

Ricardo Beal

**DA DESCOBERTA DO NÚCLEO AO BÓSON DE HIGGS: uma
introdução ao Modelo Padrão de Partículas Elementares com
atividades virtuais**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Santa Catarina no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Almeida Fagundes
Coorientador: Prof. Dr. Fábio Rafael Segundo

Blumenau
Março 2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Beal, Ricardo

Da descoberta do núcleo ao Bóson de Higgs : Uma
introdução ao Modelo Padrão de Partículas Elementares
com atividades virtuais / Ricardo Beal ;
orientador, Daniel Almeida Fagundes, coorientador,
Fábio Rafael Segundo, 2018.
150 p.

Dissertação (mestrado profissional) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus
Blumenau, Programa de Pós-Graduação em Ensino de
Física, Blumenau, 2018.

Inclui referências.

1. Ensino de Física. 2. Ensino de Física. 3.
Modelo Padrão. 4. Gamificação. I. Almeida Fagundes,
Daniel . II. Segundo, Fábio Rafael. III.
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de
Pós-Graduação em Ensino de Física. IV. Título.

Ricardo Beal

**DA DESCOBERTA DO NÚCLEO AO BÓSON DE HIGGS: UMA
INTRODUÇÃO AO MODELO PADRÃO DE PARTÍCULAS
ELEMENTARES COM ATIVIDADES VIRTUAIS**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de MESTRE EM ENSINO DE FÍSICA na área de concentração Física na Educação Básica e aprovada em sua forma final pelo Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física.

Blumenau, 09 de março de 2018.



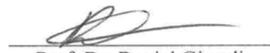
Prof. Dr. Daniel Girardi
Coordenador do Programa

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Daniel Almeida Fagundes
(presidente) - UFSC/BNU


Prof. Dr. Luiz Fernando Mackedanz
(membro externo) – FURG/RS



Prof. Dr. Daniel Girardi
(membro titular) - UFSC/BNU

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida.

Aos meus pais, pela generosidade e apoio recebido.

A minha esposa, pela paciência, incentivo e encorajamento em dar continuidade aos estudos.

Ao meu orientador Dr. Daniel Almeida Fagundes, que abdicou do tempo em família, para se dedicar a esta dissertação, agradeço e enalteço a sua importância nesse processo de construção do conhecimento.

Ao coorientador Dr. Fábio Rafael Segundo, pela dedicação em orientar e instigar a busca pelos melhores resultados.

À Universidade Federal de Santa Catarina pela oportunidade em cursar este mestrado.

À Sociedade Brasileira de Física por investir na educação, proporcionando capacitação de qualidade, por meio deste mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro, por meio da bolsa recebida.

Ao Instituto Federal de Santa Catarina e alunos que participaram e apoiaram toda pesquisa.

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível” (Charles Chaplin”).

RESUMO

Nesse trabalho de dissertação apresentamos uma proposta para o ensino da Física de Partículas Elementares (FPE), sobretudo do Modelo Padrão (MP), voltada ao 3º ano do ensino médio, a partir de uma sequência didática que combina elementos da teoria de gamificação aplicada ao ensino, o uso de simulações com roteiros exploratórios e uma visita virtual guiada (por membros da colaboração) ao Detetor Compact Muon Solenoid (CMS) do Large Hadron Collider (LHC). Nela adotamos uma perspectiva de abordagem do MP a partir da contextualização com as bases teórico-experimentais da Física Atômica, Nuclear, e da própria FPE, tais como: (1) os experimentos de Geiger-Marsden-Rutherford e a descoberta do núcleo (base teórica para compreensão sobre o desenvolvimento de experimentos de espalhamento, nos sistemas de laboratório e centro de momento); (2) da hipótese do neutrino formulada por Pauli (que levou à descoberta do neutrino eletrônico em 1956 por Cowan e Reines) para explicar os resultados do decaimento beta nuclear. Para tanto, elaboramos uma sequência didática composta por questionário de conhecimento prévio, aula expositiva dialogada, roteiros exploratórios de duas simulações do site Phet ("Espalhamento Rutherford" e "Decaimento Beta") para aplicação em sala e, por fim, a visita virtual ao CMS. Além disso, fornecemos e aplicamos, enquanto produto didático atrelado a essa dissertação, alguns procedimentos avaliativos, os quais visam averiguar a assimilação efetiva dos conteúdos abordados na sequência. Em síntese, a proposta aqui formulada tem como principal objetivo fornecer uma estratégia de ensino eficaz, atual e contextualizada com uso de tecnologias da informação e comunicação aplicadas ao ensino de Física. O texto aqui apresentado constitui, em nosso entendimento, material complementar em relação a outras importantes contribuições já feitas sobre o ensino da Física de Partículas no Ensino Médio, também no âmbito do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física. Esperamos que este possa ser útil para a promoção de novas metodologias de ensino de Física e fomenta novas práticas pedagógicas, no contexto do ensino da Física Moderna e Contemporânea nas escolas.

Palavras-chave: Ensino de Física, Modelo Padrão, Gamificação.

ABSTRACT

This dissertation comprises a new proposal for teaching Elementary Particle Physics (EPP), specially the Standard Model (SM), at high-school level. To do so we develop a didactic sequence combining elements from gamification theory applied to teaching, the use of interactive simulations from Phet (namely, “Rutherford Scattering” and “Beta Decay”) together with exploratory activities and, as a complementary activity, a guided Virtual Visit to the Compact Muon Solenoid (CMS) detector of the Large Hadron Collider (LHC) at CERN. With it we propose a new perspective to approach the SM based on contextualizing some of the important scientific discoveries of the last century that led to its present status. In specific, we explore two milestones in the development of Atomic and Nuclear Physics, and ultimately to Particle Physics itself: (1) the Geiger-Marsden-Rutherford experiment and the nucleus discovery and (2) Pauli’s hypothesis of the neutrino (which subsequently led to the discovery of the electron neutrino by Cowan and Reines in 1956) in nuclear beta decay. Such strategy aims at providing to the students a general perspective on how a particle physicist, nowadays, investigate the most fundamental building blocks of matter. We also report on the methods used to evaluate students learning improvements with the sequence application, which is based on the use of Information and Communication Technology (ICT) tools. We argue, on statistical grounds, that using gamification as teaching strategy provided good results in comparison to the prior knowledge the students had about the SM and accelerator physics. In this context, we understand our proposal as complementary material to other good methods already discussed in the recent literature. At last, we hope it can be useful in order to promote new teaching strategies to approach Modern and Contemporary Physics at high school.

Keywords: Physics education, Standard Model, Gamification.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas da gamificação.....	30
Figura 2 – Representação visual da simulação Espalhamento Rutherford, na qual apresenta o espalhamento de partículas alfa por um núcleo de ouro no Modelo de Rutherford (átomo nuclear).....	38
Figura 3 – Representação 2 do visual da simulação Espalhamento Rutherford, na qual apresenta o espalhamento de partículas alfa por um núcleo de ouro no Modelo de Thomson (pudim de passas).	38
Figura 4 – Representação visual da simulação do decaimento beta de núcleo de trítio.....	39
Figura 5 – Representação esquemática do Modelo Padrão de Partículas Elementares e seus constituintes	47
Figura 6 – Representação esquemática do experimento de Thomson, utilizando uma ampola de Crookes ou um tubo de raios catódicos.....	50
Figura 7 – Representação pictórica do experimento de Geiger e Marsden de espalhamento (tradicionalmente conhecido como espalhamento Rutherford) de partículas alfa por uma fina folha de ouro	51
Figura 8 – Representação pictórica do modelo atômico de Bohr e das transições entre orbitais com emissão ou absorção de um fóton.	53
Figura 9 – Ilustração do efeito fotoelétrico	54
Figura 10 – Representação do espalhamento Compton de raios-x em um elétron livre	55
Figura 11 – Fotografia feita por Carl D. Anderson em 1932, do traço do primeiro pósitron registrado	56
Figura 12 – Dois elétrons se repelindo ao trocar um fóton	57
Figura 13 – Aniquilação e geração de par elétron-pósitron.....	58
Figura 14 – Representação pictórica de um chuva atmosférico formado pela interação de um raio cósmico primário na alta atmosfera terrestre	59
Figura 15 – Imagem de pión	60
Figura 16 – Octeto bariônico.....	63
Figura 17 – Imagem de parte do túnel LHC.....	67
Figura 18 – Estrutura do complexo de aceleradores que compõe o LHC	69
Figura 19 – Vista transversal de um octante do detector CMS e do sistema traçador de trajetórias, de múons, hádrons carregados, nêutrons, etc.....	70
Figura 20 – Detectores e subdetectores do CMS.....	71
Figura 21 – As três secções do traçador	71

Figura 22 – As três secções do ECAL	72
Figura 23 – As três secções do HCAL	72
Figura 24 – Sistema de múons	73
Figura 25 – Imagens da construção e dimensão do solenoide supercondutor.....	73
Figura 26 – Representação de possível evento gerado pelo decaimento de um Bóson de Higgs no detector CMS	75
Figura 27 – Link para agendamento da visita virtual ao experimento Compact Muon Solenoid (CMS) do LHC	83
Figura 28 – Link para agendamento da visita virtual ao experimento A Toroidal LHC Apparatus (ATLAS) do LHC	84
Figura 29 – Foto da realização da visita virtual ao experimento CMS no IFC de Fraiburgo em 18.09.2017	84
Figura 30 – Cartaz da visita virtual CMS.....	86
Figura 31 – Página da visita virtual ao CMS	87
Figura 32 – Link para assistir ao vídeo da visita virtual ao CMS realizada no IFC – Fraiburgo em 18.09.2017	88
Figura 33 – Divulgação da visita virtual ao CERN na página da UFSC	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Lista de livros didáticos em física, no portal MEC	24
Tabela 2 – Livros didáticos e de divulgação científica sobre o tema “Física de Partículas Elementares”	24
Tabela 3 – Dissertações que serviram de referência para elaboração deste estudo	25
Tabela 4 – Tabela de pontuação e ações	79
Tabela 5 – Tabela de infrações com perda de pontuação	80
Tabela 6 – Grupos de Partículas Elementares	81
Tabela 7 – Relação das equipes e quantidade de linhas por texto	102
Tabela 8 – Percentuais de acertos na avaliação das questões de múltipla escolha.....	103
Tabela 9 – Percentuais de acertos e erros na avaliação final por questão dissertativa.....	104

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Diagrama 1 – Mapa conceitual das Partículas Elementares	44
Gráfico 1 – Porcentagem de alunos e ferramentas de pesquisa que utilizam.....	93
Gráfico 2 – Porcentagem de alunos pela frequência com que usa a internet.....	95
Gráfico 3 – Disciplinas que já usou simulações/animações para estudar	96
Gráfico 4 – Número de alunos e meios de acesso a material de divulgação científica sobre FPE	97
Gráfico 5 – Conhecimentos prévios sobre as partículas elementares do MP	98
Gráfico 6 – Canais de informação que já ouviram falar sobre partículas elementares.....	99

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	21
2	FÍSICA DE PARTÍCULAS ELEMENTARES NO ENSINO MÉDIO	23
2.1	PORQUE ENSINAR FÍSICA DE PARTÍCULAS ELEMENTARES NO ENSINO MÉDIO	23
2.2	USO DA GAMIFICAÇÃO COMO ESTRATÉGIA DE ENSINO	29
2.3	DESAFIOS E VIRTUDES DA GAMIFICAÇÃO	32
2.4	SOBRE O USO DE SIMULAÇÕES E ATIVIDADES VIRTUAIS PARA O ENSINO DA FÍSICA DE PARTÍCULAS ELEMENTARES NO ENSINO MÉDIO	34
2.4.1	Simulações virtuais do site Phet	36
2.4.2	Visitas virtuais aos experimentos CMS do LHC	39
3	O MODELO PADRÃO DE PARTÍCULAS ELEMENTARES E A FÍSICA DOS ACELERADORES	42
3.1	RAZÕES PARA ABORDAR O MODELO PADRÃO NO ENSINO MÉDIO	42
3.2	UM PANORAMA GERAL DO MODELO PADRÃO	45
3.3	ERA CLÁSSICA: DESCOBERTAS DO FINAL DO SÉC. XIX E PRIMEIRA METADE DO SÉC. XX ...	49
3.4	CONTRIBUIÇÕES DA FÍSICA DE RAIOS CÓSMICOS	56
3.5	OS NEUTRINOS	60
3.6	A ERA DOS GRANDES ACELERADORES E A DESCOBERTA DOS QUARKS E DOS BÓSONS W e Z	62
3.7	UM PANORAMA GERAL SOBRE O LHC E O EXPERIMENTO CMS	66
3.8	BÓSON DE HIGGS	74
4	SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA ENSINO DE FÍSICA DE PARTÍCULAS ELEMENTARE	77
4.1	QUANTO A NATUREZA, ABORDAGEM E OBJETIVOS	77
4.2	ESTRUTURA E ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO	78

4.3	QUESTIONÁRIOS DE AVALIAÇÃO E DE ATIVIDADES ESCRITAS	81
4.4	PLANEJAMENTO DE ATIVIDADES VIRTUAIS	81
4.4.1	Agendamento e realização de visita virtual ao experimento CMS	82
4.4.2	Elaboração de roteiros de atividades virtuais exploratórias do site Phet	89
4.5	QUESTIONÁRIOS DE AVALIAÇÃO DA VISITA VIRTUAL AO CMS	89
4.6	AVALIAÇÃO FINAL	90
5	RELATO DE APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA E ANÁLISE DE RESULTADOS	91
5.1	PRIMEIRAS IMPRESSÕES	92
5.2	ANÁLISE DO QUESTIONÁRIO DE CONHECIMENTOS PRÉVIOS	92
5.3	AVALIAÇÃO DAS ATIVIDADES VIRTUAIS EXPLORATÓRIAS	100
5.4	AVALIAÇÃO DA VISITA VIRTUAL AO EXPERIMENTO CMS	102
5.5	AVALIAÇÃO FINAL	103
5.6	MODIFICAÇÕES NO PRODUTO EDUCACIONAL	107
6	CONCLUSÕES	109
	REFERÊNCIAS	111
	APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL	121

INTRODUÇÃO

A física enquanto ciência, faz com que se descubra o mundo natural e suas propriedades, estimulando a curiosidade e a criticidade sobre tudo o que nos cerca. Talvez a parte mais difícil seja a tradução destes fenômenos em uma simbologia que seja compreendida pelos alunos.

No cotidiano, por exemplo, a Física está presente em uma vasta gama de fenômenos, tais como a propagação de ondas eletromagnéticas emitidas e captadas por antenas de celulares, a óptica física, que estuda o comportamento ondulatório da luz, nos espelhos, ou ainda utilizada para corrigir defeitos visuais (óculos e lentes), ou instrumentos de observação (telescópios, lunetas e microscópios) e até mesmo nas câmeras fotográficas e filmadoras.

Neste estudo adotamos uma perspectiva de abordagem da Física de Partículas Elementares (FPE) a partir da contextualização com as bases teórico-experimentais de importância histórica, que culminaram no desenvolvimento da Física Atômica e Nuclear e, em última análise no desenvolvimento do Modelo Padrão de Partículas Elementares (MP). Entendemos que as atividades virtuais aqui propostas, sejam elas simulações (roteiros exploratórios específicos) ou a visita virtual ao CMS podem contribuir de maneira substancial para uma abordagem introdutória, porém contextualizada com experimentos (reais e virtuais), a uma área de grande relevância para a Física Contemporânea.

Se por um lado, as ciências físicas têm potencial de elucidar um grande número de aspectos da vida cotidiana, por outro o ensino das mesmas (física, matemática, entre outros) está distante do universo dos alunos, os quais encontram-se cada vez mais conectados com o mundo, por meio das redes sociais, aplicativos, smart TVs, tablets, enquanto nas salas de aula não se vê a cultura científica sendo popularizada e difundida.

Esta cultura é o hábito de gerar o conhecimento, utilizando além do livro, das revistas, entre outros, a internet e todas as demais mídias, que são familiares aos alunos, como um canal de informação, atraindo desta forma a curiosidade, instrumento fundamental para aprendizagem. Porém, a escola e os educadores, também devem assumir este papel de fazer com que o aluno tenha contato com a descoberta, com conteúdos e dinâmicas que desenvolvam a inquietude que a ciência exige.

Diante do exposto, este estudo tem potencial relevância, no contexto do emprego de novas metodologias para o ensino de física, pois aborda de forma interativa e dinâmica o ensino das ciências, com o foco

na FPE para sala de aula, despertando a curiosidade dos estudantes, mostrando que a física está mais próxima deles do que possam imaginar.

Este pode ser, contudo, um desafio do ponto de vista da abordagem em sala, uma vez que a apresentação de conceitos e fenômenos associados às interações fundamentais entre partículas elementares requer um bom nível de abstração, pelo fato de processos na escala subatômica não serem visualizados de maneira direta. Em princípio, a contextualização dos mesmos com a vida cotidiana parece um desafio insuperável para a realidade atual do Ensino Médio (EM) nas escolas brasileiras.

Contudo, contextualizar esses fenômenos pode servir de elemento motivacional para explorar conceitos da Física Moderna e Contemporânea (FMC), que são a base para uma gama de desenvolvimentos científicos recentes. Esta tarefa, embora árdua, pode constituir-se num exercício produtivo para a formação de estudantes mais interessados e de cidadãos com maior grau de instrução científica.

Para atender as proposições da dissertação, os tópicos abordados serão tratados em capítulos, sendo eles: Capítulo 1: Expomos de forma objetiva a relevância da introdução do EFP para o EM, numa abordagem científica. Capítulo 2, problematizamos a questão do ensino da FMC no ensino médio, em particular da FPE, discutindo a introdução de estratégias de gamificação aplicada ao ensino. No Capítulo 3, apresentamos o panorama geral do MP e suas partículas elementares, bem como a importância e os desafios dos aceleradores de partículas no avanço da fronteira do conhecimento científico sobre a estrutura elementar da matéria. No Capítulo 4, contextualizamos a sequência didática, apresentando as principais etapas para sua aplicação, por meio das atividades interativas e gameficadas. Destacamos o processo de agendamento e realização da visita virtual ao experimento Compact Muon Solenoid (CMS) do Grande Colisor de Hádrons (LHC – Large Hadron Collider, em inglês). No Capítulo 5, apresentamos um relato de aplicação da sequência de ensino proposta, em formato de atividades gameficadas para uma turma de 44 alunos do 3º ano do Ensino Médio do Instituto Federal Catarinense – Campus Fraiburgo (IFC – Fraiburgo). Por fim no Capítulo 6, apresentamos as conclusões deste trabalho, no qual discutimos acerca da necessidade de atualização tanto da estrutura curricular quanto da capacitação de professores no que tange ao ensino de Física nas escolas; produzindo, em particular, reflexões sobre a inserção de conteúdos da FMC no âmbito do Ensino Médio, utilizando as tecnologias de informação e comunicação como aliados no processo ensino-aprendizagem.

2 FÍSICA DE PARTÍCULAS ELEMENTARES NO ENSINO MÉDIO

A ciência é um fenômeno sociocultural e atemporal, que causa impactos na vida dos indivíduos desde sempre. Pode-se ver sua interferência na produção de alimentos, nas telecomunicações (mídias sociais, celulares, computadores, etc), navegação, exploração espacial, na saúde (raio-x, ultrassonografia, etc) e tantas outras alterações no cotidiano dos indivíduos. Nesse contexto estudar ciência “permite uma interação mais consciente e autônoma do sujeito com o ambiente e sociedade em que vive” (BLAINEY, 2008).

Por conseguinte, os princípios físicos explicam muitos fenômenos do cotidiano, permitindo ao aluno fazer a distinção entre os conceitos de calor e temperatura, ondas e eletromagnetismo, entre outros. Por outro lado, a física é uma ciência que se une, por exemplo, com a matemática e a química, “juntas procuram a interação entre o pensar e o fazer, entre o experimento e a prática, entre as fórmulas e as ações, ou seja, confirma a crença filosófica contemporânea na inseparabilidade entre pressupostos teóricos e experimentos” (OSTERMANN, 1999, p.02).

Deste modo, levar o tema FPE para o ensino médio, é uma provocação para o estímulo de novas abordagens para o ensino da física, com ênfase em linguagem e aproximação com a realidade dos alunos de hoje.

2.1 Porque Ensinar Física de Partículas Elementares no Ensino Médio

Por certo, percebe-se que há uma nova vertente de autores, que inserem em seus livros didáticos tópicos sobre a FMC e, em particular sobre a FPE. Constatou-se que no Portal do MEC (www.fnde.gov.br/pnld-2018), os livros que estão disponíveis para escolha dos professores, na grande maioria não abordam estes temas. Por outro lado, citamos abaixo alguns materiais didáticos relevantes nesse contexto:

Tabela 1: Lista de livros didáticos em física no portal MEC.

Referência	Conteúdo
PIQUEIRA, José Roberto Castilho, CARRON, Wilson, GUIMARÃES José Osvaldo de Souza. <i>Física</i> . Editora Ática 1ª edição 2013	Unidade 4, os tópicos: O muito pequeno e o muito grande: Os pilares da Física moderna; Física nuclear; Cosmologia e partículas elementares. 2. Quanta física
KANTOR, Carlos Aparecido (org.). <i>Quanta física: ensino médio</i> . Editora Pearson 2ª ed. 2013	Unidade 01, traz: Radiações, Materiais, Átomos e Núcleos; As radiações e matéria; O átomo quântico; As radiações, o núcleo atômico e suas partículas; Estrutura da matéria e propriedade dos materiais.

Fonte: autor

Embora no referido site haja apenas estas duas referências, é possível encontrar outros autores que abordam em seus livros didáticos, o tema ensino das partículas elementares numa nova perspectiva didática.

Por exemplo podemos citar os seguintes livros de divulgação científica:

Tabela 2: Livros didáticos e de divulgação científica sobre o tema “Física de Partículas Elementares”.

Referência	Conteúdo
ABDALLA, Maria Cristina Batoni. <i>O discreto charme das partículas elementares</i> . Ed. Unesp. 2006	Traz de forma lúdica a teoria desde a Grécia ao modelo atômico e as partículas elementares.
GILMORE, Robert. <i>O mágico dos Quarks</i> . Ed. Zahar. 2002	Utilizando os personagens infantis para explicar sobre o mundo das subpartículas.
GRIFFITHS, David. <i>Introduction to elementary particles</i> , Reed College. 2004.	De forma aprofundada e histórica o autor apresenta o MP e a FPE, sob um ponto de vista da física
ROSENFELD, Rogerio. <i>O cerne da matéria: a aventura científica que levou à descoberta do</i>	Uma revisão sobre o MP, à luz dos principais desenvolvimentos científicos e tecnológicos relacionados à Física de

bóson de Higgs. Ed. Companhia das Letras. 2016.	Altas Energias, sob a perspectiva de evolução dos aceleradores.
---	---

Fonte: Autor

Além destes, citamos também como contribuições relevantes (e que serviram de referência para elaboração deste trabalho) para inserção de novas estratégias de ensino-aprendizagem as seguintes dissertações e materiais instrucionais:

Tabela 03: Dissertações que serviram de referência para elaboração deste estudo

Dissertações
BONETTI, Valéria Jerzewski. <i>Partículas elementares e interações: uma proposta de mergulho no ensino e aprendizagem através de uma sequência didática interativa</i> . Rio Grande: FURG/IMEF, 2015.
GOMES, Roberto Rodrigues. <i>O modelo padrão no ensino médio: Um tratamento elementar</i> . Universidade Federal de São Carlos, 2017.
BALTHAZAR, 2010: <i>Partículas Elementares no Ensino Médio: uma abordagem a partir do LHC</i> . Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, Campus Nilópolis (IFRJ). 2010
RÉ, Ricardo Luís. <i>Física de partículas na Escola, um jogo educacional</i> . Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). 2016

Fonte: Autor

Em um estudo sobre a viabilidade de apresentar o ensino de Física Moderna e Contemporânea (FMC), para o EM, com conteúdo da Física de Partículas Elementares (FPE), os autores Ostermann e Moreira (2000, p.11) argumentam que:

“(…) E viável ensinar FMC no EM, tanto do ponto de vista do ensino de atitudes quanto de conceitos. É um engano dizer que os alunos não têm capacidade para aprender tópicos atuais. A questão é como abordar tais tópicos(…) se houve dificuldades de aprendizagem não foram muito diferentes das usualmente enfrentadas com conteúdos da física clássica (...). Os alunos podem aprendê-la se os professores estiverem adequadamente preparados e se bons materiais didáticos estiverem disponíveis”.

Nota-se, portanto, que a discussão sobre a atualização curricular, no ensino da física, mais do que permear as reuniões acadêmicas, necessita alinhar didática com a prática, aluno com conteúdo, realidade com discurso.

O ensino de FPE no EM contribui para dinamização, modernização e gera um novo saber sobre a natureza e o universo, tendo como norteador o ensino do modelo padrão e suas partículas elementares.

Ostermann destaca a relevância do tema (1999, p. 434), como sendo:

“(...)grande potencialidade deste tema é a oportunidade que este oferece para a compreensão do processo de produção do conhecimento científico. Os vários episódios históricos envolvendo o avanço desta área de pesquisa mostram quanto os físicos teóricos e experimentais uniram esforços na busca de uma compreensão maior da natureza da matéria. Foram necessários grandes investimentos tecnológicos para que se chegasse ao modelo padrão atual. O caráter construtivo, inventivo e não definitivo do conhecimento também pode ser ilustrado, a partir de uma leitura histórica dessa fascinante área da Física.”

Embora tais mudanças sejam gradativas e tenham contribuído para inserção da FPE no ensino médio, sua utilização em sala de aula ainda exige esforços relevantes, incluindo habilidade e conhecimento didático que auxiliem na compreensão do conteúdo pelos alunos.

As novas tecnologias de informação e comunicação e ambientes virtuais de ensino aprendizagem, são ferramentas disponíveis para promover o ensino da FPE. Dentre eles cita-se o link da página do CERN (<https://home.cern/>)¹, que na atualidade oferece alguns subsídios científicos e didáticos interativos para compreensão da física de partículas, no qual os docentes e discentes podem conhecer, por exemplo, o mecanismo de operação do Large Hadron Collider (LHC).

¹ Alguns links sugeridos para conhecimento:
<http://beamline-for-schools.web.cern.ch/>.
<https://home.cern/about/experiments/alice>.
<https://home.cern/about/experiments/cms>

Com relação à legislação educacional, nas últimas décadas no Brasil, várias propostas surgiram numa tentativa de modificar e atualizar o currículo do Ensino Médio, dentre elas, destacam-se a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (BRASIL, Lei n. 9.394, 1996), os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) e os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio, indicando desta forma a necessidade de assegurar um currículo capaz de gerar “integração entre os seus sujeitos, o trabalho, a ciência, a tecnologia e a cultura, tendo o trabalho como princípio educativo, processualmente conduzido desde a Educação Infantil” (BRASIL, 2013, p.40), numa tentativa de diminuir a distância da vida escolar e as práticas sociais dos alunos.

As orientações curriculares complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 2006, p.70) apontam que o ensino da FPE e de outros tópicos da FMC:

“serão indispensáveis para permitir aos jovens uma compreensão mais abrangente sobre como se constitui a matéria. A compreensão dos modelos para a constituição da matéria deve, ainda, incluir as interações no núcleo dos átomos e os modelos que a ciência hoje propõe para um mundo de partículas”.

Ainda sobre isso, os Parâmetros Curriculares Nacionais afirmam que é “inegável que a escola precisa acompanhar a evolução tecnológica e tirar o máximo de proveito dos benefícios que esta é capaz de proporcionar.” (BRASIL, 2006, p.88). Assim, embora o processo de inserção das tecnologias ocorra lentamente na educação é necessário salientar que:

“qualquer olhar sobre a sociedade atual percebe a presença da tecnologia estendendo suas influências sobre quase todos os campos do agir humano e do saber social, do sistema como um todo ao indivíduo isoladamente. As relações interpessoais estão hoje fortemente intermediadas por instrumentos informáticos e telemáticos: a eletrônica de forma crescente permeia a comunicação entre os indivíduos. A consequência disso seria também a presença dessa mesma tecnologia nos procedimentos educacionais, nas atividades pedagógicas de uma sala de aula. Entretanto,

parece que isto está acontecendo de forma muito lenta e diversificada”. (COELHO, 2002, p. 9)

Trata-se então de promover uma abordagem coerente ao ensino de tópicos associados à FMC no EM, tendo em vista a necessidade da atualização curricular já mencionada.

Ademais, há em torno da reforma da educação no Brasil, principalmente após o Congresso Nacional, aprovar a medida provisória do novo Ensino Médio, na qual além de mudanças estruturais, propõe-se o aumento da carga horária de 800 horas para 1400 horas, fato este que implicará de modo significativo a grade curricular do Ensino Médio. Esta medida provisória propõe para a disciplina de física seis Unidades Curriculares que são elas:

- Unidade Curricular I – Movimentos de Objetos e Sistemas;
- Unidade Curricular II – Energia e suas transformações;
- Unidade Curricular III – Processos de Comunicação e Informação;
- Unidade Curricular IV – Eletromagnetismo – Materiais e Equipamentos;
- Unidade Curricular V – Matéria e Radiações – Constituições e Interações;
- Unidade Curricular VI – Terra e Universo – Formação e Evolução.

Nessa proposta as Unidades curriculares I e II são caracterizadas como Estudos Introdutórios de Física, as Unidades III e IV como Estudos Intermediários e as Unidades V e VI como Estudos Avançados de Física.

Visando atender as necessidades da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) tendo como enfoque a preocupação com uma aprendizagem significativa aos nossos alunos o conhecimento da física foi organizada a partir dos eixos normativos presentes na BNCC (2016) que são: “Conhecimento conceitual; Contextualização social; cultural e histórica dos conhecimentos das Ciências da Natureza; processos e práticas de investigação em Ciências da Natureza e Linguagens usadas na Ciência da Natureza”.

Tais conceitos serão organizados de maneira a proporcionar uma visão histórica e social, possibilitando uma visão de construção do conhecimento em diálogo constante com o mundo natural e social, mostrando que a ciência é formada por rupturas e continuidades, onde muitas vezes os conceitos são aprofundados de maneira gradual, na busca por respostas como “O que é fundamental?”. Pretende-se, assim, propiciar uma abordagem que forneça, ao ensino médio uma visão sobre a natureza

das interações fundamentais entre os entes mais básicos que a constituem, visando aplicação deste conteúdo em estratégias didáticas para o Ensino Médio.

Nesse âmbito, entendemos que o caminho natural seja apresentar aos estudantes o panorama geral do que se sabe atualmente sobre a estrutura elementar da matéria, isto é, fornecer-lhes uma visão básica do MP das Partículas Elementares. Nesse ponto vale destacar que trata-se, atualmente, da “melhor teoria sobre a natureza jamais elaborada pelo homem, com muitas confirmações experimentais”. (MOREIRA, 2007).

2.2 Uso da gamificação como estratégia de ensino

Ensinar é um processo cíclico, que historicamente se transforma e altera a sociedade, tendo caráter formador de opinião, dessa forma as pessoas iniciam o processo de entendimento e criticidade do mundo. Atualmente encontramos nas salas de aula, os nativos digitais, que nas palavras de Prensky (2010, p.1), são os estudantes “falantes nativos da linguagem digital dos computadores, vídeo games e internet”, os quais esperam dos educadores uma metodologia diferente, que ensine o conteúdo com uma nova linguagem.

Estes alunos nativos digitais, tão adaptados aos jogos eletrônicos e mídias sociais são “ágeis com os computadores, têm dificuldades com as estruturas escolares tradicionais e, muitas vezes, com os relacionamentos interpessoais, uma vez que a comunicação verbal é dificultada pelas tecnologias presentes a todo o momento” (SANTOS NETO e FRANCO, 2010, p. 14). Portanto, podemos dizer que, com relação as gerações anteriores há uma ruptura na forma de se relacionar com o mundo.

