

DO CERN AO MARANHÃO: MASTERCLASS EM FÍSICA DE PARTÍCULAS NA EDUCAÇÃO BÁSICA

From cern to Maranhão: particle physics Masterclass in basic education

Maria do Socorro do Nascimento Amorim [msn.amorim@ufma.br]

Universidade Federal do Maranhão, Avenida dos Portugueses, n° 1966, Cidade Universitária, Bacanga, São Luís. Maranhão, CEP: 65085-580

Raimundo Cazuza da Silva Neto [Raimundo.20251000@aluno.uema.br]

Centro de Ensino João Mohana, rua do Meio, S/N, Peritoró, Maranhão, Brasil, CEP: 65430-000

Luciana Magalhães Rebêlo Alencar [luciana.alencar@ufma.br]

Ulisses Denache Vieira Souza [ulisses.denache@ufma.br]

Universidade Federal do Maranhão, Avenida dos Portugueses, n° 1966, Cidade Universitária, Bacanga, São Luís-MA, CEP: 65085-580

Nelson Barrelo Júnior [nbarrelo@id.uff.br]

Universidade Federal Fluminense, Rua Santos Braga, n° 30, Centro, Niterói, Rio de Janeiro, CEP: 24020-140

Recebido: 18/01/26

Aceito: 06/04/26

Resumo

A Física de Partículas, ao investigar os constituintes elementares da matéria e as interações fundamentais do universo, constitui um campo relevante para a formação científica dos estudantes da Educação Básica. Em 2024, após a participação de docentes maranhenses na Escola de Física do CERN, foi realizada a primeira edição do Masterclass em Física de Partículas no Maranhão, reunindo 160 alunos do Ensino Médio de diferentes municípios. O evento buscou aproximar os participantes da Física Contemporânea e das pesquisas desenvolvidas no LHC, por meio de palestras, oficinas interativas, visitas técnicas e análise de dados reais. Este estudo, fundamentado em referenciais teóricos do ensino de Física Moderna e Contemporânea e da aprendizagem significativa, investiga a gestão pedagógica adotada durante as atividades, o grau de envolvimento dos estudantes e as principais dificuldades conceituais evidenciadas no processo. Os dados foram obtidos a partir de questionários diagnósticos e de acompanhamento, observações diretas e registros das interações em grupo. Os resultados apontam que os alunos apresentaram dificuldades iniciais em conceitos como partículas elementares e interpretação de gráficos de colisões, mas avançaram na compreensão desses temas após as práticas investigativas. Verificou-se ainda elevado engajamento dos participantes, manifestado pelo número de perguntas, pela permanência nas atividades e pelo interesse declarado em carreiras científicas. Conclui-se que a experiência contribuiu para o letramento científico, para a democratização do acesso ao conhecimento de fronteira e para a formação crítica de jovens em um contexto educacional marcado por desigualdades regionais.

Palavras- Chave: Física de Partículas; Ensino de Ciências; Educação Básica; *Masterclass*.

Abstract

Particle Physics, by investigating the elementary constituents of matter and the fundamental interactions of the universe, represents a relevant field for the scientific education of Basic Education

students. In 2024, following the participation of teachers from the state of Maranhão in the CERN School of Physics, the first edition of the Particle Physics Masterclass in Maranhão was held, bringing together 160 high school students from different municipalities. The event aimed to bring participants closer to Contemporary Physics and to research conducted at the Large Hadron Collider (LHC) through lectures, interactive workshops, technical visits, and the analysis of real experimental data. This study, grounded in theoretical frameworks of Modern and Contemporary Physics Education and meaningful learning, investigates the pedagogical management adopted during the activities, the level of student engagement, and the main conceptual difficulties evidenced throughout the process. Data were collected through diagnostic and follow-up questionnaires, direct observations, and records of group interactions. The results indicate that students initially experienced difficulties with concepts such as elementary particles and the interpretation of collision graphs, but showed progress in understanding these topics after the investigative practices. High levels of engagement were also observed, as evidenced by the number of questions asked, sustained participation in the activities, and expressed interest in pursuing scientific careers. It is concluded that the experience contributed to scientific literacy, to the democratization of access to frontier knowledge, and to the critical education of young people within an educational context marked by regional inequalities.

Keywords: Particle Physics; Science Education; Basic Education; Masterclass.

Introdução

A Física de Partículas (FP) é uma das áreas mais avançadas e fascinantes da ciência moderna, dedicada ao estudo das partículas elementares que compõem a matéria e das forças fundamentais que regem o universo (Jackson, 2015). Esse campo de pesquisa tem sido responsável por algumas das descobertas mais importantes da Física Contemporânea, como a confirmação do bóson de Higgs em 2012, no Grande Colisor de Hádrons (LHC), o maior acelerador de partículas do mundo, localizado no CERN, em Genebra, Suíça (Bass; De Roeck; Kado, 2021).

A relevância da FP para a compreensão do universo é indiscutível, mas sua introdução na educação básica ainda enfrenta desafios. No Ensino Médio, os conteúdos de Física geralmente estão restritos à Mecânica Clássica, Termodinâmica e Eletricidade, com pouca ou nenhuma abordagem sobre FP e Contemporânea (Busatto et al., 2018). No entanto, o interesse e a curiosidade dos estudantes por temas como Modelo Padrão, Matéria Escura, partículas subatômicas e o funcionamento de aceleradores de partículas sugerem que a FP pode ser uma ferramenta poderosa para despertar o interesse pela ciência e estimular o pensamento crítico e analítico.

Nesse contexto, o CERN promove, desde o início dos anos 2000, o *Masterclass* em FP, uma iniciativa educacional que visa aproximar estudantes do Ensino Médio de diferentes partes do mundo à pesquisa em FP. O *Masterclass* permite que os alunos analisem dados reais de experimentos conduzidos no LHC, orientados por cientistas e professores, proporcionando uma experiência prática e imersiva no método científico (Bilow; Kobel, 2014a). Em 2024, o *Masterclass* foi realizado pela primeira vez no Maranhão, sediado pelo Colégio Universitário da Universidade Federal do Maranhão, reunindo 160 alunos de escolas públicas, incluindo a capital São Luís e outros municípios do estado.

A iniciativa surgiu após a participação de um grupo de professores de Física do ensino básico do Maranhão na Escola de Física no CERN, que tem o objetivo de aproximar ainda mais os docentes dos conteúdos e conceitos de Física Moderna, incluindo a FP, para que estes possam incorporar esses conhecimentos em suas práticas pedagógicas. O evento representou uma oportunidade única para os estudantes entrarem em contato direto com a ciência de ponta, despertando o interesse por carreiras científicas e reforçando a importância da física moderna na educação básica.

Este trabalho tem como objetivo analisar a experiência pedagógica desenvolvida durante o Masterclass de Física de Partículas realizado no Maranhão em 2024, com ênfase na gestão das atividades, no engajamento dos estudantes e nas dificuldades conceituais evidenciadas ao longo do processo. Busca-se, ainda, discutir os impactos educacionais da iniciativa no contexto da educação

básica e seu potencial como estratégia de divulgação científica e letramento científico. Os resultados indicam que, mesmo diante de desafios logísticos e estruturais, é possível promover a aproximação de estudantes de diferentes etapas da educação básica com a pesquisa científica de fronteira, favorecendo o interesse por carreiras científicas e a ampliação de perspectivas acadêmicas e profissionais.

