

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física
Polo **ufscar** Sorocaba



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE
DEPARTAMENTO DE FÍSICA, QUÍMICA E MATEMÁTICA

**PROBLEMATIZANDO AS TEMPESTADES
SOLARES: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA
ENSINAR SOBRE RAIOS CÓSMICOS**

VALMIR GALVÃO FRAGOZO

ORIENTADORA: PROFA. DRA. NILVA LÚCIA LOMBARDI SALES

Sorocaba - SP
Outubro de 2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE
DEPARTAMENTO DE FÍSICA, QUÍMICA E MATEMÁTICA

**PROBLEMATIZANDO AS TEMPESTADES SOLARES:
UMA SEQUÊNCIA PARA ENSINAR SOBRE RAIOS
CÓSMICOS**

VALMIR GALVÃO FRAGOZO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Ensino de Física (PROFIS-So) da Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Área de concentração: Física no Ensino Médio.

Orientadora: Profa. Dra. Nilva Lúcia Lombardi Sales

Sorocaba - SP
Outubro de 2025

VALMIR GALVÃO FRAGOZO

**PROBLEMATIZANDO AS TEMPESTADES SOLARES: UMA SEQUÊNCIA PARA
ENSINAR SOBRE RAIOS CÓSMICOS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Ensino de Física (PROFIS-So) da Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Área de concentração: Física no Ensino Médio.
Sorocaba, 22 de outubro de 2025.

Orientadora:

Profa. Dra. Nilva Lúcia Lombardi Sales
Universidade Federal de São Carlos – UFSCar

Examinadora:

Profa. Dra. Adriana de Oliveira Delgado Silva
Universidade Federal de São Carlos – UFSCar

Examinador:

Prof. Dr. Thiago Flores Magoga
Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

Sorocaba - SP
Outubro de 2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências e Tecnologias Para a Sustentabilidade
Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Valmir Galvão Fragozo, realizada em 22/10/2025.

Comissão Julgadora:

Profa. Dra. Nilva Lúcia Lombardi Sales (UFSCar)

Prof. Dr. Thiago Flores Magoga (UFMS)

Profa. Dra. Adriana de Oliveira Delgado Silva (UFSCar)

Fragozo, Valmir Galvão

Problematizando as tempestades solares: uma sequência para ensinar sobre raios cósmicos / Valmir Galvão
Fragozo -- 2025.
222f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba
Orientador (a): Nilva Lúcia Lombardi Sales
Banca Examinadora: Nilva Lúcia Lombardi Sales,
Adriana de Oliveira Delgado Silva, Thiago Flores Magoga
Bibliografia

1. Física moderna. 2. Raios cósmicos. 3. Três momentos pedagógicos. I. Fragozo, Valmir Galvão. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano -
CRB/8 6979

DEDICATÓRIA

*Dedico esse trabalho ao meu pai, por ter acreditado em mim e por todo esforço em me manter em um ensino de qualidade. Espero estar retribuindo todo o esforço e investimento.
Obrigado, Pai.*

AGRADECIMENTO

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fomento ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) durante todo o período de formação.

Agradeço especialmente a minha orientadora Nilva Lúcia Lombardi Sales por todo apoio, ensinamento, paciência e incentivo durante esses anos. Agradeço também aos meus professores e companheiros de pós-graduação, que tornaram essa trajetória mais leve e prazerosa, além de muito enriquecedora por compartilhar essa experiência com eles.

Agradeço a minha família, principalmente a meu pai, minha mãe e minha avó. A meus amigos que me apoiaram durante essa jornada, principalmente a meu amigo Daniel Camargo, pelo apoio durante todos esses anos. E não poderia faltar um agradecimento especial a minha namorada e a minha irmã, por estarem sempre comigo.

Expresso minha gratidão também a coordenação e professores do Colégio EcoVille Itapetininga pelo apoio e suporte, além de viabilizar a aplicação desse trabalho de mestrado. Agradeço também ao meu professor de ensino médio, orientador de estágio e amigo, Gustavo Guerreiro, por sempre me apoiar e incentivar minha carreira como professor de física.

Ressalto que o presente trabalho foi realizado com o apoio do Governo do Estado de São Paulo, por meio da Secretaria da Fazenda e Planejamento, vinculada à minha participação como supervisor pedagógico na UNIVESP.

RESUMO

FRAGOZO, Valmir. PROBLEMATIZANDO AS TEMPESTADES SOLARES: uma sequência para ensinar sobre raios cósmicos. 2025. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, Sorocaba, 2025.

Esse trabalho apresenta o desenvolvimento e a aplicação de uma Sequência Didática (SD) voltada para o ensino de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, com ênfase no tema Raios Cósmicos. Utilizando a dinâmica didático-pedagógica dos Três Momentos Pedagógicos (3MP) como estruturante da organização das aulas e com ênfase em características como a dialogicidade e problematização para elaboração das atividades. O trabalho explora a problematização das tempestades solares como ponto de partida para contextualizar conceitos de física de partículas e para inserir o termo Raios Cósmicos ao contexto dos estudantes. Como produto educacional dessa pesquisa, foi elaborada uma SD e as atividades que a compõe, como questionários, propostas de redações, fichas de estudo, atividade Kahoot e um caça palavras. Durante a elaboração e a aplicação, foi necessário realizar adaptações na estrutura tradicional dos 3MP a fim de melhor adequar a metodologia aos conceitos selecionados e às características do público-alvo. A SD foi aplicada em uma escola particular para turmas do 3º ano do Ensino Médio, envolvendo atividades dialógicas, como a construção de modelos, redações e análise de fenômenos científicos, promovendo a participação ativa dos estudantes. A partir das análises do caderno de campo e das atividades aplicadas, foi possível perceber o engajamento dos estudantes. As adaptações realizadas possibilitaram maior fluidez no desenvolvimento das aulas e contribuíram para a participação ativa dos alunos, favorecendo relações entre os fenômenos estudados e seu cotidiano, além de facilitar a compreensão de conceitos abstratos da Física Moderna, tornando a SD como uma alternativa ao ensino transmissivo de Física, com possibilidades de recorte em algumas das atividades elaboradas.

Palavras-chave: Física moderna, Raios cósmicos, Ensino de Ciências, Três Momentos Pedagógicos.

ABSTRACT

This work presents the development and implementation of a Didactic Sequence (DS) aimed at teaching Modern and Contemporary Physics in High School, with emphasis on the topic of Cosmic Rays. The teaching–learning process was structured using the pedagogical framework of the Three Pedagogical Moments (3PM), emphasizing features such as dialogicity and problematization in the design of activities. The sequence begins with the problematization of solar storms as a starting point to contextualize concepts of particle physics and to introduce the term "Cosmic Rays" into the students' context. As an educational product of this research, a DS and its associated activities were developed, including questionnaires, essay proposals, study guides, a Kahoot activity, and a word search. During the design and implementation, it was necessary to make adaptations to the traditional 3PM structure to better align the methodology with the selected concepts and the characteristics of the target audience. The DS was applied in a private school with 12th-grade (senior) high school classes, involving dialogic activities such as model construction, essay writing, and analysis of scientific phenomena, fostering active student participation. Based on the analysis of field notes and the applied activities, student engagement was evident. The adaptations allowed for greater fluidity in lesson development and contributed to active participation, fostering connections between the studied phenomena and students' daily lives, as well as facilitating the understanding of abstract concepts in Modern Physics. Thus, the DS proved to be an alternative to the traditional transmissive teaching of Physics, with potential for selective application of some of the developed activities.

Keywords: Modern Physics, Cosmic Rays, Science Education, Three Pedagogical Moments.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Linha do tempo com os principais acontecimentos até a descoberta dos Raios Cósmiticos	13
Figura 2 - Produtos com radioatividade adicionada e suas finalidades	15
Figura 3 - Representação de um eletroscópio.....	16
Figura 4 - Barco usado por Pacini para suas medições no mar.	18
Figura 5 - Viktor Hess, sua equipe e algum espectadores em Viena, 1911.....	19
Figura 6 - Fotografia feita por Carl Anderson, do traço do primeiro pósitron registrado.	20
Figura 7 - Representação dos modelos atômicos.....	22
Figura 8 - Observatório Pierre Auger	23
Figura 9 - Representação esquemática do Modelo Padrão da Física de Partículas.	27
Figura 10 - Cesar Lattes com cerca de cinco anos de idade.	29
Figura 11 - Edifício que abriga o laboratório H.H. Wills na Universidade de Bristol em que Lattes trabalhou.	30
Figura 12 - Carro de boi transportando uma câmara de nuvens até o monte Chacaltaya.	31
Figura 13 - Lattes voltando ao Brasil ao final de 1948, já reconhecido mundialmente.	32
Figura 14 - Lattes e Leite Lopes no edifício do CBPF, no Rio de Janeiro.....	33
Figura 15 - Cesar Lattes.....	33
Figura 16 - Explosão solar de classe X-40 capturada em 04 de novembro de 2003 pelo observatório SOHO.	35
Figura 17 - Gráfico em tempo real da intensidade das erupções solares e potencial de impacto, capturado em 18/11/2025.	36
Figura 18 - Mancha solar capturada em 2011 comparada ao tamanho da Terra.....	37
Figura 19 - Evolução do número de manchas solares ao longo de vários Ciclos Solares.....	38
Figura 20 - Representação dos campos magnéticos do Sol, sobreposta a uma imagem do Sol capturada em luz ultravioleta extrema.	39
Figura 21 - Fotografia de uma aurora polar.....	40
Figura 22 - Principais diferenças sobre a ação de problematizar e perguntar.	47
Figura 23 - Estrutura fractal dos 3MP com diversas ramificações.....	51
Figura 24 - Notícia utilizada para iniciar as discussões sobre tempestade solar, publicada pela CNN em 2023 sobre a atividade solar e suas consequências.	63
Figura 25 - Imagem do Sol usada na problematização das Tempestades Solares.....	65

Figura 26 - Progressão do número de manchas solares do ciclo solar.	67
Figura 27 - Exemplo do modelo de perguntas realizadas na plataforma Kahoot.....	71
Figura 28 - As dicas horizontais e verticais para o preenchimento da atividade da palavra cruzada.	72
Figura 29 - Ficha de Estudo da partícula do Elétron.	74
Figura 30 - Trecho do questionário 3	74
Figura 31 - Atividade sobre o paradoxo dos gêmeos.	76
Figura 32 - Trecho recortado do questionário 4 com questões semelhantes aos da apostila. ..	76
Figura 33 - Trecho recortado do questionário 5.	78
Figura 34 - Exemplo de separação dos grupos na metodologia do painel integrado	79
Figura 35 - Esquema da estrutura do Painel Integrado montada pelo professor para aplicação da atividade.	81
Figura 36 - Recorte da ficha de estudo do grupo A.....	82
Figura 37 - Recorte de uma das questões presentes na ficha do grupo A.	82
Figura 38 - Recorte da ficha de estudo do grupo C.....	84
Figura 39 - Recorte da proposta de atividade do grupo 1.....	85
Figura 40 - Recorte da proposta de atividade do grupo 2.....	86
Figura 41 - Atividade na qual os estudantes utilizaram a ordem cronológica como critério de organização.....	100
Figura 42 - Atividade na qual os estudantes utilizaram a nomenclatura das partículas como critério de organização.	101
Figura 43 - Atividade na qual os estudantes utilizaram o spin como critério de organização.	101
Figura 44 - Atividade na qual os estudantes utilizaram o spin como critério de organização.	102
Figura 45 - Atividade na qual os estudantes utilizaram critérios muito próximo daqueles utilizados pelo MP.....	103
Figura 46 - Notícia elaborada pelo grupo 1 na segunda etapa do painel integrado.....	110

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Quadro com informações sobre as descrições das aulas, objetivos, quantidade de aulas e temas abordados.	56
---	----

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Faixas de energia dos raios cósmicos e sua possível origem	34
Tabela 2 - Cores das Auroras e suas Altitudes.	41
Tabela 3 – Respostas obtidas no questionário de problematização inicial.....	95

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3MP – *Três Momentos Pedagógicos*

PI – *Problematização Inicial*

OC – *Organização do Conhecimento*

AC – *Aplicação do Conhecimento*

FMC – *Física Moderna e Contemporânea*

RC – *Raios cósmicos*

FP – *Física de Partículas*

MP – *Modelo Padrão de Partículas*

SCR – *Raios Cósmicos Solares*

CAE – *Chuveiro Atmosférico Extenso*

EMC – *Ejeção de Massa Coronal*

ENEM – *Exame Nacional do Ensino Médio*

BNCC – *Base Nacional Comum Curricular*

MNPEF – *Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física*

PROFIS-So – *Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba.*

Sumário

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2 - REVISÃO DO ENSINO DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NA EDUCAÇÃO BÁSICA	5
2.1 REVISÃO DAS PRODUÇÕES DO MNPEF SOBRE RAIOS CÓSMICOS.....	8
2.2 A TEMÁTICA DE RAIOS CÓSMICOS NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES.....	10
CAPÍTULO 3 - RAIOS CÓSMICOS	17
3.1 A HISTÓRIA DOS RAIOS CÓSMICOS	17
3.2 O SURGIMENTO DA FÍSICA DE PARTÍCULAS.....	21
3.2.1 O Modelo Padrão de Partículas	24
3.3 A INFLUÊNCIA DA CIÊNCIA BRASILEIRA NO ESTUDO DOS RAIOS CÓSMICOS	28
3.4 OS RAIOS CÓSMICOS SOLARES E AS TEMPESTADES SOLARES	34
CAPÍTULO 4 - OS MOMENTOS PEDAGÓGICOS E A PRÁTICA DOCENTE.....	4
4.1 O ENSINO DIALÓGICO COMO ALTERNATIVA AO ENSINO TRANSMISSIVO	4
4.2 A IMPORTÂNCIA DA PROBLEMATIZAÇÃO PARA ESSA PESQUISA	44
4.3 OS CONCEITOS E ESTRUTURA DA DINÂMICA DOS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS.....	48
4.3.1 Os Momentos Pedagógicos Trabalhados de Maneira Fractal.....	51
CAPÍTULO 5 - METODOLOGIA E APLICAÇÃO DO PRODUTO	44
5.1 CONTEXTO DA PESQUISA.....	44
5.2 ESTRUTURA DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	54
5.3 NATUREZA DA PESQUISA E LEVANTAMENTO DE DADOS	60
CAPÍTULO 6 - CONSTRUÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	53
6.1 PROBLEMATIZAÇÃO INICIAL (PI).....	53
6.2 ORGANIZAÇÃO DO CONHECIMENTO (OC).....	70
6.3 APLICAÇÃO DO CONHECIMENTO (AC)	78
CAPÍTULO 7 - ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	56
7.1 ANÁLISE DA PROBLEMATIZAÇÃO INICIAL	88

7.1.1 A problematização a partir de notícias.....	89
7.1.2 Redação “Consequências da tempestade solar”	96
7.2 ANÁLISE DA ORGANIZAÇÃO DO CONHECIMENTO	98
7.2.1 Montando o Modelo Padrão de Partículas.....	99
7.2.2 Paradoxo dos Gêmeos	103
7.3 ANÁLISE DA APLICAÇÃO DO CONHECIMENTO.....	106
7.3.1 Fichas de estudos	106
7.3.2 Apresentações finais	108
CAPÍTULO 8 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	105
REFERÊNCIAS	116
APÊNDICE A - PRODUTO EDUCACIONAL.....	123
APÊNDICE B - QUESTIONÁRIO TEMPESTADE SOLAR	189
APÊNDICE C - QUESTIONÁRIO 1	190
APÊNDICE D - QUESTIONÁRIO 2	191
APÊNDICE E - QUESTIONÁRIO 3.....	192
APÊNDICE F – REDAÇÃO.....	193
APÊNDICE G – PALAVRA CRUZADA.....	194
APÊNDICE I – PAINEL INTEGRADO	195
APÊNDICE J – TRABALHOS APRESENTADOS EM EVENTOS	202

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

A Física, como ciência, desempenha um papel essencial na compreensão dos fenômenos naturais que regem o universo. Desde os movimentos de corpos celestes até o mundo subatômicos, os conceitos e teorias desenvolvidos ao longo da história transformaram nossa visão de mundo e contribuíram para um desenvolvimento tecnológico. No entanto, essa riqueza de conhecimentos nem sempre é abordada de forma acessível e atraente no ensino, o que representa um desafio significativo para os educadores e educandos. É nesse contexto que surge a necessidade de novas abordagens metodológicas e ferramentas educacionais capazes de conectar os conceitos científicos às vivências dos estudantes.

No contexto atual, em que a tecnologia avança em ritmo acelerado e impacta diretamente vários aspectos da sociedade, é indispensável que o ensino de ciências seja capaz de estabelecer conexões entre os conceitos teóricos e suas aplicações práticas atuais. Isso vai ao encontro das orientações para o Ensino Médio junto a Lei de Diretrizes e Bases (1996) que leva a premissa de que o ensino de Física deve garantir aos estudantes competências que os permitam perceber e lidar com os fenômenos naturais e tecnológicos presentes em seu cotidiano (Brasil, 2006). No entanto, esse objetivo requer não apenas a atualização dos conteúdos abordados, mas também a implementação de metodologias que valorizem o protagonismo estudantil, promova a contextualização dos temas e incentivem a reflexão crítica sobre as implicações sociais e éticas das descobertas científicas. Dessa forma, o ensino de Física pode contribuir efetivamente para a formação de cidadãos mais preparados para enfrentar os desafios do mundo contemporâneo.