A nova forma de ensinar precisa acompanhar estas transformações, exigindo que o educador encontre maneiras de promover e estimular o aprendizado, sendo um facilitador nesse processo de conhecimento, tendo a tecnologia a seu favor. Nas palavras de Moran (1999, p.01), compete ao educador fazer com que o aluno acredite em si, que se sinta “seguro, que se valorize como pessoa, que se aceite plenamente em todas as dimensões da sua vida. Se o aluno acredita em si, será mais fácil trabalhar os limites, a disciplina, o equilíbrio entre direitos e deveres, a dimensão grupal e social”.

A utilização da gamificação, que é um fenômeno emergente da cibercultura, é uma forma de flexibilizar, engajar e gerar mudanças positivas de comportamento do aluno, estando voltada para aprendizagem de determinados conteúdos escolares, “como potencial para estabelecer

uma interlocução diferenciada com os sujeitos de forma atraente e produtiva, promovendo uma maior apreensão, difusão e construção do conhecimento” (OLIVEIRA, 2015, p.121).

Segundo Kapp (2012), gamificação é “uma aplicação apropriada de três elementos dos jogos, mecânica, estética e conceito, com o objetivo de proporcionar o engajamento entre as pessoas, motivar ações, encorajar a aprendizagem e promover a resolução de problemas”, de forma organizada, planejada e orientada pelo professor.

Pode-se dizer que a gamificação consiste em utilizar vários elementos de jogos, que serão escolhidos com base no perfil dos usuários, onde terão recompensas estimuladores e motivacionais, para assim gerar mudanças de comportamento, compromisso, diversão e observação, conforme mostra a Figura 1 abaixo:

Figura 1: Etapas da gamificação



Fonte: Adaptado de Marczewski, 2013

Esta Figura mostra de forma simplificada as etapas da gamificação, sendo norteadora para o educador estabelecer as primeiras diretrizes para a utilização da gamificação, pois como visto, para cada etapa haverá um estudo, uma análise e a sua importância está na compreensão do processo

como um todo, onde as etapas se interligam e são codependentes umas das outras.

Desta forma a gamificação enquanto nova estratégia didática, estimula, motiva, favorece e concretiza a interação da aprendizagem colaborativa, onde a comunicação e a relação entre educador e educando se aproximam e criam uma nova forma de aprender e ensinar. A aprendizagem permite que um grupo desenvolva abordagens inovadoras para solucionar problemas, desenvolver e compartilhar novas habilidades e conhecimentos com o passar do tempo, e seja capaz de mudar normas e procedimentos em resposta a novas circunstâncias externas (LIZEO e GONÇALVES, 2004).

Assim, de forma geral, a gamificação exige um novo pensar dos educadores, uma vez que precisam estimular o aluno a ser um “pesquisador, de pensador e gerador de significados, que constrói suas próprias aprendizagens refletindo sobre o mundo ao seu redor. Nesse contexto, julgou-se importante captar a opinião de pessoas relacionadas à educação sobre a proposta da gamificação” (PRENSKY, 2010).

Usar a gamificação como método de ensino permitirá ao educador incluir resolução de problemas e desafios, de forma que estimule o aprendizado de forma divertida, didática e motivadora, utilizando aspectos mais próximos da realidade destes jovens. Enquanto o aluno joga, “as capacidades mental e emocional são totalmente ativadas, despertando estímulos visíveis em sua feição, como senso de urgência e um pouco de medo, mas ele mantém sua concentração intensa e foco profundo ao lidar com o problema virtual” (MCGONIGAL, 2010).

Em suma o aluno estimulado a dar sequência no cumprimento das tarefas fica engajado e comprometido com o processo de ensino-aprendizagem, porém estas motivações precisam estar equilibradas entre o aprendizado e a recompensa de cada etapa vencida, visto que o desequilíbrio, nas palavras de Smith (2014), gera competitividade excessiva, alienação de membros da equipe e conflitos entre jogadores.

Segundo o autor Paganini (2016, p.18), “conclui-se que é possível criar uma atividade educacional gamificada, pois mesmo sem o conhecimento da gamificação os seus mecanismos já estavam presentes em atividades dialéticas tradicionais”; significando que, muitos professores já usam da técnica mesmo sem o conhecimento aprofundado da mesma, na busca de uma maior atenção e dedicação de seus alunos.

Apesar da vasta possibilidade de aplicação da gamificação enquanto estratégia de ensino-aprendizagem, alguns cuidados são necessários para utilização desta metodologia. A seguir abordamos as

principais virtudes e desafios relacionados ao uso da gamificação no ensino.

2.3 Desafios e virtudes da gamificação

Parte-se da premissa que docente e discente, estão voltados para um novo método de ensino e aprendizagem, onde juntos compartilham do interesse e do desejo de ensinar e aprender, desta forma há desafios e virtudes na aplicação da gamificação onde, se implementada corretamente, pode estimular reações positivas como, aprendizado, motivação, socialização, comunicação, colaboração, competição, curiosidade, entre outros. Segundo Morris (2004, p.72), este processo poderá trazer “à tona o que há de melhor em você e o que sabe, fazendo o mesmo com seu parceiro, e juntos vocês podem agir de forma que talvez não estivessem disponíveis a um ou outro isoladamente”.

Por conseguinte, professor e aluno constroem uma rede de comunicação, de confiança e de troca de conhecimentos, capazes de extrapolar os limites da sala de aula, explorando territórios novos, onde a aprendizagem e avaliação acontecem por meio da “experiência de participar; de colaborar, de criar, de co-criar realizada pelos aprendizes e não a partir de sua récita, do falar-ditar. Isso significa modificação no clássico posicionamento na sala de aula” (SILVA, 2006, p.32).

Nas palavras de Freitas & Freitas (2003, p.21), encontram-se outras virtudes da gamificação no ensino:

- “1. Melhoria das aprendizagens na escola; 2. Melhoria das relações interpessoais; 3. Melhoria da autoestima; 4. Melhoria das competências no pensamento crítico; 5. Maior capacidade em aceitar as perspectivas dos outros; 6. Maior motivação intrínseca; 7. Maior número de atitudes positivas para com as disciplinas estudadas, a escola, os professores e os colegas; 8. Menos problemas disciplinares; 9. Aquisição das competências necessárias para trabalhar com os outros; 10. Menos tendência para faltar à escola”.

Em vista disso, este método quando bem planejado e aplicado pelo educador, promove “facilitação de desenvolvimento de atividades em grupo, a recuperação do caráter saudável das brincadeiras e o desenvolvimento de habilidades motoras e relativas à coordenação”

(MUNHOZ, 2014, p.9), pois aproxima teoria e realidade. Ainda nesse sentido, nas palavras de Alves (2014, p.16), a gamificação permite explorar vários cenários em sala de aula que “potencializam, o desenvolvimento de habilidades cognitivas (planejamento, memória, atenção, entre outros), habilidades sociais (comunicação assertividade, resolução de conflitos interpessoais, entre outros) e habilidade motoras”.

Esta quebra de paradigma sociocultural, em que se encontram gerações de tecnologias, de linguagem e de comunicação, que estão em constante movimento, afetam diretamente a maneira de ensinar, assim a educação continuada dos professores pode minimizar estas lacunas deixadas na formação inicial. Sobre isso Paiva (2010, p.545), reflete que:

“a formação continuada, entendida como exigência inerente à atividade profissional de docentes no mundo atual, não pode, pois, constituir ação compensatória da formação inicial: de caráter reflexivo, a formação continuada considera o professor sujeito da ação, valoriza suas experiências pessoais, suas incursões teóricas, seus saberes da prática e possibilita-lhe que, no processo, atribua novos significados à sua prática e compreenda e enfrente as dificuldades com as quais se depara no dia a dia”.

Mediante o exposto, a gamificação convida o professor a sair da sua zona de conforto, reavaliando sua prática em sala de aula.

Assim sendo, um dos desafios do uso da gamificação no ensino, é promover junto aos educadores, informações sobre seus métodos, processos e estratégias.

Outro fator desafiador é manter a atenção dos alunos, pois com frequência o professor aborda suas temáticas de forma didático-interativa. Em contrapartida, compreende-se que o educador deva passar por um processo crítico-reflexivo, no sentido de repensar as práticas pedagógicas, desse modo passa a “utilizar-se de sua criatividade para criar múltiplos recursos para o Ensino de Física de Partículas Elementares” (LOZADA e ARAUJO, 2007, p.9), com vistas à ampliação do seu papel como um facilitador na autonomia e aperfeiçoamento do conhecimento.

Além dos aspectos já mencionados, há outras dificuldades encontradas no processo do ensino da física, que são decorrentes da mensagem emitida pelo professor e a forma com que o aluno recebe e

depois aplica como conhecimento. Nas palavras de Villani (1984, p.76-77):

“Quando um docente prepara uma aula normal de Física, considera que seus estudantes conheçam bem pouco do assunto estudado ou, no máximo, que eles tenham informações distorcidas a respeito. Consequentemente, sua meta torna-se preencher as lacunas dos alunos, em primeiro lugar com exposições de leis e fórmulas fundamentais, e depois com exercícios e problemas nos quais as mesmas leis são utilizadas... muitos professores reconhecem que o que foi aprendido pelos estudantes raramente ultrapassa o mero significado instrumental de ser o indispensável para “passar” nas provas”.

Uma outra consideração é a respeito da preparação da infraestrutura das escolas. Neste sentido, a escola por sua vez precisa participar deste processo de atualização, proporcionando consonância entre a realidade externa e interna dos seus portões, “permitindo que o aluno seja um indivíduo autônomo, dotado de competências flexíveis e apto a enfrentar as rápidas mudanças que a tecnologia vem impondo à contemporaneidade” (BRASIL, 2006, p.229 e 230).

Um último e importante obstáculo reside na incorporação do conteúdo de física moderna e contemporânea no ensino médio, com uma carga horária que permita aos educadores utilizar estratégias de ensino como a gamificação, de forma dinâmica e aprofundada.

2.4. Sobre o uso de simulações e atividades virtuais para o ensino da Física de Partículas Elementares no Ensino Médio

Por um lado, o ensino tradicional dificulta sobremaneira o processo de aprendizagem dos alunos da atual geração, os nativos digitais. Por outro, a abstração inerente aos estudos de muitos fenômenos analisados pela física, tornam o processo de ensino um grande desafio para os professores.

Os professores, nesse sentido, enfrentam também o desafio de se apropriarem dos recursos utilizados pelos nativos digitais. Visto que a formação é na cultura oralista e presencial, podemos assim, classificá-los como imigrantes digitais, estes “usam uma linguagem ultrapassada (da era pré-digital), estão lutando para ensinar uma população que fala uma linguagem totalmente nova” (PRENSKY, 2010, p.10).

Diante do exposto, nem sempre palavras, gestos e leituras favorecem a compreensão da mensagem emitida pelo professor, assim as simulações e atividades virtuais surgem como ferramentas didáticas que permitem “aos alunos observar em alguns minutos a evolução temporal de um fenômeno que levaria horas, dias, meses ou anos em tempo real, além de permitir ao estudante repetir a observação sempre que o desejar” (TAVARES, 2008).

Desta forma, conceitos e conteúdos da FPE, poderão ser compreendidos pelos alunos “se os professores estiverem adequadamente preparados e se bons materiais didáticos estiverem disponíveis” (OSTERMANN e MOREIRA, 2000, p. 11). Isso quer dizer que existe a possibilidade de utilizar recursos dinâmicos, como o uso das simulações, atividades virtuais, experiências, uso de laboratórios (virtuais ou não) para fins do ensino de física.

Conforme definição de Pegden (1990, p. 433) simulação é o “processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos com esse modelo com o propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégia para a sua operação”, nesse mesmo sentido Santos (2006, p.86) afirma que as simulações são “ferramentas computacionais capazes de auxiliar na construção do conhecimento e podem ser usadas para ressignificar o conhecimento mediante significados claros, estáveis e diferenciados previamente existentes na estrutura cognitiva do aprendiz.”

Elas proporcionam ambiente interativo, combinando um conjunto de variáveis que demonstram um determinado fenômeno da física, capaz de ser reproduzido e interpretado a partir de animação de sistemas dinâmicos. Dessa forma, as simulações e atividades virtuais revelam grandes potencialidades (do ponto de vista da análise de modelos e teorias) para o ensino de física, uma vez que:

“se fundamenta no fato das leis naturais serem expressas por modelos teóricos. Tais princípios quando reproduzidos no computador, dão ao estudante a possibilidade de intervenção nesses modelos. Com isso as ações dos aprendizes ultrapassam a posição de meros expectadores, colocando-os no papel de construtores e testadores de hipóteses” (LAPA, 2008, p. 28).

As simulações podem ser divididas em dois grupos: interativas e não interativas (COELHO, 2002). Nas simulações não interativas, o

usuário não pode alterar nenhum parâmetro da simulação. “Os simuladores não interativos servem para mostrar e ilustrar a evolução temporal de algum evento ou fenômeno.” (HECKLER, 2004, p. 24). Desta maneira, entende-se que o papel da simulação, quando aliada ao embasamento teórico e a roteiros de desenvolvimento de atividades exploratórias pode vir a complementar o processo de ensino-aprendizagem. Contudo, o professor deve ter cuidado em planejar esta atividade, levando em consideração tempo e conteúdo, pois:

“Se essa modelagem não estiver clara para professores e educandos, se os limites de validade do modelo não forem tornados explícitos, os danos potenciais que podem ser causados por tais simulações são enormes. Tais danos tornar-se-ão ainda maiores se o modelo contiver erros grosseiros”. (MEDEIROS; MEDEIROS, 2002, p. 81)

Cabe dizer que as simulações, por si só, não são garantias de aprendizado. Portanto, o educador precisa ter controle, conhecimento e habilidades para responder aos questionamentos, interagir e direcionar o processo de aprendizagem, de forma dinâmica, clara e interventiva, sempre que houver necessidade.

2.4.1 Simulações virtuais do site Phet

O site Phet (https://phet.colorado.edu/pt_BR/), oferece uma gama de simulações interativas e gratuitas, sendo selecionado por permitir a interação entre os fenômenos da física e o cotidiano do aluno. Além do acesso fácil, a navegabilidade é intuitiva, atraindo e permitindo ao usuário baixar e/ou instalar os arquivos sem maiores dificuldades, seja em casa ou na escola.

Nesse contexto, a principal função da simulação está relacionada ao fato de ser uma ferramenta valiosa para a aprendizagem, uma vez que a “finalidade de uso pedagógico da simulação pode ajudar a introduzir um novo tópico, construir conceitos ou competências, reforçar ideias ou fornecer reflexão e revisão final” (ARANTES, 2010, p.29).

No presente estudo, as simulações “Espalhamento Rutherford e Decaimento Beta”, fazem parte da atividade interativa e didática, utilizadas no sentido de aproximar dos alunos experimentos que seriam impossíveis de serem realizados da maneira tradicional, não somente pela

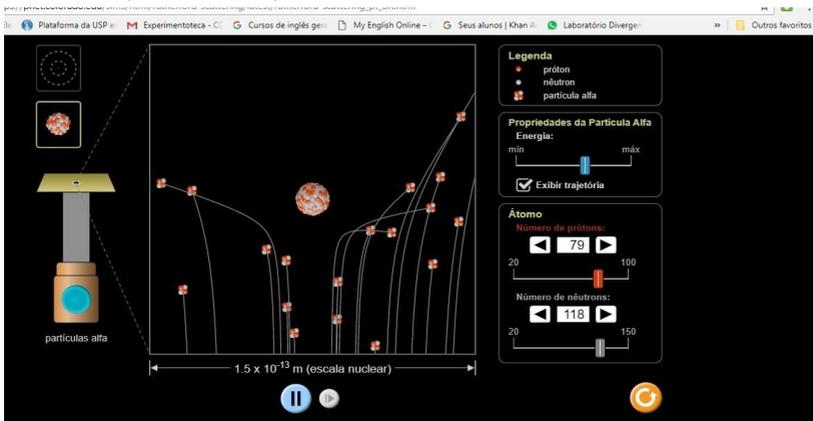
dificuldade de acesso aos materiais, mas também pelo tempo necessário para verificar alguns fenômenos.

Mais que a teoria, entender e visualizar nas simulações as descobertas de Rutherford, cientista responsável pelos estudos relativos ao decaimento dos elementos químicos, ganhador do prêmio Nobel de Química em 1908, torna o processo de aprendizagem mais educativo e familiar ao aluno. Ademais, nesse caso, as simulações permitem compreender à luz de um panorama simplificado (no sentido de serem modelos simulados que retratam, didaticamente, diversos aspectos físicos de interesse) como se dá o processo de sondagem da estrutura fundamental da matéria, a partir de um experimento de espalhamento (colisões entre partículas). Sob outro ponto de vista, o uso da simulação “Decaimento Beta” permite enfatizar a importância dos processos de decaimento (nos contextos da Física Nuclear e de Partículas Elementares), possibilitando estabelecer um canal possível de aprendizagem sobre formação de certas partículas elementares, tais como elétrons e os neutrinos em processos de transmutação (em última análise, entre sabores de quarks).

Com efeito, ambas as simulações são exploradas ao longo desse estudo com intuito de contextualizá-las com os processos de colisão (no sistema de centro de momentos) e decaimentos analisados em grandes aceleradores da atualidade, como o LHC.

As Figuras 2 e 3 abaixo, demonstram o experimento Rutherford, com o espalhamento das partículas alfa por um átomo de ouro. Nesse panorama apresenta-se a visão das partículas incidentes e na Figura 2, do ponto de vista do modelo atômico nuclear de Rutherford e na Figura 3; segundo o modelo de Thomson.

Figura 2: Representação visual da simulação Espalhamento Rutherford, na qual apresenta o espalhamento de partículas alfa por um núcleo de ouro no Modelo de Rutherford (átomo nuclear).



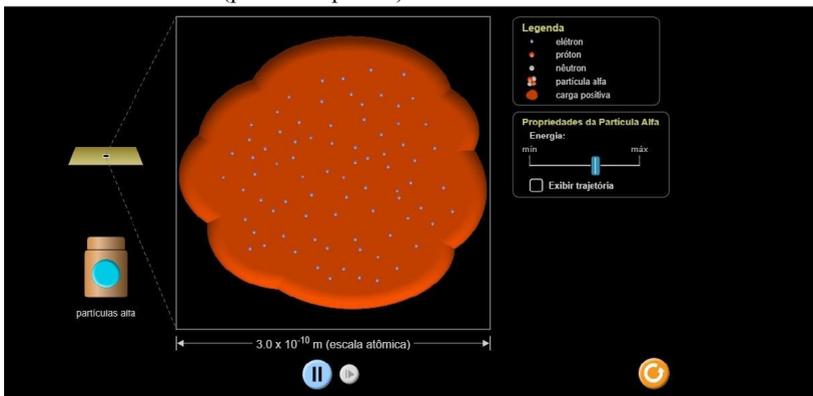
Rutherford

Átomo de Rutherford Átomo Pudim de Passas

PhET

Fonte: disponível em https://phet.colorado.edu/pt_BR/. Visualizado em: janeiro

Figura 3: Representação 2 do visual da simulação Espalhamento Rutherford, na qual apresenta o espalhamento de partículas alfa por um núcleo de ouro no Modelo de Thomson (pudim de passas).



de Rutherford

Átomo de Rutherford Átomo Pudim de Passas

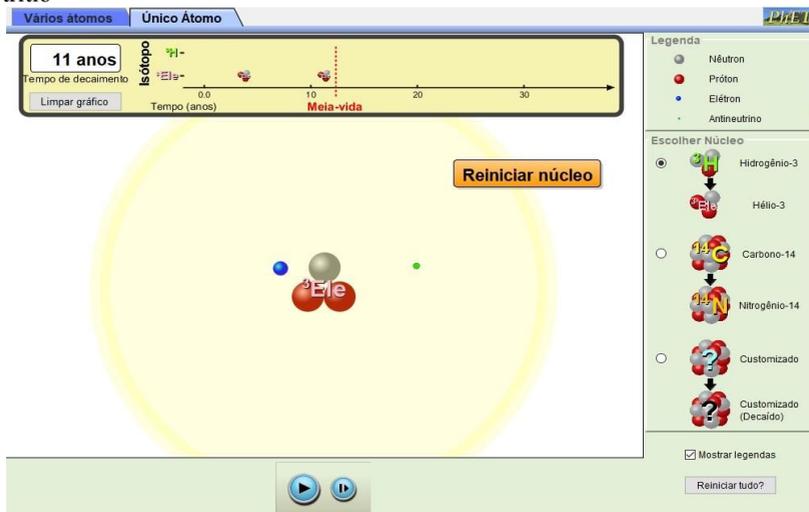
PhET

Fonte: disponível em https://phet.colorado.edu/pt_BR/. Visualizado em: janeiro 2018

Na Figura 4 abaixo, apresenta-se a formação de núcleo de ${}^3\text{He}$ a partir do decaimento beta do trítio: ${}^3\text{H} \rightarrow {}^3\text{He} + e^- + \bar{\nu}_e$ com a

consequente produção de suas partículas elementares: um elétron e um antineutrino do elétron.

Figura 4: Representação visual da simulação do decaimento beta de núcleo de trítio



Fonte: disponível em https://phet.colorado.edu/pt_BR/. Visualizado em: janeiro 2018

Dessa forma, cada proposta de simulação permite aos alunos relacionar conhecimento com imagem, experimentando a tecnologia como ferramenta de conhecimento. Nas palavras de Alexandre Medeiros e Cleide Farias Medeiros (2002), uma vez que as animações e simulações “são mais atrativas do que as imagens estáticas, é preciso tomar duplo cuidado, pois este meio pode servir, também, para comunicar imagens distorcidas da realidade com eficiência igualmente maior do que as Figuras estáticas”.

Em síntese, a contribuição das simulações para o ensino de FPE está em proporcionar elementos virtuais, dinâmicos e interativos, ampliando as possibilidades de um ensino-aprendizagem.

2.4.2 Visita virtual ao experimento CMS do LHC

Reconhecidamente o CERN é não só um grande centro produtor de conhecimento científico e tecnológico de ponta, mas também um

grande centro de divulgação de ciência. Nesse sentido, é possível visitar suas dependências e participar de palestras, etc. Além disso, atualmente é possível ter acesso a algumas de suas dependências de forma virtual, a partir de links de acesso do Google Maps e Street View: <https://visit.cern/tours/online-visits>.

O LHC, instalado nas dependências do CERN - atualmente o maior acelerador de partículas do mundo é capaz de promover colisões entre prótons e núcleos em altíssimas energias, tipicamente da ordem de 10TeV². Nele, pode-se acelerar prótons até a velocidade $v = 0,999999991c$ ³ onde c é a velocidade da luz no vácuo, de modo a produzir colisões no sistema de centro (c.m.) de momentos⁴. Nesta velocidade, a energia gerada de cada próton pode chegar a 7000GeV, logo os prótons em cada um dos feixes do anel principal do LHC podem atingir 7TeV de energia, portanto, o LHC, atualmente pode chegar a 13TeV, por questões técnicas. Assim, os prótons de cada feixe possuem 6,5TeV e não 7,0 TeV.

Esse, e outros aspectos da física do LHC podem ser apresentados ao público geral de maneira didática por membros das diversas colaborações, como CMS e ATLAS. Por meio de programas de divulgação, essas colaborações disponibilizam a docentes de todo o mundo (de todos os níveis) a possibilidade de realizar visitas guiadas por membros da colaboração com transmissão ao vivo (maiores detalhes sobre a visita são fornecidos na Seção 4.4.1) às suas salas de controle, centros de processamento de dados e detectores (quando o LHC se encontra em período de parada técnica). Parte substancial do estudo aqui

² O elétron-volt (eV) – e seus múltiplos (MeV, GeV, TeV, etc) – é usado como unidade de energia na escala de processos atômicos e subatômicos; em particular, na Física de Altas Energias. Lembrando que $1\text{ eV}=1,6\times 10^{-19}\text{ J}$

³ Fonte: https://www.lhc-closer.es/taking_a_closer_look_at_lhc/0.relativity

⁴ Ao contrário dos experimentos de alvo-fixo (por vezes referido como, sistema de laboratório), no qual um feixe de partículas incidentes atinge um alvo em repouso, no sistema de centro de momento dois feixes de partículas (e.g. de prótons), colidem frontalmente um contra o outro. De modo geral, num processo de colisão do tipo $a+b\rightarrow c+d$, a energia total disponível nesse sistema (E_{cm}) relaciona-se com a energia no sistema de laboratório (E_{lab}) segundo a forma: $E_{cm}^2 = (m_a c^2)^2 + (m_b c^2)^2 + 2m_b c^2 E_{lab}$, onde m_a e m_b são as massas das partículas envolvidas na colisão. (YOUNG & FREEDMAN, 2016) Essa relação evidencia uma vantagem significativa de realizar colisões no sistema c.m., posto que, grosso modo, é necessária uma energia proporcional à raiz quadrada daquela que seria necessária utilizando o sistema de laboratório.

apresentado tem como base a realização de uma dessas visitas virtuais, em específico, ao detector CMS.

À luz do que discutimos anteriormente, isto é, de um processo de ensino e aprendizagem rico e substantivo, entendemos que conhecer as dependências de um grande acelerador como o LHC, bem como conhecer o tipo de estudo realizado pelos pesquisadores inseridos em grandes colaborações como o CMS constituem experiência importante do ponto de vista didático, uma vez que através dessas visitas os alunos podem compreender melhor os conceitos e fenômenos da física, permitindo fazer correlações entre conteúdos abordados sob o ponto de vista teórico.

“É indispensável que a experimentação esteja sempre presente ao longo de todo o processo de desenvolvimento das competências em Física, privilegiando-se o fazer, manusear, operar, agir, em diferentes formas e níveis. É dessa forma que se pode garantir a construção do conhecimento pelo próprio aluno, desenvolvendo sua curiosidade e o hábito de sempre indagar, evitando a aquisição do conhecimento científico como uma verdade estabelecida e inquestionável. Isso inclui retomar o papel da experimentação, atribuindo-lhe uma maior abrangência para além das situações convencionais de experimentação em laboratório” (BRASIL, 2006, p. 84).

Os conceitos e toda fundamentação teórica sobre MP, PE e LHC que estão abordados nos próximos capítulos, por exemplo, passam a ter significado para os alunos.

Por conseguinte, a visita virtual é percebida pelos alunos como um momento único e transformador, pois permite a cada um evidenciar na prática o que é estudado na teoria, tendo como inspiração o depoimento de pesquisadores renomados.

3 O MODELO PADRÃO DE PARTÍCULAS ELEMENTARES E A FÍSICA DOS ACELERADORES

De modo específico, o MP é uma teoria quântica de campos, desenvolvida no início da década de 1970 e que busca descrever de forma adequada muitos dos fenômenos físicos de natureza fundamental. De fato, trata-se de uma teoria inacabada e incompleta, mas que até o momento, representa a melhor alternativa para descrever a dinâmica das interações entre os constituintes elementares matéria que conhecemos. Como ressaltado em (MOREIRA, 2009, p.10) o MP “(...)identifica as partículas constituintes da matéria e descreve como elas interagem. Além disso, o faz apresentando várias simetrias e sempre buscando outras”.

De modo geral, esse modelo descreve as três formas de interação entre as partículas que são: (i) a interação eletromagnética (presente em uma gama de processos químicos e biológicos); (ii) a interação fraca (nos processos radioativos e decaimentos) e (iii) a interação forte (estabilidade do núcleo, por meio da interação dos quarks). De fato, enquanto uma teoria de campo robusta, no MP as interações eletromagnética e fraca são unificadas; sendo, portanto, manifestações de uma mesma interação para diferentes escalas de energia, a interação eletrofraca.

Nesse capítulo apresentaremos uma abordagem introdutória ao MP, voltada ao ensino médio, cujo panorama físico será muito mais centrado na identificação de seus elementos e interações do que, propriamente pautada na discussão sobre a formulação em termos de campos, simetrias e princípios de invariância. Ao leitor interessado indicamos a leitura de um texto que consideramos adequado para esses propósitos, a saber, o da Ref. (GRIFFITHS, 2004). Entendemos, contudo, que não se trata de uma limitação de abordagem, mas simplesmente de uma questão de escopo e adequação. No que segue apresentamos um panorama geral do MP, a partir do qual embasaremos nossa abordagem. Antes, contudo, fazemos uma breve reflexão sobre a necessidade de apresentar o MP no ensino médio, na qual abordamos os principais desafios para sua introdução já nesse nível.

3.1 Razões para abordar o Modelo Padrão no Ensino Médio

Estudar a física clássica é entender de forma macro os fenômenos do universo, enquanto que a física moderna inicia a investigação micro, a respeito da estrutura da matéria. Logo, a inserção do tema MP para o EM, é um grande desafio e uma necessidade que precisa ser suprida pelas

escolas, visto que o conhecimento resultante destes estudos, hoje estão presentes na medicina, tecnologia, entre outros.

Entretanto, na prática, o ensino de Física no EM, não acompanha todo o desenvolvimento, das descobertas pelo MP e se distancia cada vez mais das necessidades dos alunos em relação ao estudo de conhecimentos científicos atuais (OLIVEIRA; VIANNA; GERBASSI, 2007).

Terrazzan (1994) faz uma crítica aos currículos de Física, que em termos de Ensino Médio são muito pobres e todos semelhantes. Nos quais a Física que é ensinada fica demasiadamente concentrada nos conhecimentos científicos construídos em séculos passados e pouco evidencia a ciência deste século.

Segundo Ostermann (2000), existe um consenso entre os físicos e professores de física, quanto à necessidade de inserir temas da FMC nos currículos de física escolar. Por outro lado, é reduzido o número de trabalhos publicados que considerem essa problemática sob o ponto de vista do ensino, mais ainda, os que buscam inserir nas salas de aula estas propostas.

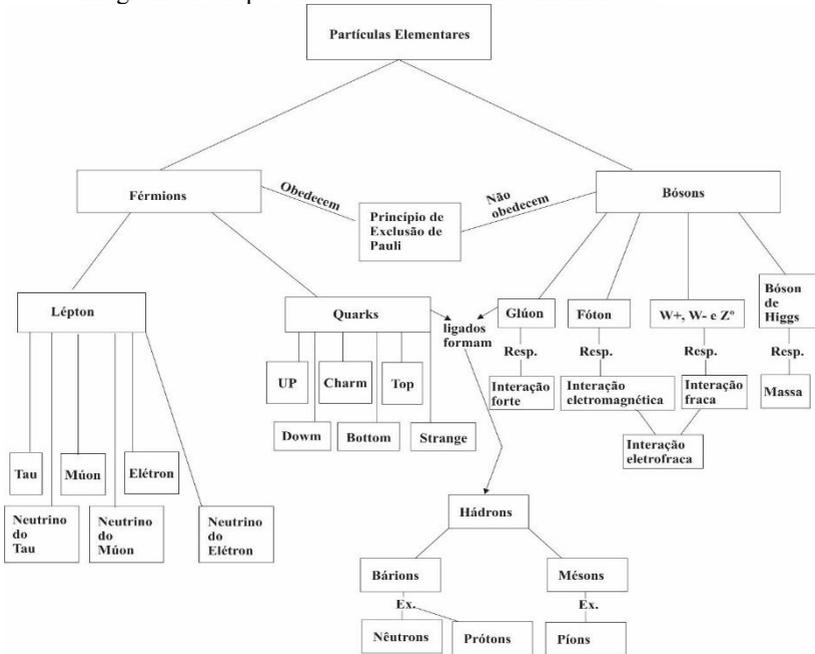
Nessa perspectiva, abordar o conteúdo MP contextualizado e integrado à vida de cada aluno, irá propiciar a compreensão e inserção consciente do aluno no mundo atual, de forma participativa e modificadora, nesse sentido cabe o debate e o estabelecimento das maneiras de se abordar tais conteúdos em sala de aula (TERRAZAN, 1994);

Numa perspectiva acadêmica, abordar o tema MP para o EM, é tão desafiador quanto é ensinar FPE, pelas mesmas circunstâncias já citadas no capítulo 2 desta dissertação.

Portanto, o que foi visto até o momento é a construção deste modelo, para na sequência abordar as partículas elementares e suas interações.