O CERN e a Física de Partículas

O CERN foi fundado em 1954 com o objetivo de promover a cooperação científica entre países europeus no campo da Física Nuclear. Inicialmente, o foco do CERN estava na pesquisa em Física Nuclear, mas, com o tempo, o centro expandiu suas atividades para a FP, tornando-se o principal laboratório nesse campo do mundo (Evans; Bryant, 2008). Localizado em Genebra, na Suíça, o CERN (Figura 1) é hoje um dos maiores e mais sofisticados centros de pesquisa científica do planeta, reunindo mais de 12 mil cientistas de aproximadamente 100 países, em um esforço colaborativo para investigar a composição e o funcionamento do universo em suas escalas mais fundamentais (Ellis, 2015).

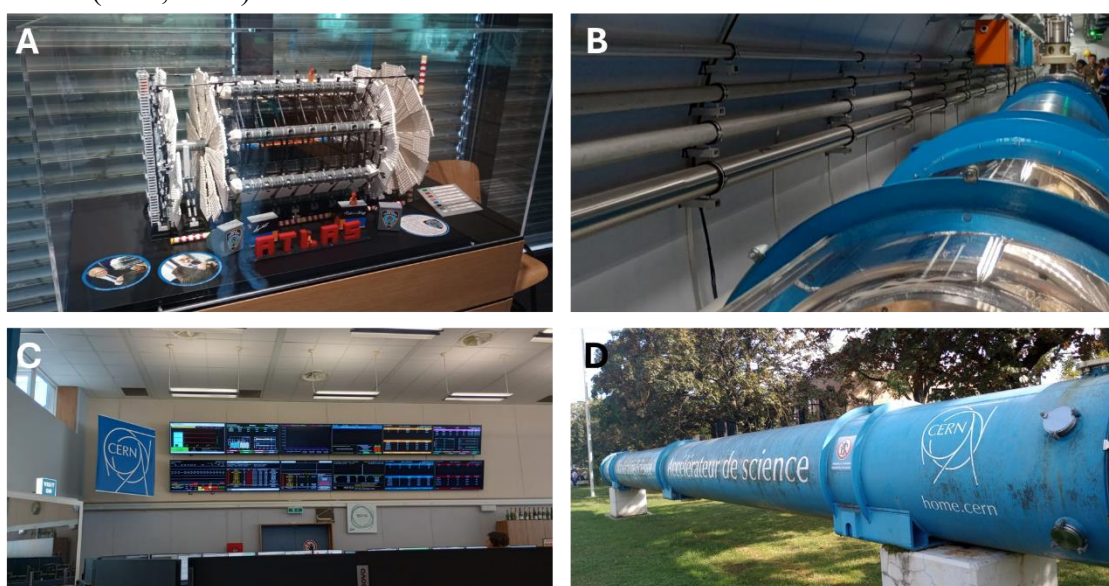


Figura 1. Instalações e atividades do CERN (fronteira Suíça–França): A) modelo LEGO do detector ATLAS; B) túnel do LHC com ímãs supercondutores; C) sala de controle; D) seção do tubo do LHC exposta ao público. Fonte: Autores.

Uma das principais realizações do CERN foi a construção do Grande Colisor de Hádrons (LHC – *Large Hádrons Collider*), o maior e mais potente acelerador de partículas já construído. O LHC tem um túnel de 27 km de circunferência, localizado a cerca de 100 metros de profundidade, onde prótons são acelerados a velocidades próximas à da luz e colididos para estudar o comportamento de partículas subatômicas e as forças fundamentais da natureza (Figura 2) (Evans; Bryant, 2008). O CERN também é reconhecido por ter desenvolvido a World Wide Web (WWW), criada por Tim Berners-Lee em 1989 como uma ferramenta para facilitar o compartilhamento de informações entre cientistas (Berners-Lee et al., 1994).

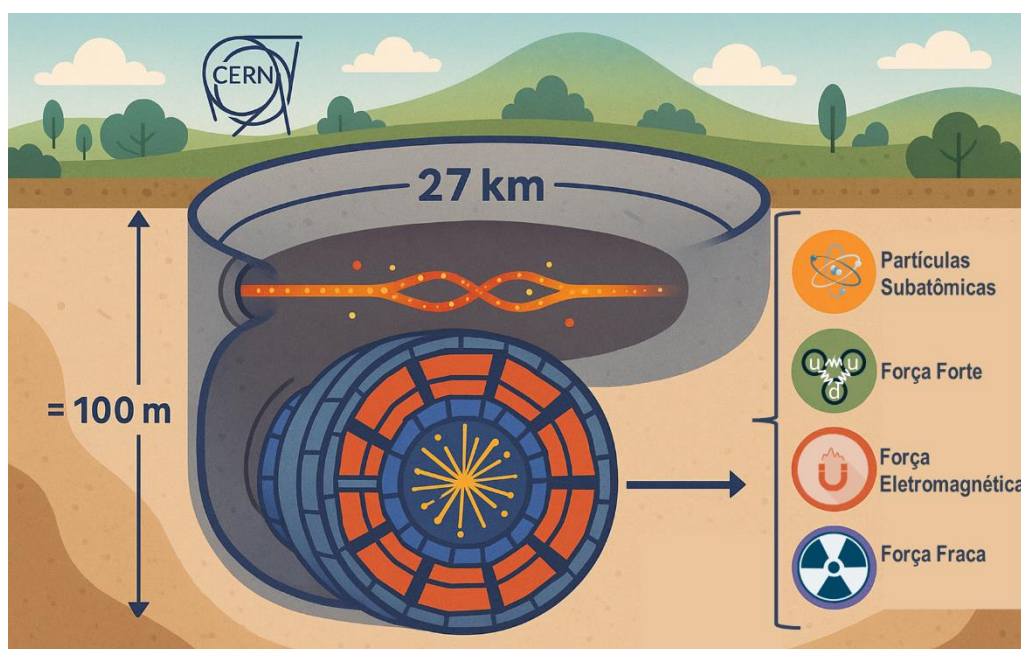


Figura 2. Esquema do LHC (27 km, ~100 m de profundidade), onde prótons são acelerados e colididos para estudar partículas subatômicas e forças fundamentais. Destaque para o detector de partículas. Fonte: Autores.

O CERN tem desempenhado um papel fundamental em algumas das mais importantes descobertas da Física Contemporânea. Uma das mais notáveis foi a descoberta do bóson de Higgs em 2012, que confirmou o mecanismo de Higgs para a geração de massa das partículas elementares, proposto teoricamente por Peter Higgs e François Englert em 1964 (Aad et al., 2012). Essa descoberta foi um marco na validação do Modelo Padrão (Figura 3) da FP, a teoria que descreve as interações entre partículas fundamentais e as forças que atuam sobre elas.

Além da confirmação do bóson de Higgs, o CERN também contribuiu para a descoberta das partículas W e Z, mediadoras da força nuclear fraca, em 1983, o que rendeu o Prêmio Nobel de Física a Carlo Rubbia e Simon van der Meer em 1984 (Arnison et al., 1983). Outro avanço importante foi o desenvolvimento de tecnologias de detecção de partículas, como as câmaras de bolha e de fios, que possibilitaram a identificação de novas partículas e interações. O trabalho do CERN também foi essencial para o estudo das assimetrias entre matéria e antimatéria, contribuindo para a compreensão das condições iniciais do universo (Parkes; Gersabeck; Gutierrez, 2015).

A FP e a Física Contemporânea, apesar de fundamentais para a compreensão do universo, ainda são pouco abordadas nos currículos do Ensino Médio. A maior parte dos programas de ensino de Física concentra-se na Mecânica Clássica, Eletricidade e Termodinâmica, com pouca ênfase em tópicos como Relatividade, Mecânica Quântica e FP (Santos; Nascimento; Souza, 2016). No entanto, o interesse dos alunos por temas como Buracos Negros, origem do universo, Matéria Escura e aceleradores de partículas sugere que a inclusão desses conteúdos pode estimular o engajamento e o interesse pela ciência.