Como dito por Bonfim e Nascimento (2018), de forma semelhante, a ausência de contextualização dos conteúdos, o pouco incentivo a questões interdisciplinares, a escassez de atividades experimentais e o uso limitado de metodologias inovadoras e recursos didáticos

tornam o ensino de Física muitas vezes desinteressante para os estudantes, impactando negativamente em sua aprendizagem e sua relação com a disciplina.

Nesse sentido, os pressupostos freirianos, com ênfase na dialogicidade e na problematização oferecem uma possibilidade para a implementação de novas metodologias que priorizem a interação entre professor e aluno, o respeito ao conhecimento prévio dos estudantes e a construção coletiva do saber. A partir da frase de Freire, dizendo que “o educador já não é o que apenas educa, mas o que, enquanto educa, é educado, em diálogo com o educando que, ao ser educado, também educa” (Freire, 2011, p. 95-96), entendemos que essas novas abordagens não devem apenas contextualizar o aprendizado, mas também promover um ensino mais inclusivo e transformador da realidade do estudante.

Com isso, esse trabalho utilizou a proposta de ensino baseada na dinâmica didático-pedagógica dos Três Momentos Pedagógicos (3MP), elaborada por Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002). Essa dinâmica promove a utilização sistemática da dialogicidade, permitindo que os temas selecionados sejam discutidos por meio da problematização de um assunto que esteja conectado a realidade dos estudantes. Além disso, o processo dialógico possibilita a realização contínua de análises e sínteses do saber, que se manifestam tanto nas falas dos educandos quanto nas dos educadores (Muenchen e Delizoicov, 2010).

Outro aspecto fundamental dessa metodologia é a flexibilidade que ela proporciona para o uso de diferentes formas de atividades e abordagens didáticas. Por meio dos 3MP, é possível integrar práticas diversificadas, como experimentos, discussões em grupo, atividades criativas e simulações, todas alinhadas ao contexto e às realidades dos estudantes. Essa dinâmica favorece a adaptação das estratégias de ensino às necessidades específicas de cada turma, tornando o aprendizado mais coletivo. Dessa maneira, os 3MP não apenas estrutura o ensino de forma dialógica, mas também promove uma abordagem plural e interdisciplinar, essencial para a formação crítica dos estudantes. O que reforça as falas de Laburú, Arruda e Nardi (2003, p. 251), de que é questionável uma ação educacional baseada num único estilo didático, sendo que essa atitude só daria conta de apenas um tipo particular de aluno.

Junto a isso, Saran (2012) cita a importância de os professores complementarem as informações divulgadas em meios de comunicações, como telejornais ou revistas de divulgação científica, discutindo sobre os temas e sobre o processo por trás das grandes pesquisas.

A partir da problematização de tempestades solares, esse trabalho buscou elaborar e analisar uma Sequência Didática (SD) que fosse capaz de ensinar sobre os Raios Cósmicos (RC) e suas implicações na Física Moderna e Contemporânea (FMC) de maneira dialógica e problematizadora.

Tal escolha não se deu de forma aleatória, ela se ancora na necessidade de atualização curricular frente às demandas da sociedade atual, que exige uma formação científica mais conectada com os avanços da ciência contemporânea. Como apontam Brockington et al. (2017, p. 11), "como garantir uma verdadeira formação atualizada e coerente com o mundo atual, se os conhecimentos físicos mais modernos e contemporâneos encontram-se afastados da Educação Básica?". Nesse sentido, a escolha pelos Raios Cósmicos se justifica não apenas por afinidade e interesse com o tema, mas também pela sua relevância científica e formativa.

Esta proposta consolida-se com a inserção do tema através da problematização das Tempestades Solares, com introdução de notícias, vídeos, imagens e discussões, e, por fim, com a realização de uma atividade de avaliação do conhecimento que retoma os conceitos discutidos ao longo das aulas. Essa atividade busca evidenciar o conhecimento construído de forma crítica e contextualizada, servindo também como ponto de partida para a formulação de novos problemas.

Os Raios Cósmicos representaram um campo essencial para a compreensão da estrutura fundamental da matéria, investigando os constituintes elementares do universo, principalmente na busca pela resposta de uma das questões mais antigas da humanidade, "do que é feita a matéria?" (Viana, 2020) e as interações fundamentais que os regem. Trata-se de uma área dinâmica da ciência que busca responder questões fundamentais, como a origem da massa, a natureza da matéria e a unificação das forças.

A figura de César Lattes, por exemplo, é emblemática nesse contexto, sendo um dos cientistas responsáveis pela descoberta do méson pi, uma das partículas fundamentais nos estudos de Física de Partículas (FP). No entanto, a relevância de sua contribuição é muitas vezes desconhecida pela maioria dos estudantes, o que reflete a necessidade de integrar tais narrativas ao currículo escolar como forma de promover o reconhecimento do impacto da ciência nacional (Mateus, 2024).

Dessa forma, o principal objetivo deste trabalho é apresentar e analisar uma sequência didática para o ensino de FP, estruturada a partir da problematização das tempestades solares e seguindo a dinâmica didático-pedagógica dos 3MP. Ao longo da dissertação, serão discutidos os fundamentos teóricos e pedagógicos que embasaram a proposta, detalhando o planejamento e a execução da SD, e analisando os resultados obtidos com sua aplicação. Além disso, serão apresentadas reflexões sobre as contribuições dessa metodologia para o ensino de FMC, bem como suas limitações e possibilidades de aprimoramento.

O texto dessa dissertação será organizado de uma forma pouco usual comparado aos trabalhos do MNPEF, mas que, no contexto dessa pesquisa, pareceu fazer mais sentido para a discussão. O capítulo 2 apresenta um diálogo com a literatura sobre as pesquisas envolvendo o ensino de FMC com olhar específico para dois elementos: os Raios Cósmicos e a formação de professores. Trata-se da parte do texto que apresenta uma breve revisão da literatura sobre esses aspectos que são importantes para o trabalho. Na sequência, o capítulo 3 apresentará a Física envolvida nas discussões sobre os Raios Cósmicos. Já o capítulo 4 apresenta a dinâmica dos 3MP, que darão o suporte para a construção e análise da sequência didática construída neste trabalho, explorando aspectos sociais e burocráticos ao se aplicar uma SD em sala de aula. O capítulo 5 descreve com detalhes a aplicação do produto junto com as atividades elaboradas para cada momento pedagógicos, com sugestões para a postura do professor durante as aulas. O capítulo 6 analisa a sequência didática a partir de parâmetros determinados, trazendo também as reflexões que contribuíram para mudanças feitas no produto. O capítulo 7 trata das considerações finais dessa pesquisa, conclusões sobre a SD, mudanças no produto, além do impacto de realizar esse trabalho na formação do autor e professor dessa pesquisa.

Capítulo 2

REVISÃO DO ENSINO DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NA EDUCAÇÃO BÁSICA

Este capítulo tem como propósito apresentar um diálogo com a literatura que aborda o ensino de Física Moderna e Contemporânea (FMC), com foco específico em dois eixos fundamentais para esta pesquisa: o estudo dos raios cósmicos e a formação de professores. Busca-se situar o contexto do ensino de temas de FMC no Ensino Médio, discutindo os desafios que envolvem sua inserção curricular, a transposição didática de conceitos complexos e as estratégias pedagógicas que possibilitam sua abordagem de forma acessível e significativa. No caso específico dos raios cósmicos, pretende-se compreender como esse tema, ainda pouco explorado em sala de aula, pode favorecer a introdução de conteúdos da Física de Partículas em uma perspectiva contextualizada e interdisciplinar.

Ao propor uma breve revisão da literatura sobre esses aspectos, o capítulo visa posicionar a presente investigação dentro do panorama das pesquisas já desenvolvidas na área, evidenciando contribuições, desafios e lacunas ainda existentes. A análise das produções selecionadas do repositório do MNPEF, permite compreender as tendências teórico-metodológicas que vêm orientando o ensino da FMC, as possibilidades de contextualização dos Raios Cósmicos e as implicações formativas para o professor que atua nesse campo. Dessa forma, o capítulo contribui para fundamentar as escolhas didático-pedagógicas que sustentam a SD proposta, reforçando sua relevância no cenário atual das pesquisas em ensino de Física.

Partindo da concepção de Dubeux e Souza (2012), no qual uma SD pode ser compreendida como um procedimento de ensino que organiza conteúdos específicos em etapas encadeadas, com o objetivo de tornar o processo de aprendizagem mais dialógica, essa pesquisa

teve como desafio associar a dinâmica dos 3MP a montagem de uma SD sobre conceitos de FMC. Portanto, nesse capítulo, também serão evidenciados alguns dos motivos que justifiquem a escolha do tema principal da SD, os Raios Cósmicos, como também o incentivo ao ensino de Física de Partículas nas aulas do Ensino Médio.

Partimos do questionamento de autores como Terrazan (1992) e Alvarenga (1994), que problematizam o currículo do ensino de Física já na década de 90, argumentando sobre a necessidade da atualização dos conteúdos abordados nas aulas, justamente por serem “descompassados e defasados no tempo”. Porém, mesmo discussões feitas na década de 90 parecem ainda ser um problema atual do ensino de Física, seja pela falta de materiais didáticos de qualidade, lacunas na formação dos professores ou outras das dificuldades que os professores enfrentam atualmente (Moreira, 2017).

Desse modo, um dos questionamentos que influenciaram na decisão de trabalhar com temas de FMC, foi o de Balthazar (2008, p. 23), “Como podemos formar um cidadão contemporâneo, capaz de participar da realidade e do mundo em que vive, se ele desconhece o avanço do conhecimento Físico dos séculos XX e XXI? Avanço este que interfere na sua própria relação com a sociedade e com o mundo”. E o de Ostermann e Cavalcanti (1999), que citam a importância de despertar a curiosidade dos estudantes e ajudá-los a reconhecer a Física como um empreendimento humano, e próxima da realidade deles. Como mencionado por Oliveira, Vianna e Gerbassi (2007), é preocupante como o ensino de Física no Ensino Médio não tenha acompanhado esse desenvolvimento, e cada vez mais se distancia das necessidades dos alunos no que diz respeito ao estudo de conhecimentos científicos mais atuais, principalmente pela quantidade de novos campos abertos no século XX.

Apesar dos avanços nas pesquisas sobre o ensino e inserção da FMC no ensino médio, um dos fatores que ainda dificultam a implementação dessa nova proposta curricular é a elaboração do material de apoio para o professor. Grande parte dos livros didáticos possuem uma abordagem dos superficial de tópicos de FMC. No entanto, é fundamental que os professores estejam preparados para reconhecer e suprir as limitações desses livros, recorrendo a outros recursos pedagógicos, como textos científicos, reportagens jornalísticas e materiais complementares que possibilitem uma abordagem mais ampla e contextualizada dos conteúdos. (Pereira e Guerini, 2023).

Levando em conta toda a dificuldade discutida sobre a inserção da FMC no Ensino Médio e a procura de um conteúdo a ser trabalhado na SD, entre outros fatores sociais, culturais e pessoais, o tema de Física de Partículas (FP) se mostrou o mais interessante. Videira e Francisquini (2018), citam que uma das importâncias de inserir a FP no Ensino Médio é mostrar

a ciência como uma construção humana inacabada, sujeita a transformações e novas descobertas, além de levar para a sala de aula um conhecimento aos alunos sobre algo que eles já veem nos noticiários, revistas e no cotidiano, oportunizando uma abordagem crítica ao Ensino de Física. A abordagem dos conceitos de FP, ressaltando suas contribuições para a vida cotidiana, associada às discussões sobre a construção do conhecimento científico, dialogam com as ideias que queremos apresentar na SD.

Desse modo, levar o conteúdo de FP para o Ensino Médio, se torna uma provocação para a inserção de novas abordagens no ensino de Física, principalmente pela temática central a ser discutida ser sobre os Raios Cósmicos, sendo uma ótima oportunidade para o educador questioná-los, levando em conta todo o desenvolvimento histórico, sobre a relação entre previsões teóricas e experimentais, entre experimento e a prática. Ostermann (1999, p. 434) destaca essa importância na seguinte fala:

(...) A 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. (Ostermann, 1999, p. 434)

Essa fascinante área da Física, mencionada por Ostermann ainda na virada do século XX para o XXI, também é destacada por Moreira (2007, p. 17), ao tratar do Modelo Padrão da Física de Partículas (MP) como “a melhor teoria sobre a natureza jamais elaborada pelo homem, com muitas confirmações experimentais”.

Nota-se que a inserção do ensino de FP no Ensino Médio contribui para aproximar os estudantes de um campo do conhecimento que ganhou relevância científica nos séculos recentes, especialmente no século XX, quando importantes descobertas transformaram a compreensão da matéria. Por mais que alguns autores questionem sobre o nível de complexidade das teorias elaboradas no último século e da alta quantidade de informações sobre as novas partículas, vemos que, assim como mencionado por Ostermann e Moreira (2000), essa dificuldade não deve servir como barreira para a elaboração de novos materiais didáticos e

trabalhos a serem desenvolvidos, valorizando a discussão de temas como o MP e RC. Um dos caminhos para aproximar esses conceitos das aulas do EM é a construção de SD problematizadoras e que possam fomentar o diálogo nas aulas.

“(…) É 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 conteúdo da física clássica (…). Os alunos podem aprendê-la se os professores estiverem adequadamente preparados e se bons materiais didáticos estiverem disponíveis”. (Ostermann e Moreira, 2000, p. 11).

Dentre os diversos conteúdos possíveis dentro da FMC, os Raios Cósmicos se destacam por oferecer uma rica articulação entre conceitos da FP, astrofísica e fenômenos observáveis na Terra. Além disso, trata-se de um tema que permite conexões com questões atuais, como o impacto da atividade solar na tecnologia e no cotidiano humano, discussão sobre os perigos para o corpo humano, situações em altitudes mais elevadas, como em aviões, e até mesmo discutir conceitos sobre a detecção de radiação Cherenkov em tanques de observação de partículas (Abrantes *et al.*, 2025), contribuindo para uma abordagem interdisciplinar e contextualizada.

2.1 REVISÃO DAS PRODUÇÕES DO MNPEF SOBRE RAIOS CÓSMICOS

Com o objetivo de compreender de que forma a temática dos Raios Cósmicos e, de modo mais amplo, os conteúdos de FMC vêm sendo abordados em propostas didáticas, realizou-se uma busca no repositório do MNPEF. Essa busca permitiu identificar dissertações que apresentam experiências e produtos educacionais voltados à inserção de tópicos de Física Moderna no Ensino Médio.

Por tanto, visitando o repositório de dissertações, é possível encontrar trabalhos que abordam o ensino de Raios Cósmicos no Ensino Médio, enfatizando estratégias didáticas que favorecem a compreensão de conceitos de FMC. Dois trabalhos aparecem destacando o termo Raios Cósmicos em seu título, o primeiro, intitulado “*Uma proposta para o engajamento dos alunos no processo de ensino-aprendizagem de raios cósmicos no Ensino Médio*” (Parra, 2019), propõe uma SD que visa despertar o interesse discente por meio de atividades contextualizadas, com atividades que questionam os estudantes, a partir de uma perspectiva

histórica para a evolução da vida na Terra, sobre a importância dos RC para a origem da vida na Terra.

A segunda dissertação que relaciona o tema RC a SD, “*Abordando os raios cósmicos no Ensino Médio: uma proposta de sequência de ensino investigativa*” (Souza, 2017), apresenta uma abordagem baseada na investigação para o ensino de FMC. A sequência foi aplicada a turmas do terceiro ano do EM, na qual possibilitou aos alunos investigarem os fenômenos físicos em um detector de RC, aliada a sua própria montagem e outros métodos de aprendizagem. A análise feita por Souza, baseou-se nas respostas dos questionários, registros do experimento, elaboração de hipóteses e textos escritos pelos alunos.

Um outro trabalho, que se destaca por dialogar com a dinâmica didático pedagógica dos 3MP com o ensino de FMC, é o “*Problematizando o ensino de Física Moderna e Contemporânea: uma proposta didática baseada nos Três Momentos Pedagógicos utilizando a Astronomia como temática central*” (Evangelista, 2016). O Autor propõe uma estrutura metodológica apoiada nos 3MP para inserir conceitos de FMC a partir de discussões em astronomia. A pesquisa articula sua SD evidenciando como a temática astronômica pode ser utilizada como eixo integrador para conteúdos abstratos da FMC, favorecendo uma aprendizagem crítica e contextualizada.

As três dissertações se relacionam com a presente pesquisa por convergirem na necessidade de inserir conteúdos de FMC de maneira contextualizada e crítica no Ensino Médio. Enquanto as duas primeiras abordam diretamente os RC como temática central e propõem metodologias que incentivam a participação e a investigação, a terceira contribui ao apresentar uma estrutura metodológica que também orienta o desenvolvimento da SD aqui analisada. Essa convergência reforça a relevância da proposta em desenvolvimento, que busca articular RC, Física de Partículas e a abordagem dos 3MP para promover um ensino mais problematizador, dialógico e conectado à realidade dos estudantes.

2.2 A TEMÁTICA DE RAIOS CÓSMICOS NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES

Ao analisar o cenário atual das pesquisas sobre o ensino de FMC, especialmente no que se refere à temática dos Raios Cósmicos, torna-se evidente a escassez de produções que envolvem a formação de professores. O trabalho realizado por nosso grupo, em Hiraichi et al. (2024), apresentado no XX Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, contribui significativamente para essa reflexão ao realizar um mapeamento sistemático sobre o tema. O estudo investigou publicações em periódicos da área de Ensino de Ciências e Física até o ano de 2022, identificando apenas 17 artigos que tratam direta ou indiretamente da temática dos Raios Cósmicos.