Antes da próxima seção, apresentamos um mapa conceitual do MP, cujo objetivo é mostrar de forma coesa e organizada as partículas elementares que formam a matéria. Esta estrutura hierárquica do mapa, apresenta o conteúdo de acordo com a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, onde as “ideias mais inclusivas ocupam uma posição no vértice da estrutura e subsumam, progressivamente, as proposições, conceitos e dados factuais menos inclusivos e mais diferenciados.” (AUSUBEL, 2003, p.166), contribuindo assim de forma eficiente para a construção do conhecimento do aluno.

Diagrama 1: Mapa conceitual das Partículas Elementares



Fonte: adaptado de Costa (2015)

Em síntese, o mapa permite saber o ponto de partida e chegada da construção conceitual das partículas, possibilitando também fazer uma analogia ao MP, visto que ele inclui as famílias dos:

“(1) os seis léptons, que não apresentam interações fortes; (2) os seis quarks, que são os blocos constituintes de todos os hádrons, e (3) as partículas mediadoras das diversas interações. As partículas mediadoras são os glúons para as interações fortes entre os quarks, os fótons para as interações eletromagnéticas, as partículas W e Z⁰ para as interações fracas.” (YOUNG & FREDMANN, 2016, p.477)

Nessa perspectiva, todas as partículas elementares ou são férmions (partículas que constituem a matéria) ou bósons (partículas de interação).

3.2 Um panorama geral do Modelo Padrão

O Modelo Padrão de Partículas Elementares (MP) pode ser dividido em três grandes grupos de constituintes: (i) os *léptons*; (ii) os *quarks* e (iii) os mediadores das interações (forte, fraca e eletromagnética); além do bóson de Higgs, fundamental para justificar a presença de massa dos constituintes do MP. Nas seções seguintes abordaremos em detalhe cada um desses grandes grupos.

Ao todo o MP é constituído por 61 partículas, sendo 6 sabores de quarks (cada qual com suas 6 antipartículas correspondentes), com três possíveis de carga de cor (sobre a qual discutiremos na Seção 3.6); o que dá um total de 36 partículas. Nele são previstos também 6 tipos de léptons (com suas respectivas antipartículas), totalizando mais 12 partículas. Além dos quarks e léptons, são incorporados no MP os mediadores da interação forte entre quarks - os *glúons* -, no total são 8; além do *fóton* e dos mediadores da interação fraca, W^+ e W^- (carregadas), e Z_0 (neutro de carga elétrica). No total, tem-se então $36 + 8 + 12 + 4 = 60$ partículas fundamentais, além do bóson de Higgs (ABDALLA, 2006).

As partículas da família de férmions (léptons e quarks) interagem trocando partículas virtuais (fótons, glúons, W e Z), nas palavras de Moreira (2009, p.1306-03), partícula virtual é “uma partícula que não aconteceu: não tem massa e existe apenas durante um curto período de tempo em uma pequena região do espaço”.

Existe na natureza quatro interações fundamentais: a forte, eletromagnética, gravitacional e fraca, e cada interação ocorre com a troca de partículas que são chamadas de Bósons Mediadores. Por sua vez os bósons W e Z são partículas mediadoras de interação fraca, pois são muito massivas e geram uma interação de ação limitada. Cada uma delas terá a interação com base na propriedade fundamental da matéria, ou seja, na sua “carga elétrica na interação eletromagnética, cor na interação forte (quarks) e no caso da interação fraca uma propriedade chamada carga fraca” (MOREIRA, 2007, p.13).

É comum pensarmos nas interações das partículas carregadas através das interações elétricas e magnéticas, porém podemos descrever essas interações a partir da emissão e absorção de fótons, “dois elétrons se repelem no momento em que um emite um fóton enquanto o outro absorve, do mesmo modo que dois patinadores podem se afastar quando

um joga uma bola grande para o outro.”⁵ (YOUNG & FREEDMAN, 2016, p. 459).

Com relação à interação eletromagnética ela é de longo alcance e fica mais intensa à medida que partículas carregadas se aproximam. Esse fato, amplamente conhecido do ponto de vista clássico, pode ser compreendido através da Lei de Coulomb, no caso simples de atração eletrostática.

A interação fraca é de curto alcance e em geral associada aos decaimentos nucleares (em essência decaimentos tipo beta), desta forma os “neutrinos são afetados, pois não possuem massa e nem carga. As partículas mediadoras são W_+ , W_- , Z ; estes são muito massivos, o que implica que a força fraca tem um raio de ação limitado” (OSTERMANN, 1999, p. 422).

No ano de 1933 Enrico Fermi introduz o conceito de interação fraca, usada para explicar os processos de decaimentos radioativos, mas na década de 1960 Sheldon Glashow, Abdus Salam e Steven Weinberg propõe a teoria que une a interação eletromagnética e a interação fraca, formando a interação eletrofraca.

A interação forte é também uma interação de curto alcance e que ocorre via interações entre cargas de cor. Os bósons mediadores das interações fortes são glúons, que possuem carga de cor. Partículas como léptons, fótons e os bósons W e Z não possuem carga cor, por isso não interagem via interação forte.

A teoria da interação forte é chamada de Cromodinâmica Quântica (em inglês Quantum Chromodynamics – QCD), cuja propriedade fundamental é o confinamento de quarks, e indica que esta interação é tão forte que não conseguimos ver de maneira isolada um quark, ressalta ainda que a cor é uma carga, análoga à carga elétrica, que é fonte da interação eletromagnética, sendo a carga cor a da interação forte.

Vale ainda destacar que, no caso da QCD a carga de cor desempenha um papel análogo ao carga elétrica na teoria eletromagnética, porém nesse caso são três os tipos de cores⁶ previstas: verde, vermelho e azul (RGB- Red, Green e Blue).

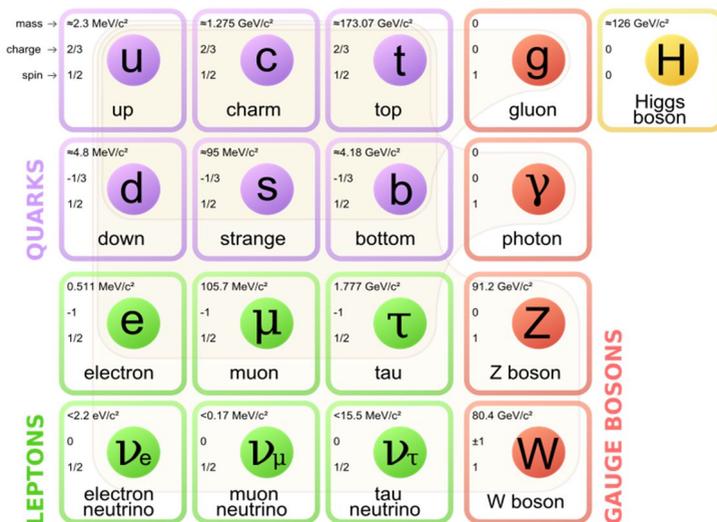
⁵ Essa analogia descreve apenas as interações de caráter repulsivas, por isso é incompleta. Contudo, para fins ilustrativos, achamos instrutiva utilizá-la.

⁶ Lembrado que a palavra "cor" não tem qualquer relação óbvia com a propriedade óptica de cor associada a objetos físicos, mas sim de um novo tipo de carga da natureza que possui a propriedade de ser neutra mediante a combinação de três cores distintas (i.e. verde+vermelho+azul= branco).

A seguir, discutiremos sobre uma classificação que consideramos um pouco mais abrangente e que permite agrupar de forma ainda mais sintética os constituintes do MP; isto é, discutiremos as descobertas de partículas. Por ora, cabe ressaltar que o MP na forma descrita acima “foi testado por muitos experimentos e provou ser particularmente bem-sucedido em antecipar a existência de partículas anteriormente não descobertas. No entanto, deixa muitas questões em aberto, que o LHC ajuda a responder.” (CERN, 2017, p.22).

Na Figura 5, apresentada abaixo, segue uma representação esquemática dos constituintes do MP, agrupados de maneira genérica em três grandes categorias: *léptons*, *quarks* e *bósons de calibre* (designação esta que incorpora os bósons mediadores e o bóson de Higgs). A leitura em colunas da Figura permite identificar ainda as três *gerações* de quarks e léptons do MP (em ordem crescente da esquerda para direita – i.e. 1ª geração = 1ª coluna e assim por diante).

Figura 5: Representação esquemática do Modelo Padrão de Partículas Elementares e seus constituintes.



Fonte:

https://en.wikipedia.org/wiki/Standard_Model#/media/File:Standard_Model_of_Elementary_Particles.sg. Visualizado em: novembro 2017

Apesar disso, muitas questões seguem sem resposta e, conforme aponta o autor Steinkich (2007, p.10) muitos são os problemas em aberto no MP, por exemplo:

“Como incluir a gravidade no MP? Abandonar o Modelo ou adaptá-lo? O MP descreve 3 gerações de partículas, sendo que o mundo cotidiano é explicado pela primeira geração. Por que não há mais gerações? As interações dos campos de Higgs (bóson de Higgs) fazem com que as partículas tenham massa. O MP ainda não consegue explicar as formas particulares das interações do bóson de Higgs. Mais desenvolvimentos em cima do Modelo explicarão essas interações? Como explicar as massas de elétrons, neutrinos, quarks e léptons pelo MP? Como explicar a expansão acelerada do Universo causada pela energia escura pelo MP? Como explicar a Inflação (logo após o Big Bang) pelos mesmos campos do MP? Já que o Universo começou com o Big Bang, como explicar que ele deveria ter evoluído de forma a conter a mesma quantidade de matéria e antimatéria? Um quarto do Universo é matéria escura, que não pode ser formada por partículas do MP. Alguma adaptação ao Modelo poderá explicar a matéria escura?”

Nesse ponto torna-se evidente que, como todo modelo físico (incompleto por essência), o MP necessita de extensões e aprimoramentos. Contudo, à medida que os cientistas se apropriam de novos conhecimentos, outros desafios e problemas surgem, de modo que é esperado que, do ponto de vista da evolução dos modelos e teorias científicas, mudanças ocorram.

Ao refletir sobre o MP, Moreira (2009, p.9), afirma que a “superação deste Modelo será uma consequência natural da desilusão que teremos com ele, da necessidade de dizer não a ele se quisermos aprender mais sobre partículas elementares”.

Numa abordagem para o EM apresentar o MP, como visto acima, de forma clara, histórica, com imagens, experimentos e simulações, poderá estimular a aprendizagem, que “é muito mais significativa à medida que o novo conteúdo é incorporado às estruturas de conhecimento de um aluno e adquire significado para ele a partir da relação de seu conhecimento prévio” (PELIZZARI, 2002, p.38), saindo do formato

clássico, recolocando o papel do educador na posição de orientador e fomentador de novas metodologias de ensino.

Porém, tendo em vista o escopo de abordagem desse trabalho, buscaremos analisar, de modo sucinto, como a sua estrutura atual foi consolidada, fazendo, em muitos pontos, um resgate histórico.

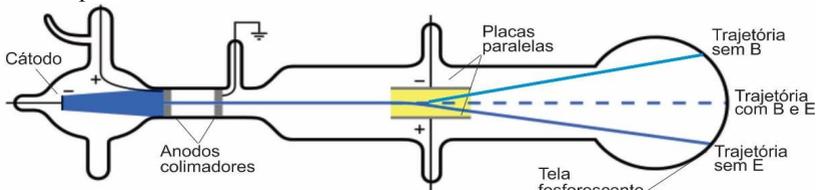
3.3 Era Clássica: Descobertas do final do século XIX e primeira metade do século XX.

Nessa seção apresentamos uma revisão concisa das bases teórico-experimentais do final do século XIX e da primeira metade do século XX que influenciaram o desenvolvimento da FPE, seguindo, em muitos pontos, a abordagem apresentada na Ref. (GRIFFITHS, 2004).

No final do século XIX, os físicos já tinham conhecimento sobre as cargas elétricas (positivas ou negativas), compreendiam as forças de atração e repulsão entre elas, mas ainda buscavam compreender a estrutura elementar da matéria, até então, em termos dos átomos. Nesse âmbito, um marco fundamental para FPE ocorreu em 1897, com a descoberta do elétron por Thomson e com o entendimento de que o átomo deveria ser uma estrutura composta; por cargas elétricas de sinais opostos, possibilitando a neutralidade – e portanto, a estabilidade - da matéria. A percepção de Thomson de que os chamados “raios catódicos”, emitidos por um filamento quente, poderiam ser desviados por ímãs levou à ideia de que esses “raios” deveriam ser, na realidade, compostos por partículas carregadas (ao invés de serem pulsos de radiação, por exemplo).

Com efeito, através de um arranjo experimental similar ao apresentado na Figura 7 (com um arranjo adequado de campos elétricos e magnéticos aplicados), Thomson pode determinar a relação carga-massa do elétron (e/m). Apesar da incompatibilidade da razão e/m obtida por Thomson em relação ao valor atualmente aceito, em mais de dois desvio-padrão (2σ), a descoberta da estrutura corpuscular dos “raios catódicos” foi, sem dúvida, uma grande e valiosa contribuição para a FPE. No esquema atual do MP, o elétron foi a primeira partícula elementar encontrada, há mais de um século (CARUSO E OGURI, 2006, p. 238).

Figura 6: Representação esquemática do experimento de Thomson, utilizando uma ampola de Crookes ou um tubo de raios catódicos

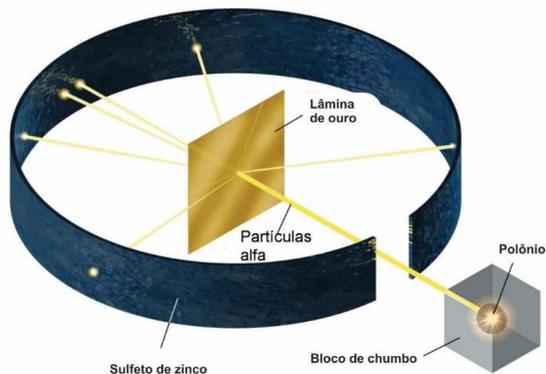


Fonte: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfHIUAK/razao-carga-massa>.
Visualizado em: janeiro 2018

As evidências experimentais obtidas por Thomson também tiveram importante impacto na formulação de modelos para o átomo. De fato, o próprio Thomson sugeriu a existência de uma estrutura de carga positiva no átomo e essencialmente mais densa (para ser compatível com ideia de neutralidade da matéria). Contudo, em relação ao modelo (clássico) de Thomson para o átomo, “faltava concordância quantitativa com os aspectos observados experimentalmente” (EISBERG E RESNICK, 1979, p.123).

Nesse âmbito, outro importante passo rumo à descoberta de novas partículas, foi a tentativa, em 1911 de Hans Geiger e Ernest Marsden, sob a supervisão de Rutherford, de explicar como ocorriam os desvios causados pelas partículas alfa ao atravessarem folhas de metais diferentes. Para tanto, utilizaram a experiência de espalhamento de partículas, que compreende o bombardeamento de partículas alfa em uma folha fina de ouro.

Figura 7: Representação pictórica do experimento de Geiger e Marsden de espalhamento (tradicionalmente conhecido como espalhamento Rutherford) de partículas alfa por uma fina folha de ouro.



Fonte: disponível em: <http://alunosonline.uol.com.br/quimica/experimento-rutherford.html>. Visualizado em janeiro 2018

Após exaustivas pesquisas procurando compreender como ocorriam o espalhamento destas partículas, Rutherford, observou que a maioria delas atravessava a lâmina, enquanto outras mudavam a direção e até ricocheteavam. Sua conclusão foi que as “partículas ‘alfa’ tinham encontrado algo muito pequeno, muito rígido e pesado” (GRIFFITHS, 1987, p. 13), o que chamaria de núcleo.

Rutherford propôs ainda que o átomo⁷ era formado por um pequeno e denso núcleo, com carga positiva (onde se concentra toda massa) e eletrosfera (onde ficam os elétrons) e ao núcleo do átomo de hidrogênio, constituído por apenas uma unidade fundamental de carga, deu o nome de próton.

Os experimentos de Rutherford e Thomson são extremamente importantes para a FPE, pois criaram as condições “necessárias para desenvolvimento do que se pode chamar hoje, olhando em retrospectiva, de o primeiro acelerador de partículas: o tubo de raios catódicos” (CARUSO E OGURI, 2006, p. 238), sendo que tanto o experimento de

⁷ Apesar dessa proposta do modelo atômico de Rutherford e da descoberta do núcleo atômico ter sido feita em 1911, o próton só foi descoberto em 1919, quando o próprio Rutherford arrancou prótons do núcleo de nitrogênio, bombardeando-o com partículas α (BRENNAN, 2003).

Rutherford quanto os aceleradores de partículas, estudam os resultados de interações entre partículas, verificando o que ocorre após o espalhamento.

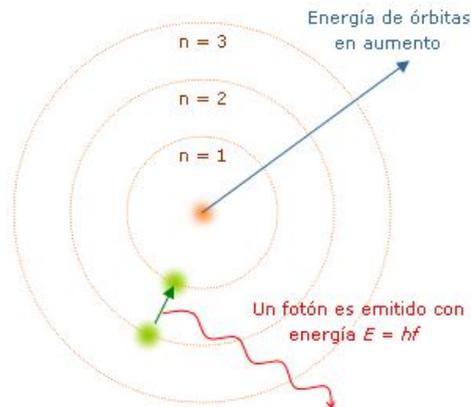
Por outro lado, o modelo atômico de Rutherford possuía algumas falhas, por exemplo, caso o elétron (com carga negativa) viesse, de fato, a orbitar o núcleo atômico (com carga positiva), ele iria perder energia na forma de radiação. Logo as órbitas eletrônicas se tornariam espiraladas e o elétron acabaria colapsando no núcleo.

Niels Bohr (1914), baseando-se nas ideias de Max Planck e Rutherford, propôs um modelo para o átomo de hidrogênio, explicando a estabilidade do átomo e a mobilidade dos elétrons em se moverem em torno no núcleo atômico (órbitas), conseguindo assim calcular o espectro de energia do hidrogênio. Com isso átomos mais pesados seriam compostos de mais prótons e mais elétrons, alterando desta forma o modelo atômico de Rutherford. Desta forma o modelo sugerido por Bohr é tal que:

“o átomo é composto por um núcleo central que está envolto por elétrons, que descrevem órbitas circulares em torno do núcleo. Para cada órbita, está associado um valor de energia para os elétrons. Enquanto eles permanecerem em uma determinada órbita, a estabilidade é mantida. A emissão de radiação pelos átomos é explicada quando elétrons transferem-se de órbitas associadas com mais energia para outras associadas com menos energia” (PINHEIRO, 2011, p.53)

Neste modelo, o elétron ao receber energia, passará a um estado de excitação (maior energia), mas rapidamente emitirá um fóton (quantum da radiação eletromagnética) voltando ao estado fundamental, realizando as transições de uma órbita a outra.

Figura 8: Representação pictórica do modelo atômico de Bohr e das transições entre orbitais com emissão ou absorção de um fóton.



Fonte: Disponível em : <https://www.infoescola.com/fisica/modelo-atomico-de-bohr/> Visualizado em fevereiro de 2018

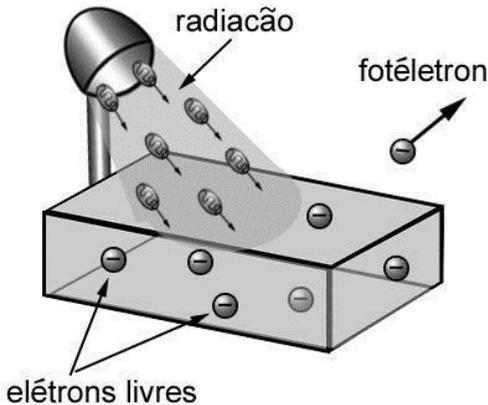
A limitação deste modelo estava no tratamento de elementos diferentes ao hidrogênio mais adiante Sommerfeld, apresenta novas alterações ao modelo atômico de Bohr; utilizando correções relativísticas nesse modelo.

Sua contribuição está em mostrar que a física clássica não consegue responder sozinha sobre a existência e comportamentos das partículas, os seus postulados propõem novas hipóteses para os fenômenos da natureza, culminando em um modelo semi-clássico, pois agrega componentes da “Física Clássica, como a Eletrodinâmica e a Mecânica Clássica, e da Física Quântica, como a quantização da energia. Aparentemente, as ideias de Bohr tiveram uma boa receptividade” (PINHEIRO, 2011, p.55).

Outro passo importante é o estudo do efeito fotoelétrico, que consiste na emissão de elétrons pela matéria sob ação da radiação eletromagnética. Esse efeito, explicado em 1905 por Albert Einstein, ao desenvolver as ideias de Planck e Bohr, é baseado no fato de que a luz tem estrutura granular ou quantizada, e que essa radiação é formada por fótons (pequenos pacotes de luz). Ademais, a “energia de um único quantum deve, de acordo com as hipóteses feitas por Planck, ser igual ao produto da frequência da luz pela constante” (HEISENBERG, 1987, p.

10), ou seja, um pacote de energia é igual ao quantum (uma determinada quantidade de energia associada ao fóton da luz).

Figura 9: Ilustração do efeito fotoelétrico.

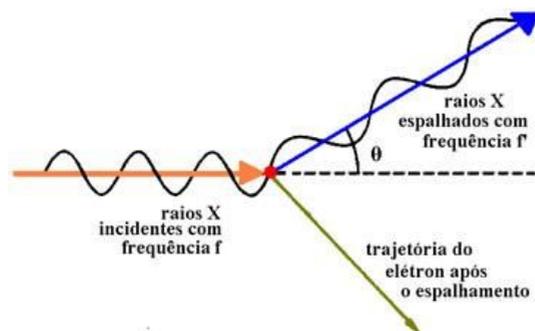


Fonte: Disponível em: <https://alemdainercia.wordpress.com/2016/02/23/fisica-quantica-efeito-fotoeletrico/>. Visualizado em fevereiro 2018

Através do efeito fotoelétrico Albert Einstein demonstra características próprias dos materiais quando expostas a luz visível e percebe que a física clássica não tem argumentos para explicar tal fenômeno, que tem como solução o fóton. Com efeito, o fóton possui algumas propriedades, por exemplo: não tem massa, nem carga elétrica, mas carrega energia proporcional à sua frequência.

Em 1916, Millikan completou uma sequência de experimentos sobre o efeito fotoelétrico, comprovando que em todos os casos a proposta de Albert Einstein estava correta, contudo apenas em 1923, foi confirmada pelas experiências de Compton, que fez um feixe de raio X de comprimento de onda λ , incidir sobre um alvo de grafite.

Figura 10: Representação do espalhamento Compton de raios-x em um elétron livre.



Fonte: disponível em: <http://brasilecola.uol.com.br/fisica/efeito-compton.htm>.
Visualizado em: janeiro de 2018

Os desvios sofridos pelo raio X, não podem ser explicados pela teoria clássica de onda eletromagnética, “Compton mostrou que a teoria de Einstein sobre fótons, combinada com os princípios da conservação de energia e da conservação do momento linear, fornece uma explicação bem clara dos seus resultados experimentais” (YOUNG & FREEDMAN, 2016, p.213).

Os fótons foram aceitos pela comunidade científica, gerando uma nova interpretação para a interação eletromagnética, que classicamente é vista como a ação entre os campos elétricos dos corpos carregados, porém na teoria de campos quânticos “o campo eletromagnético é quantizado (na forma de fótons), e podemos imaginar a interação como uma corrente de fótons passando de um lado para outro entre as duas cargas, cada elétron as emite continuamente e as absorve continuamente” (GRIFFITHS, 2004, p. 16, tradução nossa).

Em 1932 descoberto por Chadwick que “usou a radiação neutra para bombardear vários gases diferentes e, medindo a energia dos átomos desses gases após a interação, calculou a massa dessas partículas e obteve um valor um pouco maior que a massa do próton, como previsto por Rutherford”. A descoberta do nêutron levou ao entendimento da estrutura do núcleo atômico, constituído por prótons e nêutrons.

“os núcleos mais pesados carregam aproximadamente o mesmo número de nêutrons que os de prótons. (O número de nêutrons é de fato um pouco flexível: o mesmo átomo, quimicamente falando, pode vir em vários isótopos diferentes, todos com o mesmo número de prótons, mas com vários números de nêutrons.)” (GRIFFITHS, 2004, p.14, tradução nossa).

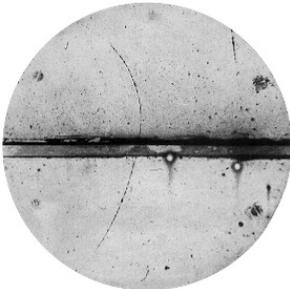
A partir da descoberta do nêutron, o modelo atômico teve de incorporar os prótons, elétrons e nêutrons no grupo das partículas elementares. Pode-se dizer então que, com a sua descoberta do nêutron o período clássico da física de partículas elementares chega ao fim, sendo considerada para esse período elétrons, prótons e nêutrons as partículas elementares.

3.4 Contribuições da Física de Raios Cósmicos

Do ponto de vista da Física Moderna Contemporânea os Raios Cósmicos são partículas subatômicas, que atingem a atmosfera em velocidades altíssimas e altamente energéticas, sendo ainda base para muitas pesquisas das partículas elementares.

Carl D. Anderson, em 1932, investigando partículas de raios cósmicos em uma câmara de nuvens observou a presença de rastros de partículas, “como sendo provenientes de uma partícula com a mesma massa do elétron, mas com a carga elétrica oposta. Essa descoberta validou as previsões teóricas de P. M. Dirac para a existência do pósitron”.

Figura 11: Fotografia feita por Carl D. Anderson em 1932, do traço do primeiro pósitron registrado.

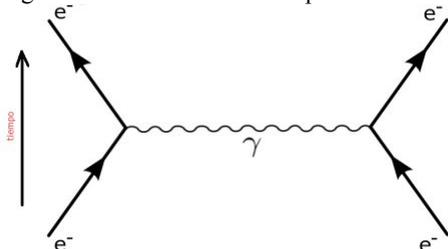


Fonte: Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Positron>. Visualizada em 21/03/2018

Analisando a Figura 11 podemos perceber que a partícula aparece pela parte de baixo da câmara, pois depois de mesma passar por uma chapa de chumbo sua energia diminui. Através do raio e espessura do traço foi possível chegar a razão da carga massa da partícula, que era igual a do elétron, porém devido a direção e sentido do campo magnético (Direção: vertical folha desta imagem, e sentido entrando na folha) descobriu-se que a carga era positiva, motivo pelo qual a partícula detectada recebeu o nome de pósitron.

Anos mais tarde, Richard Feynman (1949) descreve pósitron por meio de um diagrama, conhecido por Diagrama de Feynman, como um elétron que se desloca no sentido contrário do tempo, eliminando dificuldades do modelo de Dirac, colocando o pósitron e elétron no mesmo pé de igualdade, do ponto de vista do tratamento quântico.

Figura 12: Dois elétrons se repelindo ao trocar um fóton



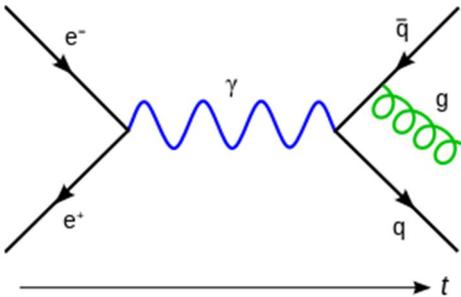
Fonte: Disponível em: <https://filosofisicablog.wordpress.com/2017/01/19/a-estranha-teoria-de-luz-e-materia/>. 21/03/2018

Neste diagrama podemos ver os dois elétrons entrando pela parte de baixo da imagem, trocando um fóton (partícula mediadora da interação eletromagnética) e conseqüentemente se repelindo.

Nos diagramas de Feynman os fêrmions (quarks e léptons) são representados por linhas retas e os bósons (partículas mediadoras das interações) por linhas curvas e o vértice é o ponto onde as linhas se conectam. As linhas são representadas de três formas: (1) as linhas internas são responsáveis por conectar os vértices, (2) as linhas no sentido entrando representam o momento inicial e (3) as linhas no sentido saindo representam o momento final das interações entre as partículas (STEINKIRCH, 2010)

Podemos agora mover esse diagrama e torcê-lo, como ilustrado na Figura 13 abaixo.

Figura 13: Aniquilação e geração de par elétron-pósitron



Fonte: Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Diagramas_de_Feynman. 21/03/2018

Podemos perceber que há um elétron, na esquerda, e a partícula que “corre” para trás no tempo, isso dá a entender que a seta do tempo encontra-se da esquerda para a direita. Logo, no diagrama anterior, o fluxo temporal se dá de baixo para cima. Por esse motivo, o diagrama da Figura 12 deve ser de espalhamento $e^- + e^-$ (não $e^- + e^+$).

Griffiths (2004, p.21) salienta ainda que “o dualismo na equação de Dirac é uma característica profunda e universal da Teoria do campo quântico: Para cada tipo de partícula deve existir um correspondente antipartícula, com a mesma massa, mas com carga elétrica oposta”. Assim toda partícula corresponde a uma antipartícula igual em sua massa, mas com carga elétrica oposta como, por exemplo, o próton (p) existe antipróton (\bar{p}), nêutron (n) o antinêutron (\bar{n}).

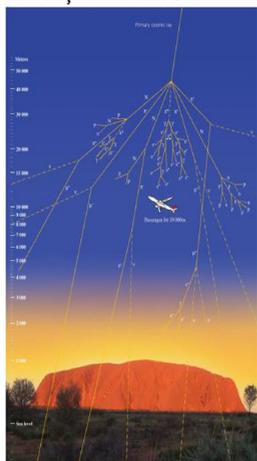
Outra contribuição da física de raios cósmicos ocorreu em 1935, quando o físico japonês Hideki Yukawa propõe a existência da partícula chamada de pión, que foi posteriormente descoberta em 1947 por Cecil Powell e colaboradores (entre eles o brasileiro César Lattes), a qual supostamente seria a partícula mediadora das interações fortes. Com efeito, assim como fóton é a partícula mediadora da interação eletromagnética deveria existir uma partícula que seria a mediadora da interação forte e segundo a previsão de Yukawa essa partícula deveria ter

uma massa “300 vezes a massa do elétron, ou cerca de um sexto a massa do próton” (GRIFFITHS, 2004, p. 17).⁸

Em 1937, dois grupos separados, liderados por Anderson e Neddermeyer na costa oeste, e Street e Stevenson no leste, analisando raios cósmicos identificaram partículas com características que correspondiam com as previsões de Yukawa, porém aprofundando estudos com os raios cósmicos, começaram a aparecer discrepâncias sobre o valor das massas.

Diversos experimentos e estudos continuaram e continuam surgindo para detectar os raios cósmicos, sendo que em 1938, o físico Pierre Auger concluiu que chuvas de partículas são geradas por “raios cósmicos primários altamente energéticos que interagem com a atmosfera a grandes altitudes, iniciando uma cascata de partículas secundárias que acabam por gerar um chuva de elétrons, fótons e múons que chega ao solo” (LAGO, 2007, p.8)

Figura 14: Representação pictórica de um chuva atmosférico formado pela interação de um raio cósmico primário na alta atmosfera terrestre.



Fonte: MICCINESI (2011, p.4)

⁸ Prótons e nêutrons foram classificados como bárions (pesados), os elétrons como léptons (leves) e como a massa da partícula de Yukawa tem um valor intermediário foi chamada de méson (massa intermediária).

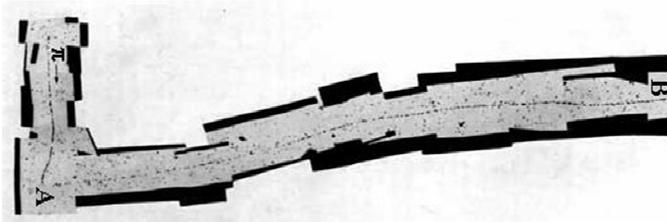
Atualmente o Observatório Pierre Auger, considerado um dos principais referenciais em detecção de Raios Cósmicos, utiliza “(...) dois tipos de detectores, telescópios de superfícies e telescópios de fluorescência. Os dados de ambos os detectores são cruzados, dessa forma elaboram a trajetória e energias das partículas que formam o Chuveiro atmosférico extenso” (VALE e SOUSA, 2012).