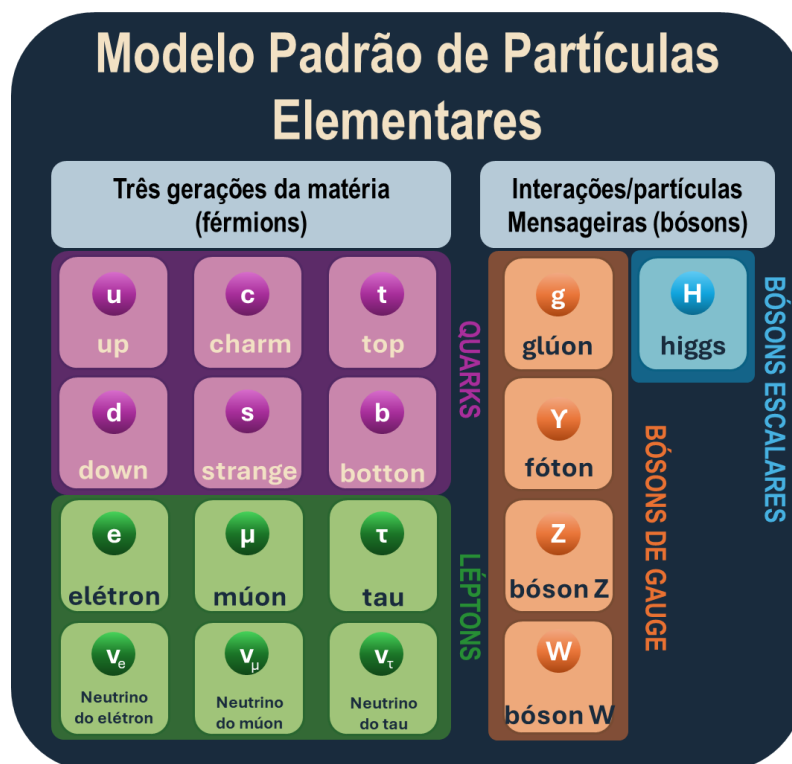


Figura 3. Esquema do Modelo Padrão: férmions (quarks e léptons, em três gerações) e bósons mediadores das interações (glúon, fóton, W, Z e Higgs). Fonte: Autores.

Além disso, a introdução de conceitos de Física Contemporânea e de Partículas no Ensino Médio não precisa ocorrer de forma técnica ou matemática aprofundada, mas pode ser realizada por meio de estratégias didáticas que priorizem a contextualização histórica, o uso de analogias acessíveis e a exploração de experimentos mentais e simulações digitais (Schäffer; Schumacker; Orengo, 2020). Tais abordagens são coerentes com as diretrizes da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), que valorizam o desenvolvimento do pensamento científico e a promoção do letramento científico dos estudantes (Brasil. Ministério Da Educação, 2018). Ao integrar temas contemporâneos à prática pedagógica, o ensino de Física se torna mais significativo, permitindo aos alunos compreenderem não apenas "o que" a ciência afirma, mas como e por que ela constrói determinados modelos explicativos da realidade. Assim, a aproximação da Física Contemporânea ao cotidiano escolar pode contribuir não apenas para o aumento do interesse, mas também para a formação crítica e cidadã dos estudantes diante das transformações científicas e tecnológicas do mundo atual.

O *Masterclass* em FP promovida pelo CERN é uma estratégia eficaz para aproximar os estudantes do Ensino Médio desse campo de pesquisa. O *Masterclass* proporciona uma vivência científica concreta, despertando o interesse por carreiras em ciência e tecnologia (Bilow; Kobel, 2014b). Além disso, a abordagem da FP pode ser utilizada para reforçar conceitos de Física Clássica, como conservação de energia e momento, promovendo uma integração entre a Física tradicional e a Física Contemporânea no processo de ensino-aprendizagem.

O *Masterclass* proporciona ainda uma imersão educativa e científica que desperta o interesse dos estudantes pela Física Contemporânea, promovendo letramento científico, despertando o interesse de estudantes pelo pensamento crítico e contato direto com a metodologia científica usada na fronteira do conhecimento, aproximando estudantes do Ensino Médio e professores da realidade da pesquisa em FP, por meio de uma experiência educacional baseada em dados reais dos experimentos do LHC.

A Escola de Física CERN e o Masterclass

O CERN oferece programas de formação para professores de educação básica, entre eles o *Portuguese Language Teacher Programme*, voltado para professores de países de língua portuguesa. A Escola de Física do CERN, do Brasil, é parte desse programa e ocorre anualmente em Lisboa e Genebra. A Escola é um espaço singular de formação docente, oferecendo uma imersão em conteúdos avançados de física moderna e contemporânea, combinando teoria e prática para atender às demandas da formação continuada e da disseminação do conhecimento científico.

A estrutura pedagógica da Escola é cuidadosamente planejada, baseada em princípios de interdisciplinaridade, inovação científica e aplicabilidade didática. As atividades são organizadas de forma modular, com sessões teóricas, oficinas práticas e visitas a experimentos de grande escala, como o LHC. Essa abordagem visa facilitar a transposição didática dos conceitos de física de partículas para o Ensino Básico e Médio, tornando os conteúdos mais acessíveis para os estudantes (Souza, 2023). Autor X1, Autor X2 e Autor X3 (2025) destacam que a Escola de Física no CERN proporciona uma formação imersiva e interdisciplinar, possibilitando aos professores uma melhor compreensão da ciência e de sua aplicação no ensino básico. A interação direta com pesquisadores e o contato com experimentos avançados fortalecem a confiança dos docentes e os capacitam a adotar abordagens pedagógicas inovadoras em suas práticas escolares.

A programação inclui aulas com temas como partículas elementares, interações fundamentais e avanços tecnológicos em experimentação (“16th Portuguese Language Teacher Programme / 16ª Escola de Professores no CERN em Língua Portuguesa”, 2024). As oficinas práticas permitem que os professores manipulem dados reais de experimentos do CERN, promovendo uma compreensão mais profunda da ciência. Essa vivência prática é essencial para que os professores desenvolvam uma visão mais contextualizada da pesquisa científica e de seu papel na sociedade (Londero, 2014). Grupos de discussão possibilitam que os participantes explorem estratégias para integrar a Física Contemporânea e Moderna ao Ensino Médio, considerando os diferentes contextos educacionais. Essa troca de experiências não só enriquece a formação dos professores, como também fortalece a confiança para abordar temas complexos em sala de aula. Garcia e Pacheco ressaltam que essa interação internacional promove uma visão mais ampla e diversificada da educação científica (Garcia; Pacheco, 2015).

A infraestrutura do CERN, com laboratórios avançados, ferramentas computacionais sofisticadas e acesso direto a experimentos de ponta, é um diferencial que permite aos participantes vivenciarem a ciência em sua forma mais inovadora. De Oliveira (2018) destaca que essa experiência prática é um dos fatores que fazem da Escola de Física no CERN uma referência global em formação científica. A programação dinâmica e interativa da escola é projetada para garantir que os participantes não apenas compreendam os conceitos científicos, mas também desenvolvam habilidades para traduzi-los em práticas de ensino eficazes. Os temas abordados vão desde os fundamentos da mecânica quântica até os desafios éticos e tecnológicos das grandes descobertas contemporâneas. Além disso, o intercâmbio cultural entre professores de diferentes países promove a adaptação de abordagens pedagógicas às realidades locais, enriquecendo o processo de ensino-aprendizagem (Araújo, 2008).

A Escola de Física no CERN incentiva a autonomia dos professores como agentes transformadores em suas comunidades escolares. A experiência adquirida na escola fortalece a confiança dos professores em abordar temas complexos em sala de aula, inspirando os alunos a se interessarem mais pela ciência. Esse impacto positivo na formação docente faz da Escola de Física no CERN um modelo de excelência na educação científica. Esse protagonismo docente promovido pela Escola de Física no CERN também contribui para a criação de redes colaborativas entre professores de diferentes países, favorecendo a troca de experiências, metodologias e recursos didáticos inovadores.