A análise proposta pelos pesquisadores categorizou os artigos em três grupos: *Contexto e Desenvolvimento Histórico (CDH)*, *Propostas Didáticas (PD)* e *Materiais de Apoio (MA)*. No entanto, mesmo as produções classificadas como propostas didáticas ainda se concentram, em sua maioria, em aspectos experimentais ou instrumentais, sem abordar de maneira direta a formação docente ou algum relato de experiência em sala de aula. Essa constatação revela uma tendência da literatura a privilegiar descrições históricas ou técnicas, em detrimento de análises sobre a prática pedagógica e o desenvolvimento profissional do professor de Física.

Os autores destacam ainda que “a falta de enfoque na formação docente e a predominância de abordagens históricas e experimentais sugerem uma lacuna na produção acadêmica relacionada ao ensino de raios cósmicos” (Hiraichi et al., 2024, p. 2). Tal observação reforça a necessidade de que futuras pesquisas se debruçam sobre a formação inicial e continuada de professores, de modo a compreender os motivos pelos quais temas da FMC, como os raios cósmicos, ainda são pouco discutidos no contexto escolar.

Com base nos artigos publicados na *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Hiraichi et al (2024) observou que, até o ano de 2024, apenas dois artigos apresentam práticas didáticas envolvendo a abordagem sobre Raios Cósmicos no EM, sendo que ambos fizeram o uso da câmara de nuvens como ferramenta didática.

No artigo de Laganá (2011), o autor construiu uma câmara de nuvens de baixo custo para registrar e analisar os rastros deixados por partículas cósmicas, como múons, prótons e elétrons. A proposta tem um forte caráter experimental, permitindo aos alunos visualizarem fenômenos subatômicos de forma concreta. A análise dos fenômenos registrados visa

aproximar os conceitos teóricos da realidade observável, superando a distância entre teoria e prática muitas vezes presente no ensino de Física.

Já o trabalho de Cabral et al. (2022) propôs uma metodologia baseada em projetos, na qual estudantes do ensino médio foram responsáveis por estudar, montar e utilizar a câmara de nuvens como detector de partículas. O processo envolveu desde a pesquisa teórica até a análise dos dados obtidos experimentalmente, favorecendo a autonomia dos estudantes, o desenvolvimento do pensamento científico e o letramento científico. A construção colaborativa e a apresentação dos resultados em evento científico mostraram impactos positivos na aprendizagem.

Ambos os estudos destacam a viabilidade da câmara de nuvens como recurso didático no ensino de RC. Entretanto, utilizar apenas essa estratégia como recurso exclusivo pode limitar as possibilidades pedagógicas e o alcance dos objetivos educacionais. Assim, este trabalho busca oferecer uma alternativa adicional à literatura, apresentando uma proposta didática que amplia as abordagens possíveis para o ensino de Raios Cósmicos no EM.

Nesse sentido, o estudo de Hiraichi et al. (2024) dialoga com a presente pesquisa ao apontar a urgência de aproximar a produção acadêmica das práticas docentes. A sequência didática desenvolvida neste trabalho busca justamente contribuir nesse sentido, oferecendo uma proposta estruturada segundo os Três Momentos Pedagógicos, que favorece o diálogo entre conceitos da Física de Partículas e o contexto educacional. Assim, enquanto o levantamento de Hiraichi et al. evidencia a carência de iniciativas voltadas à formação docente, a presente pesquisa busca preencher parte dessa lacuna, ao propor uma alternativa metodológica que integra a problematização, a dialogicidade e a contextualização como eixos para o ensino de Física Moderna no Ensino Médio

Fica evidente a necessidade de uma atualização do currículo de Física, com um foco maior em temas atuais, mesmo que as dificuldades dessa renovação curricular ainda estejam pautadas em obstáculos como: falta de material adequado, metodologia em sala de aula, tempo de aula, formação continuada do professor, entre outros. Portanto, nesse trabalho tivemos como preocupação elaborar uma SD estruturada a partir da dinâmica dos 3MP, visando contribuir para a superação de alguns dos obstáculos citados acima e propondo a continuação dessas discussões para o aprimoramento do ensino de Física mais dialógico e problematizador.

Capítulo 3

RAIOS CÓSMICOS

3.1 A HISTÓRIA DOS RAIOS CÓSMICOS

Neste capítulo, apresentaremos uma discussão sobre o tema dos Raios Cósmicos e os conhecimentos de Física relacionados à SD produzida e ao Produto Educacional.

É importante ressaltar que este trabalho tem como intenção principal apresentar alguns episódios históricos em forma de narrativa, buscando oferecer subsídios a outros colegas professores. Ressalta-se também que não se trata de uma investigação aprofundada sobre a História e Filosofia da Ciência, mas sim de um esforço voltado à elaboração de propostas pedagógicas inspiradas em episódios históricos selecionados, com o objetivo de tornar o ensino mais contextualizado para os estudantes e de fácil acesso ao professor, tomando os devidos cuidados para não cometer equívocos epistemológicos criticados por pesquisadores da área.

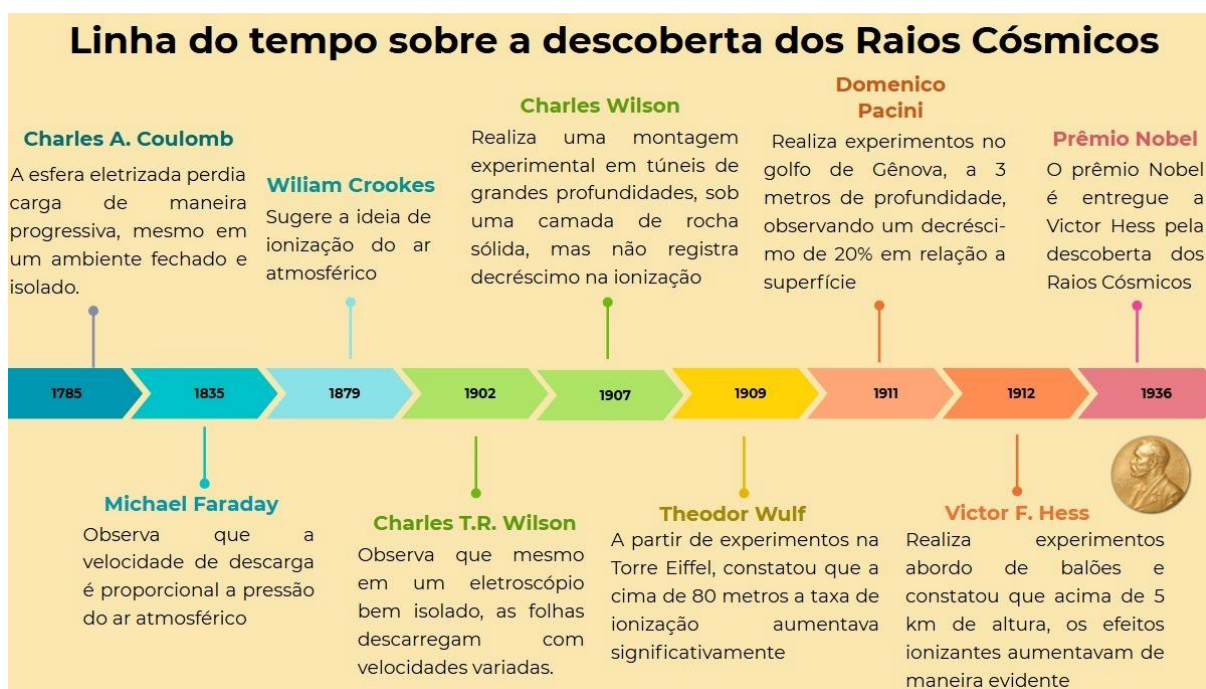
Os RCs constituem-se de um fluxo de partículas de variadas energias que incidem constantemente sobre a atmosfera terrestre. Aproximadamente 90% dessas partículas são prótons, seguidos por 9% de partículas alfa, ou seja, núcleos de hélio compostos por dois prótons e dois nêutrons, e cerca de 1% de núcleos de elementos mais pesados. Ao colidirem com os átomos da atmosfera, esses núcleos podem produzir uma variedade de partículas secundárias¹. Com velocidades próximas à da luz e trajetórias aleatórias, essas partículas são detectadas com energias que podem alcançar até 10^{20} eV. A alta energia e o comportamento aleatório dificultam a identificação precisa de suas origens. No entanto, sabe-se que partículas com energia até 10^9 eV são, em grande parte, associadas a fenômenos solares, sendo

¹ Partículas Secundárias: interação entre os núcleos primários que chegam do espaço e os átomos da atmosfera terrestre, que possuem energia mais baixas, e podem atingir o solo (Cabral *et al.*, 2022).

denominadas Raios Cósmicos Solares (SCR, Solar Cosmic Rays). Já aquelas que não são aceleradas pelos mesmos mecanismos recebem a denominação de Raios Cósmicos Anômalos (Cabral *et al*, 2022). Neste capítulo, será explorado o processo histórico que levou à descoberta da origem dos raios cósmicos, bem como aspectos específicos relacionados aos SCR.

A linha do tempo apresentada abaixo na figura X sintetiza os principais marcos históricos que levaram à descoberta dos RC. Essa representação tem como objetivo oferecer uma visão panorâmica da evolução dos estudos sobre os RC, permitindo compreender como diferentes descobertas experimentais se articularam até a consolidação do conceito. No texto a seguir, cada um desses marcos será descrito com maior detalhamento, evidenciando o contexto histórico e científico em que ocorreram.

Figura 1 - Linha do tempo com os principais acontecimentos até a descoberta dos Raios Cósmicos



Fonte: Autor.

https://drive.google.com/file/d/18RbeyzSOKqN1t5EsL3rmAYmEJDmQJNgv/view?usp=drive_link

A fim de discutir sobre os possíveis riscos que os RC representam para o corpo humano, bem como implicações na tecnologia e sociedade, este trabalho partiu do seguinte questionamento, “Mas Afinal... As partículas ejetadas pelo Sol, que atingem nosso planeta, podem causar efeitos negativos ao nosso corpo?”. Para responder essa questão podemos retomar as investigações sobre o funcionamento dos eletroscópios no final do século XVIII, que se iniciou com as observações de Charles Augustin Coulomb (1736-1806), em 1785.

Coulomb observou que uma esfera eletrizada, carregada e em ambiente fechado, suspensa por um fio de seda, era descarregada de maneira progressiva. Algumas d3cadas depois, esses trabalhos foram reproduzidos em 1835 e 1879, por Michael Faraday (1791-1867) e William Crookes (1832-1919), respectivamente. Eles chegaram a conclus3es semelhantes 3s de Coulomb, de que a velocidade de descarga era proporcional 3 press3o do ar. Isso corroborava com a ideia da ioniza33o do ar atmosf3rico, o que apontava para a exist3ncia de uma condutividade intr3nseca do ar (Bandeira e Mackedanz, 2019).

No final do s3culo XIX, em 1895, Roentgen (1845-1923) realizou importantes avan3os no conhecimento sobre os raios-X, estudando os raios cat3dicos, produzidos em tubos de Crookes (tubos de vidro com g3s em baixa press3o e eletrodos ligados a alta tens3o). Esses estudos influenciaram Henri Becquerel (1852-1908), que investigou corpos fosforescentes, principalmente os sais de ur3nio. Ele verificou que esses corpos emitiam raios que eram capazes de aumentar a condutividade do ar atmosf3rico, retirando os el3trons dos gases e formando 3ons (Bandeira e Mackedanz, 2019).

Esses “raios” acabaram sendo nomeados na 3poca como *raios ionizantes* (Bustamante, 2013). Assim se deu in3cio aos estudos sobre a radioatividade, fen3meno que ficou muito famoso no in3cio do s3culo XX, tanto dentro da comunidade cient3fica como na sociedade europeia em geral. Fama que se estendeu de maneira preocupante at3 mesmo a produtos de consumo pessoal, como a figura 3, elaborada por Lima, Pimentel e Afonso (2011), mostra abaixo:

Figura 2 - Produtos com radioatividade adicionada e suas finalidades

Produto	Emprego
Coquetel fluorescente para bailes e festas	Impressionar os convidados com os efeitos luminosos
Pasta de dentes	Combater queda prematura de dentes, c3ries, ativar a digest3o bucal e tornar o esmalte brilhante e luminoso
Roleta de cassino fluorescente	Dificultar fraudes
Cigarros	Prevenir enfermidades pulmonares
Protetor auricular	Manter a higiene e esterilizar o canal auditivo
Sab3es	Aumentar a efici3ncia da lavagem dos tecidos
L3minas de barbear	Remo3o mais confort3vel dos pelos, amaciando e reduzindo a irrita3o da pele
Alimentos como cerveja, manteiga, chocolate etc.	Abrir o apetite, aumentando a a3o digestiva do est3mago
Contraceptivos	Matar espermatoz3ides e esterilizar a vagina, evitando doen3as sexualmente transmiss3veis
Goma de amido	Aditivo ao sab3o, deixar roupas brancas mais brilhantes
Baralho	Tornar o jogo mais emocionante e divertido
Pomada para cal3ados	Maior durabilidade do brilho

Fonte: Lima, Pimentel, Afonso (2011, p. 96). Dispon3vel em:

http://qnesc.sbjq.org.br/online/qnesc33_2/04-HQ10509.pdf

Entre os interessados da comunidade cient3fica, estavam Marie Curie (1867-1934) e Pierre Curie (1859-1906), que realizaram grandes contribui3es para o entendimento da radioatividade. Eles descobriram elementos que tinham caracter3sticas radioativas, o pol3nio e o r3dio, e que outras subst3ncias tamb3m eram capazes de emitir esses raios de forma espont3nea. Foram identificados dois tipos de emiss3o: os *raios alfa*, que apresentavam baixo poder de penetra3o, n3o atravessando nem mesmo uma barreira fina e com uma quantidade de carga relativamente alta, e os *raios beta*, que penetravam facilmente barreiras mais grossas e apresentavam uma carga menor (Saran, 2012). Com isso, foi poss3vel determinar a velocidade de ioniza3o a partir da taxa de descarga de um eletrosc3pio, utilizando a radioatividade como padr3o de calibra3em (Bandeira e Mackedanz, 2019).

Ainda no in3cio do s3culo XX, na Esc3cia, Charles Thomson Rees Wilson (1869-1959) e concomitantemente, na Alemanha, Hans Geitel (1855-1923) e Julius Elster (1854-1920), aprimoraram o experimento do eletrosc3pio de Coulomb. Realizando uma montagem experimental com duas finas folhas de ouro, mantidas no interior de um recipiente de vidro, presas a uma haste carregada e ligada a uma esfera de carga conhecida, carregando as folhas de ouro, que sofrem repuls3o, afastando-se uma da outra. Ambos chegaram a conclus3es semelhantes, que depois de certo tempo, as folhas perdiam suas cargas, voltando a ficar

pr3ximas umas da outra, mesmo o aparato experimental sendo isolado eletricamente. Para eles, uma poss3vel explica33o seria que o ar estava ionizado e os el3trons livres eram atra3dos pelas folhas, neutralizando-as novamente, constatando uma descarga de maneira indefinida, mesmo feita de maneira cuidadosamente isolada (Carlson e De Angelis, 2010).

A partir desses experimentos e an3lises, foi poss3vel chegar a conclus3es que contribuíram para o aprimoramento das medidas de ioniza33o do ar atmosf3rico, utilizando a taxa de descarga das folhas de ouro como refer3ncia (Bandeira e Mackedanz, 2019).

Figura 3 - Representa33o de um eletrosc3pio



Fonte: <https://www3.unicentro.br/museu/acervo/fisica/da-radioatividade-aos-raios-cosmicos/>

Mas o que poderia causar essa ioniza33o do ar? Com o conhecimento da 3poca sobre as radia33es alfa e beta, sabia-se que eram capazes de descarregar imediatamente um eletrosc3pio. Com isso, uma das primeiras justificativas era que ainda restavam res3duos de subst3ncias radioativas no material do experimento.

Outros argumentavam que no solo terrestre havia muitas dessas subst3ncias radioativas, e que essa seria a fonte dessa ioniza33o do ar. Entretanto, os trabalhos realizados por Ernest Rutherford (1872-1937) e sua equipe em 1902, mostraram que a ioniza33o foi significativamente reduzida quando o recipiente fechado foi cercado por escudos met3licos mantidos livres de impurezas radioativas. O que indicava que parte da radia33o vinha de fora (Carlson e De Angelis, 2010).

A partir disso, come3ou-se de vez a buscar por essa tal fonte radioativa externa ao instrumento. Uma das hip3teses mais argumentadas pela comunidade cient3fica, era de que essa fonte seria uma radioatividade natural da crosta terrestre, e assim houve uma busca por uma prova experimental.