Somente em 1947, quando Powell e seus colaboradores de Bristol, descobriram que existem realmente dois mésons que foram batizados de pión (π) e múon (μ). O pión é realmente a partícula de Yukawa que interage fortemente com o núcleo e o múon comporta-se como uma versão mais pesada do elétron e pertence a família dos léptons.

Podemos ver na Figura 15 abaixo uma das primeiras fotos de Powell mostrando o rastro de um pión, que entra de cima para baixo na imagem, decaindo em um múon e em um neutrino, este último não deixa rastros pois não possui carga elétrica.

Em meados de 1948, o brasileiro Lattes e o norte-americano Eugene Gardner detectaram de forma artificial “píons nos choques entre partículas que ocorriam no acelerador da universidade da Califórnia” (ANJOS, 2018, p.8). Sobre esse ponto, a descoberta do pión (que o ano passado fez 70 anos) teve papel fundamental para ciência brasileira, dada a importante contribuição do físico Cesar Lattes na descoberta do pión.

Figura 15: Imagem do Pión

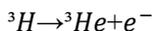


Fonte: Disponível em : http://www.if.ufrgs.br/~cas/lattes_zh.htm. Visualizado em: 21/03/2018

3.5 Os Neutrinos

Retomando o ano de 1930, surgiu um problema no estudo do decaimento beta, um núcleo radioativo, por exemplo, ${}^3\text{H}$ (trítio), um isótopo do H, que contém em seu núcleo um próton e dois nêutrons. Ao emitir uma partícula $\beta(e^-)$ um nêutron é transformado em um próton

resultando em ${}^3\text{He}$, porém o problema observado neste tipo de decaimento estava relacionado com a conservação da energia.



Experimentalmente os valores da energia cinética do elétron variam consideravelmente, coisa que era estranha na época porque havia um valor de energia esperado para o elétron, resultados que deixaram Niels Bohr nas palavras de Griffiths (2004, p.23), “(não pela primeira vez) foi pronto para abandonar a lei de conservação da energia.”

Wolfgang Pauli, no entanto, sugeriu que mais uma partícula era emitida neste decaimento, que seria responsável por ficar com a fração de energia faltante nas observações. Essa partícula deveria ser neutra, devido a não observação nas câmaras de nuvens, e possuir uma massa nula, ou muito pequena comparada com a massa do elétron, sabe-se que os neutrinos têm massa diferente de zero. Não se sabe quanto ao certo, mas há limites superiores já estabelecidos. O ponto central é que no MP os neutrinos são objetos sem massa.

Em 1933 Fermi forneceu uma explicação para o decaimento beta, introduzindo o conceito de interação fraca. Identificada a nova partícula como neutrino (“pequeno nêutron” em italiano), o processo de decaimento beta (negativo) passou a ser expresso como:



Portanto, no decaimento beta é um nêutron que decai em um próton, emitindo assim uma partícula beta (e^-) e um antineutrino do elétron. Este processo de decaimento é mediado pela interação fraca, mais adiante veremos que nêutrons e prótons são partículas compostas e neste tipo de decaimento teremos uma mudança de sabor intermediado por bóson W^- .

Diariamente por nossos corpos passam milhares de neutrinos, e dificilmente algum vai interagir com um átomo de seu corpo, neutrinos interagem fracamente com a matéria o que tornou uma tarefa árdua sua detecção e comprovação.

Porém ao estudar a radiação de um reator nuclear Clyde Cowan e Frederick Reines, desceram a mais de 20 m de profundidade de um reator nuclear e utilizando-se de tanques cintiladores conseguiram detectar pela primeira vez, em 1956 um processo ocasionado pela interação de um neutrino com a matéria. Era o primeiro neutrino sendo descoberto. Nos

anos seguintes, os cientistas Koshiba e Davis, por meio de seus experimentos, perceberam que os neutrinos sofrem oscilações e, portanto, há três tipos deles previstos no MP: “1. Neutrino do elétron (associado ao elétron). 2. Neutrino do múon (associado ao múon). 3. Neutrino do tau (associado ao tau)” (STEINKIRCH, 2007, p.7).

Decaimentos são muito importantes, pois são com eles que conseguimos provar a existência de partículas com tempos de meia vida muito curto. O bóson de Higgs, por exemplo, tem um tempo de meia vida da ordem de $10^{-22}s$, o que seria impossível de ser detectado, porém o que é detectado são os subprodutos de seu decaimento.

3.6 A Era dos Grandes Aceleradores: a descoberta dos quarks e dos Bósons W e Z

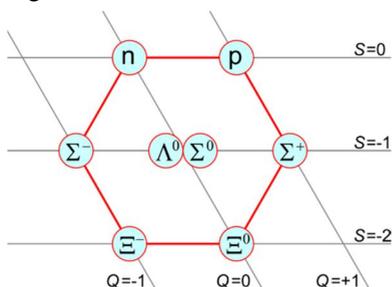
Na década de 1950 foram descobertas inúmeras partículas tidas como elementares. Segundo Griffiths (2004, p.33) “o jardim que parecia tão arrumado em 1947 havia crescido em uma selva em 1960, e a física hadrônica só poderia ser descrita como um caos”, demonstrando a necessidade de reorganizar e classificar as partículas.

Desta forma, os hádrons foram divididos em dois grandes grupos ou famílias: os bárions (prótons, nêutrons, etc.) e os mésons (píons, káons, etc). Esses por sua vez foram separados por carga elétrica, massa e estranheza.

Muitas partículas que surgiram neste período como, por exemplo, os mésons K, os híperons Σ e Λ , apresentavam algumas características diferentes do que se conhecia até então, como dois tempos de meia vida, surgimento sempre em pares, e a essa característica chamou-se de estranheza, que mais tarde deu origem a um número quântico chamado de Estranheza. A estranheza (S) é uma grandeza que é conservada em interações fortes e eletromagnéticas, mas não é conservada em todas as interações fracas.

Todas essas novas partículas foram distribuídas levando-se em consideração a carga elétrica e sua estranheza, logo se percebia um padrão. Podemos ver abaixo essa distribuição para os bárions e mésons.

Figura 16: Octeto bariônico.



Fonte: Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/B%C3%A1rion>. Visualizado em: 21/03/2018

Essa simetria foi descoberta em 1961 e foram chamadas de simetrias de oito modos. Nesse ponto é importante mencionar que:

“a classificação é a primeira etapa no desenvolvimento de qualquer ciência. A simetria de oito modos fez mais do que simplesmente classificar os hádrons, mas sua verdadeira importância reside na estrutura organizacional que proporcionou. Penso que é justo dizer que a simetria de oito modos iniciou a era moderna na física de partículas.” (GRIFFITHS, 2004, p. 37)

Observando a simetria de oito modos Gell-Mann e Zweig (1964), propuseram que todos os hádrons são de fato constituídos por partículas ainda mais elementares chamadas de quarks, que deveriam ser de três tipos, ou sabores, up (u) com carga de $2/3$ e massa de aproximadamente $2,3 \text{ MeV}/c^2$, down (d) com carga de $-1/3$ e massa de aproximadamente $4,8 \text{ MeV}/c^2$ e strange (s) com carga de $-1/3$ e massa de aproximadamente $95 \text{ MeV}/c^2$.

Desta maneira todos os bárions seriam formados por três quarks e os mésons compostos pares de quark-antiquark. Sendo assim um próton seria formado por dois quarks Up mais um quark Down, uud. Podemos fazer a soma das cargas dos quarks e verificar que a soma delas é a carga do próton ($\frac{2}{3} + \frac{2}{3} + \frac{-1}{3} = 1$). A mesma coisa acontecendo para o nêutron que é composto de udd ($\frac{2}{3} + \frac{-1}{3} + \frac{-1}{3} = 0$)

O cientista Oscar W. Greenberg, em 1964 propôs um novo número quântico denominado cor. A cor é uma carga, análoga à carga elétrica,

porém pode se manifestar em três cores diferentes: vermelho, verde e azul. Sendo assim um bárion que é composto por esses três quarks cada um apresentando uma cor diferente, apresenta carga de cor resultante nula.

Essa propriedade cor dos quarks, surge da necessidade de preservar o princípio de Exclusão de Pauli, pois quarks são férmions, logo não pode haver dois quarks idênticos ocupando o mesmo estado quântico. Segundo Ostermann (1999, p.431), a “analogia das cores com as cargas elétricas levou a uma conclusão imediata: cores iguais se repelem, cores opostas se atraem. Assim, dois quarks vermelhos se repelem, enquanto que um quark vermelho e um antiquark ‘antivermelho’ se atraem”

Nos anos de 1974 encontrou-se o que se chama de charm, em 1977 descoberto o bottom, e o top em meados de 1995; este, hipoteticamente só existiu naturalmente na época do Big Bang, com o resfriamento do universo a partícula deixou de existir, isso porque para produzir esse tipo de partícula são necessárias grandes quantidades de energias. O quark top foi descoberto no acelerador de partícula do Fermilab, a partir da análise de colisões entre prótons e anti-prótons em energias da ordem de 2.0 TeV.

Hoje os quarks, “assim como os elétrons, são as partículas verdadeiramente elementares da matéria, uma espécie de tijolos básicos para a construção de toda a matéria, inclusive dos nêutrons e prótons” (MOREIRA, 2007, p.6).

Os quarks sofrem interação forte e “ninguém ainda foi capaz de isolar um quark individual e, na realidade, a QCD prevê que os quarks são ligados de tal forma que é impossível obter um quark livre.” (YOUNG & FREEDMAN, 2016, p. 476).

Porém, para provar a sua existência é feita uma sondagem do interior do próton, experimento muito parecido com o realizado por Rutherford, quando investigou o núcleo disparando nele partículas alfa, porém neste caso utilizam-se elétrons de alta energia. Tal experimento foi realizado no final dos anos 60 no SLAC - Stanford Linear Accelerator Center (Centro de Aceleração Linear de Stanford), e foram repetidos no CERN.

Não conseguimos separar os quarks, mas através de experimentos de espalhamento conseguimos compreender a estrutura interna dos prótons, por isso nos grandes aceleradores de partículas grande parte dos investimentos vão em sensores e formas de detecção, pois dependendo do momento, da carga e da natureza da partícula espalhada consegue-se entender a partícula que originou tal decaimento.

Outra forma de entender as novas partículas é através de suas interações, todas as partículas de quarks e léptons podem interagir via

troca de bósons mediadores das interações fundamentais, que são: eletromagnética, fraca e forte. Já era sabido o bóson mediador da interação eletromagnética e já se tinha a ideia do bóson responsável pela interação forte, porém determinar as propriedades do bóson mediador da interação fraca foi um verdadeiro desafio para os físicos da época. Yukawa foi capaz de estimar a massa do bóson mediador da interação forte levando-se em consideração o alcance dessa interação.

Com o surgimento da teoria de unificação eletrofraca de “Glashow, Weinberg e Salam que uma previsão realmente firme da massa era possível. Nesta teoria existem, de fato, três bósons; dois deles carregados (W) e um neutro (Z)” (GRIFFITHS, 2004, p 46) Com massas de $M_W = 82 \pm 2 \text{ GeV}/c^2$ e $M_Z = 92 \pm 2 \text{ GeV}/c^2$ que são valores realmente grandes para serem descobertas com os aceleradores da década de 1960. Contudo no final da década de 1970, o CERN começou a construção de um colisor de prótons e antipróton, projetado para produzir esses tipos de partículas pesadas. Em janeiro de 1983, a equipe do CERN liderada por Carlo Rubbia relatou a descoberta da partícula W, e cinco meses depois a partícula Z, cujas descobertas “eram muito aguardados e universalmente esperados, de modo que a reação geral era um suspiro de alívio, não choque ou surpresa” (GRIFFITHS, 2004, p.46)

A física dos aceleradores é resultado/consequência destas pesquisas sobre o MP, e estão intimamente interligadas e cada qual possui sua importância na compreensão dos fenômenos da natureza. Em busca de ambientes mais controlados, onde é possível controlar energias, tipos de colisões, partículas envolvidas é que os aceleradores foram pensados, pois estudando-se raios cósmicos não se tem esse controle.

Os aceleradores de partículas, são utilizados em várias pesquisas, a fim de produzir conhecimento nas mais variadas áreas de conhecimento, impactando no desenvolvimento das ciências e da sociedade. Estes experimentos, criam de forma artificial e controlada, as condições ideais, para estudar pequenas partículas e suas interações, ou seja, estudar as estruturas mais fundamentais da matéria. Nesse sentido, além da descoberta do bóson de Higgs, o LHC contribui para o formato atual do MP e permite o desenvolvimento das mais variadas tecnologias: biotecnologia, nanotecnologia, computação e imagens, com importantes consequências para o avanço nas áreas de materiais, energia, medicina, entre outras” (VENÂNCIO, 2014)

Alguns produtos e resultados das pesquisas realizadas no CERN já são utilizados pela população como alguns tratamentos médicos, ao exemplo da radioterapia com feixes e íons de carbono, e o World Wide

Web, que revolucionou a comunicação mundial na década de 1990 (MOREIRA, 2009).

Diante do exposto, introduzir o tema do LHC em sala de aula, permite comprovar alguns fenômenos da ciência, além de contribuir com exemplos práticos que foram resultados dos estudos desenvolvidos, que “influenciam diretamente nossa sociedade: terapia contra o câncer; incineração de resíduos nucleares; geração de energia; imagem médica; física de partículas; imagem na Ressonância Magnética Nuclear” (CERN, 2017).

3.7 Um panorama geral sobre o LHC e o experimento CMS

Algumas das partículas que foram previstas há décadas só foram possíveis de serem identificadas com o funcionamento do LHC, inaugurado em 2008, entre a fronteira da França e Suíça, isso tudo diante das grandes energias envolvidas neste grandioso experimento. No total foram gastos para sua construção aproximadamente 3,756 bilhões de Francos Suíços (CFH) o que corresponde a aproximadamente R\$ 12 bilhões⁹ na construção, mais investimento de 576 milhões CFH (R\$ 1,9 bilhão) em infraestrutura e capacidade computacional e um custo aproximado de 1,5 bilhões CFH (R\$ 4,9 bilhões) em detectores¹⁰.

Localizado na divisa de Genebra e Suíça, a uma profundidade média de 100m, o LHC, é o mais potente acelerador de partículas da atualidade, com um túnel de 27Km de circunferência, sob a sede do CERN. Alguns poucos e visionários cientistas idealizaram a criação de um laboratório europeu de física nuclear. Entre estes cientistas estavam os físicos Edoardo Amaldi, da Itália, Pierre Auger, Raoul Dautry e Lew Kowarski da França, e Niels Bohr da Dinamarca (ROSENFELD, 2013).

A ciência que o LHC investiga está relacionada ao MP, à compreensão atual sobre partículas elementares e interações fundamentais. Teoria que está embasa nos modelos:

⁹ Utilizando a cotação do dia 04/09/2017: 1 CFH = 3,2773 BRL (Real Brasileiro – R\$) retirada do site: <http://www4.bcb.gov.br/pec/conversao/conversao.asp>. Visualizado em novembro 2017

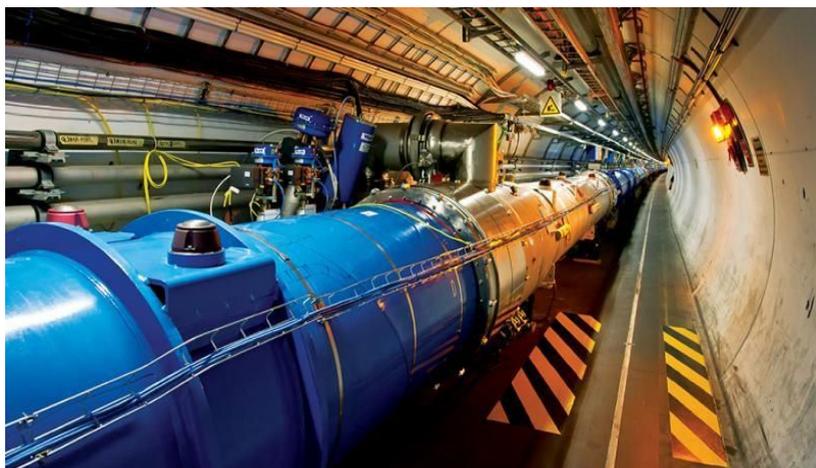
¹⁰ Informações retiradas do guia do LHC disponível em: <https://cds.cern.ch/record/2255762/files/CERN-Brochure-2017-002-Eng.pdf>. Visualizado em setembro 2017

“matemáticos e computacionais e preconiza que o universo é constituído por partículas elementares (quarks e léptons) que interagem através de partículas mediadoras de quatro interações: nuclear forte, nuclear fraca, eletromagnética e gravitacional. Estão relacionadas a eventos como o surgimento do Universo e a questões sobre a constituição da matéria”. (RÉ, 2016, p.8)

O objetivo é acelerar hádrons, prótons ou íons, pesados (como chumbo - Pb^{208}) em sentidos opostos, por meio de dois tubos em campos eletromagnéticos até que atinjam a velocidade próximas a da luz e fazem essas partículas colidirem. Seu grande raio está relacionado com as energias envolvidas no LHC e aos campos magnéticos que mantêm as partículas em suas orbitas, devido ao seu grande tamanho e grande campo magnético o LHC pode atingir energias de 7 TeV por feixe de prótons. Criando dessa forma um ambiente semelhante ao que ocorreu no big bang.

A próxima Figura 17 mostra parte do túnel do LHC, onde ocorrem as colisões entre feixes de prótons e íons.

Figura 17: Imagem de parte do túnel LHC



Fonte: CERN

Os principais experimentos ocorrem durante o funcionamento do LHC, cujo funcionamento tem início na extração de prótons a partir da

ionização de átomos de hidrogênio, para então serem injetados em um sistema de aceleradores circulares sucessivos que atinjam energias da ordem de 10 TeV no último estágio, no anel principal do LHC. Neste último, feixes contendo bilhões de partículas subatômicas fazem trajetórias de sentidos opostos, onde ao colidirem geram novas partículas, que são identificadas a partir de sofisticados detectores e algoritmos de identificação de trajetória. Os dados produzidos nessas colisões são transmitidas para um centro de controle, onde os cientistas de diversas nacionalidades os analisam. Essas colisões ocorrem, de maneira geral, em quatro pontos específicos, onde se localizam os detectores ATLAS, ALICE, CMS e LHC.

“O LHC é composto por seis experimentos: A Toroidal LHC ApparatuS (Atlas), Compact Muon Solenoid (CMS), A Large Ion Collider Experiment (Alice), Large Hadron Collider beauty (LHCb), Large Hadron Collider forward (LHCf), TOTAl Elastic and diffractive cross section Measurement (TOTEM). Em quatro ocorrerão as colisões entre os prótons, são os seguintes: Alice, CMS, LHCb e Atlas, o Totem está instalado dentro do CMS e o LHCf perto do Atlas” (CERNa, 2009).

O experimento ATLAS é um detector de partículas de grandes proporções (de fato o maior do LHC), construído de múltiplos tipos de sistema de detecção e cujos objetivos principais são:

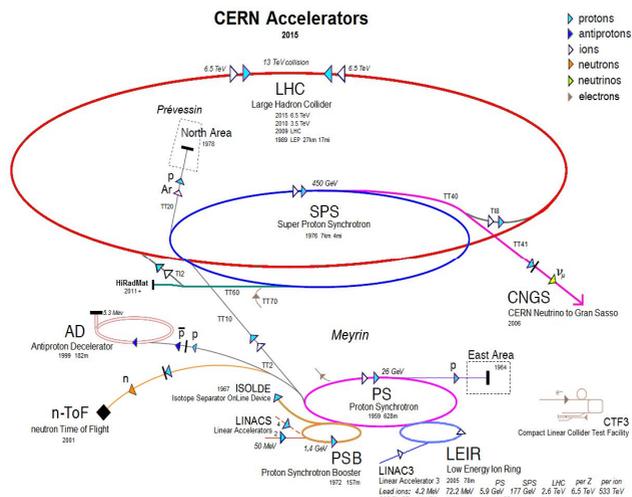
“procurar o bóson de Higgs, partículas supersimétricas, dimensões extras e buracos negros; investigar por que a matéria do Universo é dominada por um tipo desconhecido de matéria, a matéria escura; redescobrir o quark top e pela primeira vez estudá-lo com precisão; realizar medidas mais precisas para completar o modelo padrão, como as da massa e do tamanho do bóson W (uma das partículas mediadoras da interação fraca” (MOREIRA, 2007).

Com relação ao experimento ALICE, por exemplo, estuda quarks e glúons, em estados não confinados e os testes simulam as condições que só existiram num breve intervalo de tempo. Os demais detectores, entre eles o CMS, nas palavras de Balthazar (2010, p.12), são de caráter geral:

“(…) onde físicos vão analisar um grande número de partículas surgidas na colisão. Nesses experimentos físicos esperam que apareça o bóson de Higgs, as dimensões extras e partículas que poderiam torna-se matéria escura. No experimento LHCb será estudado o motivo pelo qual nosso universo tem mais matéria que antimatéria. Segundo o atual modelo essa assimetria entre matéria e antimatéria acontece devido a uma quebra de simetria, explicado por um mecanismo matemático, que se originou do mecanismo de Higgs”

A seqüência da trajetória que os prótons percorrem também é uma seqüência histórica de construção destes aceleradores. Com exceção de um deles (o PS Booster), sempre o acelerador mais antigo alimenta o mais novo. São cinco estágios de aceleração, que levam a energias (por nucleon) cada vez mais elevadas: Linac2 (50 MeV/c²); PSBooster (1,4 GeV); OS (25 GeV); SPS (450 GeV) e LHC (7 TeV). Na Figura 18 abaixo apresenta-se uma visão geral dos múltiplos estágios de aceleração de feixes de prótons até atingir o anel principal do LHC.

Figura 18: Estrutura do complexo de aceleradores que compõe o LHC

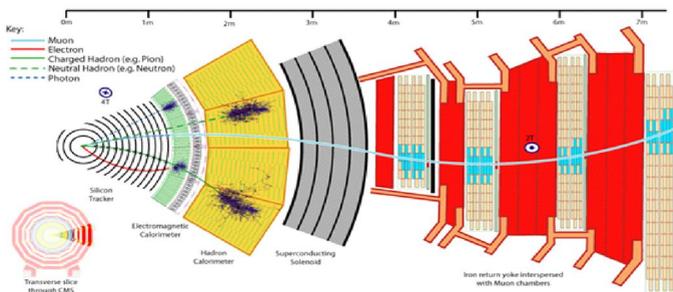


© 2010-2014 maaga.org and cern.ch © CERN

Fonte: CERNA

O detector CMS (Compact Muon Solenoid), em português, Solenóide Compacto de Múons, está localizado em Cessy na região da França, e é um dos quatro grandes experimentos acoplados ao LHC, no CERN. Projetado para estudar as leis fundamentais da natureza em energias muito altas e detectar as propriedades de partículas como: fótons, elétrons, neutrinos e hádrons. Seu peso é “de 14 mil toneladas e possui um diâmetro de 15 metros de diâmetro, 21,5 metros de comprimento e em sua estrutura encontra-se cerca de 100 milhões de elementos individuais de detecção, a procura de novas partículas e fenômenos” (CERNc, 2018).

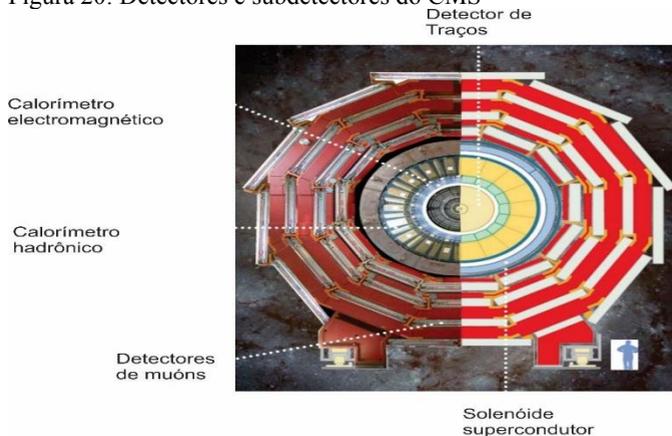
Figura 19: Vista transversal de um octante do detector CMS e do sistema traçador de trajetórias, de múons, hádrons carregados, nêutrons, etc.



Fonte: Disponível em: https://cms-docdb.cern.ch/cgi-bin/PublicDocDB/RetrieveFile?docid=12452&filename=SetOfPosters_PT_25092014_HQ.pdf&version=1. Visualizado em: fevereiro 2018

Sua estrutura interna “uma bobina de fio supercondutor que cria um campo magnético cerca de 100.000 vezes maior que o da Terra” (PEREIRA, 2011, p.39) é feita em camadas, semelhante a uma cebola, tendo mais ao centro um detector de traços, seguido de calorímetro eletromagnético, calorímetro hadrônico, solenóide supercondutor e por câmaras de múons, conforme indicado nas Figuras 19 e 20.

Figura 20: Detectores e subdetectores do CMS



Fonte: disponível em: https://cms-docdb.cern.ch/cgi-bin/PublicDocDB/RetrieveFile?docid=4263&filename=CMS_Portuguese_draft_screen.pdf&version=1. Visualizado em: fevereiro 2018

Desta forma, os detectores são formados por suas várias camadas, cada qual com objetivos bem específicos, conforme indicado a seguir:

- Detector de traços: além de medir a trajetória das partículas, ele também tem a função de determinar o ponto onde ela se torna inconstante, visto que quanto maior foi o raio da trajetória, maior será a energia associada a partícula e maior seu momento, a análise é feita por meio de “programas de computadores, onde ‘juntam os pontos’ para revelar os traços e assim determinar o momento das partículas” (CERNd, 2018, p.3. tradução nossa.)

Figura 21: As três secções do traçador.



Fonte: disponível em: https://cms-docdb.cern.ch/cgi-bin/PublicDocDB/RetrieveFile?docid=12452&filename=SetOfPosters_PT_25092014_HQ.pdf&version=1. visualizado em fevereiro 2018

- **Calorímetro eletromagnético (ECAL):** seus módulos conseguem identificar e medir precisamente as energias dos elétrons e dos fótons. Fótons e elétrons, por sua vez liberam “luz produzida no chuveiro de partículas que é detectada pelos sensores e será associada a energia inicial do fóton ou do elétron” (CERNd, 2018, p.4). Sendo composto por três seções: um barril e duas tampas, auxiliando a fornecerem dados sobre as colisões, conforme Figura 22 abaixo:

Figura 22: As três seções do ECAL.



Fonte: disponível em: https://cms-docdb.cern.ch/cgi-bin/PublicDocDB/RetrieveFile?docid=12452&filename=SetOfPosters_PT_25092014_HQ.pdf&version=1. visualizado em fevereiro 2018

- **Calorímetro hadrônico (HCAL):** sua principal função é medir a energia de hádrons, partículas como os prótons, nêutrons, píons, que são compostos por quarks e glúons, além disso ajuda “a determinar indiretamente a presença de partículas neutras que não interagem tais como os neutrinos” (CERNd, 2018, p.5). Sendo composto por três seções: um barril e duas tampas, que pode ser visto na Figura 23:

Figura 23: As três seções do HCAL.



Fonte: disponível em: https://cms-docdb.cern.ch/cgi-bin/PublicDocDB/RetrieveFile?docid=12452&filename=SetOfPosters_PT_25092014_HQ.pdf&version=1. visualizado em fevereiro 2018

- **Detector múons:** São cruciais para muitos estudos do LHC, pois o decaimento de uma partícula carregada normalmente resulta na emissão de um ou mais múons, com isso a detecção de múons com alta energia é um forte indicativo de que alguma interação ocorreu, um exemplo é o

estudo do “decaimento do bóson de Higgs consiste em eventos em que o decaimento se deu em dois bósons Z, cada um deles decaindo posteriormente em dois múons” (CERNd, 2017, p.6).

Figura 24: Sistema de múons



Fonte: disponível em: https://cms-docdb.cern.ch/cgi-bin/PublicDocDB/RetrieveFile?docid=12452&filename=SetOfPosters_PT_25092014_HQ.pdf&version=1. visualizado em fevereiro 2018

• Solenoide supercondutor: é responsável por curvar a trajetória das partículas carregadas, permitindo assim a sua identificação bem como determinar o momento dessas partículas, “passando 20.000 amperes atrás de uma bobina supercondutora de nióbio e titânio, de 13m de comprimento e 6m de diâmetro, funcionando à temperatura de -270°C , é produzido campo magnético de 4 Teslas” (CERNc, 2018).

Figura 25: Imagens da construção e dimensão do solenoide supercondutor.



Fonte: disponível em: https://cms-docdb.cern.ch/cgi-bin/PublicDocDB/RetrieveFile?docid=12452&filename=SetOfPosters_PT_25092014_HQ.pdf&version=1. visualizado em fevereiro 2018

Dito isto, os objetivos e ambições de novas descobertas do LHC são muitos, visto que há muitas questões abertas e, em particular, sobre a estrutura elementar da matéria; não completamente explicada pelo Modelo Padrão. Portanto, a visita virtual, oportunizada aos alunos, ao CMS do LHC, tornou-se fundamental para compreensão que ainda há muito para se entender e conhecer do universo e que o bóson de Higgs foi apenas o começo de uma longa jornada.

3.8 O Bóson de Higgs

Por um lado, as divulgações das pesquisas desenvolvidas pelo CERN no grande colisor de partículas LHC, o bósons de Higgs, antimatéria, MP e matéria escura, estimulam a curiosidade da população, por outro os físicos querem explicar o porquê destes fenômenos.

Fazendo uma breve referência histórica, em 1964 Peter Higgs sugere a existência de um campo “vácuo é preenchido não só pelas partículas virtuais e pelos quatro campos fundamentais, mas também por um outro campo” (MOREIRA, 2009, p.5), que recebeu o nome de campo de Higgs.

Tal campo respondia satisfatoriamente a quebra de simetria existente na interação eletrofraca, devido à ausência de massa do fóton e as massas relativamente grandes dos bósons W e Z.

Não é possível verificar experimentalmente, mas sim as manifestações desse campo a partir de sua excitação. Assim, como nas interações forte e fraca, o objetivo dos experimentos era encontrar a partícula associada à excitação desse campo, partícula que recebeu o nome de Bóson de Higgs.

Encontrar o bóson de Higgs era fundamental, pois além de conferir massa às outras partículas seria responsável também de validar o Modelo Padrão das Partículas Elementares, justificando assim os investimentos e incrementos de potência nos aceleradores de partícula. O maior problema envolvido na detecção desta partícula, está associada à sua massa, de aproximadamente $126 \text{ GeV}/c^2$, isto é, para gerá-la seria necessária uma grande quantidade de energia, o que justifica os incrementos feitos no LHC para chegar a uma energia total de 14 TeV. Outro problema está no fato de o tempo de meia vida do Bóson ser muito curto (da ordem de 10^{-22} s), isto é muito além da resolução temporal de qualquer detector existente. Na realidade, o que observado é encontrado é o fruto de seus decaimentos, segundo Pimenta (2003, p.11) “foram estudados cinco canais de decaimento do Bóson de Higgs ϕ , ou seja, $\phi \rightarrow \gamma\gamma$, $\phi \rightarrow bb^-$, $\phi \rightarrow \tau^+\tau^-$, $\phi \rightarrow WW$ e $\phi \rightarrow ZZ$ ”.

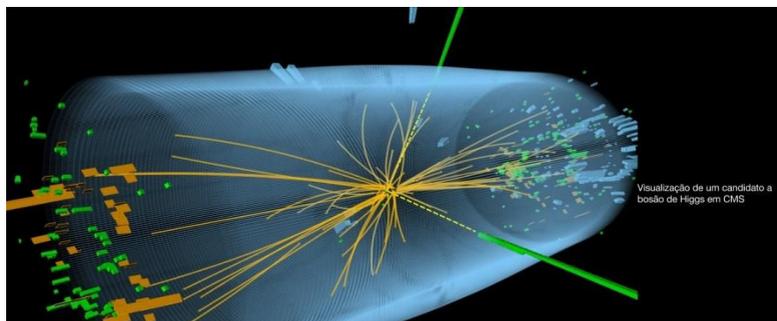
Esses decaimentos podem ocorrer dependendo da massa de Higgs envolvida, como por exemplo, em regiões para massas menores que $150 \text{ GeV}/c^2$ o bóson de Higgs pode decair em dois fótons γ , ficando assim registrado no calorímetro eletromagnético, como visto na seção 3.8 desta dissertação.