Um exemplo concreto desse protagonismo docente e das redes colaborativas promovidas pela Escola de Física no CERN é a realização conjunta de Masterclasses Internacionais de Física de Partículas. Nessas atividades, professores de diferentes países, após participarem da formação no CERN, organizam eventos simultâneos em suas escolas, conectando seus alunos a pesquisadores e estudantes do mundo todo para analisar dados reais dos experimentos do LHC. Além disso, os

professores atuantes no CERN ministram palestras de forma virtual para escolas de diversos países do mundo. Ao vivenciarem uma imersão em um dos centros científicos mais avançados do mundo, os educadores retornam às suas realidades escolares com uma visão ampliada da ciência como empreendimento humano coletivo, multidisciplinar e em constante evolução. Isso fortalece não apenas a prática pedagógica, mas também o papel da escola como espaço de formação para o pensamento crítico, a curiosidade investigativa e o diálogo entre saberes locais e globais.

Os *Masterclasses* em FP são iniciativas educacionais promovidas pelo CERN com o objetivo de aproximar estudantes do Ensino Médio e universitário de conceitos avançados da Física Moderna e Contemporânea, em especial da Física de Partículas. Criado em 2005, faz parte do programa *International Masterclasses – Hands on Particle Physics*, que reúne instituições de ensino e centros de pesquisa de diversos países, permitindo que alunos analisem dados reais obtidos nos experimentos conduzidos no Grande Colisor de Hádrons (“International MasterClasses Hands on Particle Physics | IPPOG-Brasil”, [s.d.]).

A metodologia dos *Masterclasses* é estruturada para oferecer uma vivência científica autêntica, baseada nos mesmos processos de análise de dados utilizados pelos cientistas do CERN. As atividades são geralmente organizadas em três etapas principais: (i) uma introdução teórica, (ii) a análise prática de dados reais e (iii) uma sessão de discussão e compartilhamento de resultados com outras instituições ao redor do mundo (Bilow; Kobel, 2014b).

Na fase inicial, os alunos recebem uma introdução teórica sobre o Modelo Padrão da FP, as forças fundamentais da natureza e os tipos de partículas que compõem o universo. Essa etapa é conduzida por físicos e pesquisadores, que explicam o funcionamento do LHC e o papel dos detectores de partículas, como o ATLAS e o CMS, na identificação dos produtos das colisões de alta energia (Foka, 2014). Em seguida, os alunos analisam dados reais de colisões de partículas, utilizando softwares desenvolvidos pelo CERN para interpretar os eventos e identificar partículas como múons, elétrons e quarks. Essa fase prática permite que os estudantes desenvolvam habilidades analíticas e interpretativas, simulando o trabalho realizado por cientistas em grandes colaborações internacionais. Por fim, os resultados obtidos são discutidos em uma videoconferência com outras instituições participantes do *Masterclass* em diferentes países. Esse aspecto colaborativo reforça a natureza internacional da pesquisa em FP, permitindo que os alunos experimentem a dinâmica de uma colaboração científica global e compreendam o impacto das descobertas científicas para o conhecimento humano e o desenvolvimento tecnológico.

A participação em *Masterclasses* de FP tem um impacto significativo na formação científica dos estudantes, tanto no desenvolvimento de competências técnicas e analíticas quanto na construção de uma visão mais ampla sobre a ciência e suas aplicações (Watanabe et al., 2016). Ao lidar diretamente com dados reais de colisões de partículas, os alunos são incentivados a desenvolver habilidades de pensamento crítico, resolução de problemas e interpretação de dados, que são fundamentais para a prática científica. Estudos mostram que a participação em *Masterclasses* aumenta o interesse dos estudantes por Física e ciências em geral, contribuindo para uma melhor compreensão de conceitos abstratos, como o comportamento de partículas subatômicas e as interações fundamentais da natureza (Gomes, 2019; Watanabe; Gurgel; Munhoz, 2014). Além disso, o contato com cientistas e pesquisadores estimula os alunos a considerarem carreiras na área científica e tecnológica, fortalecendo o vínculo entre educação e pesquisa de ponta (Ratcliffe; Grace, 2003).

A importância dos *Masterclasses* também reside na oportunidade de promover uma educação científica mais inclusiva e acessível. Ao levar temas complexos de Física Moderna para o ambiente escolar, os *Masterclasses* contribuem para a democratização do conhecimento científico e para a construção de uma cultura científica mais sólida entre os jovens. A troca de experiências com estudantes de outros países reforça a percepção da ciência como um esforço coletivo e global, destacando o papel da colaboração internacional na busca pelo conhecimento.

Adicionalmente, os *Masterclasses* despertam nos estudantes a percepção de pertencimento ao universo científico, especialmente entre aqueles que historicamente têm menos acesso a experiências acadêmicas avançadas. Ao vivenciarem atividades que simulam o trabalho de físicos de partículas, como a análise de dados reais de experimentos do LHC, os alunos desenvolvem competências

investigativas e argumentativas, além de compreenderem a ciência como uma construção dinâmica, sujeita a revisões e debates. Essa vivência pode ser particularmente transformadora para jovens de contextos periféricos, pois rompe com a ideia elitista da ciência e reafirma o direito universal ao conhecimento como ferramenta de emancipação e cidadania.

O Masterclass em Física de Partículas no Maranhão

O Masterclass em Física de Partículas foi realizado no Maranhão em 2024, marcando a primeira edição do evento no estado. O evento reuniu 160 alunos do Ensino Médio de São Luís e de municípios do estado, incluindo os municípios de Coelho Neto, Peritoró e Grajaú, além de alunos do Instituto Federal do Maranhão, Campus Maracanã. O evento foi sediado pelo Colégio Universitário da Universidade Federal do Maranhão (COLUN-UFMA), que levou 50 alunos participantes. O gráfico mostrado na Figura 4 mostra a distribuição do público do evento no Maranhão.

Distribuição dos Alunos Participantes do *Masterclass* por Região (MA)

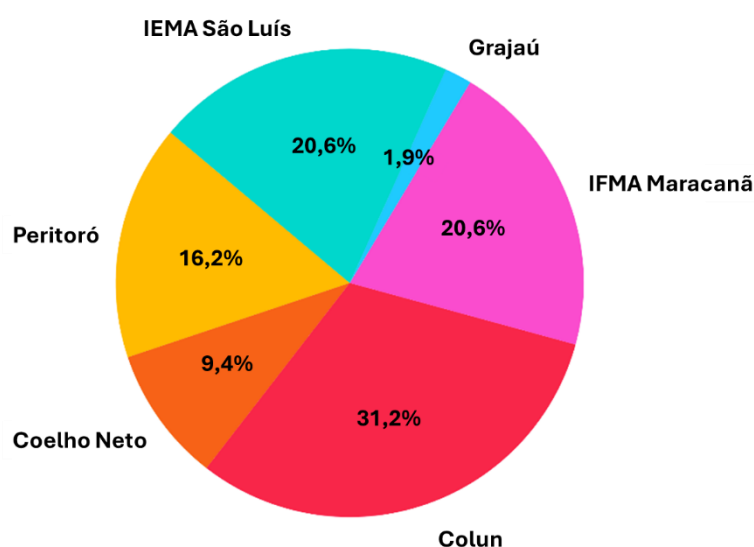


Figura 4. Gráfico de pizza mostrando a distribuição percentual dos alunos participantes do *MasterClass* por região do Maranhão. Fonte: Autores.

