirmações I e III estão corretas
- d) Somente as afirmações II e III estão corretas
- e) Somente as afirmações I e II estão corretas