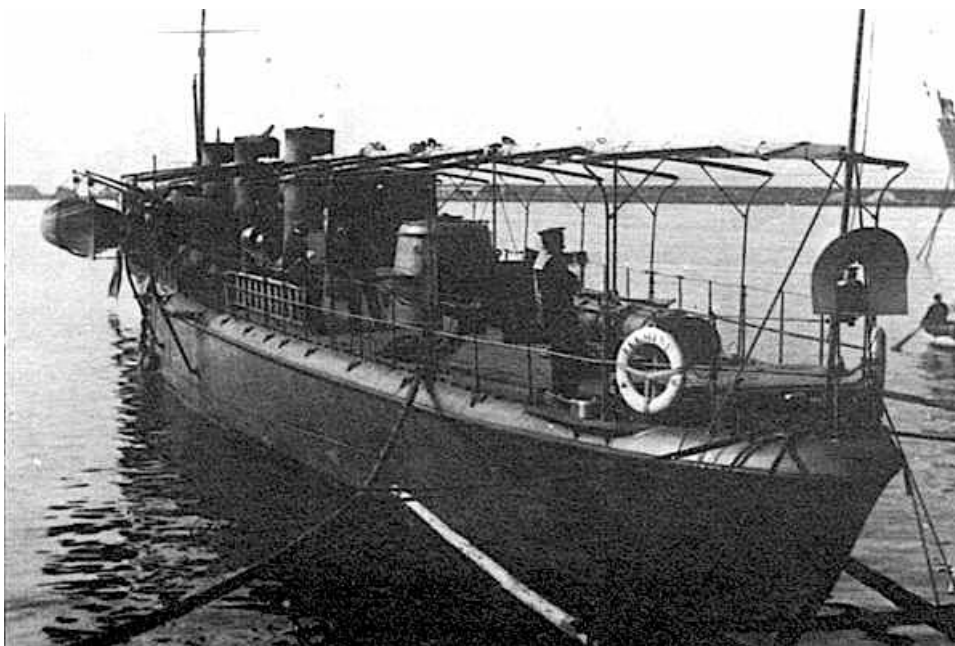
Ao observar toda essa discuss3o, Charles Wilson sugeriu uma hip3tese, de que a origem para a radia3o seria extraterrestre, de fora do planeta Terra. Na tentativa de sua comprova3o, ele mediu a ioniza3o do ar em t3neis de grande profundidade, sob uma camada de rocha s3lida, na esperan3a dos resultados mostrarem um decr3scimo no valor da ioniza3o, pelo fato de a radia3o ser atenuada por essa camada de rocha, por3m os resultados n3o foram satisfat3rios (Bandeira e Mackedanz, 2019).

Em contrapartida, ao analisar as hip3teses e resultados de Wilson, o engenheiro qu3mico Albert Nodon (1862-1934), realizou estudos precisos da varia3o da ioniza3o do ar conforme a altitude. Sugerindo que a radia3o teria uma origem extraterrestre, justificando de que ela seria apenas muito penetrante (Bandeira e Mackedanz, 2019).

O pensamento de Theodor Wulf (1868-1946) foi de que se a radia3o 3 proveniente do solo, ent3o quanto mais distante da superf3cie, menor ser3 seu efeito sobre os eletrosc3pios. A partir disso, em 1909 decide investigar a origem da radia3o levando um eletrosc3pio para o topo da torre Eiffel, realizando medi3o3es da ioniza3o do ar tanto no topo da torre, a 300 metros de altura, quanto no solo. Wulf constatou que a taxa de ioniza3o n3o diminu3a conforme o aumento da altitude, e sim ao contr3rio, o valor era ainda maior pr3ximo do topo da torre. Os resultados desse experimento foram de grande contribui3o para as pesquisas sobre a origem dessa radia3o, justamente pelo rigor metodol3gico utilizado por ele, com coleta de dados em diferentes hor3rios do dia e por um alto n3mero de dias, gerando confiabilidade nos resultados. Por3m, Theodor Wulf era c3tico em rela3o a seus pr3prios resultados, e ainda mantinha sua aposta de uma radia3o com origem a partir do solo terrestre (Bustamante, 2013).

Entre os anos de 1909 e 1911, o italiano Domenico Pacini (1878-1934), realizou uma s3rie de experimentos a partir dos dados obtidos por Wulf. O primeiro objetivo de Pacini era buscar entender qual a rela3o entre a condutividade do ar e o tipo de meio envolvido. Para tentar responder essas quest3es, al3m de buscar a comprova3o de que essa radia3o era emitida pelo solo, Pacini realizou uma sequ3ncia de experimento sob o Golfo do G3nova, com sua equipe de pesquisadores em barcos como o mostrado na figura 5, coletando dados tanto na superf3cie quanto a uma profundidade de 3 metros (Bandeira e Mackedanz, 2019).

Figura 4 - Barco usado por Pacini para suas medições no mar.



Fonte: <https://arxiv.org/abs/1002.2888>

Um dos avanços dos experimentos de Pacini em relaça3o ao de Wulf, foi o aprimoramento do aparato utilizado, o eletr3metro era mais sens3vel a coleta de informa33es e isolado em uma caixa de cobre, fato que possibilitou sua imers3o a tal profundidade. Os resultados da sequ3ncia de experimento no golfo foram claros, ao comparar as taxas de descargas do eletr3metro, o valor na superf3cie era 20% maior do que as taxas a 3 metros de profundidade (Bandeira e Mackedanz, 2019). Reforçando mais uma vez as hip3teses de que a fonte dessa radia33o n3o era o solo terrestre, justamente porque a 3gua absorveria tal radia33o, al3m de confirmar o poder de penetrabilidade, pelo fato de que as condi33es do aparato desenvolvido por Pacini n3o foram suficientes para inibir as taxas de descarga.

A divulga33o desses resultados influenciou o f3sico austr3aco Viktor Franz Hess (1883-1964), que ap3s analisar resultados como os de Wulf e do f3sico ingl3s Arthur Stewart Eve, buscou estudar o coeficiente de absor333o do ar em rela33o aos raios gama. O resultado desta s3rie de experi3ncias realizadas em laborat3rio, permitiu inferir que a radia33o deveria ser absorvida pelo ar a altitudes maiores do que 500 metros, supondo ainda uma fonte de radia33o do solo terrestre (Bustamante, 2013).

A partir desses resultados, Hess come33ou a realizar uma s3rie de experimentos, classificados como inseguros e arriscados, em bal3es como o mostrado na figura 6, durante os anos de 1911 e 1913. Chegando a incr3veis 5.350 metros de altura em algumas de suas ascens3es, sendo elas em sua maioria durante a noite, somente uma delas durante o dia, por3m

sob eclipse total, o que possibilitou desconsiderar o Sol como fonte direta de radia33o ou qualquer interfer4ncia aos resultados (Bandeira e Mackedanz, 2019).

Ao realizar a an3lise dos dados coletados em suas ascens3es, al4m das conclus3es j3 esperadas por ele em rela33o a medi33o do coeficiente de absor33o de raios gama pr3ximo a superf4cie ir diminuindo at4 aproximadamente 1 km de altitude, ele se deparou com informa33es que mostravam uma rela33o entre o aumento da altitude e o aumento da ioniza33o no ar. Portanto, s3 restava a explica33o de que a fonte para essa radia33o deveria ser extraterrestre, pelo fato dela provir do topo da atmosfera, al4m de altamente penetrante, por ser capaz de causar ioniza33es at4 mesmo em recipientes isolados, como os aparatos utilizados por Pacini (Bandeira e Mackedanz, 2019).

Essa 3ltima caracter4stica era t3o fascinante no meio cient4fico que nomeou tal radia33o como *radia33o ultrapenetrante*. Mas somente ap3s os resultados conclusivos de Pacini e Hess, a radia33o leva o nome em que hoje 4 conhecida, os *Raios C3smicos*, nome que teve como respons3vel por sua populariza33o, Robert Millikan (1868-1953), j3 renomado cientista estadunidense (Bustamante, 2013).

O pioneirismo do descobrimento da radia33o c3smica logo teve suas diverg4ncias, muitas de suas refer4ncias dependiam da l4ngua materna que tratava sobre o assunto. No italiano ligavam a descoberta a Domenico Pacini, e no alem3o, a Viktor Hess. Por4m, j3 no ano em que o respons3vel pelas descobertas seria agraciado com o pr4mio Nobel, Pacini j3 n3o estava mais vivo, faleceu em 1934 devido a uma forte pneumonia, facilitando assim a decis3o de agraciar Viktor Franz Hess com o pr4mio Nobel de 1936 pela descoberta dos Raios C3smicos (Bustamante, 2013).

Figura 5 - Viktor Hess, sua equipe e algum espectadores em Viena, 1911.



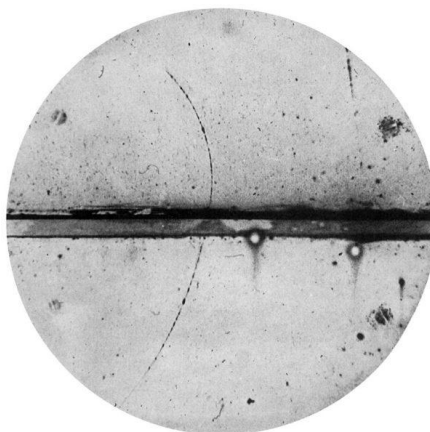
Fonte: The New York Times.

Paul Dirac (1902-1984), em 1928, tentou aprimorar as equa33es de ondas para descrever os el33trons como ondas estacion33rias adicionando efeitos da relatividade espacial. Um dos problemas dessa equa33o 33 que ela descrevia bem apenas part33culas com baixa energia ou viajando lentamente, muito abaixo da velocidade de luz (Baker, 2015). Dirac trabalhou com os efeitos relativ33sticos de contra33o espacial e dilata33o temporal para mostrar como afeavam as orbitas dos el33trons.

Tal equa33o serviu para prever as energias dos el33trons, por33m os resultados abriram possibilidades para energias tanto positivas quanto negativas, assim como o resultado de $x^2 = 4$ pode ser $x = 2$ ou $x = -2$. Uma energia positiva j33 era esperada, mas os valores de energia negativos surpreenderam o f33sico. A proposta de Dirac era que essas part33culas realmente existiam, sugerindo que possu33am a mesma massa que o el33tron, mas com carga diferente (Baker, 2015).

Somente em 1932, com os trabalhos do f33sico estadunidense Carl D. Anderson (1905-1991) veio a comprova33o experimental. Anderson detectou em uma c33mara de Wilson², a presen33a de um rastro de part33cula um tanto curioso, que possu33ia tra33os semelhantes ao do el33tron, mas realizava um movimento circular contr33rio. Assim, tentando provar a Robert Millikan que os raios c33smicos eram pr33tons e n33o raios gama, foi comprovado pela primeira vez de modo experimental a exist33ncia da antimat33ria, a antipart33cula do el33tron, nomeado de p33sitron (Saran, 2012).

Figura 6 - Fotografia feita por Carl Anderson, do tra33o do primeiro p33sitron registrado.



Fonte: <https://societificacombrdescobertadaantiparticuladoeletron/>

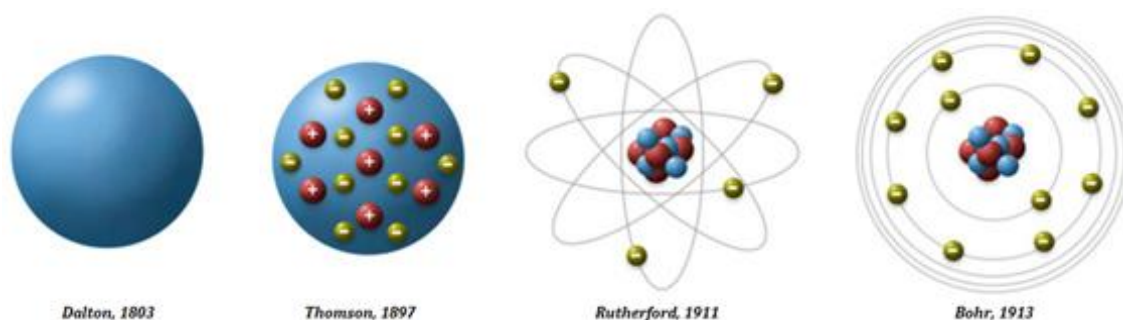
² A C33mara de Wilson 33 um dispositivo utilizado para visualizar part33culas subat33micas ionizantes, como as geradas por raios c33smicos. Seu funcionamento baseia-se na condensaa33o de vapor supersaturado ao longo das trajet33rias das part33culas carregadas, permitindo a observa33o direta de seus rastros. Para mais informa33es sobre sua constru33o e aplica33o no ensino de f33sica, consultar Cabral et al. (2022).

3.2 O SURGIMENTO DA FÍSICA DE PARTÍCULAS

O Ano de 1932 ficou marcado por duas descobertas sobre a constitui33o da mat33ria, a do p33sitr33n por Carl D. Anderson e a do n33utron por James Chadwick. Este foi o in33cio de uma s33rie de descobertas de novas part33culas que mudariam nossa concep33o sobre a composi33o do 33tomo e da quantidade de part33culas elementares existentes em nosso universo. O surgimento da F33sica de Part33culas mostra o avan33o do nosso entendimento sobre a constitui33o da mat33ria e evidencia a import33ncia da rela33o entre teoria e experimenta33o. O que justificou alguns dos investimentos, de tempo e dinheiro, para se entender a composi33o dos constituintes da mat33ria.

A ideia de 33tomo difundida pelos gregos, como Dem33crito e Leucipo, era de que se divid33ssemos a mat33ria chegaria um momento que sobraria apenas um constituinte, o 33tomo. Essa descri33o justifica sua denomina33o (“*a*” significa n33o, e “*tomos*” significa divis33vel). As discuss33es sobre a composi33o da mat33ria s33 foram retomadas ap33s as publica33es dos trabalhos de Isaac Newton (1643-1727), com a teoria da mat33ria formada por corp33sculos e do qu33mico John Dalton (1766-1844), postulando por volta de 1802 que tudo seria composto por 33tomos, no qual eles se diferenciariam apenas por tamanho e propriedades (Anjos e Natale, 2005).

Apenas no ano de 1897, com a investiga33o do f33sico Joseph J. Thomson sobre as propriedades el33tricas em um tubo de raios cat33dicos, foi poss33vel a primeira comprova33o experimental de uma part33cula subat33mica, com uma massa quase desprez33vel e de carga negativa, chamada de el33tron. Tal descoberta levou Thomson a elaborar um modelo para descri33o do 33tomo, a partir desse momento, fragmentado em el33tr33ns encrustados em uma “massa” de carga positiva igualmente distribu33da pela esfera, modelo que ficou conhecido como o “pudim de passas” (Anjos e Natale, 2005). Em 1911, Ernest Rutherford e seus dois alunos Ernest Marsden e Hans Geiger, foram respons33veis por contrapor o modelo de Thomson com algumas modifica33es na teoria a base da observa33o experimental a partir dos experimentos de bombardeamento de part33culas alfa em uma folha de ouro. A an33lise dos resultados desse experimento levou a conclus33es como a exist33ncia de um n33cleo muito massivo e pequeno e por conta dos desvios causados pelas part33culas alfa, t33mb33m teria de ser um n33cleo positivo, que levaria a descoberta do pr33ton (Peduzzi, 2008).

Figura 7 - Representa33o dos modelos at33micos.

Fonte: Ci3ncia em A33o - <https://cienciaemacao.com.br/modelos-atomicos/>

Ainda no in3cio do s3culo XX, Bohr prop3e que os el3trons em um 3tomo n3o poderiam ocupar qualquer n3vel de energia, mas sim apenas certos estados bem definidos. Essa proposta explicava por que os el3trons n3o colapsavam em dire33o ao n3cleo, uma limita33o n3o resolvida pelos modelos anteriores. Segundo Bohr, os el3trons n3o irradiam energia continuamente enquanto permanecem em seus n3veis permitidos, a emiss3o ou absor33o de energia s3o ocorre quando h3 transi33o entre esses estados, os chamados "saltos qu3nticos", preservando assim a estabilidade do 3tomo (Ostermann, 1999). Essa ideia foi fundamental para o desenvolvimento da F3sica Qu3ntica, ao introduzir restri33es energ3ticas discretas no comportamento das part3culas subat3micas.

A busca por respostas em rela33o a instabilidade do n3cleo se intensificou, logo os cientistas perceberam que usar a F3sica Cl3ssica como base para responder esses questionamentos n3o seriam o suficiente. A partir desses problemas surge o estranho mundo da mec4nica qu3ntica, a fim de explicar o mundo microsc3pico que parecia se comportar de maneira diferente do comum (Ostermann, 1999).

At3 aquele momento, conheciam-se apenas duas for3as da natureza, a gravitacional e a eletromagn3tica. No entanto, essas duas intera33es n3o eram suficientes para explicar de maneira satisfat3ria a estabilidade do 3tomo. Portanto, era necess3rio a exist3ncia de uma nova for3a, com um raio de a33o pr3ximo ao tamanho do n3cleo e por isso seria t3o dif3cil ser detect3-la. Junto a ideia de uma nova for3a, em 1935, Hideki Yukawa (1907-1981) prop3s a exist3ncia de uma part3cula respons3vel por essa media33o (Souza *et al.*, 2019). Anos mais tarde descoberta pelo grupo de Cecil Powel (1903-1969), junto a Giuseppe Occhialini (1907-1993) e Cesar Lattes (1924-2005), descobrimento que ser3 posteriormente detalhado nesse trabalho pela sua import4ncia no desenvolvimento da f3sica no Brasil (Anjos e Shellard, 2005).

A partir de 1930 v3arias part3culas elementares começaram a ser observadas, com a maioria delas a partir da detecç3o em chapas fotogr3ficas com o processo de emuls3es nucleares (Videira e Francisquini, 2018).

A necessidade da criaç3o de uma nova classificaç3o de part3culas se tornou ainda mais forte a partir das comprovaç3es experimentais da exist3ncia do m3son pi (p3ion), pelo fato de terem sido observadas tanto de modo artificial, em aceleradores de part3culas, quanto na natureza, a partir das emuls3es nucleares (Videira e Francisquini, 2018).