A realização do *Masterclass* foi um marco em relação a eventos científicos do Maranhão, proporcionando aos alunos uma oportunidade única de vivenciar a física de partículas de forma prática e interativa. Durante o evento, os participantes analisaram dados reais de experimentos conduzidos no Grande Colisor de Hádrons, desenvolvendo habilidades de análise e interpretação científica. Essa abordagem prática, combinada com sessões teóricas conduzidas por professores capacitados no CERN, facilitou a compreensão de conceitos complexos e incentivou o interesse dos alunos pela ciência.

Além de apresentar os fundamentos da FP, o *Masterclass* promoveu o contato direto dos estudantes com o método científico, destacando a importância das descobertas científicas para a sociedade. A troca de experiências entre os alunos de diferentes regiões do Maranhão e o contato com professores especializados reforçaram o impacto do evento, inspirando uma nova geração de jovens cientistas e fortalecendo a inserção da física moderna no currículo escolar.

O *Masterclass* ocorreu durante dois dias de novembro de 2024, no Espaço da Ciência e do Firmamento da UFMA, oferecendo a imersão em pesquisa básica com palestras, visitas técnicas e análise de dados reais do LHC. No primeiro momento, os alunos participaram de palestras com especialistas sobre temas como Modelo Padrão, detecção de partículas e tecnologia de aceleradores, e Física Médica, contando com pesquisadores diretamente do CERN, na Suíça. No segundo momento, pela tarde, os alunos tiveram a oportunidade de participar de diversas visitas técnicas para explorar

aplicações práticas da física em diferentes áreas. As visitas permitiram que os estudantes aprofundassem seus conhecimentos e visualizassem como os princípios da física são utilizados em contextos científicos, industriais e médicos.

Essa vivência integrada entre teoria e prática contribui significativamente para a construção de significados mais profundos e duradouros na aprendizagem dos estudantes, conforme propõe a Teoria da Aprendizagem Significativa (Pelizzari et al., 2022). Ao estabelecer conexões concretas entre os conceitos discutidos nas palestras e suas aplicações reais observadas nas visitas técnicas, os alunos conseguem ressignificar o conteúdo escolar e desenvolver uma compreensão mais contextualizada e funcional da física. Além disso, o contato direto com profissionais atuantes em diferentes áreas da ciência amplia horizontes vocacionais, despertando o interesse por carreiras científicas e tecnológicas, muitas vezes antes consideradas inacessíveis. Essa abordagem multidimensional reforça o papel da escola como ponte entre o conhecimento acadêmico e os desafios do mundo real.

Uma das visitas aconteceu na Exposição de Experimentos no Espaço da Ciência, onde os alunos puderam observar e interagir com uma variedade de experimentos científicos. A visita à Exposição de Experimentos no Espaço da Ciência proporcionou uma experiência sensorial e investigativa que reforçou o protagonismo dos estudantes no processo de aprendizagem. Ao interagirem diretamente com os experimentos, os alunos deixaram de ser apenas receptores de conteúdo para se tornarem sujeitos ativos na construção do conhecimento, explorando conceitos como força, energia, movimento e eletricidade de forma lúdica e significativa.

A exposição apresentou conceitos fundamentais de Física, como Eletricidade, Magnetismo, Óptica e Mecânica, permitindo que os alunos relacionassem a teoria à prática por meio de demonstrações interativas. Essa experiência ajudou a consolidar os conhecimentos teóricos adquiridos em sala de aula, despertando o interesse dos alunos pela ciência de maneira lúdica e envolvente. No Instituto de Energia Elétrica (IEE), os alunos conheceram instalações e equipamentos relacionados à geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Eles puderam acompanhar o funcionamento de sistemas elétricos, entender como a eletricidade é produzida e distribuída e discutir questões sobre eficiência energética e sustentabilidade. Essa visita destacou a importância da física para o funcionamento dos sistemas de energia e para o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes e sustentáveis.

A visita ao Hospital São Domingos foi focada na área de Física Médica. Os alunos observaram como os princípios da Física são aplicados em diagnósticos por imagem, como tomografia e ressonância magnética, e em tratamentos, como a radioterapia. A observação de equipamentos como aceleradores lineares, utilizados em radioterapia, exemplificou como os fundamentos da Física, como radiação ionizante, campos magnéticos e interação matéria-radiação, são aplicados na prática clínica. Eles tiveram a oportunidade de conversar com profissionais da área e entender como os conhecimentos de Física são essenciais para o avanço das tecnologias médicas, contribuindo para diagnósticos mais precisos e tratamentos mais eficazes. Essas visitas proporcionaram uma experiência prática e interdisciplinar, ajudando os alunos a compreenderem como os conceitos de física aprendidos em sala de aula são aplicados em diferentes setores da ciência, tecnologia e medicina. A interação direta com os profissionais e os experimentos reforçou o papel da física no cotidiano e em áreas de grande impacto para a sociedade.

A experiência reforça o caráter interdisciplinar da física e sua relevância em áreas críticas como a medicina, demonstrando aos alunos como os conhecimentos adquiridos em sala de aula se tornam ferramentas poderosas na promoção da saúde e bem-estar da sociedade. A interação direta com os profissionais e os experimentos reforçou o papel da física no cotidiano e em áreas de grande impacto para a sociedade.

No segundo dia, os alunos participaram de uma análise prática de dados reais do LHC, utilizando ferramentas científicas para identificar partículas. Houve também discussões em grupo para interpretação dos resultados, promovendo o pensamento crítico e o trabalho em equipe. Neste momento, os estudantes puderam vivenciar uma experiência parecida de um físico que trabalha com FP. Essa experiência prática não apenas aproxima os alunos do cotidiano da pesquisa científica de

ponta, como também os insere em um ambiente autêntico de resolução de problemas, típico das investigações em FP. Ao manipular dados reais do LHC e utilizar ferramentas computacionais similares às dos cientistas do CERN, os estudantes desenvolvem habilidades relacionadas à análise de grandes volumes de informação, ao uso de linguagem científica e à tomada de decisões fundamentadas. Além disso, o exercício da cooperação e da argumentação nas discussões em grupo estimula a aprendizagem colaborativa e a valorização da diversidade de ideias, elementos essenciais no desenvolvimento de uma postura investigativa e ética frente aos desafios contemporâneos da ciência.

No segundo momento, os alunos assistiram palestra de Biofísica na qual foram abordados temas sobre a aplicação da Física nos sistemas Biológicos, focando no uso do Microscópio de Força Atômica (que engloba conceitos de Física Moderna como Mecânica Quântica) para estudo de células e tecidos patológicos, por exemplo, incluindo diabetes, câncer e Doença de Alzheimer. Essa abordagem interdisciplinar permitiu que os alunos compreendessem como os princípios da Física ajudam a explicar fenômenos biológicos complexos, além de ver a aplicação prática de conceitos de Física antes totalmente abstratos.

Na palestra sobre a experimentoteca de Física, os alunos tiveram contato com experimentos didáticos e demonstrativos que facilitam o ensino e o aprendizado de conceitos de Física. Os palestrantes apresentaram diferentes formas de explorar fenômenos físicos em sala de aula, estimulando o interesse dos alunos por meio de atividades práticas e interativas.

Esse contato com a interface entre Física e Biologia ampliou a visão dos alunos sobre o caráter interdisciplinar da ciência, evidenciando como conceitos físicos podem contribuir diretamente para avanços na saúde e na qualidade de vida. A abordagem sobre o Microscópio de Força Atômica não só despertou a curiosidade pelo funcionamento de tecnologias de alta precisão, como também reforçou a importância da Física no diagnóstico precoce e no tratamento de doenças complexas. Ao perceberem que a Física ultrapassa os limites do laboratório tradicional e se faz presente na pesquisa biomédica e na prática clínica, os estudantes passam a reconhecer a relevância social do conhecimento científico e se sentem mais motivados a explorá-lo em diferentes contextos profissionais.