Devemos associar a descoberta do bóson de Higgs aos resultados da combinação dos dados coletados no LHC, por dois experimentos: o ATLAS e o CMS, durante os anos de 2011 e 2012, virando notícia em julho de 2012 em todas os veículos de comunicação do mundo.

Além de serem encontradas no site do CERN (<https://home.cern>), informações sobre o Bóson de Higgs, podem ser verificadas em diversos sites científicos e não científicos, mas destaca-se os vídeos no YouTube¹¹, que de forma didática demonstram interativamente o conteúdo e despertam a curiosidade sobre o bóson de Higgs, sua necessidade para o MP e sua descoberta.

Abaixo a visualização de um candidato a bóson de Higgs no CMS.

Figura 26: Representação de possível evento gerado pelo decaimento de um Bóson de Higgs no detector CMS.



Fonte: Disponível em: https://cms-docdb.cern.ch/cgi-bin/PublicDocDB/RetrieveFile?docid=12452&filename=SetOfPosters_PT_25092014_HQ.pdf&version=1. Visualizado em: fevereiro 2018

¹¹ Sugestões retiradas dos links:

Bloco 01: <https://www.youtube.com/watch?v=Zmod7jO3xo4>. Tempo de duração: 15min. e 49 seg.

Bloco 02: https://www.youtube.com/watch?v=bTz_NLJoqdU. Tempo de duração: 11min e 43 seg

Por fim, ressaltamos a importância dos experimentos de espalhamento e decaimentos no campo da FPE, e da verificação de leis de conservação de natureza fundamental, principalmente na comprovação experimental da existência de uma partícula tão importante como o bóson de Higgs para o MP. Nesse contexto, e tendo em vista a aplicação de atividades virtuais como a visita virtual guiada ao experimento CMS onde tudo isso aconteceu, oferta uma oportunidade muito rica para a aprendizagem de conteúdos relativos ao MP. Sobre isso, consideramos (como discutiremos nas próximas seções), que seja, sem dúvida, uma experiência muito importante para os estudantes aos quais aplicaremos a sequência didática apresentada no capítulo seguinte.

4 SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE FÍSICA DE PARTÍCULAS ELEMENTARES

Os principais objetivos da sequência didática foram: distinguir partículas elementares de compostas; diferenciar quarks, léptons e bósons mediadores das interações forte, fraca e eletromagnética; reconhecer as partículas elementares em partículas compostas; reconhecer as leis de conservação de carga e energia em decaimentos radioativos; compreender a importância da pesquisa em física de partículas.

Para tanto, o estudo consistiu de planejamento, desenvolvimento e roteiro para sua execução em cinco principais etapas: 01. Questionário de conhecimento prévio, 02. Atividades interativas para a separação dos alunos em equipe, 03. Simulações e 04. Visita virtual ao CMS do LHC e 05. Avaliação final. O detalhamento em sala de aula, poderá ser consultado no produto educacional, fruto deste estudo.

Nesse contexto, é importante mencionar que o produto didático anexado a esta dissertação passou por aprimoramentos, visando a sua simplificação em termos de apresentação de materiais instrucionais e procedimentos metodológicos tendo como foco a aplicação fácil do mesmo por qualquer professor interessado na temática.

4.1 Quanto à natureza, abordagem e objetivos

A presente pesquisa partiu da necessidade de buscar conhecimento científico sobre a aplicação da didática interativa da gamificação, para o ensino das partículas elementares, para alunos do EM. Para tanto, foram utilizadas técnicas de observação, pesquisa bibliográfica, aplicação de questionários, aula expositiva, inserção de jogos e explanação do referencial teórico.

Diante do exposto a presente pesquisa, quanto à sua natureza, é aplicada, pois pretende “gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos” (GERHARDT, 2009, p.35).

Quanto aos objetivos, podemos defini-la como pesquisa descritiva, pois serão utilizadas técnicas padronizadas para coleta e análise dos dados, bem como fundamentação teórica, correlacionando as informações. O principal objetivo a ser respondido é elaborar uma proposta didática interativa sobre o ensino da física de partículas elementares. Já os específicos são: identificar a compreensão dos alunos sobre o tema proposto; proporcionar aos professores e aos alunos

embasamento teórico e prático acerca das partículas elementares; disponibilizar material didático com base na gamificação que poderá ser usado a posteriori em outras turmas e por outros docentes.

Quanto a abordagem ela é quantitativa e qualitativa, pois possibilita traduzir em números opiniões e informações. Através da coleta de dados que permite uma visualização matemática, com métodos estatísticos como forma de identificar o objeto da pesquisa. A pesquisa quantitativa é utilizada em estudos que pretendem avaliar resultados que podem ser mensurados em números, quanto a qualitativa traz informações e opiniões sobre o tema.

A utilização de ambas as abordagens, segundo Serapioni (2000), apresentada como uma combinação entre os métodos, muitas vezes visto como antagonísticos, tem se mostrado mais favorável em uma perspectiva mais pragmática, como se propõem as pesquisas de campo, permitindo a obtenção de melhores resultados.

4.2 Estrutura e etapas de desenvolvimento

Como já especificado anteriormente os principais objetivos da sequência didática foram distinguir partículas elementares de compostas; diferenciar quarks, léptons e bósons mediadores das interações forte, fraca e eletromagnética; reconhecer as partículas elementares em partículas compostas; reconhecer as leis de conservação de carga e energia em decaimentos radioativos; compreender episódios históricos de natureza relevante para o desenvolvimento da FPE; compreender a importância dos aceleradores na atualidade e da pesquisa em FPE.

Tendo em vista os aspectos discutidos anteriormente, o presente estudo consistiu de planejamento, desenvolvimento e roteiro para sua execução em quatro principais etapas, onde foram elaboradas e aplicadas estratégias, capazes de envolver, explicar e ensinar FPE de forma criativa e dinâmica.

As etapas tiveram a participação dos alunos do 3º ano do EM do curso Técnico Integrado do Instituto Federal Catarinense, da cidade de Fraiburgo, sendo realizadas em 8h/aula, porém o educador pode adaptar conforme sua necessidade didática, sendo sugerido não ultrapassar 10h/aula e não menos que 06h/aula.

Ao identificar as etapas da sequência didática, explícitas no fluxograma acima, fica evidente a importância de cada uma delas para a prática de ensino por meio de atividades virtuais, partindo da premissa que o educador tenha se apoderado do planejamento da sequência

didática, mantendo desta forma o controle e o dinamismo diante da sua plateia de alunos.

Para tanto, algumas regras, critérios de avaliação e penalidades, precisam estar estabelecidas, como pode ser visto na sequência.

A cada etapa executada a equipe (composta por 4 ou 5 alunos) ganhará pontos de experiência (XP), que poderão ser trocadas por benefícios, que são:

Tabela 4: Tabela de pontuação e ações

XP	Exercício	Tecnologia	Ação	Bônus para avaliação final
10	Pedir ajuda de um colega de outro grupo (3min)	Calculadora comum	Escolher um artigo para ajudar na realização da atividade	Ir ao banheiro
20	Fazer uma pergunta ao professor	Calculadora Científica	Pedir que o professor entregue um artigo para a resolução de uma atividade	Descartar a nota de um colega para fazer a nota final.
35	Descartar uma opção do exercício	Celular sem internet	Refazer uma atividade após a devolução	Usar uma das atividades feitas.
50	Descartar mais de uma opção ³	Celular ou Computador pessoal com Internet	Consulta livre a matérias impressos	Usar suas anotações durante a prova

Fonte: Autor

Como todo jogo possui regras e muitas vezes o envolvimento do estudante é tanto de superar os desafios ou até desafiar as próprias regras (KAPP 2012), é importante estabelecer critérios e regras bem definidas, conforme citado abaixo:

1. A Pontuação será atribuída à equipe, e no caso de penalidades os pontos serão descontados de toda equipe.

2. Cada equipe deverá ter um representante, que deverá fazer as solicitações por escrito, de trocas de pontos por vantagens pré-estabelecidas.

3. Este mesmo representante fará parte de um conselho que auxiliará o professor no desenvolvimento das atividades e poderá ser chamado para resolver algum caso que não esteja previsto nas regras do jogo.

4. Tanto a equipe quanto o jogador, de forma individual, poderão solicitar a troca de pontos por poderes quando tiverem pontuação suficiente para fazê-lo.

5. No final da correção de cada atividade será disponibilizado o Ranking preliminar que possibilita aos grupos usufruir dos pontos conquistados.

6. Os pontos conquistados em grupo, serão atribuídos a cada aluno da equipe, para poder usá-los de maneira individual na hora da avaliação.

7. A pontuação Máxima do Jogo que será usada para calcular a nota final do aluno será de 100 XP. Caso o jogador finalize as atividades com pontuação excedente, esses pontos serão descartados.

8. Todos os jogadores serão fiscais, porém caso queira denunciar alguma violação das regras por parte dos colegas, terão de fazê-lo através do representante do conselho, no ato de constatação de fraude.

9. O professor ficará responsável por apurar e julgar as denúncias de violação e, caso seja necessário, o mesmo poderá solicitar auxílio do conselho de alunos, a fim de obter melhor juízo para julgamento.

As penalidades servem para manter o grupo coeso e interessado em participar, conforme tabela abaixo.

Tabela 5: Tabela de infrações com perda de pontuação

Pontos XP	Infrações
-2	Falta de integrantes (por pessoa)
-2	Perturbar a aula
-10	Copiar atividade de outras equipes sem a devida solicitação
-80	Tentar algum tipo de trapaça nas regras

A definir	Alguma perturbação ou desrespeito que não estejam expressos nas regras.
-----------	---

Fonte: Autor

4.3 Questionários de avaliação e de atividades escritas

Com a base teórica estabelecida, a qual irá embasar todo trabalho, a próxima etapa é estabelecer os questionários que irão permitir fazer comparações entre os conteúdos apresentados da FPE, avaliando desta forma o conhecimento prévio e posterior dos alunos sobre o tema.

Assim, o primeiro questionário a ser aplicado, tem como principal objetivo identificar os conhecimentos prévios dos alunos, bem como o uso de ferramentas digitais para pesquisa e exploração de conteúdo escolar, aplicado na aula expositiva, que pode ser visualizado no apêndice ‘produto educacional’ (apêndice A).

4.4 Planeamento de atividades virtuais

Os educadores em busca destas novas percepções educacionais, precisam compreender o processo em sua totalidade, determinando todas as etapas a partir do conhecimento do tema a ser abordado.

Desta forma, o planeamento partiu das etapas de desenvolvimento, estabelecendo na sequência: material, método, recursos da tecnologia da informação, agendamentos e demais determinações que poderão ser vistas abaixo.

O planeamento das atividades virtuais teve dois principais pontos, o primeiro trata da formação das equipes, que utilizou o grupo de partículas compostas e seus respectivos elementos, para dividir os alunos em 5 grandes grupos, que podem ser visualizados abaixo:

Tabela 6: Grupos de Partículas Elementares

Grupo dos Quarks	Grupo dos Léptons	Grupo dos Bósons	Grupo das Partículas compostas (Hádrons)	Detectores e experimentos do LHC
Up	Elétron	Glúon	Nêutron	TOTEM
Down	Neutrino do Elétron	Fótons	Próton	LHCf
Strange	Múon	Z ₀	Píon +	LHCb

Charm	Neutrino do Múon	W+	Káon	ATLAS
Bottom	Tau	W-	Píon -	CMS
Top	Neutrino do Tau	Bóson de Higgs	Méson B	ALICE

Fonte: Autor

A utilização da internet, para classificar e identificar seus grupos, faz com que o planejamento desta etapa esteja mais voltado ao controle de tempo, estímulo à discussão, participação, competitividade e foco na atividade solicitada. Assim, ao educador, mais que conhecimento e domínio do tema, é preciso saber interagir com os alunos, conduzindo-os para a solução do problema proposto, que é localizar o seu grupo.

Exemplificando o processo, o aluno que tirou a partícula “Up”, por exemplo, deverá descobrir de qual grupo ele é pertencente, para então localizar os demais elementos e juntos formarem o grupo dos Quarks.

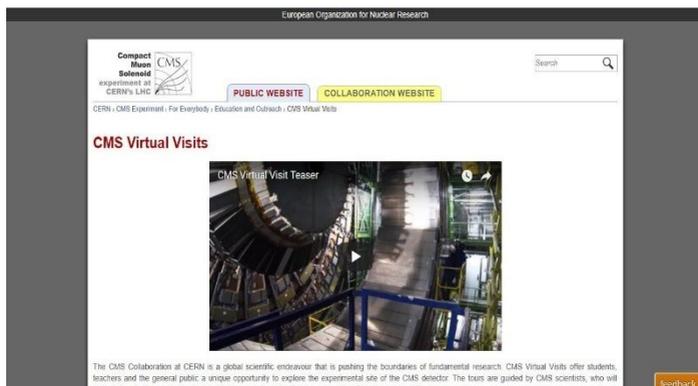
O segundo ponto foi identificar, conhecer e aplicar junto aos alunos as simulações, que estão disponibilizadas no site Phet. Para cada uma das atividades desenvolvidas há um roteiro exploratório próprio, com questões a serem respondidas, identificando se houve ou não entendimento da atividade proposta.

4.4.1 Agendamento e realização da visita virtual ao experimento CMS

O agendamento para realização da visita ao CMS foi realizado online¹² no qual encontram-se disponíveis informações para a visita como: público alvo, listas de equipamentos, links para acessar o formulário e informações sobre visitas realizadas pelo mundo.

¹² Online pelo site: <<http://cms.web.cern.ch/content/virtual-visits>>

Figura 27: Link para agendamento da visita virtual ao experimento Compact Muon Solenoid (CMS) do LHC



Fonte: Disponível em: <http://cms.web.cern.ch/content/virtual-visits>. Visualizado em: 21/03/2018

As visitas virtuais ao CERN, podem ser agendadas para os mais diversos fins, tanto para aulas de nível médio e universitário, exposições científicas, conferências, onde a apresentação será feita no idioma dos visitantes, sendo que a única exigência é o número de visitantes, que deve ser igual ou superior a 50. Caso o grupo seja menor a proposta será analisada.

Outra oportunidade ímpar é o agendamento para visita virtual ao experimento ATLAS, o maior detector do LHC, que foi fundamental para a descoberta do bóson de Higgs em 2012, juntamente com o CMS. De maneira semelhante, a Figura 28, apresenta a página na Web para realizar o processo de agendamento, que se dá a partir do preenchimento de formulário específico.

Figura 28: Link para agendamento da visita virtual ao experimento A Toroidal LHC Apparatus (ATLAS) do LHC



Fonte: Disponível em: <http://atlas-live-virtual-visit.web.cern.ch/atlas-live-virtual-visit/> Visualizado em: 21/03/2018

Os requisitos básicos para a realização da visita virtual são: ter disponível computador atualizado e uma internet de preferência cabeada de no mínimo 1.0 Mbps, um projetor e uma sala suficientemente escura. É recomendável ainda ter um microfone com um cabo longo ou até mesmo sem fio e uma unidade de cancelamento de ruído.

É necessário também instalar o software multiplataforma Vidyo, disponível para download no link: <http://information-technology.web.cern.ch/services/fe/vidyo>.

Figura 29: Foto da realização da visita virtual ao experimento CMS no IFC de Fraiburgo em 18.09.2017



Fonte: Autor

A maior preocupação no teste de conexão, além da velocidade de conexão, está no posicionamento da caixa amplificadora, e na posição do microfone, afim de evitar microfonia e retornos de áudio. Devido a isso é interessante utilizar um microfone que possa ser ligado e desligado.

É recomendável que o professor tenha em mãos já algumas informações como: número de participantes, público-alvo, faixa etária dos visitantes e nível de conhecimento sobre física de partículas, para assim preencher o formulário de inscrição para visita.

Outro fator importante é que o agendamento ocorra, de preferência, com alguns meses de antecedência, garantindo que o pesquisador fale em português, o horário, a data e a realização do teste de conexão sejam pré-definidos, garantindo que no dia agendado tudo ocorra sem maiores intercorrências.

Caso o professor tenha dificuldade com a língua inglesa é interessante pedir auxílio ao professor de inglês da escola, ou alguém que possa auxiliá-lo no preenchimento do formulário e principalmente com o teste de conexão que é realizado nesse idioma.

É interessante que tenha a presença de um profissional da área da informática para realização do teste de conexão, para que ele possa verificar a rede, certificando-se de ter o mínimo de banda recomendável, e até mesmo na instalação de possíveis softwares redutores de ruídos.

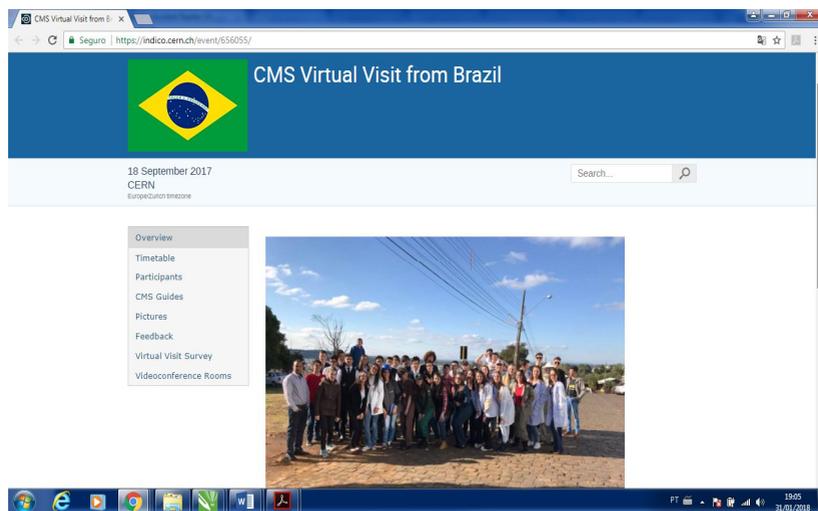
Abaixo segue o cartaz da visita virtual datada e fornecida pela própria equipe do CMS, a fim de divulgar o evento. Os mesmos demonstraram bastante interesse e satisfação em poder compartilhar o conhecimento, o que sugere possíveis novos agendamentos com demais turmas.

Figura 30: Cartaz visita virtual CMS



Após a confirmação das datas, teste de conexão e da visita virtual, o CMS prepara um site contendo informações referentes a visita, links para pôster e vídeos referentes ao CMS e link contendo o vídeo da gravação da visita. A visita fruto deste trabalho pode ser acessada no site <https://indico.cern.ch/event/656055/> como pode ser visto na Figura abaixo.

Figura31: página da visita virtual ao CMS



Fonte: Disponível em <https://indico.cern.ch/event/656055/>. Visualizado em janeiro 2018

No mesmo site é possível encontrar o vídeo de toda a visitação, que foi gentilmente gravada e disponibilizada no site <https://indico.cern.ch/event/656055/>, clicando no link: “Virtual Visit from Brazil, 2017.09.18”

Figura 32: link para assistir ao vídeo da visita virtual ao CMS realizada no IFC – Fraiburgo em 18.09.2017

This virtual visit is organised for the students at the Federal Institute Catarinense Campus Fraiburgo, Brazil.

Starts 18 Sep 2017, 14:30
Ends 18 Sep 2017, 15:30
 Europe/Zurich

CERN
 3562 R-020

Feedback

Virtual Visit from Brazil, 2017.09.18.

CMS Brochures, Factsheets, Comic Book, ...

- CMS Comic Book
- CMS Science and Technology Brochure
- Facts about CMS

Set of CMS Posters (In Portuguese)

- <https://cms-docdb.cern.ch/cgi-bin/Publ...>

Videos

- CMS Tour (with Portuguese subtitles)
- Video - collisions inside CMS (June 201...
- Video - Pixel detector insertion (March ...

Help | Contact | Terms and conditions

Fonte: disponível em: <https://indico.cern.ch/event/656055/>. Visualizado em janeiro 2018

É possível perceber a importância que a divulgação destas visitas virtuais tem para o CMS, e o quanto são profissionais, éticos e multiplicadores de conhecimento, pois mais que conhecer as instalações físicas, os alunos puderem conhecer os cientistas, sanar todas as suas dúvidas e ainda tiveram acesso a todos os materiais de estudo. Demonstrando que é possível levar conhecimento científico, que está sendo produzido a milhares de quilômetros dos alunos, e mesmo assim parecer ser próximo da realidade deles.

Após a visita virtual, a Universidade Federal de Santa Catarina, também disponibilizou em seu site a matéria sobre a atividade desenvolvida que pode ser acessada no link <http://blumenau.ufsc.br/2017/09/25/mestrando-em-fisica-da-ufsc-blumenau-promove-visita-virtual-ao-cern/>, visto abaixo.

Figura 33: Divulgação da visita virtual ao CERN na página da UFSC

The image shows a screenshot of a news article on the UFSC Blumenau website. On the left is a sidebar with the UFSC logo and navigation links: 'Graduações', 'Especializações', 'Mestrados', and 'INSTITUCIONAL' (with sub-links for Home, O campus, Direção, Conselho de Unidade, Departamentos, and Núcleos). The main article features a breadcrumb trail: 'Notícias > Notícias > Mestrando em Física da UFSC Blumenau promove visita virtual ao CERN'. The headline is 'Mestrando em Física da UFSC Blumenau promove visita virtual ao CERN' with a date of '25/09/2017 10:54'. Below the headline is a sub-headline: 'Atividade foi realizada com estudantes do Instituto Federal Catarinense - campus Fraiburgo'. The main text begins with 'Até para quem não é da área da Física, as notícias relacionadas as descobertas promovidas pelo CERN (Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear), especificamente sobre o Grande Colisor de Hádrons (LHC), impressionam. Desde o anúncio da descoberta do chamado Bóson de Higgs muito se tem especulado sobre um novo panorama acerca da física de partículas. Sabe aquela conversa de prótons, nêutrons? Pois é, isso tudo pode se transformar com base nas pesquisas desenvolvidas no LHC.' To the right of the text is an aerial photograph of the CERN facility, captioned 'Vista aérea do CERN'.

Fonte: disponível em: <http://blumenau.ufsc.br/2017/09/25/mestrando-em-fisica-da-ufsc-blumenau-promove-visita-virtual-ao-cern/> . disponibilizado em 22/01/2018.

4.4.2 Elaboração de roteiros de atividades virtuais exploratórias do site Phet

As atividades virtuais proporcionadas pelo Phet permitem aos alunos relacionarem conhecimento com imagem, experimentando a tecnologia como ferramenta de conhecimento. Podem ser consultados os roteiros no apêndice ‘produto educacional’ (apêndice D e E).

Na sequência da aplicação do ensino da FPE, é importante ter clareza e consistência dos objetivos no processo de ensino aprendizagem, portanto, a criação de roteiros para as atividades virtuais, permite manter o planejamento e propicia aos alunos a elaboração de representações concretas junto as simulações.

4.5 Questionários de Avaliação da Visita Virtual ao CMS

O uso das tecnologias da informação a favor do processo de ensino e aprendizagem se torna eficaz à medida que ganha um sentido lógico no processo de assimilação do conteúdo. Assim, a visita virtual ao CMS,

tem papel fundamental na análise crítica, interpretação, análise e elaboração de conteúdo sobre as FPE.

É por meio da visita virtual, que o aluno correlaciona teoria com realidade, ampliando sua percepção e compreensão da realidade. Portanto, o questionário que convida aos alunos a refletir sobre a visita, poderá ser consultado apêndice ‘produto educacional’ (apêndice F), fazendo com que estes adquiram um novo significado de aprendizagem, pautada na investigação e vivência (ainda que por meio de práticas de caráter virtual).

4.6 Avaliação Final

Nesse ponto, vale dizer que, apesar da questão pragmática envolvida nas preparações para vestibulares e afins, o intuito da atividade está estritamente relacionado ao da investigação científica em curso. Ademais, ressaltamos que, do ponto de vista de conteúdo, há sem dúvida grande qualidade nas questões selecionadas apêndice ‘produto educacional’ (apêndice G).

5 APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA E ANÁLISE DOS DADOS

A seguir apresentamos um relato sobre a aplicação da sequência didática desenvolvida, bem como os resultados obtidos da análise estatística de respostas dos questionários e roteiros exploratórios aplicados em sala de aula.

No que segue apresentamos as primeiras impressões sobre a aplicação da sequência didática

5.1 Primeiras impressões

De início, percebe-se que o ensino do MP, é bastante restrito aos discursos acadêmicos, onde na prática, o ensino de física fica na maior parte do tempo restrita a física construída até o século XVIII

Desta forma abordar o tema FPE é proporcionar ao aluno uma visão da física moderna e contemporânea, de maneira a perceber os fenômenos do universo numa visão dinâmica e crítica. É proporcionar subsídios para leituras de produções científicas, ou para acompanhar matérias divulgadas nas diversas mídias digitais. Assim nas palavras de Siqueira (2006, p.16), os educadores devem abordar esses assuntos em sala de aula, pois, dessa forma “os jovens, poderão entender melhor os artigos das revistas de divulgação científica e compreenderão porque os cientistas fazem essas pesquisas, tendo um posicionamento mais crítico, perante esses artigos veiculados pela mídia”.

Repensar a física, não somente o tema FPE, mas também os diversos tópicos da FMC, mais atualizada, que encante, desperte e instigue os alunos a conhecer mais sobre o universo, tornará o estudo de física mais atraente. Cabe-nos destacar que a escassez de tempo em sala de aula é um fator limitante, tornando mais difícil a inserção de atividades práticas no ensino de física. Por outro lado, ainda dentro desse cenário, é possível localizar os experimentos, simulações e visitas virtuais, que permitam aplicação em intervalo de tempo otimizado. Esse é um desafio, sabemos. Contudo, praticável a nosso ver.

Face o exposto, nossas primeiras impressões ao apresentar o MP aos alunos, foram de que estes já tinham conceitos predefinidos, mas de senso comum, sem conteúdo científico. Tornando-se fundamental a aula

expositiva sobre o tema, trazendo referenciais teóricos e elementos das atividades virtuais e gameficadas.

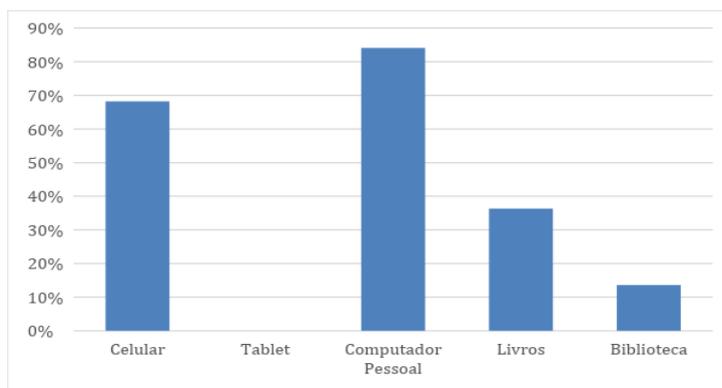
Destaca-se também que os obstáculos representativos das colisões de partículas, os aceleradores, as partículas elementares, puderam ser supridos por meio da visita ao CMS, na qual os alunos conseguiram materializar todas as demais práticas, mediante a possibilidade de tirar dúvidas e esclarecer pontos obscuros não somente com o professor, mas sobretudo com os guias da visita virtual. Esse papel de tutorial e assistência, advindo de especialistas, pareceu-nos um diferencial valioso; ao qual retornaremos posteriormente.

Portanto, a impressão ao longo da sequência didática com aula expositiva, aplicação de questionários, aplicação das simulações nas atividades virtuais e a visita ao CMS, para o desenvolvimento do MP, mostra que é possível abordar o tema junto aos alunos do EM, em que estes quando abordados pelo uso da tecnologia, assimilam, colaboram, participam e constroem o seu saber.

5.2 Análise do questionário de conhecimento prévio

Nessa seção serão apresentados os resultados da pesquisa, aplicada a 44 alunos do 3º ano do EM do curso Técnico em Informática Integrado ao Ensino Médio do IFC-Fraiburgo, com questionário contemplando perguntas dissertativas e de múltipla escolha. O objetivo desta etapa foi o de identificar o nível de compreensão do referido grupo de alunos sobre a FPE e, em particular sobre o MP. Além disso, buscamos levantar dados referentes ao uso de ferramentas de pesquisa e estudo.

Gráfico 1 – Porcentagem de alunos e ferramentas de pesquisa que utilizam.



Fonte: autor

No universo destes 44 alunos, o Gráfico 1 mostra que o uso do computador pessoal representa 84% das respostas. Revela ainda que 68% utiliza o celular para consultas e pesquisas, 36% dos alunos ainda pesquisam em livros e apenas 14% procura pela biblioteca para realização de pesquisas. Dados que são reflexos da geração Z, que são os indivíduos que possuem maior intimidade com as novas tecnologias, por estarem em contato direto com mundo digital.

Em pesquisa recente realizada pelo Centro Regional de Estudos para o Desenvolvimento da Sociedade da Informação (2013), demonstrou-se que:

“a maioria dos alunos usa o computador e a Internet para pesquisas para a escola (86%); em seguida, vêm projetos ou trabalhos temáticos, com menção por 76% dos alunos. Considerando-se o potencial das tecnologias para fomentar a dinâmica colaborativa em meio educacional, a realização de trabalhos em grupo é uma atividade em que o emprego de tecnologias é relativamente alto: 72% dos alunos usam o computador e a Internet para isso” (CETIC, 2013, p.06)

Desta forma, em ambas as pesquisas encontramos na geração Z, indivíduos inquietos, que buscam no mundo virtual as respostas para suas

perguntas. Estar pronto e disposto a conhecer este universo faz parte de um dos grandes desafios dos educadores. De um lado, essa geração chega às salas de aula conhecendo as tecnologias da informação e comunicação (TIC), por exemplo, internet, softwares, jogos eletrônicos, aparelhos celulares, computadores, etc; de outro, há educadores repassando conteúdos e exercícios que precisam atrair a atenção deles, numa tentativa de encontrar mecanismos, na vida real, que os estimulem a procurar e gerar conhecimento. Esta mediação entre educador e alunos consiste em “problematizar, perguntar, dialogar, ouvir os alunos, ensiná-los a argumentar, abrir-lhes espaço para expressar seus pensamentos, sentimentos, desejos, de modo que tragam para a aula sua realidade vivida”. (LIBÂNEO, 2009, p. 13). Nesse sentido o autor Greenfield (2014) afirma que os “nativos digitais, estariam perdendo as suas capacidades intelectuais, ou seja, a tecnologia faria com que essa geração não conseguisse mais interpretar linguagem corporal, tons de voz e nem mesmo olhar as pessoas nos olhos, pois tudo estaria se tornando cada dia mais artificial”.

Assim, é fundamental pensar na educação como um processo contínuo de construção de conhecimentos e interação com a tecnologia, pois como afirma Rischbieter (2009, p.56).

“A partir das diversas transformações tecnológicas o professor ganha novas formas de ensinar chamando a atenção de seus alunos para as informações a serem recebidas. Fazendo com que o professor saiba utilizar as possibilidades disponíveis. Dos laptops mais baratos aos telefones que fazem de tudo, surgem instrumentos, cada vez mais ao nosso alcance, que abrem novas perspectivas para a pesquisa, o transporte e consumo de bens culturais, a troca de mensagens e para atividade de autoria de todos os tipos. Resta saber se a escola saberá explorar essas possibilidades.”

Pode-se dizer que não é possível conceber mais a sociedade sem as novas tecnologias e a sua influência no modo de interação entre as pessoas. As barreiras entre o educador e as tecnologias, devem ser vencidas, visto que a “sociedade está mudando de forma tão rápida a escola não pode esperar, precisa se destacar, conhecer e explorar as preferências e interesses de sua clientela” (GUARESCH, 2005, p.33).