Atualmente, diversas instituiç3es foram criadas e se tornaram respons3veis pela detecç3o dos RC e estudo das part3culas que o comp3em. Uma dessas Instituiç3es 3 o Observat3rio Pierre Auger, localizado no oeste da Argentina, na regi3o conhecida como Pampa Amarilla. O observat3rio 3 atualmente o maior complexo do mundo dedicado 3 detecç3o de RC. Sua infraestrutura cobre uma 3rea de aproximadamente 3.000 km² e conta com 1.660 detectores de superf3cie distribu3dos em intervalos de 1,5 km, al3m de 27 telesc3pios de fluoresc3ncia de alta sensibilidade, utilizados para captar a t3nue luz ultravioleta gerada pelas chuvas de part3culas provocadas pelos raios c3smicos (Arantes, 2024).

O Observat3rio Pierre Auger 3 fruto de uma ampla colaboraç3o internacional, reunindo esforç3s de cerca de 400 cientistas vinculados a aproximadamente 90 instituiç3es de pesquisa distribu3das por 18 pa3ses (Arantes, 2024). O Brasil passou a integrar oficialmente o projeto em 1995, ano em que foi formalizado o cons3rcio internacional. Atualmente, fazem parte do observat3rio 17 pa3ses e 70 instituiç3es, sendo oito delas brasileiras. Estima-se que cerca de 350 pesquisadores estejam envolvidos com o projeto, entre eles aproximadamente vinte pesquisadores do Brasil (Anjos e Shellard, 2005).

Figura 8 - Observat3rio Pierre Auger



Fonte: <https://visitantes.auger.org.ar/index.php/por-que-el-sur-de-mendoza/>

3.2.1 O Modelo Padr3o de Part3culas

A quantidade de part3culas descobertas ao longo do s3culo XX fez com que os f3sicos da 3poca come3assem a pensar em maneiras de classificar todas essas novas informa33es de uma maneira acess3vel. Atualmente, temos ao todo 61 part3culas ditas como elementares, aquelas que possuem apenas um 3nico constituinte (Abdalla, 2005). A teoria que engloba a classifica33o dessas part3culas se tornou uma das mais s3lidas teorias j3 constr3idas na F3sica e permanece v3lida at3 hoje, o Modelo Padr3o de Part3culas, segundo Moreira (2009). Abaixo ser3o descritas as classifica33es que comp3e o MP.

Primeiramente o MP pode ser dividido em dois grandes grupos:

- **F3rmions:** possuem spin fracion3rio ($1/2$; $3/2$, etc) e obedecem ao Princ3pio de Exclus3o de Pauli.
- **B3sons:** possuem spin inteiro (0, 1, 2, etc) e n3o obedecem ao Princ3pio de Exclus3o de Pauli.

Essas duas classifica33es fazem com que surjam outras ramifica33es para ambas, primeiro descreveremos a partir dos F3rmions.

Os F3rmions possuem duas classes fundamentais:

- **L3ptons:** n3o possuem carga de cor.
- **Quarks:** possuem carga de cor.

A cor se trata de uma propriedade dessas part3culas e n3o de uma cor propriamente dita. Portanto, assim como a carga el3trica, que 3 tamb3m uma propriedade de certas part3culas, pode ser positiva ou negativa, a propriedade cor, que poderia ser chamada de carga cor, e apresenta tr3s variedades que foram chamadas de vermelho, verde e azul (Moreira, 2009). O estudo dessa propriedade da mat3ria deu origem a 3rea da Cromodin3mica Qu3ntica³ ou QCD (*Quantum Chromodynamics*).

Tanto os L3ptons quanto os Quarks podem ser classificados em seis tipos de “sabores”:

- **L3ptons:** El3tron, m3on, T3u e seus respectivos neutrinos: neutrino do el3tron, neutrino do m3on e neutrino do T3u.
- **Quarks:** up, down, charm, strange, top e bottom.

³ Para mais informa33es leia o artigo de Moreira (2009, p. 7).

Portanto, os férmions são constituídos por 44 partículas, sendo 6 sabores de quarks, mas cada quark possui sua antipartícula correspondente e ainda cada uma com três cargas de cores possíveis, totalizando 36 quarks (6 sabores de quarks X 2 para cada antipartícula X 3 cargas de cor = 36). Os léptons com 6 sabores, mais suas respectivas antipartículas, totalizam mais 12 férmions para o modelo padrão (Abdalla, 2005).

Agora descreveremos as ramificações da classe dos **Bósons** (partículas que possuem o spin inteiro e estão intimamente ligadas a mediação das quatro interações fundamentais).

As quatro interações fundamentais são: gravitacional, eletromagnética, força forte e força fraca, sendo que cada uma delas ocorre via interação de partículas que são chamadas de partículas mediadoras ou bósons mediadores. Cada uma interage com sua propriedade fundamental, por exemplo, a partícula responsável pela mediação da força eletromagnética é o fóton, e como dito por Young e Freedman (2016):

“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.” (Young e Freedman, 2016, p. 459).

Segundo Moreira (2004), os Bósons podem ser classificados como:

- **Glúons:** Os bósons mediadores das interações fortes são glúons, que possuem carga de cor, interação de curto alcance e que ocorre via interações entre cargas de cor.
- **Partículas Z e W:** As partículas mediadoras da força fraca, são W^+ , W^- , Z; estes são muito massivos, o que implica em um raio de ação limitado, interação de curto alcance e em geral associada aos decaimentos do tipo beta.
- **Fótons:** O fóton é a interação eletromagnética, pode ser atrativa ou repulsiva, por conta de sua massa nula ela é uma interação de longo alcance.
- **Bóson de Higgs:** O bóson de Higgs representa a explicação para a origem da massa das outras partículas elementares, por meio da interação com o campo de Higgs, que permeia todo o universo.
- **Gráviton⁴:** Partícula responsável pela interação da força gravitacional.

⁴ Partícula ainda não detectada experimentalmente.

Uma outra classifica7ao para um determinado grupo inserido no MP são os **Hádrons**. Por conta de os **Quarks** nunca terem sido observados livres de outros **Quarks** e, portanto, sempre confinados (Moreira, 2004), tal confinamento pode ser encontrado de duas maneiras:

- **Bárions**: formados por três quarks e respeitam o Princípio de Exclusão de Pauli. Exemplo: Pr3ot3ons e Nêutrons.
- **Mésons**: formados por um par quark-antiquark e não respeitam o Princípio de Exclusão de Pauli. Exemplo: p3ions e káons.

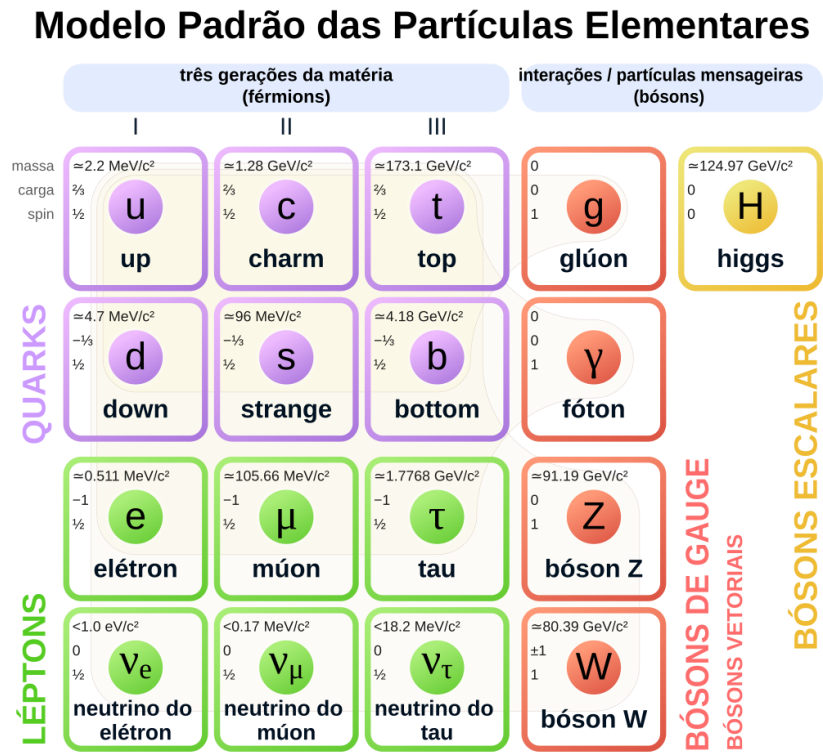
O quadro a seguir, elaborado por Abdalla (2005), apresenta as partículas que comp3oem o MP, seguindo a classifica7ao apresentada neste capítulo. Vale destacar que o b3oson de Higgs, cuja existência foi confirmada experimentalmente apenas em 2012, não está incluído na representa7ao abaixo.

	Partículas	Antipartículas	Total
L3eptons	$e^-, \nu_e, \mu, \nu_\mu, \tau, \nu_\tau$ (6)	$e^+, \bar{\nu}_e, \bar{\mu}, \bar{\nu}_\mu, \bar{\tau}, \bar{\nu}_\tau$ (6)	12
Quarks	u, d, s, c, b, t (cada quark pode ter 3 cores) (6x3 = 18)	$\bar{u}, \bar{d}, \bar{s}, \bar{c}, \bar{b}, \bar{t}$ (18)	36
Mediadoras	$\gamma, W^+, W^-, Z^0, g_1, g_2, g_3, g_4, g_5, g_6, g_7, g_8$ (12)	As antipartículas são as mesmas que as partículas	12
Total			60

Fonte: Abdalla, 2005, p. 44

Atualmente a figura abaixo mostra o MP de um modo simplificado para demonstrar as partículas elementares existentes, mas acaba sendo uma das representa7oes mais conhecidas nas aulas de FP.

Figura 9 - Representa7o esquemática do Modelo Padrão da Física de Partículas.



Fonte: IFSC/USP - <https://www2.ifsc.usp.br/portal-ifsc/parametro-universal-obtido-por-pesquisador-do-ifsc-usp-foi-incluido-no-principal-compendio-da-fisica-de-particulas/> (Crédito: Wikimedia Commons).

3.3 A INFLU4NCIA DA CI4NCIA BRASILEIRA NO ESTUDO DOS RAIOS C3SMICOS

Os Raios C3smicos abriram um novo campo de estudos. Na d4cada de 1930 a FP começava a ganhar forma com novas part3culas sendo previstas e posteriormente comprovadas. Uma das descobertas fundamentais para uma nova forma de se investigar sobre a natureza dessas part3culas partiu dos estudos desenvolvidos pelo franc4s Pierre Auger. Em 1938, ele foi respons3vel por levar detectores a regi3es de maiores altitudes dos Alpes na França e notar que eles recebiam os sinais simultaneamente. A partir desses resultados, Auger descobriu que o impacto inicial de um raio c3smico contra um n3cleo atmosf4rico gera uma cascata de part3culas secund3rias por toda a atmosfera, batizando o fen3meno de “chuveiros a4reos extensos”. Atualmente, um dos maiores laborat3rios respons3veis por investigar os Raios C3smicos foi nomeado em homenagem ao f3sico franc4s (Anjos e Shellard, 2005).

A partir desses desenvolvimentos, as pesquisas em RC serviram como base para o surgimento de 3reas como a Eletrodin3mica Qu3ntica e a Teoria da Cascata Magn4tica (Letessier-Selvon e Stanev, 2011). Mas principalmente para as descobertas de novas part3culas subat3micas, como a part3cula prevista por Hideki Yukawa em 1935, que seria respons3vel por manter o n3cleo at3mico unido, sendo mediado pela força forte, comprovada experimentalmente por um grupo de pesquisadores da Universidade de Bristol, que inclu3a o f3sico brasileiro Cesar Lattes (Anjos e Shellard, 2005). Dada a relev3ncia de suas contribuiç3es para o desenvolvimento da pesquisa em F3sica no Brasil, esta seç3o dedicar3 uma atenç3o especial 3 trajet3ria e 3s realizaç3es cient3ficas de C3sar Lattes.

C3sare Mansueto Giulio Lattes, nasceu no dia 11 de julho de 1924, na cidade de Curitiba, capital do Estado do Paran3, filho de imigrantes italianos. Seu primeiro contato com o ambiente acad4mico foi quando ingressou no prim3rio pelo Instituto Menegati, na cidade de Porto Alegre, no ano de 1929, mas um ano depois, se mudou para Torino, na It3lia, continuando seus estudos em uma escola p3blica local. Retornou ao Brasil e concluiu o curso prim3rio em uma escola americana em Curitiba, em 1933. Aos 12 anos, ingressou no Instituto M4dio Dante Alighieri, para cursar a etapa do Gin3sio, semelhante ao Ensino M4dio atual, vindo a concluir em 1938. Ao finalizar o Gin3sio, Lattes j3 tinha em mente a intenç3o de cursar F3sica, contudo, outros fatores reforçaram as pretens3es dele para seguir a carreira na 3rea das ci4ncias (Bassalo, 1990).

Giuseppe Lattes, pai de C3esar Lattes, conheceu Gleb Wataghin, F3sico ucraniano reconhecido no Brasil e no mundo, e falou sobre seu filho. Wataghin, al3em de conversar com Lattes, ainda explicou a ele que n3ao era necess3ario finalizar o curso do Gin3asio para ingressar a faculdade de F3sica. Outros fatores citados por Lattes que o incentivaram a seguir essa carreira foram sua facilidade com a mat3eria, justificando que n3ao seria necess3ario para ele se esfor3ar muito nos estudos, al3em dos benef3icios da prof3iss3o como professor, como as quantidades de f3er3ias que teria ao longo do ano. Em 1943, aos 19 anos, foi graduado Bacharel em F3sica pela Faculdade de Filosofia, Ci3encias e Letras da Universidade de S3o Paulo, a USP (Bassalo, 1990).

Figura 10 - Cesar Lattes com cerca de cinco anos de idade.



Fonte: Vieira (2019, P. 67).

Na Faculdade, por conta das aulas ministradas por Giuseppe Occhialini⁵ (1907-1993) no terceiro ano do curso, em uma mat3eria sobre raio X, Lattes se interessou e aprendeu analisar e fazer leituras de filmes de raios X, revelando filmes expostos a radia33o e medindo propriedades f3sicas (Vieira, 2019). Com essa proximidade criada entre os dois durante as aulas, Occhialini ao partir para fora do Brasil deixa como “presente” para Lattes uma c3amara de Wilson, junto com o desafio de consert3-la. A partir desse contato com a c3amara, Lattes e mais dois amigos iniciam os estudos sobre Raios C3smicos e suas detec33es na c3amara (Vieira e Vieira, 2016).

Em 1945, Lattes recebe outro presente de Occhialini, as emuls3es nucleares, denominadas tamb3em como chapas fotogr3ficas, respons3aveis por registrar trajet3rias de

⁵ Para mais informa33es veja “Cesar Lattes: Arrastado pela hist3ria” (Vieira, 2019, p. 14).

part3culas com a ajuda de um microsc3pio. A vantagem em rela33o a c3mera de Wilson 3 que nas emuls3es a nitidez e as precis3es dos tra3os eram ainda melhores (Vieira e Vieira, 2016).

Lattes, por se aprofundar na an3lise das emuls3es nucleares, solicita a Occhialini que tente uma vaga para ele trabalhar junto ao grupo liderado por Cecil Powel (1903-1969), no laborat3rio da Universidade de Bristol (Vieira, 2019).

Em 1946, ao chegar em seu novo local de pesquisa, mostrado na figura 12, o primeiro objetivo de Lattes foi aprimorar as propriedades de detec33o nas emuls3es nucleares, tendo uma 3tima ideia ao sugerir para a empresa que era respons3vel pela produ33o das chapas fotogr3ficas inserir o elemento qu3mico boro em sua fabrica33o, facilitando a observa33o indireta dos n3utrons criado pelo choque dos raios c3smicos com a atmosfera. Occhialini levou consigo algumas das chapas de emuls3es nucleares, com e sem boro, aos Pirineus franceses em um passeio de f3rias, que ao retornar a Bristol, a equipe de f3sicos e microscopistas conseguiram detectar a exist3ncia de uma part3cula de massa intermedi3ria entre o el3tron e o pr3ton, chamada de m3son (Vieira e Vieira, 2016).

A partir dessa detec33o come3ou o questionamento, “seria essa nova part3cula a proposta por Yukawa?”

Figura 11 - Edif3cio que abriga o laborat3rio H.H. Wills na Universidade de Bristol em que Lattes trabalhou.



Fonte: VIEIRA (2019, p. 16).

Ap3s an3lises mais minuciosas sobre as emuls3es nucleares com o boro, foi identificado que aquela part3cula era a mesma que foi proposta em 1935. Foram identificados, ainda, dois

eventos que mostravam um poss3vel decaimento em uma outra part3cula, o m3son μ , chamado na 3poca de m3sotron (Vieira e Vieira, 2016).

Com o objetivo de expor as chapas fotogr3ficas e obter resultados mais confi3veis, Lattes localizou o monte Chacaltaya, na Bol3via, a 5,2 mil metros de altitude. A fim de evitar eventos que poderiam interferir na detec33o, escolheu um local com press3o atmosf3rica pr3xima 3 metade da encontrada ao n3vel do mar. Al3m disso, devido 3 altitude elevada, havia maiores chances de capturar part3culas que colidiram com a atmosfera (Vieira, 2019).

Figura 12 - Carro de boi transportando uma c3mara de nuvens at3 o monte Chacaltaya.



Fonte: Vieira (2019, p. 51).