Impactos educacionais e científicos

O *Masterclass* em Física de Partículas produziu impactos relevantes no campo educacional, especialmente no que se refere ao engajamento dos estudantes, à apropriação inicial de conceitos da Física Moderna e ao interesse pela pesquisa científica. A proposta pedagógica, fundamentada na articulação entre palestras expositivas, atividades investigativas, visitas técnicas e análise de dados reais, configurou-se como uma experiência formativa integrada, favorecendo a contextualização dos conteúdos e a aproximação dos participantes com a Física Contemporânea.

Como mencionado, este estudo caracteriza-se como uma pesquisa de natureza qualitativa, com delineamento descritivo-analítico, baseada na experiência pedagógica do *Masterclass* em Física de Partículas realizado no Maranhão. A coleta de dados foi realizada por meio de questionários diagnósticos e de acompanhamento, observações diretas e registros das interações em grupo. Os questionários, compostos por questões abertas e fechadas, foram analisados predominantemente sob uma abordagem qualitativa, com aplicação da técnica de Análise de Conteúdo. As questões fechadas foram utilizadas de forma complementar, com o objetivo de identificar tendências gerais e caracterizar o perfil dos participantes, sendo os resultados apresentados por meio de representações gráficas. As observações e registros das atividades serviram como suporte interpretativo para a análise dos dados, permitindo uma compreensão ampliada dos processos de engajamento, das dificuldades conceituais e dos impactos educacionais do evento. A triangulação das diferentes fontes de dados conferiu maior consistência às análises e às conclusões do estudo.

A análise dos dados coletados por meio dos questionários de acompanhamento, das observações diretas e dos registros das interações em grupo foi conduzida a partir de uma abordagem qualitativa, utilizando a técnica de Análise de Conteúdo. As questões fechadas permitiram identificar tendências gerais, enquanto as respostas abertas possibilitaram uma compreensão mais aprofundada

dos processos de aprendizagem e dos significados atribuídos pelos estudantes à experiência vivenciada.

Os resultados quantitativos, apresentados na Figura 5, indicam que a maioria dos participantes (66,7%) possuía apenas contato prévio parcial com os temas abordados, enquanto 33,3% declararam não ter tido contato anterior com conteúdos relacionados à Física de Partículas. Apesar disso, 85,7% avaliaram o nível de dificuldade dos conteúdos como adequado, e 76,2% consideraram as explicações suficientes, o que sugere que a abordagem adotada conseguiu equilibrar a complexidade conceitual com uma linguagem acessível ao público do Ensino Médio. Esses dados corroboram a eficácia da mediação pedagógica e das estratégias didáticas empregadas durante o evento.

Avaliação dos Participantes do Masterclass

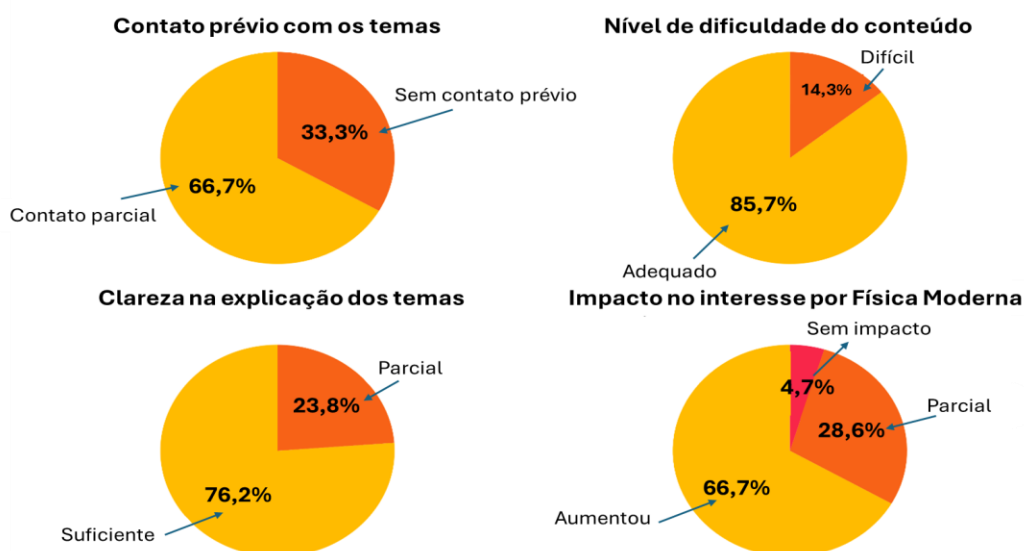


Figura 5: Conjunto de gráficos de pizza representando visualmente os resultados da avaliação dos participantes do MasterClass.

No que se refere ao impacto no interesse pela Física Moderna e pela Física de Partículas, observou-se que 66,7% dos participantes relataram aumento significativo de interesse, enquanto 28,6% indicaram aumento parcial. Esses resultados apontam para um elevado nível de engajamento, reforçado pela participação ativa dos estudantes, pelo número de perguntas realizadas e pela permanência nas atividades ao longo do evento.

A análise qualitativa das respostas abertas à pergunta “Qual conceito ou ideia científica se tornou mais compreensível para você após sua participação no Masterclass?” permitiu aprofundar a interpretação desses dados. As respostas evidenciam a emergência de categorias analíticas relacionadas à apropriação de conceitos fundamentais da Física de Partículas, à compreensão de práticas experimentais e tecnológicas e à articulação entre Física e aplicações interdisciplinares, especialmente na área da saúde.

A categoria mais recorrente refere-se à compreensão de conceitos centrais da Física de Partículas, com menções frequentes a partículas elementares, modelo padrão, quarks, múons, prótons, neutrinos e ao bóson de Higgs. A presença sistemática desses termos nas respostas indica que os estudantes não apenas tiveram contato com tais conceitos, mas conseguiram atribuir-lhes significado após a participação no evento, o que aponta para processos de aprendizagem significativa, especialmente considerando o caráter abstrato desses conteúdos. Outra categoria relevante diz respeito à compreensão do funcionamento de aceleradores de partículas e detectores, evidenciada por respostas que mencionam explicitamente a aceleração de partículas, o uso de detectores e a interpretação de dados experimentais. Esse aspecto revela que a utilização de softwares de análise e a discussão de experimentos reais do CERN favoreceram a aproximação dos estudantes com práticas científicas autênticas, contribuindo para uma visão mais concreta do fazer científico.

Destaca-se ainda a forte presença da categoria Física aplicada à medicina, com diversas menções à medicina nuclear, radioterapia, física médica, radioatividade e tomografia, especialmente associadas às visitas técnicas realizadas durante o *Masterclass*. Esse resultado reforça a importância da contextualização e da interdisciplinaridade como estratégias pedagógicas, uma vez que permitiram aos estudantes compreenderem a Física como um campo diretamente relacionado a aplicações tecnológicas e sociais relevantes.

Além disso, algumas respostas indicam uma ampliação da compreensão sobre fenômenos naturais e cosmológicos, como raios cósmicos e interações no universo, evidenciando uma visão mais integrada da ciência. Embora de forma pontual, a presença de respostas como “nenhuma” sinaliza a heterogeneidade do público participante e aponta para a necessidade de ajustes pedagógicos em futuras edições, como maior tempo para discussão conceitual e aprofundamento de determinados temas.