Na próxima questão fica ainda mais evidente a importância da internet na vida destes adolescentes.

Gráfico 2 – Porcentagem de alunos pela frequência com que usa a internet



Fonte: autor

Percebe-se nesse gráfico que a internet já faz parte da rotina dos estudantes, onde 100% deles afirmam usá-la regularmente, fato que contribui para esse valor elevado é que os alunos pesquisados cursam o Técnico em Informática.

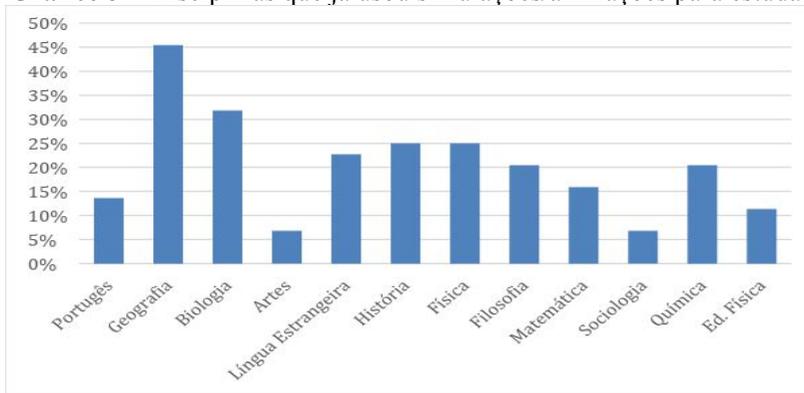
A relação entre jovens catarinenses de 15 a 17 anos, sem internet em casa representa uma média de 64%, contra 35% declarando que tem internet em casa, segundo dados (UNIBANCO, 2017, p.19). Diante dos dados, pode-se dizer que o acesso a internet ainda é desigual entre as regiões e classes sociais. Ainda sobre isso, dados do relatório CETIC (2013, p.03), os alunos pesquisados acessam a rede todos os dias, “(...) que 69% usam a Internet diariamente. Quanto à frequência de uso da Internet, o aspecto regional se destaca: os jovens das regiões Sul e Sudeste são usuários de Internet ainda mais frequentes – 70% e 77%, respectivamente”.

Corroborando com outros estudos a internet se consolidou “como importante suporte para a consulta escolar pelo jovem brasileiro, tanto para a realização de pesquisas, tarefas e trabalhos quanto para a obtenção de informações sobre cursos e atividades educativas e de capacitação” (PRADO, 2015, p.6). De modo geral, todos esses dados refletem o grande uso e a potencialidade de ferramentas como a internet. Por outro lado, deflagram uma preocupação importante para o processo de ensino-

aprendizagem dos conteúdos escolares: o uso de ferramentas digitais tem aumentado a capacidade analítica e reflexiva dos alunos quanto a assimilação desses conteúdos?

Na sequência os alunos foram questionados sobre o uso de simulações computacionais e de outras ferramentas virtuais.

Gráfico 3 – Disciplinas que já usou simulações/animações para estudar



Fonte: autor

Podemos perceber que muitos alunos procuram por simulações ou animações para estudo, cerca de 70% dos alunos afirmam procurar por recursos desse gênero para estudar, porém dentre esses são poucos, apenas 35%, os que procuram por simulações/animações de física. Dos 31 alunos que afirmaram usar simulações/ animações para estudar, apenas 11 disseram já ter utilizado esse recurso para estudar Física. Número considerado baixo, se comparado com os inúmeros recursos que se encontram disponíveis na internet. Reflexo do desconhecimento dos alunos em relação a recursos disponíveis, mas reflete também, em grande parte, a falta de preparo e conhecimento dos professores com relação à divulgação e inserção de recursos tecnológicos em sala de aula.

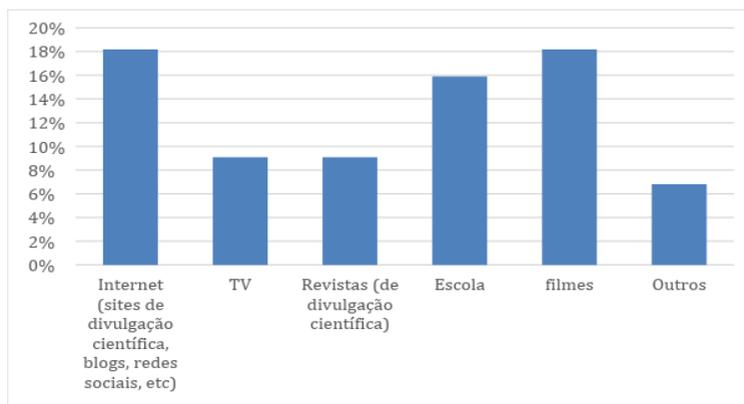
Nesse âmbito, é fundamental perceber que esse comportamento pode ser reflexo de um comportamento conservador. Segundo avaliação de Prado (2015, p.12), os estudantes dessa nova geração apesar de usarem as redes sociais com maestria, “muitos jovens ainda têm uma visão conservadora sobre o potencial das novas tecnologias para ajudá-los nos estudos, o que pode ser uma indicação de que eles não compreendem bem o que significa a revolução tecnológica que estão vivenciando”. Assim, estes indivíduos, embora com o mundo em um clique, parecem não ter a mesma capacidade crítica de qualificar grande parte das informações que

acessam, ficando muitas vezes à mercê das redes sociais e não explorando toda gama de informação e conhecimento que estão ao seu alcance.

Tratando-se de Física de Partículas e dos grandes aceleradores, 77% da turma relata já ter ouvido falar sobre eles. Porém esse número cai para 34% quando são perguntados se já ouviram falar do LHC. Fica ainda mais notório a falta de conhecimento na área de aceleradores de partículas quando os alunos são instigados a responder sobre a importância do LHC. Nesse quesito, 52% não souberam ou não quiseram relatar qualquer tipo de conhecimento, porém 43% deram respostas com significados amplos que não faziam relação com a pergunta, por exemplo: “*Acredito que de grande importância, pois com isso poderemos saber mais coisas e descobrir novos horizontes nas ciências*” (Aluno 10), ou afirmando não conseguir falar nada sobre o experimento e apenas 5% conseguiram associar ao LHC partículas elementares colisões de partículas a altas velocidades.

A próxima questão reúne informações sobre meios de acesso a material de divulgação científica sobre FPE.

Gráfico 4 – Número de alunos e meios de acesso a material de divulgação científica sobre FPE



Fonte: autor

Percebe-se que para os alunos que reportaram já ter ouvido falar do LHC, a Internet e os filmes foram os principais veículos de divulgação citados. Esse dado demonstra que, de um lado, a internet é uma ferramenta democrática de acesso à informação que fomenta a construção

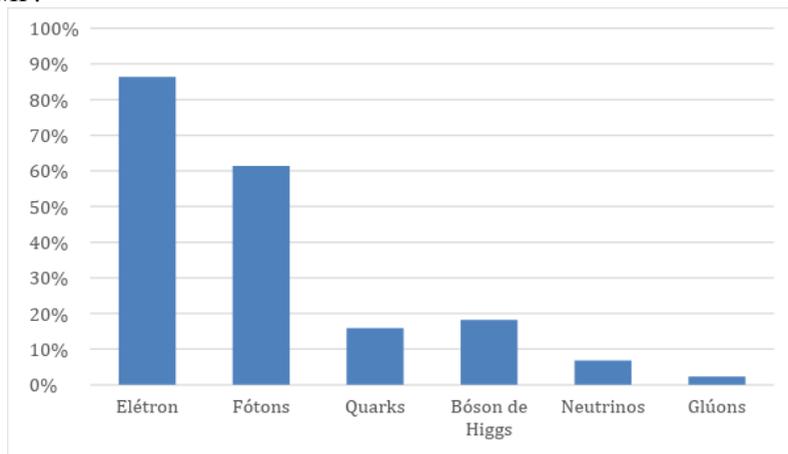
de novos conhecimentos; de outro, que trata-se, infelizmente, de um ambiente que é pouco utilizada pelos educadores como ferramenta efetiva de ensino.

O impacto do uso das tecnologias da informação e comunicação no ensino e aprendizagem está na interação com o aluno, como elemento de apoio na forma de criar e construir novas práticas didáticas. Reiteramos que o educador precisa estar atualizado, ter domínio do conteúdo e das novas tecnologias, a fim de inserir estas mídias no processo de ensino-aprendizagem.

Dessa forma, ao usar os meios tecnológicos e seus suportes diferenciados, o professor pode contribuir para a constituição de sujeitos aptos a interagir com o mundo e a assumir posições comprometidas nos múltiplos espaços virtuais, que por exemplo, a telefonia móvel dispõe. Se, por um lado, é indiscutível a importância dos meios tecnológicos em todos os setores da vida social, por outro, e de não menos importância, é reconhecer o papel que a educação tem no desenvolvimento dos indivíduos e da sociedade.

O gráfico abaixo apresenta informações sobre o conhecimento prévio dos alunos acerca dos constituintes fundamentais do MP.

Gráfico 5 – Conhecimentos prévios sobre as partículas elementares do MP.



Fonte: Autor

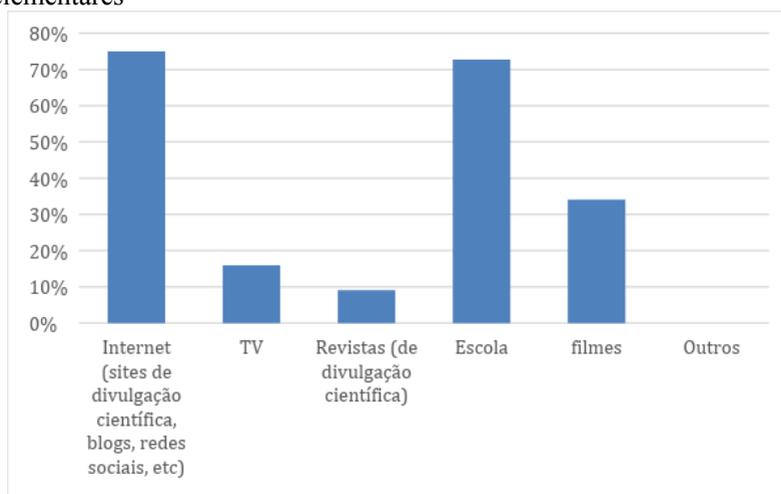
A grande maioria já ouviu falar de elétrons (86%) e fótons (61%) porém quando são solicitado a escrever quais partículas são elementares apenas 14% deles conseguem associar o elétron a uma partícula

elementar. Esse dado corrobora um fato observado anteriormente, a saber: o de que, para o estudante brasileiro de EM a física parece ter parado no final do século XIX.

Ainda nessa questão, vale destacar uma exceção: *“Eu saberia que existem os quarks, que são partículas muito pequenas que constituem os prótons e os nêutrons”* (Aluno 12).

O próximo gráfico procura identificar por meio de que canais de informação os estudantes ouviram falar sobre as partículas elementares.

Gráfico 6 – Canais de informação que já ouviram falar sobre partículas elementares



Fonte: Autor

Quando solicitados sobre o Modelo Padrão de Partículas Elementares 20% dos alunos afirmam que já ouviram sobre ele, destes 56% disseram ter visto algo na internet e 56% na escola. Lembrando que os alunos poderiam escolher mais de uma opção.

Corroborando com os resultados, estão os dados CETIC (2013, p.4), onde na região Sul, “a escola tem importância muito significativa: 71% dos jovens acessam a Internet por lá. Por outro lado, o Nordeste está abaixo da média do Brasil: apenas 36% dos alunos acessam a rede no ambiente escolar”, isso demonstra a importância da tecnologia na escola, embora ainda exista desigualdade de acesso as essas tecnologias.

5.3 Avaliação das atividades virtuais exploratórias

Dentre as atividades de gamificação, a formação das equipes foi sem dúvida uma atividade bastante proveitosa, onde os alunos mostraram cooperação, síntese, colaboração e mesmo podendo usar celular durante a tarefa mostraram-se focados durante toda a execução.

Com a tarefa formaram-se 9 equipes, sendo que apenas uma ficou com 4 integrantes e as demais com 5. Nesse momento todos os alunos conseguiram êxito, conseguindo a máxima pontuação para suas equipes, que era de 20XP.

As outras atividades, Espalhamento de Rutherford, Decaimento beta e visita virtual puderam ser feitas em casa e os alunos tiveram um prazo de 5 dias para realizá-las. Mesmo com o material sendo disponibilizado para os mesmos pesquisarem, refazerem as atividades quantas vezes fosse necessário, somente duas equipes conseguiram pontuação máxima 30 XP na atividade Espalhamento Rutherford.

As demais equipes conseguiram 20XP/30, pois além dos problemas já citados sobre a questão 10, podemos relatar (1) a ausência de relação entre energia e desvio e (2) confusão com campo elétrico e magnético. Sobre este último, na questão 13, identificamos novamente um equívoco conceitual importante: os integrantes de uma das equipes afirmaram que a natureza da força é magnética, as demais equipes não citaram a natureza da interação entre partícula alfa e núcleo.

Tais equívocos apontam para a necessidade de se trabalhar esse assunto em turmas de terceiro ano que já tenham estudado sobre magnetismo e força magnética. A turma para a qual o projeto foi aplicado só havia estudado eletrostática e campo elétrico, de tal modo que os conceitos de campo magnético e força magnética foram transmitidos de maneira breve e introdutória, fato que colaborou para a não efetiva compreensão do fenômeno.

As equipes demonstraram confusão entre os termos, usando decaimento no lugar de desvio e indicando que as partículas alfa “batem” no núcleo. Esse fato ressalta fragilidade na assimilação do conceito de espalhamento e no processo de interação a distância. É como se identificassem o processo de colisão como uma interação de contato, como ocorre, por exemplo, num choque entre duas bolas de bilhar, fato esse que não ocorre nas faixas de energia da simulação do Phet. Na sequência um exemplo de uma das respostas dadas: *“o esquema mostra a trajetória das partículas alfa, com uma menor energia, as partículas batem no campo magnético, criado pelo elétron. Se distanciam mais do núcleo”* (Equipe 7).

Reportamos alguns problemas de assimilação de conceitos, cuja identificação, nesse ponto torna-se fundamental. Foram eles: 1. a ausência de qualquer investigação (ainda que rudimentar) sobre uma possível relação entre energia cinética das partículas alfa incidentes e o ângulo de desvio. 2. a dificuldade de distinguir interações de caráter elétrico e magnético. Nesse ponto, vale ressaltar também as dificuldades encontradas no âmbito da questão 14, na qual os alunos deveriam discutir sobre a contribuição da descoberta do átomo de Rutherford para o desenvolvimento da física nuclear e de partículas elementares. Exemplificando, segue uma das respostas: *“Tal experiência fez com que vemos descobertas de tamanha importância para a física atual, pois mostra diversas descobertas.” (equipe 3).*

A análise da questão 5, que solicitava aos alunos escrever sobre a distribuição de cargas e o que ocorre com as partículas e os desvios angulares das partículas alfa no modelo de Thomson, mostraram novamente a dificuldade de contextualização dos alunos. Demonstrando confusão com termos como espalhamento, ângulos e trajetória. Em resposta uma das equipes afirma: *“As partículas alfa passam a ser refletidas sempre em um ângulo contínuo de 90°, em relação a escala atômica” (Equipe 08).* Outra equipe responde: *“Não, elas continuam seguindo na mesma direção” (Equipe 4).*

Vale ressaltar que, apesar de importantes, as limitações com a linguagem científica não traduzem por completo a assimilação ou não do conteúdo. Contudo, servem de um indicativo para três questões importantes: 1. pode ter ocorrido dificuldade na compreensão do fenômeno físico em questão; 2. os problemas propostos podem não ter sido expostos de maneira suficientemente clara; 3. houve falha de interpretação e entendimento para dissertar sobre o ocorrido. Independente da fonte, física ou a linguagem, constata-se a importância do educador no processo de construção e interpretação de texto.

Com respeito à segunda atividade virtual exploratória, Decaimento Beta, 4 equipes que conseguiram 35XP, 3 delas não colocaram todas as partículas elementares presentes após o decaimento beta. Na questão 8, uma das equipes perdeu seus 5XP, ao introduzir em sua resposta da questão 9 a informação que não há conservação da carga durante o decaimento.

A equipe que atingiu 30XP não pontuou na última questão, visto que sua resposta não teve relação com o enunciado: *“o nêutron fica positivo e acaba se tornando próton, quando a partícula perde um elétron de um antineutrino; deixando assim a carga desconsiderada. Já prótons*

e nêutrons, considerando massas iguais, não leva em conta na consideração das massas totais, sendo assim, não considera” (Equipe 9)

As demais equipes conseguiram identificar o processo de criação do elétron e antineutrino do elétron no decaimento beta, porém não identificaram e verificaram as leis de conservação. Ainda sobre isso, as equipes que obtiveram 25XP tiveram ainda problemas na identificação das partículas elementares antes e depois do decaimento beta, fato que se repetiu na equipe que recebeu 21XP, que ainda desenhou na questão 7 apenas no núcleo do hélio, sem desenhar o elétron e o antineutrino do elétron, oriundo do decaimento beta.

Como resultado final das atividades virtuais aplicadas no site Phet, percebeu-se que embora os alunos tenham começado no laboratório de ensino, tiveram que finalizar as atividades em casa, onde o resultado de forma geral foi satisfatório.

Por fim, e conforme já observado anteriormente, avaliamos que as principais dificuldades observadas na realização das atividades com simulações propostas, foram sobretudo relacionadas à: 1) compreensão de enunciados das atividades; 2) pouca capacidade analítica e de desenvolver estratégias para solução dos problemas propostos; 3) falhas conceituais, principalmente associadas aos fenômenos de natureza eletromagnética. 4) o compromisso em realizar as atividades em casa até o fim, observando e relatando os fenômenos, demonstrando incertezas e pouca confiança nas respostas.

5.4 Avaliação da visita virtual ao experimento CMS

Nessa seção apresentamos os resultados da realização da atividade referente à visita ao CMS do LHC, em que deveriam escrever um texto com no mínimo 20 linhas e no máximo 30. O resultado foi: 7 das equipes conseguiram a pontuação máxima 50XP, pois cumpriram o que foi solicitado, uma delas 40XP/50 não conseguiu diferenciar o LHC de outros aceleradores de partícula, e uma equipe com apenas 25XP/50 não cumpriu nem o mínimo de linhas que deveriam ser escritas, conforme tabela abaixo:

Tabela7: Relação das equipes e quantidade de linhas por texto

Equipes	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Linhas	24	30	23	20	20	21	15	21	20

Fonte: autor

Com relação às produções textuais, vale citar que muitas delas limitaram-se a reproduzir os conteúdos disponíveis em sites sobre o CMS. Observou-se, portanto, pouca criticidade e analiticidade em relação à vivência da experiência proporcionada pela visita virtual ao experimento CMS. Esperava-se que a produção do texto viria com o mesmo entusiasmo e interesse que os alunos demonstraram durante a visita virtual. Em contraste os resultados das avaliações ficaram aquém do esperado e remete-nos a apontar algumas causas como: 1. Preferência dos alunos em expor-se verbalmente; 2. Desinteresse pela atividade; 3. Dificuldade de escrita; 4. Falha de comunicação e incentivo para completar a atividade; 5. Apenas um dos elementos da equipe ficou para realizar e cumprir a tarefa; 6. Metodologia de avaliação deveria ter passado por um pré-teste, a fim de avaliar melhor a receptividade dos alunos, quanto ao método; 7. Falta de tempo para finalizar a atividade em sala de aula.

Portanto, recomenda-se que antes de aplicar questionários, atividades gameficadas e simulações o professor estipule o tempo de 2h para elaboração do texto, logo após a ocorrência da visita virtual.

5.5 Avaliação final

Após todas as atividades, os alunos foram submetidos a uma avaliação final, constituída de perguntas feitas em vestibulares e questões que servem para identificar a compressão geral sobre conceitos da FPE.

O resultado da aplicação do questionário, onde se almeja verificar se o uso da gamificação, aplicada ao ensino da FPE, reforçou o aprendizado, incentivou a colaboração entre os alunos e se houve feedbacks relevantes.

Assim, os 44 participantes responderam as questões em sala de aula, durante 45min., consultando internet, celulares e por meio de discussões entre os membros das equipes. As questões de múltipla escolha permitem avaliar o entendimento sobre o estudo realizado. Desta forma, os resultados obtidos foram:

Tabela 8: Percentuais de acertos na avaliação das questões de múltipla escolha

Questão	Acertos
1. Item de múltipla escolha, quanto às forças, há quatro delas no universo.	98%

2. Das Figuras abaixo, qual poderia representar as direções e sentidos das velocidades das partículas π^+ e π^- no sistema de referência em que K_0 estava em repouso.	98%
3. Considerando que o campo magnético terrestre sobre a maior parte da América do Sul é da ordem de 30 microteslas (0,3 gauss), o campo magnético gerado pelo CMS é maior do que dessa região da Terra, aproximadamente, (Dado: 1 microtesla = $1, T = 1.10^{-6}T$).	91%
4. Assinale a alternativa que indica, respectivamente, de forma CORRETA, quantos quarks up e downs formam um próton e quantos formam um nêutron.	95%

Fonte: autor

Observa-se com os resultados acima, que os alunos compreenderam o enunciado e que conseguiram identificar conceitos-chave e solucionar os problemas propostos, seja consultando a internet, seja por troca de informações entre eles. Fato é que nessa atividade todos os alunos cooperaram e se ajudaram a finalizar a atividade.

Com relação às perguntas discursivas, os alunos tiveram que descrever sobre os temas propostos, que foram:

Tabela 9: Percentuais de acertos e erros na avaliação final por questão dissertativa

Questão	Resultado
1. Faça a distribuição da carga cor para os quarks que formam um próton e um nêutron.	77% acertou a questão inteira e 09% teve acertos parciais*.
2. Quais as principais características do LHC que o distingue de outros aceleradores de partículas ao longo do mundo?	57% acertou a questão inteira e 43% teve acertos parciais*.
3. Qual é a importância do átomo de Rutherford para o desenvolvimento da Física Nuclear e de Partículas Elementares? Além de sua importância histórica, o experimento de Rutherford é um exemplo simples de experimento de ESPALHAMENTO, empregados para descoberta de novas partículas e para a compreensão da estrutura elementar da matéria.	52% acertou a questão inteira e 39% teve acertos parciais*.

4. Mostre que no decaimento do trítio (^3H), ao emitir uma partícula beta a carga total é conservada, mostre também o resultado deste decaimento.	7% acertou a questão inteira e 89% teve acertos parciais*.
5. A carga cor surge para resolver o problema do princípio de Exclusão de Pauli. Explique com suas palavras esse princípio e a solução dada pela introdução da carga cor.	77% acertou a questão inteira e 09% teve acertos parciais*.

Fonte: autor

* acertos parciais: significam que as respostas continham erros conceituais grave e/ou falta de coerência na resposta.

A questão 5 falava justamente da distribuição da carga cor no quarks que compõem os prótons e nêutrons, que aqui apenas 5 alunos não responderam ou responderam incorretamente. Outros 5 alunos fizeram a distribuição incorreta das cores e 34 alunos acertaram a questão, porém ficou claro que não compreenderam o porquê da existência da carga cor.

A questão 9, sobre a formulação do conceito de carga de cor para resolver o problema da composição de alguns bárions com mesmo conteúdo de quarks (partículas idênticas) e da incompatibilidade com o Princípio de Exclusão de Pauli, teve apenas 6 respostas satisfatórias: 29 alunos conseguiram escrever o que é o princípio de exclusão, mas não conseguiram citar a solução e os 9 alunos restantes deixaram a questão em aberto.

A seguir, citamos uma das respostas que foram consideradas parcialmente corretas: *“A exclusão de Pauli é um princípio da mecânica quântica: dois férmions iguais não podem ocupar o mesmo estado quântico simultaneamente a cromodinâmica quântica é a teoria dos glúons e dos quarks. Analisa explicações de como as partículas elementares se comportam”* (Aluno 06)

A questão 6, sobre a visita virtual ao CMS, demonstra que 57% dos alunos respondeu satisfatoriamente sobre as principais características do LHC, já os demais responderam parcialmente. Nessa questão, a seguinte resposta foi dada por um dos alunos: *“Maior acelerador de partículas do mundo, capaz de acelerar prótons. Pode acelerar feixes de partículas a velocidades perto da luz 99,9%”* (Aluno 02).

Analisando a pré avaliação onde 95% dos alunos não conseguiram dar respostas satisfatória sobre as principais características do LHC, para na avaliação final 100% dos alunos conseguiram citar algumas características do LHC, percebemos a contribuição do projeto e da visita

Virtual ao CMS, para a compreensão e conhecimento sobre um dos maiores experimentos da atualidade.

Na questão 7, também há o entendimento da maioria dos alunos, 52%, sobre o experimento de Rutherford. Porém, na questão 8, somente 7% dos alunos acertou sobre o decaimento do trítio (^3H). A exemplo do que já foi citado, identificamos noutras atividades, como no caso da avaliação sobre a visita virtual, a falta de interesse dos alunos quanto a realização da atividade. Importante destacar que tais atividades além de variadas, demandam tempo dos alunos para responder, o que para muitos se torna cansativo, visto que já participaram das simulações, visita virtual, questionários, enfim, o volume de atividades propostas, pode ter ocasionado a falta de entusiasmo dos mesmos.

Como a pontuação máxima nas atividades gamificadas é de 100XP, os alunos se organizaram, na sua grande maioria, para solicitar três tipos principais de auxílio: (i) a utilizar o celular; (ii) usar anotações durante a prova e (iii) solicitar ajuda de um colega por 3 minutos. A conversação controlada e a troca de informações permitiram que os alunos desenvolvessem pelo menos parte das questões, embora como visto nenhuma delas obteve 100% de aproveitamento. Outros pontos de destaque a serem levados em consideração estão: 01. Primeira experiência de atividades gameficadas e virtuais dos alunos; 02. Primeiro contato com a visita virtual ao CMS do LHC. 03. Grande parte das atividades foram realizadas em um sábado.

Apesar de alguns aspectos considerados negativos, com respeito a motivação e a assimilação de conteúdos, percebe-se que as atividades gamificadas, de modo geral, foram proveitosas e tornaram a aula mais atrativa. Porém, no que tange ao tempo para aplicação, consideramos que houve necessidade de mais tempo para melhor consolidação do processo de aprendizagem. De modo específico, acreditamos que a realização no formato de duas oficinas, tal qual realizado em nossa experiência, poderia ser estendida em pelo menos mais um encontro. Em virtude disto, recomendamos ao leitor interessado ponderar acerca desse fator.

Ao final das atividades obtivemos as seguintes pontuações por equipe: Equipe 1: 140XP/140; Equipe 2: 135Xp/140; Equipe 3: 130XP/140; Equipe 4: 125XP/140; Equipe 5: 120XP/140; Equipe 6: 115XP/140; Equipe 7: 115XP/140; Equipe 8: 101XP/140 Equipe 9: 95XP/140.

Do exposto, concluímos que a abordagem proposta mostrou-se útil e frutífera, tanto do ponto de vista do estabelecimento de desafio e da busca de soluções, mas também da construção de relações de cooperação. Quanto à atribuição de notas finais, podemos dizer que a metodologia

empregada produziu bons resultados, apesar de algumas dificuldades (principalmente relacionado ao tempo disponível para aplicação da sequência), uma vez que muitos estudantes obtiveram médias superiores a 7,0. Posto isso, recomendamos a sua aplicação a turmas de 3º ano do ensino médio, feitas as ressalvas anteriores acerca de tempo para aplicação; seja no formato de aula (aconselhamos 8 horas-aula) ou aconselhamos a realização de 3 oficinas.

5.6. Modificações no produto educacional

Com a análise dos resultados obtidos e um estudo mais aprofundado sobre as principais características da estratégia de gamificação, a sequência didática sofreu algumas modificações, que em virtude da proposta não foram testadas, porém espera-se um melhor aproveitamento dos alunos perante ao tema proposto.

Destacamos nesta nova proposta, que contempla o produto educacional disponibilizado em anexo a essa dissertação, algumas modificações necessárias para o tornar mais interativo, dinâmico, explicativo e orientador para os professores, com destaque para as adequações das tabelas de pontuação, apresentação dos planos de aula, contemplando textos de apoio e todo material que foi utilizado em sala de aula, além de tornar as atividades não obrigatórias, deixando o aluno com o livre arbítrio de atribuir ou não a sua avaliação pontos e benefícios extras.

Devido a esse caráter a tabela de benefícios restringiu-se a utilização na avaliação final, não possibilitando mais utilizar dos pontos durante todas as atividades. Fato esse que servirá de motivação aos alunos e poderá possibilitar um maior controle por parte do professor.

Assim, como as modificações das atividades virtuais, destacamos mudanças também nas questões da avaliação final, onde acredita-se que as questões de múltipla escolha disponíveis na primeira versão, associadas ao uso da tecnologia, como o celular, não nos garante verificar o nível de aprendizagem efetivo, pois constatou-se que, por vezes os alunos só marcavam a resposta certa sem desenvolver um pensamento lógico, ou algo necessário para o desenvolvimento da questão.

Sendo assim, a nova proposta temos apenas uma questão de múltipla escolha, fazendo com que os alunos que optarem por usar da tecnologia e conversar com o colega, tenham que sintetizar essas informações e expressá-las em suas respostas.

6 CONCLUSÕES

Nesse trabalho apresentamos uma proposta de ensino de conteúdos relacionados à Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio. De modo específico, propusemos uma abordagem introdutória à Física de Partículas Elementares (FPE), à 3ª série do Ensino Médio do Instituto Federal Catarinense – Campus Fraiburgo, por meio de uma sequência que contempla: (1) atividades didáticas gameficadas; (2) exploração de simulações relativas às temáticas e (3) uma visita virtual guiada ao experimento Compact Muon Solenoid (CMS) do Large Hadron Collider (LHC) do CERN.

Sobre esta aplicação, avaliamos que ela contribuiu significativamente para a inserção de tópicos de FMC (em particular da FPE) no Ensino Médio, através da aplicação de estratégias de ensino que contemplem as necessidades atuais do ensino de Física na escola. Compreendemos ainda que o emprego das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) tem impactado de forma expressiva o Ensino de Física, dadas as características da geração de alunos que, atualmente cursam o Ensino Médio; indivíduos nascidos na era da informação e que já chegam às salas de aula fazendo uso dessas tecnologias.

Numa tentativa de mostrar na prática a Física desenvolvida nos grandes aceleradores, promovemos uma visita guiada ao experimento do CMS do LHC, o maior acelerador de partículas do mundo. Pode-se afirmar que a mesma proporcionou estímulo e a interação dos estudantes com relação a aquisição de conhecimentos acerca das investigações sobre o atual MP e das buscas por extensões nesse modelo. Nesse âmbito, constatamos que a mesma despertou a curiosidade e permitiu uma aprendizagem substantiva, que começou a ser construída na aula expositiva, passando pelo reforço das simulações e finalizando com a visita virtual; etapa esta que teve efetiva participação e colaboração de todos os alunos. Podemos concluir que ao aproximar a realidade dos alunos com experimentos e atividades virtuais de fenômenos físicos as oportunidades de aprendizagem se potencializam.

Esta abordagem metodológica inédita para os alunos, foi bem aceita por eles, porém cabe a reflexão sobre a quantidade de atividades interativas e o tempo requerido para a realização de cada uma delas; visto que o desinteresse aumentava a cada nova atividade que exigia deles leitura, compreensão do enunciado e transcrição do saber adquirido. A avaliações de questionários e roteiros evidenciou que nem todos participaram do processo de construção do conhecimento, ainda que o

auxílio de ferramentas de busca e pesquisa estivesse disponível, muitos se limitaram a copiar e resumir as informações disponíveis em sites da internet. Nesse mesmo sentido, alguns estudos também apontam dificuldades semelhantes de atividades virtuais em sala de aula, como referência encontradas na aplicação desta metodologia.¹³

É sabido que existem muitos obstáculos na sala de aula, que podem estar relacionados com o tempo limitado, domínio de turma do professor, além da estrutura física (poucos computadores e acesso limitado a internet) e a constante busca pela atenção do aluno; ou seja, o educador precisa estar sempre motivando-o a pensar criticamente, a instigá-lo a aprender e promover entusiasmo em relação aos estudos.