Ao retornar a Bristol e analisar os resultados das chapas, encontrou mais de 30 eventos que comprovaram o decaimento do m3son π (π on) em m3son μ (Vieira e Vieira, 2016).

Ap3s a repercuss3o da descoberta feita pelo grupo de Bristol, principalmente no cen3rio europeu, Lattes decide “tentar a sorte” e encontrar os m3sons entre as part3culas secund3rias produzidas pelo acelerador na Universidade de Berkeley (EUA), que possu3a um dos mais potentes aceleradores da 3poca (Vieira e Vieira, 2016).

Esse novo desafio foi relativamente mais f3cil que a detec33o natural dos m3sons em Chacaltaya, junto a seu colega de laborat3rio, Eugene Gardner (1913-1950). No in3cio de 1948 eles j3 tinham dados suficientes para anunciar que foram detectados m3sons de maneira artificial em aceleradores de part3culas. Feito que tornou Lattes ainda mais reconhecido no cen3rio cient3fico mundial. Seus feitos contribuíram para cria33es de campanhas no Brasil em prol de melhorias para condi33es de trabalho para cientistas e professores, al3m da cria33o de um centro de pesquisas em F3sica. Essas campanhas resultaram na cria33o do CBPF, o Centro Brasileiro de Pesquisas em F3sica, em janeiro de 1949, liderado por Jos3 Leite Lopes (1918-2006). Al3m de uma mudan3a no olhar sobre a import3ncia da ci3ncia e no investimento a ela para o desenvolvimento do pa3s, no contexto de poder pol3tico e econ3mico.

Figura 13 - Lattes voltando ao Brasil ao final de 1948, j3 reconhecido mundialmente.



Fonte: VIEIRA (2019, p. 30).

A USP deu a ele o t3tulo de *Doutor Honoris Causa*, se tornando Prof. Dr. Lattes e assim comeou a atuar como professor na universidade (Vieira e Vieira, 2016).

Mesmo ap3s suas publica33es sobre os trabalhos realizados em Bristol e Berkeley, Lattes n3o foi agraciado com o pr3mio Nobel, mas sim Cecil Powel, ent3o diretor do laborat3rio em Bristol. Ainda hoje h3 d3vidas do porqu3 Lattes n3o recebeu o pr3mio, Marasciulo (2020) menciona que 3 pol3tica interna do pr3mio at3 o ano de 1960 premiava apenas o chefe da equipe que liderava uma descoberta, por3m a argumentos como o de Rezende *et. Al* (2019) de que o fato de Lattes ser brasileiro influenciou na decis3o de n3o ser um vencedor do pr3mio.

Pesquisas recentes mostram que Lattes foi indicado sete vezes para o pr3mio Nobel de F3sica, por seus trabalhos na detec33o nas emuls3es nucleares no laborat3rio de Bristol e pela detec33o artificial no acelerador de part3culas na Universidade de Berkeley, sendo at3 hoje o maior n3mero de indica33es a um f3sico brasileiro.

Figura 14 - Lattes e Leite Lopes no edifcio do CBPF, no Rio de Janeiro.

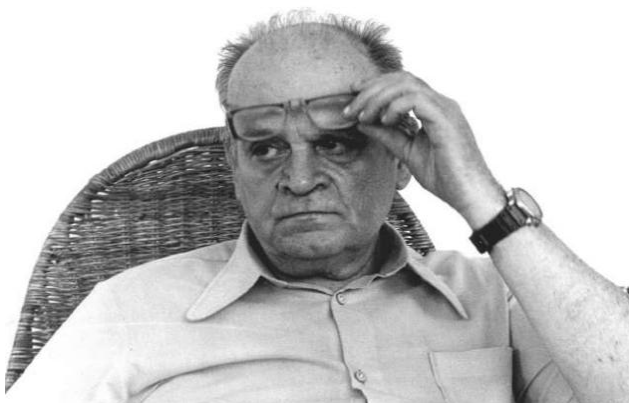


Fonte: VIEIRA (2019, p. 47).

Lattes foi diretor cient3fico do CBPF, liderou o projeto de constru3o do Laborat3rio de F3sica C3smica de Chacaltaya, um dos maiores projetos cient3ficos da 3poca, liderou a colabora3o entre Brasil e Jap3o, o CBJ, que ampliaria a estrutura do laborat3rio de Chacaltaya e seria respons3vel por dar continuidade nos estudos sobre Raios C3smicos e de fen3menos relacionados 3 produ3o m3ltipla de p3ions. Lattes tamb3m foi um dos respons3veis pela cria3o do Conselho Nacional de Pesquisa, o CNPq (Vieira e Vieira, 2016).

Ap3s acabar se envolvendo com um esc3ndalo ao denunciar um desvio de verbas do CBPF, que seriam destinadas 3 constru3o de um acelerador de part3culas, Lattes acabou sendo duramente criticado por trazer o ocorrido aos notici3rios. Toda essa repercuss3o fez com que ele decidisse se afastar do Brasil, ficando em tratamento m3dico por dois anos nos EUA por conta de seu transtorno mental que o fazia oscilar em estado de humor de euforia e depress3o (Vieira e Vieira, 2016).

Figura 15 - Cesar Lattes.



Fonte: VIEIRA (2019, p. 63).

Em 1957, Lattes decide retornar ao Brasil e continuar sua luta para o fortalecimento da educa33o cientifica no pa3s.

A trajet3ria de C3sar Lattes, assim como a de muitos outros cientistas, evidencia que a carreira cientifica est3 longe de ser linear ou isenta de dificuldades. Esses indiv3duos n3o devem ser vistos como figuras excepcionais dotadas de um conhecimento privilegiado, mas sim como pessoas comuns que enfrentam desafios diversos, tanto no 3mbito cientifico quanto pessoal. Ressaltar esse aspecto em sala de aula 3 fundamental para desconstruir a imagem idealizada do cientista, frequentemente associada a uma figura distante da realidade dos estudantes. Ao compreender que a ci3ncia 3 constru3da por pessoas, com trajet3rias complexas, os alunos podem se reconhecer nesse processo e perceber a possibilidade de tamb3m atuarem nesse cen3rio cientifico.

3.4 OS RAIOS C3SMICOS SOLARES E AS TEMPESTADES SOLARES

Os RC s3o part3culas subat3micas altamente energ3ticas provenientes do espa3o. Essas part3culas, compostas majoritariamente por pr3tons e n3cleos at3micos, apresentam um amplo espectro de energia. Devido a intera33o com campos magn3ticos interestelares, a identifica33o direta de sua origem 3 extremamente complexa. No entanto, m3todos indiretos apontam que part3culas com energias entre 10^9 eV e 10^{15} eV t3m origem gal3ctica (dentro da nossa gal3xia), enquanto aquelas com energias superiores a 10^{19} eV s3o atribu3das a fontes extragal3cticas (de outras gal3xias), segundo Oliveira, Rockenbach e Pacini (2014).

O quadro abaixo mostra o espectro de energia de acordo com a origem dos RC.

Tabela 1 - Faixas de energia dos raios c3smicos e sua poss3vel origem

Faixa de Energia	Poss3vel Origem
At3 10^9 eV	Raios C3smicos Solares (SCR)
10^9 a 10^{15} eV	Origem Gal3ctica
10^{15} a 10^{19} eV	Remanescentes de Supernovas
Acima de 10^{20} eV	Origem Desconhecida (Possivelmente extragal3ctica)

Fonte: Adaptada de Oliveira, Rockenbach e Pacini (2014).

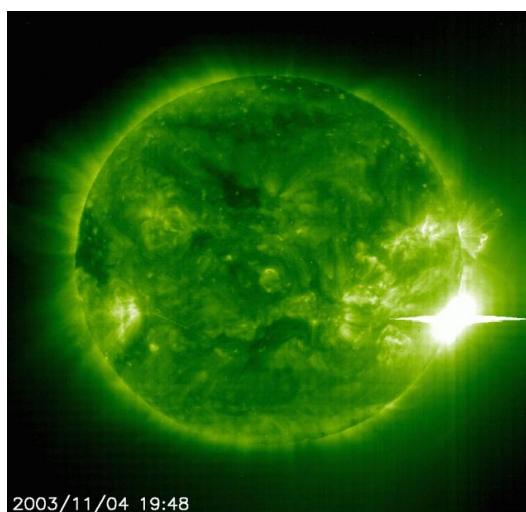
Dentro desse espectro, os Raios C3smicos com energias at3 10⁹ eV podem ser explicados por fen3menos associados 3 atividade solar, sendo assim denominados Raios C3smicos Solares (SCRs, sigla em ingl3s) e chegam 3 Terra com uma quantidade de energia relativamente baixa, mas em grande quantidade por conta da proximidade com nossa estrela (Saran, 2012, p. 44). Esse fen3meno est3 intimamente relacionado com as manchas e erupç3es solares (flares), que possuem variaç3es em suas ocorr3ncias e intensidades ao longo do tempo.

Erupç3es solares (flares) –

S3o explos3es que ocorrem na superf3cie do Sol, liberando enormes quantidades de energia, luz e part3culas de alta velocidade para o espao. Esses eventos est3o frequentemente associados a tempestades magn3ticas solares conhecidas como Ejeç3es de Massa Coronal (EMC), que podem afetar o ambiente espacial ao redor da Terra (NASA, 2025).

A intensidade das erupç3es solares 3 classificada em um sistema que utiliza letras: A, B, C, M e X. As erupç3es de classe A representam eventos menos energ3ticos, enquanto as de classe X s3o as mais intensas. Semelhante 3 escala Richter, usada para medir terremotos, cada classe representa um aumento de dez vezes na liberaç3o de energia. As erupç3es de classe X s3o consideradas as maiores explos3es do sistema solar. Durante esses eventos, loops magn3ticos imensos, com dimens3es de dezenas de vezes maiores que a Terra, podem se projetar da superf3cie solar, resultado da reconex3o de campos magn3ticos solares (NASA, 2025).

Figura 16 - Explos3o solar de classe X-40 capturada em 04 de novembro de 2003 pelo observat3rio SOHO⁶.



Fonte: NASA

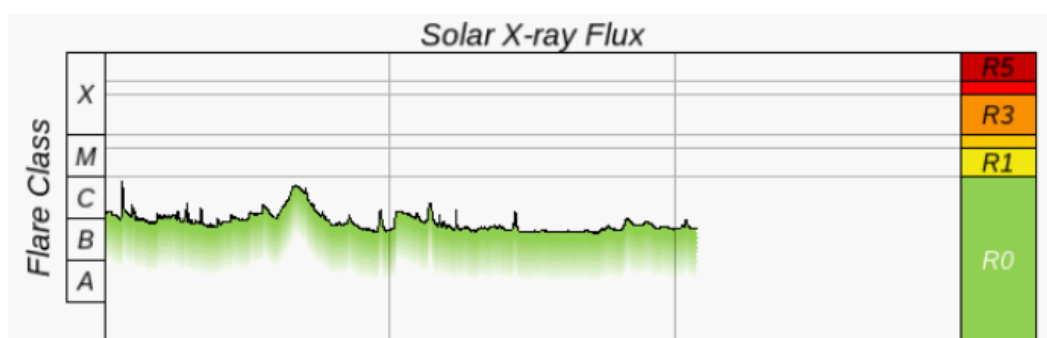
⁶ SOHO: Sat3lite de observaç3o solar com a maior longevidade at3 hoje. In3meras extens3es de miss3o permitiram 3 sonda espacial observar dois ciclos solares de 11 anos e descobrir milhares de cometas. Para mais informaç3es acessar: <https://science.nasa.gov/mission/soho/>.

Atualmente, diversas institui33es cient3ficas e ag4ncias governamentais mant4m monitoramento constante da atividade solar e suas poss3veis consequ4ncias. Entre essas institui33es, destacam-se a NASA, a NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) e a Ag4ncia Meteorol3gica da For3a A4rea dos Estados Unidos, que atuam em coopera33o no acompanhamento em tempo real do comportamento do Sol.

Esse trabalho de vigil4ncia 4 fundamental para a emiss3o de alertas antecipados, permitindo que medidas preventivas sejam adotadas a fim de minimizar os impactos sobre sistemas tecnol3gicos sens3veis, como sat4lites de comunica33o, redes el4tricas e naves espaciais.

O site da NOAA disponibiliza um *dashboard* interativo, no qual 4 poss3vel acompanhar, em tempo real, a intensidade das erup33es solares dos 3ltimos quatro dias. Esse painel, acess3vel pelo link <https://www.swpc.noaa.gov/communities/space-weather-enthusiasts-dashboard>, apresenta gr4ficos como o de Solar X-ray Flux (fluxo de raio X solar), que classificam as erup33es de acordo com sua intensidade.

Figura 17 - Gr4fico em tempo real da intensidade das erup33es solares e potencial de impacto, capturado em 18/11/2025.



Fonte: Space Weather Prediction Center/NOAA.

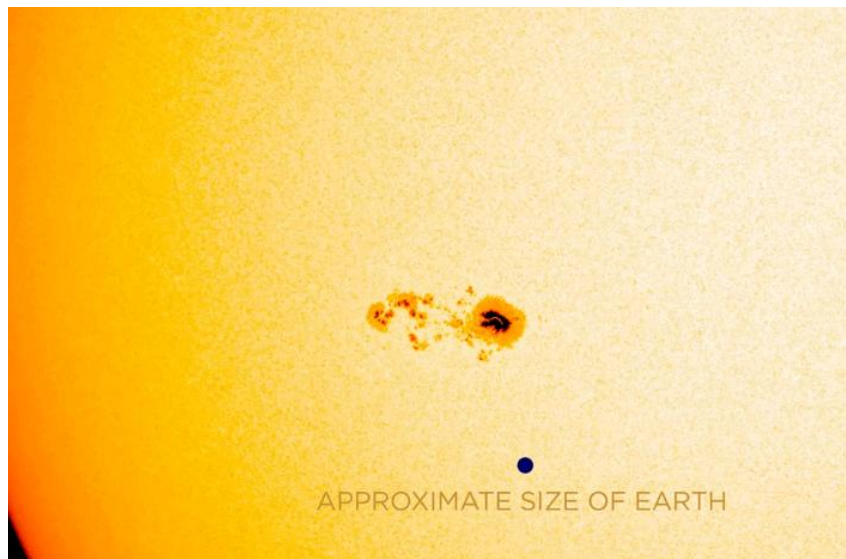
Manchas Solares (Sunspots) –

As manchas solares s3o regi3es visivelmente mais escuras da fotosfera do Sol, caracterizadas por temperaturas mais baixas em rela33o 3s 3reas ao redor. Essas manchas surgem devido 3 concentra33o intensa de linhas de campo magn4tico, que bloqueiam temporariamente o fluxo convectivo⁷ de energia na superf3cie solar. Por serem indicadores importantes da atividade magn4tica solar, as manchas solares s3o amplamente utilizadas pelos

⁷ Fluxo Convectivo: Processo de transfer4ncia de calor ou massa que ocorre devido ao movimento de fluidos (l3quidos ou gases). Esse movimento, por sua vez, 4 causado por diferen3as de temperatura ou densidade no fluido.

cientistas como uma ferramenta de monitoramento do Ciclo Solar, ajudando a compreender e prever períodos de maior ou menor atividade solar (NASA, s.d).

Figura 18 - Mancha solar capturada em 2011 comparada ao tamanho da Terra.

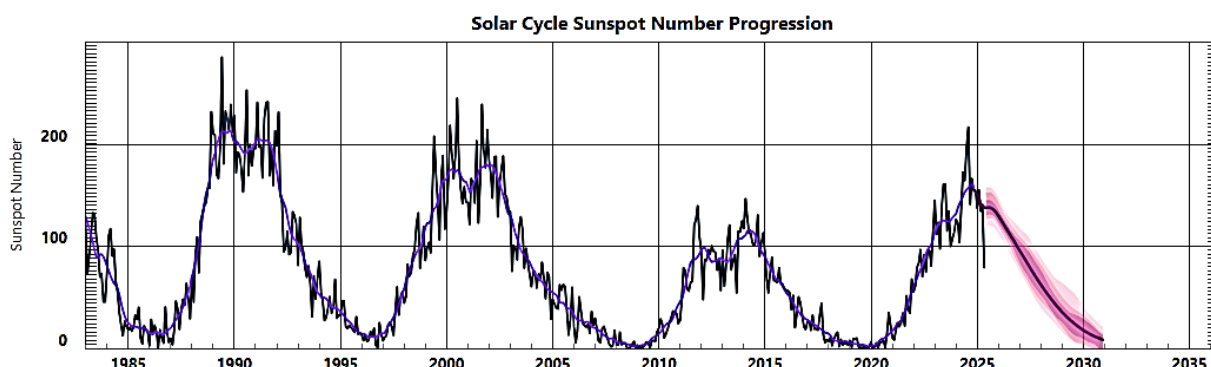


Fonte: NASA

Para entendermos por que as manchas solares são causadas pelo campo magnético do Sol, é importante conhecer algumas características de nossa estrela. O Sol é constituído predominantemente por plasma⁸, um estado da matéria formado por gás eletricamente neutro. Esse plasma em constante movimento influencia diretamente as linhas do campo magnético solar, provocando torções, rotações e emaranhamentos que alteram a estrutura magnética da superfície solar. Quando essas linhas magnéticas se tornam intensamente entrelaçadas, elas dificultam a transferência de calor das camadas internas para a superfície, originando regiões temporariamente mais frias conhecidas como manchas solares. Essas áreas podem atingir temperaturas próximas a 3.700 °C, contrastando com os aproximadamente 4.000 °C da fotosfera ao seu redor, o que as torna visivelmente mais escuras no disco solar (NASA, s.d).