Os registros qualitativos também evidenciam que as atividades práticas e as visitas técnicas foram amplamente valorizadas pelos participantes, sendo apontadas como fundamentais para a compreensão dos conteúdos e para o engajamento. A interação com pesquisadores e profissionais de diferentes áreas contribuiu para fortalecer a relação entre teoria e prática, permitindo que os estudantes compreendessem como o conhecimento científico é produzido e aplicado em contextos reais. O uso do software de análise de dados também foi apontado como um dos pontos altos do evento, contribuindo para a aproximação dos alunos com práticas científicas autênticas e com metodologias utilizadas em pesquisas reais. Esse tipo de atividade favoreceu o aprendizado por investigação, estimulando habilidades como observação, interpretação de dados, formulação de hipóteses e resolução de problemas.

No que se refere às sugestões de melhoria, os participantes indicaram aspectos relacionados à organização do tempo entre as palestras, à ampliação da divulgação do evento e à possibilidade de realização do *Masterclass* ao longo de mais dias. Essas observações não comprometem a avaliação positiva da experiência, mas apontam caminhos para o aprimoramento das próximas edições, especialmente no que diz respeito à logística e à ampliação do alcance do projeto.

No campo científico, o *Masterclass* fomentou o interesse dos alunos por áreas de pesquisa avançada, como FP, Biofísica e Física Médica. O contato com pesquisadores e profissionais especializados ofereceu uma visão mais clara sobre o papel da ciência no desenvolvimento tecnológico e na inovação. A troca de experiências com especialistas em física de partículas e física médica permitiu que os alunos compreendessem a importância da pesquisa científica para o avanço de setores como energia, saúde e tecnologia.

Um dos principais impactos educacionais foi a reintrodução dos conteúdos de Física Moderna no currículo do Ensino Médio no Colégio Universitário da UFMA, motivada pelo sucesso e pela relevância das discussões promovidas no *Masterclass*. A abordagem de temas como Mecânica Quântica, Física de Partículas e Relatividade despertou o interesse dos alunos e evidenciou a importância de atualizar o currículo escolar para incluir conteúdos que dialoguem com os avanços científicos contemporâneos. A inclusão desses temas amplia a compreensão dos alunos sobre a natureza da ciência e sua aplicação em diferentes áreas do conhecimento. Além disso, o *Masterclass* foi incorporado ao calendário acadêmico do COLUN, consolidando-se como um evento anual de referência para o ensino de Física. A institucionalização dessa atividade reflete o impacto positivo que ela teve na formação dos alunos e no fortalecimento da cultura científica na escola. A continuidade do *Masterclass* permitirá que novas turmas de estudantes tenham acesso a essa experiência enriquecedora, estimulando o interesse contínuo pela pesquisa e pelas ciências exatas. Destaca-se ainda a importância desse item no Colégio Universitário, por ser uma escola de aplicação e estar inserida no contexto universitário, a ideia é aproveitar a proximidade com laboratórios de pesquisa inserindo, de forma precoce, o universo da pesquisa avançada realizada no Maranhão para os estudantes do Ensino Médio.

O *Masterclass* também estimulou o desenvolvimento de uma cultura científica entre os participantes, incentivando o pensamento científico, a formulação de hipóteses e a busca por respostas fundamentadas. A aplicação dos conceitos de Física em diferentes contextos contribuiu para a

formação de uma nova geração de estudantes mais conscientes sobre o impacto da ciência na sociedade e mais preparados para enfrentar os desafios do mundo moderno com base em conhecimento sólido e espírito investigativo. Portanto, o *Masterclass* em Física de Partículas gerou impactos educacionais e científicos profundos, fortalecendo o aprendizado, promovendo o interesse por carreiras científicas e estimulando o desenvolvimento de competências fundamentais para a formação acadêmica e profissional dos alunos.

Os resultados observados ao longo do *Masterclass* dialogam diretamente com a literatura da área de Ensino de Física, que aponta a necessidade de inserção de conteúdos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio como estratégia para tornar o ensino mais significativo e conectado aos avanços científicos atuais (Da Silva, 2013; Dominghini, 2012). A recorrência, nas respostas dos estudantes, de conceitos como partículas elementares, modelo padrão, bóson de Higgs e múons indica que, mesmo sendo conteúdos abstratos, esses temas podem ser apropriados quando abordados por meio de estratégias pedagógicas contextualizadas e investigativas.

A compreensão do funcionamento de aceleradores de partículas e do uso de detectores, evidenciada nas respostas abertas, reforça o papel das atividades baseadas em práticas científicas autênticas no processo de aprendizagem. Segundo Alves (2025), experiências que aproximam os estudantes dos modos de produção do conhecimento científico contribuem para o desenvolvimento do pensamento científico e para uma compreensão mais realista da ciência. Nesse sentido, o uso de softwares de análise de dados e a discussão de experimentos reais do CERN favoreceram a aproximação dos alunos com o fazer científico, superando uma abordagem meramente conceitual.

A forte presença de referências à Física aplicada à medicina, como medicina nuclear, radioterapia e física médica, evidencia a importância da interdisciplinaridade e da contextualização no ensino de Física. Conforme a perspectiva de Zabala (2014) e Gomes (2019), a articulação entre ciência, tecnologia e sociedade contribui para a construção de significados mais amplos e para o letramento científico. As visitas técnicas realizadas durante o *Masterclass* mostraram-se fundamentais para estabelecer essa conexão entre conceitos abstratos e aplicações concretas, favorecendo a aprendizagem significativa descrita por Pelizzari (2002).

Os avanços conceituais identificados a partir da Análise de Conteúdo das respostas abertas indicam que os estudantes conseguiram relacionar novos conhecimentos a estruturas cognitivas prévias, característica central da aprendizagem significativa. Como apontado por Agra (2019), esse tipo de aprendizagem ocorre quando o conteúdo é potencialmente significativo e quando o estudante está disposto a aprender, condições favorecidas pelas atividades investigativas, pelo contato com pesquisadores e pela contextualização dos temas abordados.

Além disso, o elevado engajamento observado durante o *Masterclass* corrobora estudos que destacam o papel de metodologias ativas e investigativas no ensino de Ciências (Silva, 2019; Krüger, 2023). A participação ativa dos estudantes, o interesse declarado por carreiras científicas e a valorização das atividades práticas indicam que iniciativas de divulgação científica estruturadas podem desempenhar um papel relevante na democratização do acesso ao conhecimento científico, especialmente em contextos marcados por desigualdades educacionais (Bittar 2019).

Conclusões e perspectivas

O *Masterclass* em Física de Partículas no Maranhão demonstrou como é possível integrar conceitos de Física Moderna ao currículo da educação básica de maneira prática e acessível. Os estudantes tiveram contato direto com dados reais do CERN, o que os permitiu experimentar o método científico em sua essência, desde a formulação de hipóteses até a análise e interpretação dos resultados. A iniciativa também contribuiu para desmistificar a física de partículas, tornando-a mais próxima da realidade dos alunos e aumentando o interesse pela ciência. A interação com professores e cientistas reforçou a importância da colaboração e do método científico como elementos centrais na construção do conhecimento científico.

O sucesso do *Masterclass* em Física de Partículas no Maranhão evidencia o potencial da educação científica para ampliar os horizontes acadêmicos dos estudantes e consolidar o estado como um polo de referência na formação em ciências. A parceria com o CERN e o envolvimento de professores maranhenses na Escola de Física consolidaram essa iniciativa, criando um legado de incentivo à ciência e à pesquisa no Ensino Médio.

A continuidade dessa iniciativa pode consolidar o interesse dos estudantes por carreiras científicas e tecnológicas. O formato do *Masterclass* pode ser adaptado para diferentes níveis de ensino e contextos escolares, permitindo que mais estudantes tenham acesso a essa experiência formativa. Além disso, o uso de dados reais do CERN e de plataformas interativas pode ser expandido para incluir outras áreas da Física Moderna, como física de partículas, astrofísica e cosmologia.