Este processo de aprendizagem, consiste no esforço contínuo e mútuo entre professor e aluno, onde ambos precisam estar comprometidos com o processo. Esta proposta não pressupõe que todos esses problemas atrelados ao processo de ensino estejam ausentes das salas de aula nos dias atuais. Por outro lado, ela busca implementar ferramentas que se mostraram (ao menos em partes) eficientes para promoção de uma abordagem mais eficaz. Todavia, cabe-nos refletir e avaliar que o emprego da metodologia proposta, tal qual relatado no Capítulo 5, revelou aspectos negativos tais como: (1) a ausência de pré-teste dos questionários; (2) planejamento com maior nível de detalhamento da quantidade de tarefas e simulações; (3) a inadequação de tempo para a realização de atividades em sala de aula (as quais, por esse motivo, tiveram de ser realizadas em casa). Sem dúvida os aspectos mencionados podem ter influenciado o processo de ensino-aprendizagem dos conteúdos abordados.

Por fim, feitas as ressalvas anteriores, podemos dizer que tratou-se de uma experiência de aplicação válida e frutífera; ao menos do ponto de vista de aquisição preliminar de conhecimento sobre o Modelo Padrão de Partículas Elementares.

Mediante o exposto, sugerimos ao professor interessado a aplicação dessa sequência de atividade com elementos de gamificação, simulações com roteiros exploratórios e visita virtual ao experimento CMS e/ou ao ATLAS (Apresentadas na Seção 4.4 dessa dissertação); este último como possível como atividade complementar.

¹³ Dissertações disponíveis: <http://www1.fisica.org.br/mnpef/?q=defesas>.

REFERÊNCIAS

- ANJOS, João. *Rios Cósmicos*. Disponível em: http://www.cbpf.br/~desafios/media/livro/Raios_cosmicos.pdf. Visualizado em fevereiro de 2018.
- ABDALLA, Maria Cristina Batoni. *Sobre o Discreto Charme das Partículas Elementares*. Ed., UNESP. v.06, nº 01, 2006
- AUSUBEL, D.P. *The psychology of meaningful verbal learning*. New York, Grune and Stratton. 1963
- AUSUBEL, D.P. *Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva*. Lisboa: Plátano Edições Técnicas. 2003.
- ALVES, F. *Gamification: Como criar experiências de aprendizagem engajadoras. Um guia completo: do conceito à prática*, DVS Editora, 2014.
- ARANTES, Alessandra Riposati. *Objetos de aprendizagem no ensino de física: usando simulações do Phet*. Física na escola, v 11, nº1. 2010
- BALTHAZAR, Wagner Franklin. *Partículas Elementares no Ensino Médio: uma abordagem a partir do LHC*. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, Campus Nilópolis (IFRJ). 2010
- BONETTI, Valéria Jerzewski. *Partículas elementares e interações: uma proposta de mergulho no ensino e aprendizagem através de uma sequência didática interativa*. Rio Grande: FURG/IMEF, 2015.
- BLAINEY, Geoffrey. *Uma breve História do Século XX*. São Paulo: Fundamento Educacional, 2008.
- BRASIL. Ministério da Educação. *Diretrizes curriculares nacionais gerais da educação básica*. Brasília: MEC, 2013. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/docman/julho-2013-pdf/13677-diretrizes-educacao-basica-2013-pdf/file>. Visualizado em dezembro 2017

BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *Orientações Curriculares para o Ensino Médio*. Vol. 2 – Brasília: Ministério da Educação, 2006.

BRENNAN, R. P. *Gigantes da Física: uma história da física moderna através de oito biografias*. Tradução Maria Luiza X. de A. Borges. Ed. rev. Rio de Janeiro: Editora Jorge Zahar, 2003.

CARUSO, F et al. *Partículas Elementares: 100 anos de descobertas*. Manaus: EDUA, 2006.

CARNEIRO, Marília da Silva Ramos. Estudo da Produção Exclusiva do Méson χ_{c0} no experimento CMS/LHC. Dissertação de Mestrado. Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas – CBPF. Rio de Janeiro 2011.

CETIC. Centro de Estudos das Tecnologias da Informação e da Comunicação no Brasil, Tecnologias e Educação, *O uso da Internet por alunos brasileiros de Ensino Fundamental e Médio*. Panorama Setorial da Internet. Ano 05, nº02, Brasil, 2013

CERN. *LHC the guide*. Disponível em: <<https://cds.cern.ch/record/2255762/files/CERN-Brochure-2017-002-Eng.pdf>> Visualizado em: setembro 2017

CERNa, *Sobre o CERN*. Disponível em: <<https://home.cern/>>. 2009 Visualizado em: setembro 2017.

CERNb, Disponível: https://cms-docdb.cern.ch/cgi-bin/PublicDocDB/RetrieveFile?docid=4263&filename=CMS_Portugues_e_draft_screen.pdf&version=1 Visualizado em: fevereiro 2018

CERNc, Disponível em: https://cms-docdb.cern.ch/cgi-bin/PublicDocDB/RetrieveFile?docid=12452&filename=SetOfPosters_PT_25092014_HQ.pdf&version=1. Visualizado em fevereiro 2018

COELHO, Renato Otto. *Uso da Informática no Ensino de física de nível médio*. Pelotas RS.

COSTA, Marcia da. *Uma abordagem histórico-didática com auxílio de multimídias para o ensino de partículas elementares no ensino médio*. Londrina 2015

CHADWICK, J. *The Existence of a Neutron*. *Royal Society*, A, 136, p. 692-708, 1932.

EISBERG, R., RESNICK, R. *Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas*. Rio de Janeiro: Campus, 1979.

FREITAS, L.V. e FREITAS C.V. *Aprendizagem Cooperativa*. Porto: Edições Asa, 2003.

GERHARDT, Tatiana Engel; [SILVEIRA] Denise Tolfo. *Metodologia de Pesquisa*. Universidade Aberta do Brasil – UAB/UFRGS – POA: Editora UFRGS, 2009.

GILMORE, Robert. *O mágico dos Quarks*. Ed. Zahar. 2002

GOMES, Roberto Rodrigues. *O modelo padrão no ensino médio: Um tratamento elementar*. Universidade Federal de São Carlos, 2017.

GUARESCHI, Pedrinho A. *Mídia, Educação e Cidadania: Tudo o que você quer saber sobre a mídia*. Petrópolis, RJ: Vozes. 2005.

GREENFIELD, Susan; *Nativos digitais podem estar perdendo suas capacidades cerebrais*, 2014. Disponível em: <<http://www.fronteiras.com/artigos/nativos-digitais-podem-estar-perdendo-capacidades-cerebrais>>. Visualizado em setembro de 2017

GRIFFITHS, David. *Introduction to elementary particles*, Reed College. 2004.

HECKLER, V. *Uso de Simuladores e Imagens como Ferramentas Auxiliares no Ensino/Aprendizagem de Óptica*. Mestrado Profissionalizante em Ensino de Física. Instituto de Física. Porto Alegre 2004.

HEISENBERG, W. K. *Física e Filosofia*. 2.ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 158. 1987

KANTOR, Carlos Aparecido (org.). *Quanta física: ensino médio*. Editora Pearson 2ª ed. 2013

KAPP, Karl. *The Gamification of Learning and Instruction: Game-based Methods and Strategies for Training and Education*. Pfeiffer, 2012

LAGO, B. Estudo dos raios cósmicos galácticos com o observatório Auger. 2007. 67f. Dissertação (Mestrado)- Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

LAPA, J. M. *Laboratórios virtuais no ensino de física: novas veredas didático-Pedagógicas*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências. Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia e da Universidade Estadual de Feira de Santana, Salvador, 2008.

LIBÂNIO, J. C. *Adeus professor, adeus professora? Novas exigências educacionais e profissão docente*. 9. ed. São Paulo: Cortez, 2009. p. 10-20. v. 67. 2009

LIZEO, E.; GONÇALVES 2004] M. A. *Grupos de Trabalho: Um Caminho para a Aprendizagem e Eficácia Organizacional*. In: Encontro Nacional de Pós Graduação e Pesquisa em Adm, 28, 2004, Curitiba, Anais. Curitiba, 2004.

LOZADA, O. Cláudia. ARAÚJO, S.T. Mauro. Física de Partículas Elementares no Ensino Médio: As perspectivas dos professores em relação ao ensino do Modelo Padrão. Disponível em: <http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/vienpec/CR2/p690.pdf> . Visualizado em fevereiro de 2018

MARCZEWSKI, A. *Gamification 2 Years*. On: What Is it Now, Why is it Still Important? 2013.

MORRIS, T.E *se Aristóteles dirigisse a General Motors? : a nova alma das organizações*. Trad. Ana BeatrizRodrigues; Priscilla Martins Celeste. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004

MARTIN, G.F.S; BATISTA, I. L. *O ensino de Física de Partículas Elementares nas Licenciaturas em Física*. Anais do IX Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2005.

MCGONIGAL, J. *Gaming Can Make a Better World*, TED. 2010. Disponível em:

<https://www.ted.com/talks/jane_mcgonigal_gaming_can_make_a_better_world> Visualizado em setembro de 2017

MEDEIROS, A., MEDEIROS, C. F. *Possibilidades e Limitações das Simulações Computacionais no Ensino da Física*. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 24, no. 2, Junho, 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v24n2/a02v24n2.pdf>. Visualizado em setembro 2017

MICCINESI, Lapo. *Costruzione di una câmara a hebbia e sua applicazione per misure di Raggi Cosmici*. Universita Degli Studi di Firenze, laurea in fisica di i livello. Italy, 2011.

MORAN, J. M. *O uso das novas tecnologias da informação e da comunicação na EAD: uma leitura crítica dos meios*. 1999. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seed/arquivos/pdf/T6%20TextoMoran.pdf>>. Visualizado em: setembro 2017.

MOREIRA Marco Antônio *O Bóson de Higgs na mídia, na Física e no Ensino de Física* [recurso eletrônico] – Porto Alegre: UFRGS, 2017.

MOREIRA, Marco Antônio. *O modelo padrão da física de partículas*. Revista brasileira de ensino de física, RS, v.03, nº01, 2009

MOREIRA, Marco Antônio. *A física dos quarks e a epistemologia*. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, n. 2, p. 161-173, 2007

MUNHOZ, Antonio Siemsen. *Gamificação: perspectivas de utilização no ensino superior*. Curitiba.PR. 2014

OLIVEIRA, Andersen Caribé. *Gamificação na educação*. Obra digital - ISSN 2014-5039. Nº 9 –pag. 120 – 125. Setembro 2015

OLIVEIRA, FF; VIANNA, DM; GERBASSI, RS. *Física Moderna no ensino: o que dizem os professores*. Rev Brasileira de ensino de física. Vol 19, n 3, 2007

OSTERMANN, Fernanda. *Partículas elementares e interações fundamentais no ensino médio de física: uma experiência a partir do*

estágio de um aluno de prática de ensino de física. II Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Porto Alegre. RS, 1999.

OSTERMANN, Fernanda e MOREIRA. Marco Antônio. *Investigações em Ensino de Ciências*. POA, Vol 5, nº 1, 2000.

OSTERMANN, Fernanda. *Partículas elementares e interações fundamentais*. Porto Alegre: Instituto de física - UFRGS, 2001.

PAGANINI, Erico Rodrigues. *Ensinando Física através da Gamificação*. 2016 Disponível em: <<http://pdf.blucher.com.br/s3-sa-east-1.amazonaws.com/physicsproceedings/vii-efa/004.pdf>>. Visualizado setembro 2017.

PAIVA, J. *De políticas públicas de leitura à formação de leitores: caminho suave?* In: Encontro nacional de didática e práticas de ensino, 16., 2012, Campinas. Anais do XVI- ENDIPE: FE/UNICAMP. Campinas - SP. 2012, p. 523-548.CD-ROM.

PEGDEN, C. D; SHANNON, R. E.; SADOWSKI, R. P. *Introduction to Simulation using SIMAN*. McGraw -Hill, NY. 2 ed., 1990

PELIZZARI, Adriana. *Teoria da Aprendizagem da Aprendizagem Significativa Segundo Ausubel*. Rev. PEC, Curitiba, v.2, n.1, p.37-42, jul. 2001-jul. 2002

PEREIRA, Marta Máximo. *LHC: o que é, para que serve e como funciona*. Física na escola, v.12, n1, 2011

PIMENTA, Jean Junio Mendes (org.). *O bóson de Higgs*. Revista brasileira de ensino de física, v.35, n2, 2306. 2013

PINHEIRO, L. A.; COSTA, S. S. C., MOREIRA, M. A. *Projetando o ensino de partículas elementares e interações fundamentais no ensino médio*. IN: XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física, Vitória, p. 1-10, 2011.

PIQUEIRA, José Roberto Castilho, CARRON, Wilson, GUIMARÃES José Osvaldo de Souza. *Física*. Editora Ática 1ª edição 2013

PRADO, Ana. *Entendendo o aluno do século 21: e como ensinar a essa nova geração*. 2015. Disponível em <http://www.geekie.com.br/>. Visualizado em setembro de 2017.

PRENSKY, M. *Teaching Digital Natives: partnering for real learning*, California, USA: Corwin Press, 2010

RÉ, Ricardo Luís. *Física de partículas na Escola, um jogo educacional*. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). 2016

RISCHBIETER, Luca. *Os inimigos da infância*. São Paulo: Folha de São Paulo. 26 de julho 2009.

ROSENFELD, Rogério. *O CERN da matéria: a aventura científica que levou à descoberta do bóson de Higgs*. São Paulo: Companhia das Letras, 2013.

SANTOS, N.E.; FRANCO, E. S. *Os professores e os desafios pedagógicos diante das novas gerações: considerações sobre o presente e o futuro*. Revista de Educação do COGEIME. Ano 19, n. 36, janeiro/junho, 2010.

SANTOS, Júlio César Furtado dos. *O papel do professor na promoção da aprendizagem significativa*. 2015. Disponível em: <<https://www.famema.br/ensino/capacdoc/docs/papelprofessorpromocaoaprendizagemsignificativa.pdf>>. Visualizado: novembro de 2017

SERAPIONI, M. *Métodos qualitativos e quantitativos na pesquisa social em saúde: algumas estratégias para a integração*. Ciênc. Saúde Coletiva, Rio de Janeiro, v. 5, nº. 1, p. 187-192, 2000.

SILVA, J. Silva e J. Souza, O ensino de Física em Botucatu, *Revista Botucatuense de Ensino de Física*, v. 97, n. 4, p. 1103-1125, 2006.

SIQUEIRA, M. R. P. *Do Visível Ao Indivisível: Uma Proposta De Física De Partículas Elementares Para O Ensino De Física*. 2006. 257 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - Universidade de São Paulo. Instituto de Física e Faculdade de Educação. São Paulo, 2006. Disponível em: <http://sites.usp.br/nupic/>. Visualizado em: 10 de outubro de 2017.

SMITH, K. *Project Management Gamification - An Overview*. 2014. Disponível em: <https://pmhut.com/project-management-gamification-an-overview>. Visualizado em: Agosto de 2017.

STEINKIRCH, Marina Von. *O Modelo Padrão*. Instituto de Física da USP

TAVARES, R. *Animações interativas e mapas conceituais: uma proposta para facilitar a aprendizagem significativa em ciências*. Revista online Ciência & Cognição, v.13, n.2, p.99-108, 2008.

TERRAZZAN, E. A. *A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau*. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v. 9, n. 3, p. 209- 214, dez. 1994.

UNIBANCO. *Panorama dos Territórios de Santa Catarina*. 2017. Disponível em: https://observatoriodeeducacao.org.br/wp-content/uploads/2017/03/Panoramas_SantaCatarina.pdf. Visualizado em janeiro de 2018.

VALE, A. L.; SOUSA, C. M. G. *A importância do estudo dos raios cósmicos: o método de detecção do observatório Pierre Auger*. Curso de Física da Universidade Católica de Brasília, DF. Disponível em: <http://www.ucb.br/sites/100/118/TCC/1º2012/AImportandiadsRaiosCosmicosOmetododedete.pdf>. Visualizado em setembro 2017

VENANCIO, Tatiana. *Aceleradores de partículas e seu impacto na sociedade*. ComCiência, n. 156, Campinas, 2014. Disponível em: http://comciencia.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519. Visualizado em: Outubro 2017

VILLANI, A. *Reflexões sobre o ensino de Física no Brasil: Práticas, Conteúdos e Pressupostos*. Revista Brasileira de Ensino de Física, v.6, p.76-95, 1984.

YOUNG, Hugh, FREEDMANN, Roger. *Ótica e física moderna*. Ed. Pearson, 2016

APÊNDICE – A
Produto Educacional



Ricardo Beal

**DA DESCOBERTA DO NÚCLEO AO BÓSON DE HIGGS: uma
introdução ao Modelo Padrão de Partículas Elementares com
atividades virtuais**

Produto educacional apresentado ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Santa Catarina no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Almeida Fagundes
Coorientador: Prof. Dr. Fábio Rafael Segundo

Blumenau
Março 2018

SUMÁRIO

1	APRESENTAÇÃO	3
2	SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DA FÍSICA DE PARTÍCULAS ELEMENTARES	4
2.1	OBJETIVO	4
2.2	PLANOS DE AULA	5
2.3	QUESTIONÁRIOS DE CONHECIMENTO PRÉVIO E QUESTIONÁRIO AVALIAÇÃO FINAL	19
2.4	ATIVIDADES EXPLORATÓRIAS: ROTEIRO DE AVALIAÇÃO	24
2.5	VISITA VIRTUAL AO CMS: ROTEIRO DE AVALIAÇÃO	26
2.6	PROCEDIMENTOS AVALIATIVOS: REGRAS E CRITÉRIOS	27
2.7	NOTAL FINAL	28
3	CONSIDERAÇÕES FINAIS	30

1 APRESENTAÇÃO

Este produto educacional é resultado de uma pesquisa desenvolvida durante o mestrado no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Blumenau, curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF). Nele apresentamos uma contribuição para o ensino de Física Moderna e Contemporânea (FMC) no ensino médio, levantando informações sobre a inserção da Física de Partículas Elementares (FPE) e o Modelo Padrão (MP) neste nível a partir de uma proposta de ensino interativo com atividades virtuais, exercícios, vídeos, simulações e uma visita virtual ao experimento Compact Muon Solenoid (CMS) e do Large Hadron Collider (LHC).

Assim, o presente conteúdo traz uma abordagem da FPE a partir da contextualização com bases teórico-experimentais de importância histórica, que culminaram no desenvolvimento da Física Atômica e Nuclear e, em última análise, no desenvolvimento do MP. Entendemos que as atividades virtuais aqui propostas, sejam elas simulações (exploradas com roteiros exploratórios específicos) ou a visita virtual ao CMS podem contribuir de maneira substancial para uma abordagem introdutória, porém contextualizada com os experimentos (reais e virtuais), a uma área de grande relevância para a Física Contemporânea.

Diante do exposto, este produto educacional trará nas suas seções seguintes materiais instrucionais, planos de aulas, questionários para aplicação, atividades exploratórias, roteiro para agendamento e programação da visita virtual aos CMS, bem como procedimentos avaliativos e atribuição de nota para as atividades propostas, proporcionando ao professor uma compreensão ampla de todas as etapas executadas no projeto de mestrado, além de fornecer os elementos essenciais para a aplicação desse produto educacional, visando a introdução da FPE a turmas da 3ª do ensino médio.

2 SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DA FÍSICA DE PARTÍCULAS ELEMENTARES

A sequência interativa aqui proposta em formato de aulas tem duração média de 10h/aula e não menos que 6h/aula, visto ser importante ter uma explanação concisa e clara do conteúdo abordado, proporcionando o conhecimento aluno essencial sobre o tema e as diretrizes que irão nortear toda sequência.

Para tanto, na aplicação desta sequência didática, serão apresentados: 1) questionário de conhecimento prévio; 2) relação das atividades interativas para a separação dos alunos em equipe; 3) identificação das simulações utilizadas pelo site Phet; 4) agendamento, realização da visita virtual ao CMS do LHC e 5) avaliação final, com atribuição de notas.

Desta forma, entendemos que este produto educacional possa ser aplicado em qualquer instituição de ensino, sendo necessário apenas acesso a internet para realização das atividades exploratórias e da visita virtual.

2.1 OBJETIVO

Este produto educacional tem como objetivo central proporcionar tanto ao educador quanto ao aluno contato com a Física de Partículas Elementares utilizando atividades exploratórias, que estimulem o aprendizado significativo, a curiosidade, a criatividade e a interação entre alunos e entre docente-aluno num processo investigativo de construção do conhecimento.

2.2 PLANOS DE AULA

Na sequência, cada plano de aula trará um tema central a ser abordado em sala de aula, com objetivos de aprendizagem, procedimentos e recursos didáticos, além de links para textos complementares de apoio para o professor.

PLANOS DE AULA¹⁴

IDENTIFICAÇÃO GERAL DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA
Disciplina: Física. Turma a ser aplicada: 3º ano do Ensino Médio. Número de aulas: Mínimo 6 aulas, máximo 10 aulas com duração de 45 minutos cada

IDENTIFICAÇÃO AULA 1
SABERES
Levantamento das concepções prévias dos alunos sobre o tema, além de abordar as atividades gamificadas
A sequência didática fará uso da teoria da gamificação como estratégia de ensino, visto que se trata de uma forma de flexibilizar, engajar e gerar mudanças positivas de comportamento do aluno, estando voltada para aprendizagem de determinados conteúdos escolares.
OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM
O aluno deverá ser capaz de: <ol style="list-style-type: none"> 1) Demonstrar suas concepções prévias sobre partículas elementares e sobre o LHC; 2) Demonstrar suas ferramentas de pesquisa e utilização das ferramentas computacionais; 3) Conhecer as regras e benefícios ao realizar todas as atividades extras.
PROCEDIMENTOS DIDÁTICOS
1ª aula (45 min): Concepções prévias e atividades Gamificadas.
1º Momento (25 min): realização da pré-avaliação através que questionário previamente impresso para os alunos. <ol style="list-style-type: none"> a) Professor deverá entregar a cada aluno o questionário, que pode ser visualizado no item 2.3 deste produto. Para melhor avaliação prévia, sugere-se que as respostas sejam individuais e que não façam parte do processo de avaliação, uma vez que se trata de um instrumento para levantar o grau de conhecimento sobre o assunto.

¹⁴ Disponíveis para download no link:
<https://drive.google.com/open?id=18FwCT6CCwmZyadpT6DqFBkkOdWS415fT>

<p>2º Momento (20 min): Apresentação das regras das atividades extras que fazem parte da gamificação.</p> <ol style="list-style-type: none"> Neste momento o professor deverá explicar como serão as atividades extras presentes nas atividades solicitadas aos alunos; Explicar como será composta a nota final de cada aluno e a importância de toda equipe conseguir um bom resultado na avaliação final; Mostrar e explicar tanto a tabela de benefícios como as regras das atividades gamificadas.
RECURSOS DIDÁTICOS
<p>Levar o material impresso da pré-avaliação disponível no Anexo 1; Regras e tabelas de pontuação presentes no Anexo 2 Data show.</p>
MATERIAL COMPLEMENTAR PARA O PROFESSOR
<p>Anexo 1: modelo de questionário para download https://drive.google.com/open?id=1ooAUk6YVWDYq2jP-Dc0Egt23eNbUKXO</p>
<p>Anexo 2: modelo de tabelas e benefícios https://drive.google.com/open?id=1p85YQit6AY0RrY3odrj0Bt6rh8WrkT0g</p>
<p>Sugestão de leitura ALVES, Flora. Gamification: como criar experiências de aprendizagem engajadoras. 2ª Ed. DVS Editora. 2015</p>

IDENTIFICAÇÃO AULA 2
SABERES
<p>Trabalhar em equipe, usar ferramentas tecnológicas no desenvolvimento das atividades, identificar partículas pertencentes ao mesmo grupo.</p>
OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM
<p>O aluno deverá ser capaz de:</p> <ol style="list-style-type: none"> Conhecer e identificar características semelhantes entre grupos de partículas, elementares e compostas (bárions e mésons), e detectores e experimentos do LHC; Formar suas equipes e definir os nomes dos grupos.
PROCEDIMENTOS DIDÁTICOS
1ª aula (45 min): Formação e avaliação das equipes.

1º Momento (25 min): Divisão das equipes de acordo com as características da partícula sorteada.

- a) Por sorteio cada aluno irá retirar um papel com o nome de um experimento do LHC ou de uma partícula, elementar ou não.
- b) Professor deverá informar a quantidade de grupos que serão formados e o número de elementos que cada grupo terá.
- c) Importante lembrar aos alunos que não é possível elementos repetidos no mesmo grupo.
- d) Neste momento os alunos poderão fazer pesquisa em qualquer material ou instrumento de pesquisa, inclusive celular, tablet, computador.
- e) Professor deverá informar sobre a atividade extra, gamificada, que se refere a uma arguição sobre as principais características do seu grupo.

2º Momento (20 min): Avaliação da formação das equipes.

- a) Professor deverá solicitar aos alunos que se reúnam em seus grupos, chamando um grupo por vez, para que cada aluno leia a partícula/experimento do LHC, verificando se a formação está correta.

ATIVIDADE GAMIFICADA – ATIVIDADE EXTRA

Para os grupos que optarem por fazer a atividade extra o professor deverá atribuir uma pontuação de 0XP a um máximo de 20XP, para a arguição referente as características do grupo

RECURSOS DIDÁTICOS

Levar o material impresso da tabela com o grupo de partículas compostas e seus respectivos elementos;

Data show.

MATERIAL COMPLEMENTAR PARA O PROFESSOR

Anexo 1: Tabela com o grupo de partículas compostas e seus respectivos elementos, a partir da qual a definição e grupos
<https://drive.google.com/open?id=1jm2DeyVjbTAtTcmMuNRUaRywtVzRcYby>

Sugestão de leitura:

Capítulo 1 – Historical Introduction to the Elementary Partivles
 GRIFFITHS, David. **Introduction to elementary particles**, Reed College.2004.

MOREIRA, Marco Antônio. **O modelo padrão da física de partículas.** Revista brasileira de ensino de física, RS, v.03, nº01, 2009

IDENTIFICAÇÃO AULA 3
SABERES
Estrutura elementar da matéria, Modelo Padrão das Partículas Elementares, bósons mediadores, léptons e quarks
<p>Por meio de aula expositiva e interativa o professor abordará conceitos sobre o modelo padrão e as partículas elementares, de modo a despertar a curiosidade sobre o tema.</p> <p>Destaca-se o link da página do CERN (https://home.cern/)¹⁵, que na atualidade oferece alguns subsídios científicos e didáticos interativos para compreensão da física de partículas, no qual os docentes e discentes podem conhecer, por exemplo, o mecanismo de operação do Large Hadron Collider (LHC).</p>
OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM
<p>O aluno deverá ser capaz de:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Compreender o que conhecemos hoje sobre estrutura elementar. 2) Reconhecer partículas elementares e compostas; 3) Diferenciar léptons, quarks, bósons mediadores e bóson de Higgs
PROCEDIMENTOS DIDÁTICOS
1ª aula (45 min): Apresentar o Modelo Padrão das Partículas elementares através de uma construção histórica
<p>1º Momento (5 min): O que é elementar</p> <ol style="list-style-type: none"> a) Como introdução o professor deverá discutir brevemente o que é ou não elementar. Apresentar a primeira partícula realmente elementar. <p>2º Momento (5 min): Importância do campo elétrico e magnético no estudo das partículas subatômicas.</p> <ol style="list-style-type: none"> a) Neste momento o professor deverá explicar como o campo elétrico e magnético auxilia na definição das cargas das partículas e como são usados em experimentos com os do

¹⁵ Alguns links sugeridos para conhecimento:
<http://beamline-for-schools.web.cern.ch/>.
<https://home.cern/about/experiments/alice>.
<https://home.cern/about/experiments/cms>

LHC para curvar e acelerar feixes de partículas (prótons e íons pesados)

3º Momento (5 min): Principais características do Elétron e do Fóton enquanto partículas elementares

- Definir as principais características do elétron;
- Definir a massa das partículas em eV/c^2 .
- Identificação do fóton como o quantum da radiação eletromagnética e como partícula mediadora da interação eletromagnética.

4º Momento (10 min): Interações e suas partículas mediadoras.

- Neste momento o professor deve apresentar aos alunos as quatro interações fundamentais, introduzindo aos alunos suas respectivas partículas mediadoras.
- Usar como exemplo o fóton e a interação eletromagnética, como uma interação mediada pela troca de fótons.
- Ressaltar aos alunos que a interação gravitacional não é explicada pelo Modelo Padrão e sua partícula mediadora o gráviton, até hoje nunca foi observada.

5º Momento (5 min): Antipartículas

- Mostrar aos alunos como as antipartículas foram previstas, antes mesmo de serem descobertas.
- Mostrar a importância histórica da física de raios cósmicos no estudo das partículas elementares.
- Ressaltar aos alunos que todas as partículas têm sua respectiva antipartícula.

6º Momento (15 min): Neutrinos e o Múon.

- Mostrar a importância do decaimento beta na previsão do neutrino.
- Dificuldades na detecção de um neutrino.
- Mostrar como a procura pela partícula de Yukawa resultou na descoberta do múon.
- Descoberta do Neutrino do Múon.

RECURSOS DIDÁTICOS

Data show, quadro e canetão.

MATERIAL COMPLEMENTAR PARA O PROFESSOR

Anexo 1: Link para download da apresentação da aula expositiva

https://drive.google.com/open?id=16Y0U4EP_HxEjaQLbpfXdNi6r9I3pPy8r

Sugestões de leitura

ABDALLA, Maria Cristina Batoni. **O discreto charme das partículas elementares**. Ed. Unesp. 2006. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol6/Num1/charme.pdf>

ROSENFELD, Rogerio. **O cerne da matéria: a aventura científica que levou à descoberta do bóson de Higgs**. Ed. Companhia das Letras. 2016.

RÉ, Ricardo Luís. **Física de partículas na Escola, um jogo educacional**. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). 2016

IDENTIFICAÇÃO AULA 4**SABERES**

Estrutura elementar da matéria, Modelo Padrão das Partículas elementares, bósons mediadores, léptons e quarks

OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

O aluno deverá ser capaz de:

- 1) Compreender o que conhecemos hoje sobre estrutura elementar.
- 2) Reconhecer partículas elementares e compostas;
- 3) Diferenciar léptons, quarks, bósons mediadores e bóson de Higgs

PROCEDIMENTOS DIDÁTICOS

1ª aula (45 min): Descobertas da década de 50 que levaram à hipótese dos quarks

1º Momento (5 min): Revisão

- a) Fazer uma pequena recapitulação sobre os principais pontos estudados na aula passada.
- b) Mesmo sendo as aulas 3 e 4 no mesmo dia é interessante fazer essa recapitulação.

2º Momento (5 min): Inúmeras descobertas de partículas.

- a) Neste momento o professor deverá mostrar aos alunos como um grande número de partículas descobertas contribuiu para a formulação da hipótese dos quarks.

3º Momento (5 min): Novas leis de conservação necessárias.

- a) Ressaltar aos alunos que além das já conhecidas leis de conservação, já usadas na física clássica, essas novas partículas surgem com novas leis de conservação.

4º Momento (10 min): Conservação da estranheza e do Número de Léptons.

- a) Mostrar com exemplos como essas leis de conservação ocorrem.
- b) Mostrar no decaimento beta como a lei de conservação do número de léptons explica a emissão de um antineutrino do elétron.

5º Momento (15 min): Quarks

- a) Os três quarks fundamentais e suas características.
- b) Bárions e mésons formados por quarks.
- c) Confinamento dos quarks.
- d) Princípio de exclusão de Pauli e o bárion Ω .
- e) A carga cor dos quarks.
- f) Busca por simetria que levou a previsão e à posterior descoberta do quark Charm

6º Momento (5 min): Unificação das interações eletromagnética e fraca-

- a) Retomar o assunto sobre interações e seus bósons mediadores.
- b) Confirmação dos bósons mediadores (W e Z) no CERN.