Um outro dado importante divulgado pelo site da Space Weather Prediction Center/NOAA, é o monitoramento do números de manchas solares, evidenciando a relação do número de manchas com o ciclo solar.

⁸ Plasma: Conhecido como quarto estado da matéria, quando os plasmas se formam, as ligações moleculares se rompem e os elétrons se separam dos átomos dos quais eles faziam parte. O plasma é composto de íons e elétrons, ambos eletricamente carregados, por tanto, como um tudo, são considerados eletricamente neutro.

Figura 19 - Evolu3o do n3mero de manchas solares ao longo de v3rios Ciclos Solares.

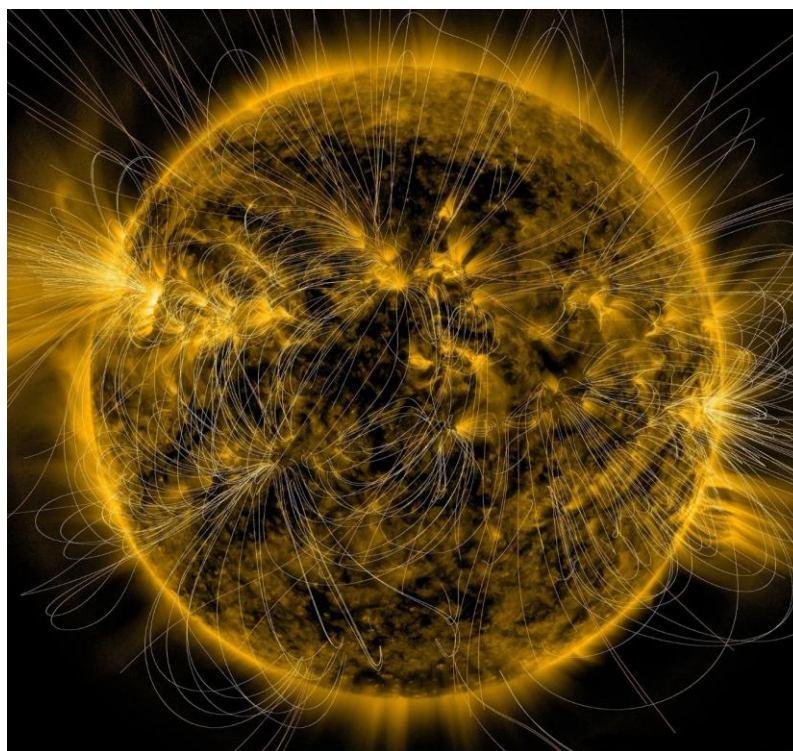
Fonte: Space Weather Prediction Center/NOAA.

Tempestades Solares –

Como mencionado anteriormente, as varia33es de manchas solares e erup33es solares est3o associadas ao chamado Ciclo Solar, um per3odo de aproximadamente 11 anos que se inicia e termina com um m3nimo solar — fase em que o Sol apresenta baixa atividade, com poucas manchas solares e eventos energ3ticos (Saran, 2012). Entre dois m3nimos solares ocorre o m3ximo solar, caracterizado por uma intensa atividade do campo magn3tico, incluindo um aumento significativo no n3mero de manchas solares e na ocorr3ncia de erup33es solares (Dobrijevic, 2024).

Uma outra consequ3ncia de um m3ximo solar 3 o aumento das tempestades solares. As tempestades solares s3o explos3es s3bitas e intensas de part3culas, energia, campos magn3ticos e mat3ria lan3adas pelo Sol em dire33o ao sistema solar. Essas tempestades t3m origem nos campos magn3ticos solares, que se entrela3am e se deformam devido 3 rota33o diferencial do Sol (seu equador gira mais rapidamente do que os polos). Com o tempo, esses campos magn3ticos se tornam t3o torcidos que se rompem e se reconectam em um processo conhecido como reconex3o magn3tica, liberando enormes quantidades de energia (NASA, s.d).

Figura 20 - Representa33o dos campos magn33ticos do Sol, sobreposta a uma imagem do Sol capturada em luz ultravioleta extrema.



Fonte: NASA/SDO/AIA/LMSAL (2016).

Quando direcionadas 33 Terra, as tempestades solares podem causar intensas perturba33es no campo magn33tico do planeta, fen33meno conhecido como tempestade geomagn33tica. Esse tipo de tempestade pode desencadear uma s33rie de efeitos, como:

- Interfer33ncias e apag33es em sistemas de comunica33o por r33dio.
- Falhas em redes de distribui33o de energia el33trica.
- Surgimento de auroras polares em latitudes mais baixas.

Apesar de seu potencial de impacto sobre infraestruturas tecnol33gicas, tais eventos n33o oferecem riscos diretos 33 sa33de humana, uma vez que o campo magn33tico terrestre, juntamente com a atmosfera, atua como uma barreira protetora, atenuando os efeitos mais severos da radia33o e das part33culas carregadas emitidas pelo Sol (NASA, s.d).

Auroras Polares –

Ao atingir a Terra, as part33culas emitidas pelo Sol, interagem com o campo magn33tico terrestre e com nossa atmosfera, seguindo as linhas de campo magn33tico at33 as camadas da ionosfera (acima de 80 km de altitude) e mesosfera (acima de 50 Km), camadas intermedi33rias da atmosfera, onde, em contato com os gases presentes nessa regi33o, emitem luz. Produzindo, assim, um dos mais belos efeitos da natureza, as auroras polares, denominadas de Auroras

Boreais quando ocorrem no hemisf3rio norte e Auroras Austrais quando ocorrem no hemisf3rio sul. Essas part3culas podem modificar o clima global, pois a ioniza33o dos gases catalisa a forma33o de nuvens na parte superior da atmosfera (Saran, 2012).

As auroras ocorrem quando part3culas energ3ticas oriundas do Sol, como pr3tons e el3trons, interagem com 3tomos e mol3culas da alta atmosfera terrestre, principalmente oxig3nio e nitrog3nio. Essas colis3es transferem energia para os 3tomos atmosf3ricos, que ao retornarem ao seu estado energ3tico original, liberam f3tons, produzindo os brilhos caracter3sticos das auroras. A forma, a cor e a intensidade desses eventos est3o relacionadas 3 altitude da intera33o e ao tipo de part3cula envolvida, sendo resultado direto da intera33o entre o vento solar e o campo magn3tico terrestre (NASA, s.d).

Figura 21 - Fotografia de uma aurora polar.



Fonte: NASA.

A colora33o das auroras varia conforme o tipo de g3s atmosf3rico atingido pelas part3culas solares e a altitude em que ocorrem essas intera33es.

Oxig3nio: Quando excitado por part3culas energ3ticas, pode emitir luz verde entre as altitudes de 100 e 200 km, ou vermelha, em altitudes superiores a 200 km.

Nitrog3nio: Dependendo da energia envolvida, pode produzir tons azulados ou rosados. Em altitudes entre 100 e 200 km, o nitrog3nio tende a emitir luz azul, enquanto abaixo dos 100 km pode originar um brilho que varia do rosa ao roxo-avermelhado.

Em alguns casos, a combina33o de emiss3es de diferentes gases pode resultar em auroras com colora33es roxas, rosadas ou at3 esbranqui3adas, evidenciando a complexidade e a beleza desse fen3meno atmosf3rico (NASA, s.d). A tabela abaixo mostra outras rela33es entre as cores, altitudes e composi33es das auroras.

Tabela 2 - Cores das Auroras e suas Altitudes.

Cor	Altitude	Composi33o
Vermelho	≥ 200 km	Oxig4nio
Verde	100–200 km	Oxig4nio
Azul	100–200 km	Nitrog4nio atmosf4rico
Rosa	≤ 100 km	Nitrog4nio atmosf4rico

Fonte: NASA/Aurorassauro

Eje33o de Massa Coronal (EMC) –

Em um m3ximo solar, n3o s3o apenas as manchas e erup33es solares que se intensificam, h3 tamb4m um aumento nas EMCs, que contribui para a emiss3o de radia33o e part4culas em dire33o a todo o sistema solar. Ao atingirem nossos sistemas de comunica33es, as ondas eletromagn4ticas podem causar interfer4ncias em sat4lites, bal3es atmosf4ricos, circuitos integrados etc. Em casos mais extremos, o fluxo magn4tico dessas part4culas pode provocar fortes ondas de descarga el4trica em cabos de transmiss3o de energia, causando curto-circuito e queima de equipamentos (Turtelli, 2003).

Segundo o Departamento de F4sica – ICEx, da Universidade Federal de Minas Gerais, as EMCs consistem na libera33o de grandes quantidades de mat4ria da coroa solar⁹. Esses eventos est3o associados a instabilidades magn4ticas em larga escala, nas quais pequenas quantidades de plasma solar s3o inicialmente contidas por campos magn4ticos intensos e entrela3ados. Quando esses campos se reorganizam, podem liberar bolhas de plasma que escapam da coroa solar. Embora frequentemente associadas a erup33es solares, as EMCs podem ocorrer de forma independente.

S3o considerados fen3menos espetaculares da atividade solar, capazes de lan3ar bilh3es de toneladas de plasma e campos magn4ticos embutidos ao espa3o, atingindo velocidades de at4 milh3es de quil3metros por hora. Ao se propagarem pelo meio interplanet3rio, essas eje33es geram ondas de choque que podem impactar significativamente o ambiente espacial e a Terra (UFMG, s.d).

Segundo a NASA (s.d), as consequ4ncias da intera33o das EMCs e a Terra, desencadeando fortes tempestades geomagn4ticas, podem ser as seguintes:

⁹ Coroa Solar: Camada mais externa da atmosfera do Sol, que se estende at4 cerca de dois raios solares.

- Induzem correntes el3tricas que fluem atrav3s das redes el3tricas, potencialmente danificando componentes como transformadores, rel3s e disjuntores, levando a cortes de energia.
- Aquecer temporariamente a atmosfera superior da Terra, fazendo com que ela inche e aumente o arrasto em alguns sat3lites em 3rbita da Terra, o que faz com que eles desacelerem e percam altitude.
- Bombardeiam a Terra com part3culas carregadas que interagem com 3tomos e mol3culas na atmosfera terrestre para criar a aurora boreal e austral (luzes do norte e do sul).

As consequ3ncias das tempestades solares ser3o problematizadas durante a SD, dessa forma, as informa33es apresentadas neste cap3tulo, ao abordarem conceitos fundamentais sobre os raios c3smicos, tempestades solares, erup33es solares, eje33es de massa coronal e auroras, fornecem subs3dios te3ricos essenciais para o trabalho docente.

A familiariza33o com esses fen3menos permitir3 ao professor conduzir as discuss3es com maior seguran3a e profundidade, estabelecendo conex3es significativas com o cotidiano dos estudantes. Esses conhecimentos ser3o fundamentais para orientar a aplica33o das atividades propostas na SD desenvolvida neste trabalho.

Capítulo 4

OS MOMENTOS PEDAGÓGICOS E A PRÁTICA DOCENTE

Para o educador-educando, dialógico, problematizador, o conteúdo programático da educação não é uma doação ou uma imposição – um conjunto de informes a ser depositado nos educandos, mas a devolução organizada, sistematizada e acrescentada ao povo daqueles elementos que este lhe entregou de forma desestruturada (Freire, 2015b, p.116).

4.1 O ENSINO DIALÓGICO COMO ALTERNATIVA AO ENSINO TRANSMISSIVO

Nas práticas pedagógicas tradicionais, ainda é comum observar a ausência de um diálogo verdadeiro entre educador e educando, sendo frequente a substituição da escuta ativa por interações superficiais, que podem ser respondidas facilmente por “sim” ou “não”. Ou por aquelas que necessitam de um conhecimento específico, se limitando a conversas pontuais ou à simples permissão para que o aluno fale. No entanto, o conceito de *dialogicidade*, conforme formulado por Freire (2011), vai muito além dessa compreensão reduzida. O diálogo, em sua concepção freireana, é um ato de construção coletiva do conhecimento, que exige abertura, respeito e compromisso com a transformação da realidade. É por meio dela que os estudantes são desafiados a se posicionar, a expor suas ideias, inquietações e hipóteses, o que contribui diretamente para o desenvolvimento do pensamento crítico e da autonomia intelectual.

Incorporada à proposta dos 3MP desde suas primeiras formulações, a dialogicidade passou a ocupar papel central na dinâmica de ensino problematizadora, sendo compreendida como elemento estruturante da dinâmica (Muenchen e Delizoicov, 2012). Ao promover a escuta

ativa, o respeito as opiniões e a construção coletiva do saber, o diálogo transforma a relação pedagógica e permite que o conhecimento escolar se articule com os saberes dos sujeitos envolvidos. O ensino a partir do diálogo permite que os alunos se sintam livres para expor suas opiniões e que aprendam a respeitar e ouvir as opiniões dos outros, além de possibilitar que o conhecimento a ser construído por ele, se relacione com a realidade vivida pelo educando. (Araújo, Niemeyer e Muenchen, 2013, p. 189).

Desse modo, a educação dialógica-problematizadora surge da necessidade de se pensar sobre um ensino mais focado no estudante e em seu processo de construção de conhecimento, do que no ensino que coloca o educador como único responsável pela transmissão do saber e que é recebido pelo educando de forma passiva. Essa forma de ensino é conhecida na literatura como educação transmissiva, ou nas palavras de Paulo Freire (1921-1997), a educação bancária. O termo “bancária” remete a uma analogia com o processo de ensino/aprendizagem adotado pelos professores no ensino tradicional, sendo que a construção do conhecimento do educando nesse método é feita apenas pelo professor, depositando, transferindo, doando seus saberes e conhecimento ao estudante, que recebe de maneira passiva e não reflexiva (Freire, 2011).

Um dos pressupostos desse modo de ensino é de que o educando não possui conhecimento prévio algum que possa contribuir para sua aprendizagem, ele é um sujeito passivo no processo educativo. Portanto, vemos que tanto para o educador quanto para o educando, no ensino bancário, foi se construindo modelos de postura e comportamento que estão enraizados na cultura escolar (Freire, 2011).

A dinâmica didático-pedagógica dos 3MP, como alternativa ao ensino transmissivo, propostos por Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2011), será discutida nos próximos tópicos, justamente por ter sido escolhida como dinâmica estruturante da SD produzida e aplicada como Produto Educacional desta dissertação.

4.2 A IMPORTÂNCIA DA PROBLEMATIZAÇÃO PARA ESSA PESQUISA

Toda a problematização se origina de uma pergunta, no entanto, nem toda pergunta é uma problematização (Muncken e Delizoicov, 2013, p. 2449).

Antes de iniciar uma discussão mais aprofundada sobre a dinâmica dos 3MP, se torna interessante mostrar a importância de entender o termo “problematização”, que dialogue com

as ideias a serem trabalhadas nas etapas dos 3MP. Principalmente pelo termo estar muitas vezes usado de maneira incorreta, sendo a ação muito mais próxima a concepção de perguntar, do que problematizar. Problematizar não é fazer simples perguntas com expectativas de certas respostas. Problematizar pode ser entendido como um processo pelo qual o professor reconhece os conhecimentos prévios dos alunos para, a partir de uma relação dialógica, possa encontrar os limites explicativos que aspiram novos conhecimentos para superá-los (Camargo, 2023). Muenchen (2010, p. 160) também comenta “Problematização é a colocação de problemas pelo professor com o propósito de promover o diálogo com os estudantes.”

A problematização ocorre a partir de questões que emergem do cotidiano dos educandos, baseando-se em suas vivências, percepções e experiências sociais. A curiosidade epistemológica é aguçada quando os educandos percebem que o mundo por eles vivido é problematizado e que seus conhecimentos prévios, embora não suficientes por si só, constituem o ponto de partida para a compreensão dos problemas que enfrentam. Esses problemas passam a ser discutidos e analisados em diálogo entre educador e educando, promovendo um processo coletivo de construção do conhecimento (Araújo, 2015).

O objetivo da problematização é fazer com que o estudante se torne mais crítico em relação ao seu processo de construção do conhecimento, e que ele não apenas aceite o saber imposto a ele de maneira passiva.

A concepção utilizada neste trabalho partiu das discussões do estudo realizado por Araújo, Niemeyer e Muenchen (2013) analisou como o primeiro dos 3MP tem sido utilizado nos artigos apresentados em encontros de pesquisa em ensino de Física. Assim, os artigos foram classificados em três categorias distintas de abordagem: problematizações, perguntas contextualizadas e perguntas.

As *problematizações* foram caracterizadas por promoverem o diálogo e por estarem relacionadas com a realidade dos estudantes, favorecendo o pensamento crítico e a construção coletiva do conhecimento. As *perguntas contextualizadas*, apesar de serem contextualizadas e utilizarem elementos do cotidiano dos alunos, focavam em conceitos científicos, dificultando a construção do diálogo coletivo. Já as *perguntas*, em sua maioria, fechadas, conceituais e desvinculadas do contexto social dos estudantes, limitavam o engajamento crítico e o diálogo em sala de aula. Essa distinção é essencial para compreender a profundidade e a efetividade com que a dialogicidade e a problematização pode ser empregada na prática educativa.

Abaixo estão alguns exemplos das classificações utilizadas por Araújo, Niemeyer e Muenchen (2013), relacionadas a casos dentro da SD produzida:

Problematização: “Na sua opinião, por que está havendo uma maior preocupação atualmente a respeito das Tempestades Solares?”

“Qual a importância do Sol para a vida aqui na Terra?”