A consolidação do *Masterclass* em Física de Partículas no Maranhão também revela um caminho promissor para a renovação das práticas pedagógicas no ensino de ciências, estimulando o protagonismo estudantil e o letramento científico na educação básica. A experiência vivenciada pelos alunos demonstra que, quando a escola rompe com o ensino meramente conteudista e abre espaço para vivências investigativas, críticas e colaborativas, ela cumpre um papel fundamental na formação de cidadãos mais conscientes, informados e preparados para os desafios educacionais futuros.

Além disso, ao permitir que estudantes maranhenses tenham acesso a conteúdo e metodologias que antes pareciam restritos a centros de excelência internacionais, a iniciativa contribui para a valorização da educação pública e para a redução das desigualdades regionais no acesso ao conhecimento científico de qualidade. O *Masterclass*, nesse sentido, não é apenas uma atividade extracurricular, mas um marco simbólico e concreto de que a ciência pode e deve ser vivenciada em todos os cantos do país, inclusive fora dos grandes centros urbanos. Por fim, investir na continuidade e expansão desse modelo educacional significa apostar em uma educação transformadora, capaz de despertar vocações, promover equidade e cultivar uma geração comprometida com a investigação, a ética científica e a inovação.

Outra perspectiva importante é o fortalecimento da formação de professores, capacitando-os para incorporar metodologias de investigação científica no ensino de física. A criação de parcerias com universidades, centros de pesquisa e instituições internacionais pode ampliar o alcance e o impacto do projeto, tornando a ciência de ponta uma realidade acessível para estudantes da educação básica. A realização de eventos semelhantes em outras regiões do Brasil pode inspirar uma nova geração de cientistas, fortalecendo a cultura científica no país.

Referências

16th Portuguese Language Teacher Programme / 16a Escola de Professores no CERN em Língua Portuguesa. Acesso em 30 abr. 2025, <https://indico.cern.ch/event/1328014/>

Aad, G.; Abajyan, T.; Abbott, B.; Abdallah, J.; Khalek, S. A.; Abdelalim, A. A. & Bansil, H. S. (2012). Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC. *Physics Letters B*, 716(1), 1–29.

Agra, G.; Formiga, N. S.; Oliveira, P. S. D.; Costa, M. M. L.; Fernandes, M. D. G. M. & Nóbrega, M. M. L. D. (2019). Análise do conceito de aprendizagem significativa à luz da teoria de Ausubel. *Revista Brasileira de Enfermagem*, 72, 248–255.

Alves, D. P.; Mardegan, C. R. Z.; Silva, J. M.; Silva, L. C.; Fia, L. F.; Farias, A. M. & Batista, A. P. P. (2025). Aprender fazendo: práticas experimentais como caminho para a construção de conceitos científicos. *Aracê*, 7(10), e9201.

Araújo, S. A. (2008). *Contributos para uma educação para a cidadania: professores e alunos em contexto intercultural*. [s.l.]: Observatório da Imigração.

- Arnison, G.; Astbury, A.; Aubert, B.; Bacci, C.; Bauer, G. & Bézaguet, A. (1983). Experimental observation of isolated large transverse energy electrons with associated missing energy. *Physics Letters B*, 122(1), 103–116.
- Bass, S. D.; De Roeck, A. & Kado, M. (2021). The Higgs boson implications and prospects for future discoveries. *Nature Reviews Physics*, 3(9), 608–624.
- Berners-Lee, T.; Cailliau, R.; Luotonen, A.; Nielsen, H. F. & Secret, A. (1994). The World-Wide Web. *Communications of the ACM*, 37(8), 76–82.
- Bilow, U. & Kobel, M. (2014a). International Masterclasses - bringing LHC data to school children. *EPJ Web of Conferences*, 71, 00017.
- Bilow, U. & Kobel, M. (2014b). International Masterclasses - bringing LHC data to school children. *EPJ Web of Conferences*, 71, 00017.
- Bittar, M. F. R.; Oliveira, T. C. & Lopes-Cendes, I. (2025). Ciência aberta: o caminho para a democratização do conhecimento e a inovação colaborativa. *Ciência e Cultura*, 77(1), 9–10.
- Brasil. Ministério da Educação. *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília: MEC.
- Busatto, C. Z.; Silva, J. C.; Pansera Júnior, N. & Perez, C. A. S. (2018). O ensino de física moderna e contemporânea na educação básica. *Revista CIATEC-UPF*, 10(1), 104–115.
- Da Silva, J. R. N.; Arengi, L. E. B. & Lino, A. (2013). Porque inserir física moderna e contemporânea no ensino médio? *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, 6(1).
- De Oliveira, L. D., da Rocha Filho, J. B., & Harres, J. B. S. (2018). As visões de ciência de professores participantes da escola de física do CERN. *Anais do XVII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2018, Brasil*. Domingui, L. (2012). Física moderna no ensino médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 34, 2502.
- Ellis, J. (2015). Higgs physics. CERN. Acesso em 20 abr. 2025, <http://cds.cern.ch/record/1638469>
- Evans, L. & Bryant, P. (2008). LHC machine. *Journal of Instrumentation*, 3(08), S08001.
- Foka, P. (2014). International particle physics masterclasses with LHC data. *EPJ Web of Conferences*, 70, 00069.
- Garcia, N. M. D. (Org.). (2015). *Nós, professores brasileiros de física do ensino médio, estivemos no CERN*. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física.
- Gomes, F. A. Q. (2019). *A masterclass hands on em física de partículas como atividade de formação de “cientistas por um dia”*. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo.
- Gomes, B. C. C. & Zanon, D. A. V. (2019). A educação através da ciência, tecnologia e sociedade. *Actio*, 4(3), 146–164.
- International MasterClasses Hands on Particle Physics | IPPOG-Brasil. Acesso em 20 abr. 2025, <https://www1.fisica.org.br/ippog/?q=node/25>
- Jackson, J. D. (2015). *Physics of elementary particles*. Princeton: Princeton University Press.
- Krüger, V. A. A. & Hilgert-Moreira, S. B. (2023). As contribuições das metodologias ativas. *Revista Educar Mais*, 7, 723–738.

- Londero, L. (2014) *Implicações da Escola de Física CERN para a prática pedagógica de professores. Tecné, Episteme y Didaxis*.
- Autor X1; Autor X2 & Autor X3. (2025). A escola de física no CERN. *Contribuciones a las Ciencias Sociales*, 18(3), e16557.
- Parkes, C.; Gersabeck, M. & Gutierrez, J. (2015). Undergraduate laboratory experiment. CERN. Acesso em 20 abr. 2025, <https://cds.cern.ch/record/1994172>
- Pelizzari, A.; Kriegl, M. L.; Baron, M. P.; Finck, N. T. L. & Dorocinski, S. I. (2002). Teoria da aprendizagem significativa segundo Ausubel. *Revista PEC*, 2(1), 37–42.
- Ratcliffe, M. & Grace, M. (2003). *Science education for citizenship*. McGraw-Hill.
- Santos, A. C.; Nascimento, S. D. & Souza, D. N. (2016). Ensino de física moderna. *Scientia Plena*, 12(11).
- Schäffer, D.; Schumacker, F. K. & Orengo, G. (2020). Uma introdução à física de partículas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 42, e20200018.
- Silva, J. R. R. (2019). *Percepção de alunos do ensino médio quanto ao uso das metodologias ativas*.
- Souza, R. S. (2023). Análise das contribuições da escola de física CERN. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 45, e20230124.
- Watanabe, G.; Takahashi, C.; Bricola, A.; Girardi, M. & Silva, C. (2016). O evento CERN Masterclasses. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 38, e3401.
- Watanabe, G.; Gurgel, I. & Munhoz, M. G. (2014). O que se pode aprender com o evento Masterclasses. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 36, 1–10.
- Zabala, A. (2014). *A prática educativa*. Porto Alegre: Penso.