RECURSOS DIDÁTICOS

Data show, quadro e canetão

MATERIAL COMPLEMENTAR PARA O PROFESSOR

Anexo 1: Apresentação

https://drive.google.com/open?id=16Y0U4EP_HxEjaQLbpfXdNi6r9I3pPy8r

Sugestões de leitura

GILMORE, Robert. **O mágico dos Quarks**. Ed. Zahar. 2002 **2:**

MOREIRA, Marco Antônio. **A física dos quarks e a epistemologia**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, n. 2, p. 161-173, (2007)

OSTERMANN, Fernanda. **Partículas elementares e interações fundamentais no ensino médio de física: uma experiência a partir do estágio de um aluno de prática de ensino de física**. II Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Porto Alegre. RS, 1999.

IDENTIFICAÇÃO AULA 5
SABERES
Estrutura elementar da matéria, Modelo Padrão das Partículas elementares, bósons mediadores, léptons e quarks
OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM
O aluno deverá ser capaz de: <ol style="list-style-type: none"> 1) Compreender o que conhecemos hoje sobre estrutura elementar. 2) Reconhecer partículas elementares e compostas; 3) Diferenciar léptons, quarks, bósons mediadores e o bóson de Higgs
PROCEDIMENTOS DIDÁTICOS
1ª aula (45 min): Carga cor e representação esquemática do Modelo Padrão de Partículas Elementares.
<p>1º Momento (5 min): Revisão</p> <ol style="list-style-type: none"> a) Fazer uma pequena recapitulação sobre os principais pontos estudados na aula passada. b) Mesmo sendo as aulas 3 e 4 no mesmo dia é interessante fazer essa recapitulação. <p>2º Momento (10 min): Carga Cor.</p> <ol style="list-style-type: none"> a) Neste momento é importante que o professor reforce a interpretação da cor como uma carga. b) A carga de cor enquanto a carga das interações fortes <p>3º Momento (5 min): Partícula Tau e a terceira geração de Léptons</p> <ol style="list-style-type: none"> a) Descoberta deste novo lépton, deixando a esperança de um novo neutrino. b) Simetria aponta a possibilidade de mais dois quarks. <p>4º Momento (10 min): Quarks e a representação esquemática do Modelo Padrão de Partículas elementares.</p> <ol style="list-style-type: none"> a) Mostrar que a busca pela simetria resultou na descoberta dos quarks Top e bottom. b) Mostrar como fica a representação do Modelo Padrão de Partículas elementares com os Quarks, Léptons, bósons mediadores e bóson de Higgs <p>5º Momento (25 min): Bóson de Higgs</p> <ol style="list-style-type: none"> a) Mostrar o vídeo do youtube, “SP Pesquisa – Bóson de Higgs – 1º Bloco”. b) Abrir para discussão, perguntas e debate.

RECURSOS DIDÁTICOS
Data show, quadro e canetão.
MATERIAL COMPLEMENTAR PARA O PROFESSOR
Anexo 1: Link para download da apresentação https://drive.google.com/open?id=16Y0U4EP_HxEjaQLbpfXdNi6r9I3pPy8r
Anexo 2: Link do vídeo sobre Bóson de Higgs https://www.youtube.com/watch?v=Zmod7jO3xo4
Sugestão de leitura BALTHAZAR, Wagner Franklin. Partículas Elementares no Ensino Médio : uma abordagem a partir do LHC. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, Campus Nilópolis (IFRJ). 2010 ROSENFELD, Rogério. O CERN da matéria : a aventura científica que levou à descoberta do bóson de Higgs. São Paulo: Companhia das Letras, 2013.

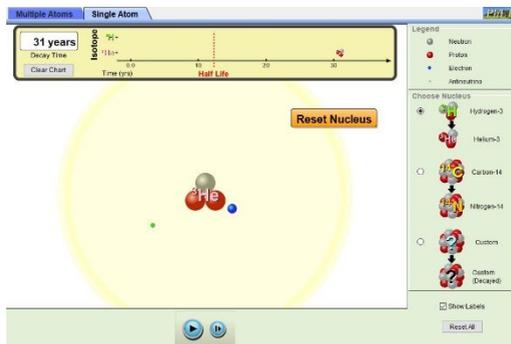
IDENTIFICAÇÃO AULA 6
SABERES
Trabalhar em equipe, usar ferramentas tecnológicas no desenvolvimento das atividades, reconhecer partículas elementares e compostas.
Ao acessar o site de simulações Phet (https://phet.colorado.edu/pt_BR/about), o professor tem uma gama de simulações disponíveis. O objetivo de cada proposta de simulação é permitir que o aluno, relacione o conteúdo com imagem e experimentar a tecnologia como ferramenta de conhecimento. Para este projeto foram utilizados o espalhamento de Rutherford e Decaimento Beta de núcleo de trítio, demonstradas respectivamente, nas figuras abaixo.

Figura 1: Representação visual da simulação Espalhamento Rutherford, na qual apresenta o espalhamento de partículas alfa por um núcleo de ouro no Modelo de Rutherford (átomo nuclear).



Fonte: disponível em https://phet.colorado.edu/pt_BR/. Visualizado em: janeiro 2018

Figura 2: Representação visual da simulação do decaimento beta de núcleo de trítio



Fonte: disponível em https://phet.colorado.edu/pt_BR/. Visualizado em: janeiro 2018.

OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

O aluno deverá ser capaz de:

- 1) Compreender que os experimentos de espalhamento ajudam na descoberta da estrutura interna dos átomos, núcleos e partículas compostas.
- 2) Discutir ainda a importância da análise de processos de decaimento, tais como o decaimento beta, identificando e analisando a produção de partículas elementares em processos dessa natureza

PROCEDIMENTOS DIDÁTICOS
1ª aula (45 min): realização das atividades do PHET.
<p>1º Momento (5 min): Distribuição das atividades.</p> <ol style="list-style-type: none"> a) Professor deverá entregar o roteiro das atividades impressas aos representantes das equipes. b) Preferencialmente iniciar essa aula já no Laboratório de Informática. c) Ressaltar aos alunos que as atividades extras disponíveis nas duas atividades valem no máximo 25XP. <p>2º Momento (40 min): Execução das atividades.</p> <ol style="list-style-type: none"> a) Os alunos deverão fazer as atividades na aula ou o professor pode optar pela resolução em casa. b) Vale a pena ressaltar neste momento que a nota final de cada aluno depende do rendimento de seus colegas da equipe, portanto todos devem conhecer e entender a atividade feita.
ATIVIDADE GAMIFICADA
<p>O professor deverá atribuir uma pontuação de 0XP, para os grupos que optarem por fazer a atividade extra, podendo chegar a uma pontuação máxima de 25XP, por atividade, que são referentes ao Espalhamento de Rutherford e Decaimento Beta.</p> <p>No momento da entrega o professor deverá mostrar a pontuação conseguida pela equipe com a atividade extra, disponibilizando uma nova chance de realizar a atividade, porém com pontuação máxima de 20 XP</p>
RECURSOS DIDÁTICOS
<p>Levar o material impresso disponível no Anexo 1 e Anexo 2. Certificar-se que os computadores da escola conseguem executar as simulações.</p>
MATERIAL COMPLEMENTAR PARA O PROFESSOR
<p>Anexo 1: Simulação de Espalhamento de Rutherford https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/rutherford-scattering</p>
<p>Anexo 2: Simulação do Decaimento Beta https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/beta-decay</p>
<p>Anexo 3: Link para download do roteiro de avaliação do Espalhamento de Rutherford https://drive.google.com/open?id=1uRphip083crJ_6zTz50T3Z_5Qe5jWQFz</p>

<p>Anexo 4: Link para download do roteiro de avaliação do decaimento Beta https://drive.google.com/open?id=1n1O1ft0tAgDLCX3nV3JTfjD8mzxxj63Y.</p>
IDENTIFICAÇÃO AULA 7-8
SABERES
<p>LHC como maior centro de pesquisa do Mundo no que se refere a Física de Partículas Elementares e sua importância para o desenvolvimento científico e tecnológico em diversas áreas das ciências.</p>
COMO REALIZAR O AGENDAMENTO
<p>O agendamento para realização da visita ao CMS é realizado online (site: http://cms.web.cern.ch/content/virtual-visits) no qual encontram-se disponíveis informações para a visita como: público alvo, listas de equipamentos, links para acessar o formulário e informações sobre visitas realizadas pelo mundo.</p> <p>Requisitos básicos para a realização da visita virtual são: ter disponível computador atualizado e uma internet de preferência cabeada de no mínimo 1.0 Mbps, um projetor e uma sala suficientemente escura. É recomendável ainda ter um microfone com um cabo longo ou até mesmo sem fio e uma unidade de cancelamento de ruído.</p> <p>É necessário também instalar o software multiplataforma Vidyo, disponível para download no link: http://information-technology.web.cern.ch/services/fe/vidyo.</p>
OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM
<p>O aluno deverá ser capaz de:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Reconhecer a importância do LHC e seus experimentos. 2) Interagir com os colaboradores do CMS. 3) Conhecer a estrutura interna do experimento do CMS e demais instalações do LHC
PROCEDIMENTOS DIDÁTICOS
2ª aula (90 min): realização da visita virtual.
<p>1º Momento (5 min): Apresentação.</p> <ol style="list-style-type: none"> a) Professor deverá iniciar a conversa apresentando a turma aos colaboradores do CMS e reforçar a importância da participação dos alunos durante a visita. <p>2º Momento (85 min): Visita virtual.</p> <ol style="list-style-type: none"> a) A visita tem uma duração de aproximadamente 90 minutos.
ATIVIDADE GAMIFICADA

<p>O professor deverá atribuir uma pontuação de 2XP a cada pergunta coerente à temática abordada na visita.</p> <p>Caso os alunos optem pela realização da atividade extra contida no relatório da visita virtual os alunos poderão ganhar até 30XP.</p> <p>No momento da entrega o professor deverá mostrar a pontuação conseguida pela equipe com a atividade extra, disponibilizando uma nova chance de realizar a atividade, porém com pontuação máxima de 25XP.</p>
RECURSOS DIDÁTICOS
<p>Levar o material impresso disponível no Anexo 1; Certificar-se que todos os requisitos necessários para a visita estão certos e teste de conexão realizado com êxito.</p>
ANEXOS
<p>Anexo 1: Link da visita realizada no IFC-Fraiburgo https://indico.cern.ch/event/656055/¹⁶</p> <p>Sugestão de leitura CERN. LHC the guide. Disponível em: <https://cds.cern.ch/record/2255762/files/CERN-Brochure-2017-002-Eng.pdf></p> <p>CERNA. Sobre o CERN. Disponível em: <https://home.cern/>.</p>

IDENTIFICAÇÃO AULA 9
SABERES
<p>Estrutura elementar da matéria, Modelo Padrão das Partículas elementares, bósons mediadores, léptons e quarks</p>
OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM
<p>1) Os alunos deverão devolver as atividades e estas serão corrigidas.</p>
PROCEDIMENTOS DIDÁTICOS
<p>1ª aula (45 min): Devolução e correção das atividades.</p> <p>1º Momento (5 min): Apresentação.</p> <p>a) Devolver as atividades corrigidas e dar um tempo para os alunos verem seus erros.</p> <p>2º Momento (40 min): Correções.</p>

¹⁶ Acesso livre, gentilmente cedido pelo CMS.

a) Corrigir os erros cometidos pelos alunos.
RECURSOS DIDÁTICOS
Quadro e canetão

IDENTIFICAÇÃO AULA 10
SABERES
Estrutura elementar da matéria, Modelo Padrão das Partículas elementares, bósons mediadores, léptons e quarks
OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM
1) Avaliar a aprendizagem dos alunos
2) Avaliar a sequência didática

PROCEDIMENTOS DIDÁTICOS
1ª aula (45 min): realização da avaliação final.
1º Momento (5 min): Apresentação.
a) Professor deverá entregar as avaliações e organizar a sala para que fique um espaço livre no fundo da sala, para que os alunos que puderem solicitar o uso do benefício de conversar com o colega por 3 minutos o faça sem atrapalhar os demais
2º Momento (40 min): Avaliação.
a) Neste momento os alunos com pontuação suficiente poderão efetuar a troca por benefícios durante a avaliação. O professor deverá tomar certos cuidados como:
b) Deixar um espaço no fundo da sala para que os alunos que optarem por conversar com o colega, que o faça neste espaço. Durante a conversa o aluno não pode ter consigo papel e nem caneta. Importante ressaltar que a conversa não poderá ser ouvida por outros colegas.
c) Anotar na avaliação a pontuação que o aluno gastará com o benefício solicitado.
RECURSOS DIDÁTICOS
Levar o material impresso do questionário da avaliação final
ANEXOS
Anexo 1: Link para download do questionário da avaliação final https://drive.google.com/open?id=1Jq2AOka98SSUeed26p62_G30uv-QXTpQ

2.3 QUESTIONÁRIO DE CONHECIMENTO PRÉVIO E QUESTIONÁRIO AVALIAÇÃO FINAL

A aplicação dos questionários nesse produto educacional pretende mensurar o conhecimento prévio, e avaliar ao final o quanto as atividades oportunizaram o conhecimento sobre o tema.

Abaixo disponibilizamos os questionários usados na aplicação desta sequência didática para essas finalidades.

Questionário Conhecimento prévio

Aluno: _____

1. Qual das ferramentas abaixo você normalmente utiliza para realizar pesquisas?

Celular Tablet Biblioteca
 Computador pessoal Livros

2. Quantas vezes por semana você navega pela internet?

0 1 2 3
 4 5 6 7

3. Você já utilizou alguma simulação ou animação para estudar para alguma disciplina?

Sim Não

4. Em resposta afirmativa indique para quais disciplinas você já utilizou deste recurso

Português Geografia Biologia
 Artes Língua Estrangeira História
 Física Filosofia Matemática
 Sociologia Química Ed. Física

5. Você já ouviu falar de algum acelerador/colisor de partículas?

Sim Não

6. Já ouviu falar do LHC (Large Hadron Collider) o Grande Colisor de Hádrons – instalado nas dependências do CERN (centro Europeu de pesquisas Nucleares)?

Sim Não

7. Caso a resposta seja afirmativa indique por quais meios de comunicação você já ouviu falar sobre aceleradores/colisores de partícula ou sobre o CERN.

Internet (sites de divulgação científica, blogs, redes sociais, etc)

- () TV () Revistas (de divulgação científica)
 () Escola () Filmes
 () Outros: _____
8. Sobre quais partículas você já ouviu falar:
 () Elétrons () Fótons () Neutrinos
 () Quarks () Bóson de Higgs () Glúons
9. Indique de onde você ouviu falar dessas partículas
 () Internet (sites de divulgação científica, blogs, redes sociais, etc)
 () TV
 () Revistas (de divulgação científica)
 () Escola
 () Filmes
 () Outros: _____

10. Você já ouviu falar do Modelo Padrão de Partículas Elementares (ou simplesmente Modelo Padrão)?
 () Sim () Não

11. Caso a resposta seja afirmativa indique por quais meios de comunicação já ouviu falar sobre o Modelo Padrão
 () Internet (sites de divulgação científica, blogs, redes sociais, etc)
 () TV
 () Revistas
 () Escola
 () Filmes

12. O que é o Modelo Padrão?

13. Hoje sabemos que a matéria ordinária de nosso cotidiano é composta por pequenos blocos fundamentais, que denominamos partículas elementares. Você saberia informar quais são essas partículas?

14. Com suas palavras você saberia informar a importância dos experimentos feitos no LHC, pois estima-se que foram gastos cerca de 3,756 bilhões de Francos Suíços (CFH), o que corresponde a aproximadamente R\$ 12 bilhões¹⁷ na sua construção, mais investimentos de 576 milhões CFH (R\$ 1,9 bilhões) em infraestrutura e capacidade computacional e um custo aproximado de 1,5 bilhões CFH (R\$ 4,9 bilhões) em detectores¹⁸

¹⁷Utilizando a cotação do dia 04/09/2017: 1 CFH = 3,2773 BRL (Real Brasileiro – R\$) retirada do site: <http://www4.bcb.gov.br/pec/conversao/conversao.asp>

¹⁸Informações retiradas do guia do LHC disponível em: <https://cds.cern.ch/record/2255762/files/CERN-Brochure-2017-002-Eng.pdf> acessado no dia 04/09/2017

O procedimento avaliativo, levando em consideração benefícios, penalidades e o resultado de cada atividade desenvolvida poderá ser calculado por meio do roteiro abaixo:

Questionário para avaliação final

Escola: _____ Professor: _____

Aluno: _____ Série: _____ Turma: _____

Data: _____

$$N_F = 0,5 N_P + 0,02 P_T + 0,3 M_E$$

N_F é a nota final do aluno;

N_P é a nota da prova individual do aluno;

P_T é a média dos trabalhos;

M_E é a média das notas da prova dos membros de sua equipe;

Bônus para avaliação final;

Pedir ajuda de um colega (3min); 30XP;

Descartar a nota de um colega para fazer a nota final; 30XP;

Usar suas anotações durante a prova; 80XP;

Usar celular ou computador pessoal; 104XP.

Questão 1 (UDESC): Prótons e nêutrons são constituídos, cada um, por três partículas elementares denominadas quarks. Quarks up (u) possuem carga elétrica $+(2/3)e$. Quarks down (d) têm carga elétrica $-(1/3)e$, em que e é a carga elétrica elementar. Assinale a alternativa que indica, respectivamente, de forma CORRETA, quantos quarks up e downs formam um próton e quantos formam um nêutron.

a) 3d; 3d

b) 3d; 1u e 2d

c)

2u e 1d; 1u e 2d

d) 1u e 2d; 2u e 1d

e) 1u e 2d; 1u e 2d

Questão 2: Faça a distribuição da carga cor para os quarks que formam um próton e um nêutron.

Questão 3: Quais as principais características do LHC que o distingue de outros aceleradores de partículas ao longo do mundo?

Questão 4: Qual é a importância do átomo de Rutherford para o desenvolvimento da Física Nuclear e de Partículas Elementares? Além de sua importância histórica, o experimento de Rutherford é um exemplo simples de experimento de ESPALHAMENTO, empregados para descoberta de novas partículas e para a compreensão da estrutura elementar da matéria.

Questão 5: Mostre que no decaimento do trítio (^3H), ao emitir uma partícula beta a carga total é conservada, mostre também o resultado deste decaimento.

Questão 6: O conceito de carga cor para resolver o problema do princípio de Exclusão de Pauli. Explique com suas palavras esse princípio e como a introdução desse novo tipo de carga resolve um aparente paradoxo na constituição em termos de quarks de algumas partículas compostas.

Questão 7: No experimento de espalhamento de Rutherford monte uma relação qualitativa entre o ângulo de desvio (por interação eletromagnética) e a energia das partículas alfa incidentes.

Questão 8: No Modelo Padrão de partículas elementares abaixo estão faltando algumas partículas elementares e o nome de um grupo. Coloque nos espaços as partículas e os nomes dos grupos faltantes.



Fonte: Imagem adaptada do site:

https://pt.wikipedia.org/wiki/Modelo_padr%C3%A3o#/media/File:Standard_Model_of_Elementary_Particles-pt-br.svg. Visualizado em: março de 2018.

2.4 ATIVIDADES EXPLORATÓRIAS – ROTEIRO DE AVALIAÇÃO

As atividades exploratórias podem ser realizadas em sala de informática, disponibilizando acesso a internet e o roteiro que permitirá ao aluno identificar os principais fundamentos das simulações.

Conforme especificados anteriormente, abaixo apresentamos dois roteiros de atividades virtuais do site Phet.

1. Roteiro da atividade virtual - Espalhamento Rutherford

Grupo: _____

Integrantes: _____

Com a confirmação da existência do Elétron, a divisão de cargas positivas e negativas de um átomo ficou evidente, porém foram levantadas hipóteses acerca da distribuição dessas cargas. Para conseguir a confirmação ou a refutação das ideias foram feitos experimentos de espalhamento de partículas alfa (núcleo de hélio). Vejamos a seguir a hipótese de Thomson e em seguida a solução encontrada por Rutherford em um experimento de espalhamento.

Acesse o site:

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/rutherford-scattering

Análise 1: O modelo atômico de Thomson

Passo: Selecione Exibir Trajetória;

Passo: Nas Propriedades da Partícula Alfa, selecione o valor mínimo de Energia;

Passo: Ligue o emissor de partículas alfa e verifique a trajetória destas partículas;

Passo: Com o emissor de partículas alfa ligado, leve o cursor das propriedades da partícula Alfa do valor mínimo até o valor máximo analisando possíveis alterações nos comportamentos das trajetórias das partículas alfa incidente sobre os átomos;

Passo: Descreva no espaço abaixo como é a distribuição de cargas nesse modelo e o que ocorre com as partículas alfa do ponto de vista dos ângulos de espalhamento; isto é, as partículas alfa são defletidas em grandes ângulos?

Análise 2: O modelo atômico de Rutherford

Passo: Selecione “Átomo de Rutherford” na parte inferior da simulação;

Passo: Em “Propriedades da Partícula Alfa” selecione “Exibir trajetória” e coloque o cursor da Energia no mínimo.

Passo: Ligue o Emissor de partícula alfa e verifique as trajetórias destas partículas;

Passo: Coloque a Energia das partículas alfa no máximo e observe o que ocorre com a trajetória destas partículas;

Passo: Escreva no espaço abaixo o que acontece nas trajetórias e estabeleça uma relação qualitativa entre o ângulo de desvio (por interação eletromagnética) e a energia das partículas alfa incidentes.

Passo: No canto superior esquerdo selecione a figura que representa um único átomo. Observe que os elétrons (ou eletrosfera) não são apresentados na simulação; uma vez que as dimensões nucleares são aproximadamente 10000 vezes menores do que as dimensões atômicas;

Passo: Com a maior número possível de prótons e nêutrons verifique o que ocorre nas trajetórias das partículas alfa com o valor mínimo e máximo de Energia.

Passo: Escreva abaixo o que acontece e justifique o porquê das diferenças na trajetória, indicando a natureza dessa possível força; indique também a carga do núcleo e da partícula alfa.

Atividade Extra (25XP): Qual é a importância do átomo de Rutherford para o desenvolvimento da Física Nuclear e de Partículas Elementares? Além de sua importância histórica, o experimento de Rutherford é um exemplo simples de experimento de ESPALHAMENTO, empregado para descoberta de novas partículas e para a compreensão da estrutura elementar da matéria.

2. Roteiro Atividade virtual - O decaimento Beta

Grupo: _____

Integrantes: _____

Logo que foi observado o Decaimento Beta apenas as partículas carregadas foram vistas, o que, do ponto de vista teórico, poderia implicar na violação do princípio de conservação de energia, na conservação da

energia. Alguns cientistas, como Niels Bohr, chegaram a cogitar que o princípio da conservação da energia seria violado no microcosmo, porém Wolfgang Pauli postulou a existência de um novo tipo de partícula que foi chamada de neutrino, que além de garantir a conservação da energia, garante também a conservação do momento (linear e angular) durante o decaimento Beta.

Acesse o site https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/beta-decay

Passo: Execute a simulação do link acima escolhendo a opção: Único Átomo;

Passo: Pause a simulação e escolha o átomo de ^3H (trítio);

Passo: Caso seu átomo já tenha decaído antes de você pausar a simulação, clique em “Reiniciar núcleo”;

Passo: Desenhe de modo simplificado o núcleo atômico antes do decaimento, identificando nomes e quantidade dessas partículas;

Passo: inicie a simulação e observe o momento de ocorrência de um decaimento nuclear, pausando no momento em que todas as partículas produzidas estiverem visíveis na tela;

Passo: Caso não tenha conseguido efetuar o procedimento anterior, clique em “Reiniciar núcleo” e tente novamente;

Passo: Desenhe de modo simplificado o núcleo atômico depois do decaimento, identificando a quantidade e nome das partículas emitidas

Antes	Depois

Passo: Apresente na Tabela abaixo o nome e o número de partículas encontradas no processo de decaimento, separando-as em Composta e Elementar, informando o valor de carga de cada uma delas. Na terceira coluna, coloque em ordem as partículas elementares, somando suas cargas, e verifique se a carga elétrica é conservada nesse processo de decaimento.

Antes		
Partículas Compostas	Partículas Elementares	Composta = elementar + elementar
Depois do decaimento		

Partículas Compostas	Partículas Elementares	Composta = elementar + elementar

Atividade Extra (25XP): Verifique se há conservação das cargas e da massa no processo de decaimento, explique porque e de onde surgiu o elétron?

2.5 VISITA VIRTUAL AO CMS – ROTEIRO DE AVALIAÇÃO

Este momento da visita virtual permite dimensionar o conhecimento adquirido e a relação que o aluno faz entre a teoria e a prática. Para mensurar o aproveitamento da visita virtual aplicamos o seguinte questionário de avaliação:

Escreva um texto de no mínimo 20 e máximo de 30 linhas, discutindo sobre a importância do CMS do LHC – CERN. Para a sua produção textual você deverá escolher 3 (três) das perguntas indicadas abaixo. Procure elaborar o seu texto de forma a responder a todas as questões selecionadas.

1. O que é o experimento CMS?
2. Quais os objetivos de um experimento científico como o CMS?
3. Que mecanismos/equipamentos são utilizados para detecção de partículas carregadas e neutras?
4. Que partícula(s) já foi(ram) descoberta(s) pelo experimento CMS?
5. Qual a importância dessa(s) partícula(s) para a consolidação do Modelo Padrão?
6. Quais as principais características do LHC que o distingue de outros aceleradores de partículas ao longo do mundo?
7. Qual a importância de estrutura de resfriamento a baixíssimas temperaturas no experimento do CMS? Por que são necessárias tão baixas temperaturas?
8. Qual a intensidade típica do campo magnético gerado por um solenóide como do experimento CMS? Por que são necessários campos tão intensos?

9. Qual o nome da estrutura computacional instalado no CERN para processamento de toda informação gerada pelos eventos de colisões observados num experimento como o CMS? Por que essa estrutura é tão importante?

10. Existe a expectativa de que outras partículas sejam descobertas pelo experimento CMS? Quais seriam e que informação trariam de importante para a aplicação de nosso conhecimento sobre a matéria existente no universo?

Atividade Extra (30 XP). Crie um texto de no mínimo 10 linhas onde vocês apresentam o CMS, destacando os pontos apresentados na visita virtual. Elabore o texto pensando em como seria essa apresentação para uma pessoa totalmente leiga no assunto, dando uma ideia da importância do CMS para a ciência.

2.6 PROCEDIMENTOS AVALIATIVOS: REGRAS E CRITÉRIOS

Para fins de execução da sequência, algumas regras, critérios de avaliação e penalidades, precisam estar estabelecidas, como pode ser visto na sequência.

A cada etapa executada a equipe (composta por 4 ou 5 alunos) poderá ganhar pontos de experiências (XP), que poderão ser trocados por benefícios, que estão na tabela abaixo.

XP	Benefícios
30	Pedir ajuda de um colega (3min)
30	Descartar a nota de um colega para fazer a nota final.
80	Usar suas anotações durante a prova
104	Usar celular ou computador pessoal

A lista de benefícios foi criada pensando em estimular os alunos a realizar as atividades extras presentes nas atividades disponibilizadas pelo professor. No total os alunos poderão conquistar 100XP mais 2XP por pergunta coerente realizada durante a visita virtual.

Paralelamente, produzimos uma tabela de penalidades, com o objetivo de estabelecer alguns critérios, que venham por sua vez estimular o aluno a participar e interagir.

Pontos XP	Infrações
-2	Falta de integrantes (por pessoa)

-2	Perturbar a aula
-10	Copiar atividade de outras equipes sem a devida solicitação
-80	Tentar algum tipo de trapaça nas regras
A definir	Alguma perturbação ou desrespeito que não estejam expressos nas regras.

Regras também são estabelecidas e pactuadas com os alunos:

1. A Pontuação será atribuída à equipe, e no caso de penalidades os pontos serão descontados de toda equipe.
2. A atividade extra é optativa, e a sua realização afetará apenas na conquista de pontuação para trocas de benefícios durante a avaliação.
3. Cada equipe deverá ter um representante.
4. Este mesmo representante fará parte do conselho e poderá ser chamado para resolver algum caso que não foi previsto nas regras do jogo.
5. Os pontos conquistados em grupo, serão atribuídos a cada aluno da equipe, para poder usá-los de maneira individual na hora da avaliação.
6. Todos os jogadores serão fiscais, porém caso queira denunciar alguma violação das regras por parte dos colegas, terão de fazer através do representante, na mesma hora que perceber tal violação.

O professor ficará responsável por apurar e julgar as denúncias de violação, caso seja necessário o mesmo poderá solicitar auxílio do conselho de alunos para julgamento.

2.7 NOTAL FINAL

Tendo em vista a importância da avaliação final que compõe 50% da nota final e levando em consideração que as notas individuais influenciam a nota geral do grupo, todos são responsabilizados pelas médias.

Para aferir a nota final de cada aluno sugere-se a equação a seguir:

$$N_F = 0,5N_A + 0,2 \left(\frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4}{4} \right) + 0,3N_E$$

Onde:

N_A = Nota da Avaliação individual;

T_1 = Nota do trabalho da Formação das equipes;

T_2 = Nota da atividade de Espalhamento de Rutherford;

T_3 = Nota da atividade de Decaimento Beta;

T_4 = Nota do relatório da Visita Virtual ao CMS;

N_E = Média das notas da avaliação final dos membros da equipe

Podemos verificar pela equação que 50% da nota do aluno será referente a sua avaliação final, 20% será a média dos trabalhos desenvolvidos durante a aplicação da sequência didática e 30% será a média das notas da avaliação final dos membros da equipe que o aluno fazia parte, tornando o desempenho de cada aluno atrelado ao desempenho da sua equipe. O que sugere que todos tenham que entender o que foi feito em cada um dos processos.

Todas as atividades propostas aos alunos contém o mesmo peso para compor a nota final das atividades e as atividades extras (pontuadas ao final de cada atividade exploratória) ficam a critério das equipes em realizá-las ou não, porém vale ressaltar que a troca por benefícios só poderá ser feita por aqueles alunos que apresentam pontuação suficiente para fazê-lo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse produto educacional foi proposto o Ensino da Física de Partículas Elementares para o ensino médio, por meio de atividades gamificadas que usam as tecnologias da informação e comunicação (TIC).

Pode-se dizer que gamificação, por meio das atividades exploratórias e a realização da visita ao CMS, permite uma nova abordagem pedagógica em sala de aula, contribuindo para construção do saber de forma dinâmica e interativa entre professor e aluno. Essa atividade de caráter interativo, permite momentos de conversação e troca de conhecimento entre todos, de forma organizada e bem planejada pelo professor, o que permite um ambiente colaboração e conhecimento. Outro benefício evidenciado, é permitir ao aluno encontrar a sua forma de aprender e compreender o conteúdo, por meio, das aulas expositivas, da visita virtual ao CMS e nas simulações, fato é que ao proporcionar diversos recursos diferentes, o professor consegue se aproximar mais de cada aluno.

Ressalta-se também que nessa forma apresentada de ensino-aprendizagem a nota dos membros da equipe influencia de maneira direta

a nota individual. Assim, ter o desempenho comprometido por um membro da equipe que não levou a sério o desenvolvimento das atividades pode gerar conflito entre alunos e até fazer com alguns alunos se desestimulem. Devido a esse fator, o aluno pode, tendo pontuação para isso, descartar a nota dos colegas que não tiveram um bom desempenho na avaliação final.

Desta forma, enquanto no método tradicional o professor é o sujeito ativo no processo ensino-aprendizagem, nesse produto o método é o construtivista, onde o aluno assume a responsabilidade na construção do seu saber, onde o papel do professor é o de mediar, orientar e instigar o processo de construção do seu saber.

Portanto, de modo geral, podemos dizer que essa sequência traz uma possibilidade de explorar um conteúdo da Física Moderna e Contemporânea, com elementos da teoria de Gamificação reforçando a potencialidade do uso das TIC no ensino de Física.