Pergunta contextualizada: “Como as tempestades solares podem afetar os equipamentos elétricos e magnéticos ou até mesmo os sistemas de internet?”

Pergunta: “Qual é a composição de uma ejeção de massa coronal (EMC)?”

Portanto, se torna interessante que o professor faça uma reflexão sobre o processo de problematização. Muitas vezes estamos condicionados a repetir as práticas que vivenciamos, em geral transmissivas. Isso faz com que, por exemplo, nos aproximemos mais de realizar uma pergunta contextualizada, do que uma real problematização, aquela que segue os pressupostos freireano.

Para sintetizar as diferenças entre o ato de problematizar e o ato de perguntar, Muenchen (2010) propõe um quadro comparativo que evidencia como essas práticas se manifestam de maneira distinta no contexto do ensino. Enquanto a problematização parte da experiência do educando, considera seus saberes prévios e provoca uma postura investigativa e crítica diante dos fenômenos, o ato de perguntar, conforme exposto no quadro, muitas vezes ocorre de forma monológica, desconsiderando a voz do estudante e limitando-se à transmissão de conceitos.

Figura 22 - Principais diferenças sobre a ação de problematizar e perguntar.

PROBLEMATIZAR	PERGUNTAR
Implica em diálogo.	Não implica necessariamente em diálogo. Muitas vezes é um monólogo.
Existe um problema a ser resolvido (problema ou lacuna).	Não necessita um problema. Em geral, as perguntas giram em torno de conceitos científicos.
Implica ou pode implicar na mudança/transformação. Perspectiva de mudança.	Não implica em transformação. Sim ou não responde.
Considera o “saber de experiência feito” (aquilo que o educando traz para a escola), a partir dele que se alcança o conhecimento científico.	Não se preocupa com o “saber de experiência feito”.
Gera inquietação (frente ao mundo, aos problemas).	Provoca adaptação/acomodação (frente ao mundo, aos problemas).
Desafia, pois “o mundo não é, ele está sendo”.	Conforma.
Estimula a curiosidade ingênua em busca da curiosidade crítica; Provoca a curiosidade, o querer conhecer.	Não estimula a curiosidade ingênua, não provoca a curiosidade.
Propicia uma leitura crítica de mundo.	Propicia uma leitura da palavra sem relação com a leitura do mundo dos educandos.
Estimula o gosto de ouvir e o respeito à opinião do outro.	Não estimula o gosto de ouvir. O educando ouve, na maioria das vezes, apenas o professor.
Desvela/desoculta os conceitos/conteúdos.	Transmite os conceitos/conteúdos.
Dá voz, abre espaço para a expressão, faz com que o educando se sinta sujeito do processo (participação).	Não estimula a participação.
Satisfaz a educação crítico-dialógica transformadora.	Não necessariamente contribui para a educação crítico-dialógica-transformadora.
Estimula a construção coletiva do conhecimento.	Não estimula a construção coletiva do conhecimento, privilegia o individual.
Realiza a “Leitura do texto” articulada à “leitura do contexto” a que o texto se refere.	Realiza a “Leitura do texto” sem preocupação alguma com a leitura do contexto do texto.
Relaciona explicitamente a realidade vivida pelo educando.	Não relaciona explicitamente a realidade vivida pelo educando.
Alcançada através de problemas abertos, reais.	Alcançada através de problemas idealizados, desvinculados de contextos sociais/reais. Resposta fechada/exata.

Fonte: Muenchen, 2010, p. 161-162

Nesse sentido, o quadro de Muenchen é um instrumento valioso para professores e pesquisadores, pois contribui para a reflexão sobre práticas pedagógicas mais coerentes com os pressupostos da educação problematizadora, dialógica e transformadora, seguindo os pressupostos de Paulo Freire. Vale ressaltar que esse quadro foi a inspiração para a postura adotada pelo professor/pesquisador deste trabalho durante as aulas e foi importante no processo de construção da estrutura do produto educacional.

4.3 OS CONCEITOS E ESTRUTURA DA DINÂMICA DOS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

Os Três Momentos Pedagógicos (3MP) tanto podem ser utilizados como uma proposta de organização do trabalho didático-pedagógico em sala de aula, quanto como uma estrutura organizadora de currículo (Camargo, 2023). Essa prática foi desenvolvida no Brasil a partir da década de 1980, com o objetivo de promover uma educação mais crítica, dialógica e problematizadora.

Cabe destacar que, no contexto desta pesquisa, os 3MP serão utilizados como metodologia de ensino, orientando a elaboração e condução das atividades didáticas. Embora a proposta dos 3MP também possa atuar como estrutura organizadora de currículos, estudos têm evidenciado sua aplicação em múltiplas dimensões educativas, como na formação continuada de professores, na produção de materiais didáticos e até mesmo como ferramenta avaliativa de processos educativos (Santos *et al.*, 2024). Dessa forma, busca-se potencializar a aprendizagem a partir da articulação entre os saberes dos estudantes e os conhecimentos científicos, a partir de um tema problematizador e mediada por uma prática dialógica, crítica e contextualizada.

Nesse sentido, a dinâmica dos 3MP possibilita o rompimento com o paradigma curricular transmissivo, geralmente sustentado por uma abordagem conceitual¹⁰. Essa dinâmica, quando usada como metodologia de ensino, se estrutura em três etapas: a Problematização Inicial, a Organização do Conhecimento e a Aplicação do Conhecimento, proposta por Delizoicov e Angotti (1991). Nessa metodologia, os conteúdos curriculares são trabalhados em consonância com situações vivenciadas no cotidiano dos estudantes, por meio de temas problematizadores, partindo da abordagem temática, que pode ser entendida como uma “perspectiva curricular cuja lógica de organização é estruturada com base em temas com os quais são selecionados os conteúdos de ensino das disciplinas. Nessa abordagem, a conceituação científica da programação é subordinada ao tema” (Delizoicov, Angotti e Pernambuco, 2002, p. 189). Essa perspectiva permite a valorização de suas concepções prévias e favorece a sistematização de conhecimentos científicos de forma contextualizada.

¹⁰ Abordagem conceitual: perspectiva curricular cuja lógica de organização é estruturada pelos conceitos científicos, com base nos quais se selecionam os conteúdos de ensino (Delizoicov, Angotti E Pernambuco, 2002, p. 190).

Além disso, é importante esclarecer que, diferentemente do que é proposto no processo de investigação temática¹¹, no qual seria encontrado o Tema Gerador¹² que estruturaria as aulas, o tema desta sequência foi definido previamente. A escolha se deu em razão do interesse pessoal do autor e da relação com o grupo de pesquisa ao qual está vinculado, que já vinha desenvolvendo estudos sobre o tema. Tal decisão também se justifica pela relevância científica e educacional da temática dos Raios Cósmicos. Além disso cabe reforçar que, quando vinculados a um Tema Gerador¹³, a dialogicidade é potencializada na dinâmica dos 3MP. Contudo, a utilização de um Tema Conceitual, como foi feito nesse trabalho, também pode permitir a construção de bons diálogos, principalmente se este se aproximar, de alguma forma, do contexto dos educandos.

A seguir, serão apresentados e discutidos os três momentos que compõem a dinâmica didático-pedagógica dos 3MP.

1º Momento - Problematização Inicial (PI)

A problematização inicial é caracterizada pela apresentação de uma discussão que gere inquietação, curiosidade e dúvidas aos estudantes sobre o tema escolhido. É importante mencionar que essa escolha, mesmo que sem a etapa da redução temática¹⁴, tem que dialogar de alguma maneira com a realidade vivenciada pelos educandos, de maneira que o diálogo faça com que os aproximem das discussões a serem realizadas.

Para este momento, o professor é responsável por apresentar problematizações sobre o tema escolhido, que façam emergir contradições ou concepções alternativas que não respondem satisfatoriamente ao problema, com liberdade para os estudantes apresentarem seus conhecimentos prévios sobre o assunto (Araújo, 2015). Este não é um momento para o professor fornecer explicações diretas de suas problematizações, e sim, mostrar o caminho para uma construção do conhecimento a partir da problematização do tema a ser trabalhado, uma vez que

¹¹ Investigação temática: dinâmica dividida em 5 etapas, em constante interação entre si, em que são identificadas as contradições sociais, que podem conter situações-limites, e que necessitam ser legitimadas e superadas pelos indivíduos que a vivenciam (Freire, 1987). Tem como meta a obtenção dos temas geradores e o planejamento de sua abordagem problematizadora no processo educativo (Araújo, 2015).

¹² Tema gerador: tema derivado da Investigação temática, o qual possui relação com a situação presente e existencial na qual os educandos encontram-se imersos (Freire, 2011).

¹³ Tema Conceitual: temas de natureza conceitual contemplam, principalmente, aspectos relacionados com a conceituação científica, com seu eventual uso em situações da vivenciadas pelo aluno, sendo a temática expressa a partir de determinado conceito. (Halmenschlager e Delizoicov, 2017)

¹⁴ Redução temática: segundo Paulo Freire (2011) em *Pedagogia do Oprimido*, é uma das etapas do processo de investigação temática, que visa identificar os temas geradores — ou seja, os conteúdos significativos e desafiadores que emergem da realidade concreta dos educandos e que orientam a prática educativa libertadora.

de maneira natural, o educando perceberá que com apenas seu conhecimento prévio não será suficiente para responder satisfatoriamente as questões apresentadas pelo professor (Delizoicov, Angotti e Pernambuco, 2007).

Por mais que possua esse primeiro momento para o professor adotar uma postura que busque mais o diálogo sobre as problematizações apresentadas e que busque trabalhar suas habilidades críticas em relação a algum problema, não se pode abandonar esta postura nas duas etapas seguintes da dinâmica. Por isso a importância de elaborar uma sequência de aulas, em todos os momentos pedagógicos, problematizadora (Delizoicov, Angotti e Pernambuco, 2002).

2º Momento – Organização do Conhecimento (OC)

Neste segundo momento ocorre a sistematização do conteúdo necessário para o estudante compreender as problematizações iniciais, além de apresentar como esse conhecimento se relaciona na resolução de problemas. Esta se torna uma etapa desafiadora para o professor, justamente pela possibilidade de em um mero descuido, retornar às aulas com estratégias transmissivas de ensino, voltando a educação bancária. Por isso deve-se adotar metodologias de ensino-aprendizagem que não reproduzam essa lógica de uma educação transmissiva, mas sim, com foco na autonomia do estudante e buscando manter a dialogicidade durante todo o segundo momento (Delizoicov, Angotti e Pernambuco, 2002). Como mencionado por Araújo (2015), a dialogicidade possibilita que os estudantes apresentem uma postura de participação na construção de seus conhecimentos, pois eles envolvem-se e buscam soluções e respostas, de forma compartilhada, para a compreensão das problematizações lançadas inicialmente a eles.

3º Momento – Aplicação do Conhecimento (AC)

Por fim, no terceiro e último momento, as problematizações apresentadas inicialmente são retomadas para dar aos estudantes uma nova possibilidade de responder as perguntas iniciais, agora com o conhecimento necessário para respondê-las satisfatoriamente. Ou até mesmo, a partir da problematização inicial e dos conteúdos apresentados no segundo momento, apresentar novas situações propostas pelo professor.

Apesar da possibilidade de o professor optar por uma avaliação formativa neste momento, a aplicação do conhecimento se torna uma ótima oportunidade para uma avaliação dialógica-problematizadora, justamente pela necessidade que a maioria dos educadores tem de preencher boletins e documentos que visam classificar os estudantes pelos seus desempenhos nas avaliações.

Nesse sentido, a última etapa é o momento de o educador perceber como se deu a evolução e construção do conhecimento a partir da problematização inicial. Se houve superação

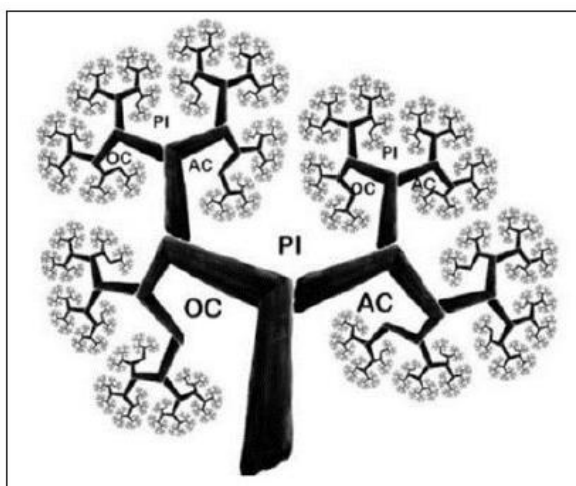
dos limites explicativos das questões apresentadas e como os estudantes foram capazes de relacionar o conteúdo compreendido por eles durante a OC, com as novas propostas realizadas no último momento (Delizoicov, Angotti e Pernambuco, 2002).

4.3.1 Os Momentos Pedagógicos Trabalhados de Maneira Fractal

Neste trabalho, optou-se por aplicar a dinâmica didático-pedagógica dos 3MP de forma fractal, ou seja, compreendendo que cada momento da metodologia pode conter, em menor escala, os elementos característicos dos demais. Essa perspectiva permite uma maior flexibilidade na organização das aulas e favorece uma construção mais contínua e aprofundada do conhecimento (Santos *et al.*, 2024). Conforme discutido por Braga e José (2021), ao longo da prática pedagógica podem emergir novas problematizações, mesmo dentro de momentos voltados à Organização ou Aplicação do Conhecimento. Assim, mini-casos ou questões que surgem durante uma atividade podem demandar o retorno à etapa da Problematização Inicial ou à introdução de novos conceitos, criando ciclos internos de aprendizagem dentro da própria sequência. Essa abordagem fractal amplia as possibilidades didáticas e valoriza o movimento dinâmico do processo de ensino-aprendizagem (Braga e José, 2021).

A representação visual abaixo ilustra a dinâmica fractal dos 3MP, que podem se repetir em diferentes escalas ao longo do processo didático.

Figura 23 - Estrutura fractal dos 3MP com diversas ramificações



Fonte: Braga e José (2021, p.93).

Nesse sentido, os 3MP oferecem uma base flexível e dinâmica para o ensino, na qual o mesmo esquema metodológico pode ser recriado continuamente, formando estruturas maiores e mais complexas à medida que novas situações emergem e são trabalhadas em sala de aula (Delizoicov, Angotti e Pernambuco, 2011).

Na SD produzida nesse trabalho utilizamos a proposta fractal dos 3MP para melhor adequar as necessidades de organização dos conteúdos trabalhados, a fim de minimizar as lacunas em alguns conceitos chaves para as aulas. No quadro 1, apresentado nessa dissertação no capítulo 5, foi feito um detalhamento sobre como as atividades e objetivos foram estruturados a partir dessa perspectiva fractal dos 3MP. No produto educacional, está inserido uma sugestão de sequência de aulas baseada na mesma proposta, mas já atualizada a partir das análises feita nesse trabalho.

Capítulo 5

METODOLOGIA E APLICAÇÃO DO PRODUTO

Nesta seção serão detalhados os referenciais teórico-metodológicos utilizados para a construção e desenvolvimento da SD aplicada como produto educacional deste trabalho de mestrado. Tal como a elaboração da estrutura para a SD, o contexto da pesquisa e os sujeitos escolhidos, técnicas utilizadas para o levantamento de dados e a natureza da pesquisa.

5.1 CONTEXTO DA PESQUISA

Os sujeitos da pesquisa escolhidos são alunos do 3º Ano do Ensino Médio (EM) de uma escola particular na cidade de Itapetininga, interior do Estado de São Paulo. O professor responsável pela aplicação deste trabalho lecionou para essa turma durante todos os três anos do EM, sendo o único docente de Física com o qual os estudantes tiveram aulas ao longo desse período.

O lema difundido pela escola é o “ECO”, exprimindo a noção de meio ambiente e sua preocupação com ele, fazendo com que muitas atividades acadêmicas sejam relacionadas a interação entre o aluno e o ecossistema local. A escolha do tema dos Raios Cósmicos para a SD dialoga com esse lema ao propor uma reflexão sobre os possíveis riscos, impactos (reais ou mitificados) que essas partículas podem representar para o planeta, especialmente em contextos como tempestades solares e variações da atividade solar. Assim, o trabalho convida os estudantes a pensar sobre como fenômenos cósmicos podem afetar a vida na Terra e o que a

ciência pode fazer para monitorar ou mitigar tais efeitos. Vale lembrar que o prefixo “ECO” se relaciona de forma geral com o planeta Terra, e não apenas com questões ecológicas.

Porém, quando se trata do EM o currículo escolar possui um foco na preparação dos estudantes para a aprovação em provas de vestibular como o ENEM (Exame Nacional do Ensino Médio) e de outras universidades.

A partir de 2024 a escola teve uma reestruturação nas ferramentas de avaliação utilizadas. Até então eram duas formas de avaliações obrigatórias, uma avaliação dissertativa e uma avaliação ligada às propostas de Metodologias Ativas de Aprendizagem. Após a reformulação, as duas avaliações obrigatórias passaram a ser a aplicação de um simulado preparatório para vestibular e uma avaliação dissertativa, reduzindo ainda mais as possibilidades do docente em relação às diferentes formas de avaliação e estratégias de ensino-aprendizagem.

Toda essa nova reformulação contribui para o estereótipo de que o estudo somente é necessário para passar de ano, prepará-lo para o vestibular e para o ENEM (Bonfim e Nascimento, 2018). Entretanto, a partir do diálogo com a coordenação da escola, foi possível a implementação de novas estratégias e dinâmicas didático-pedagógicas nas aulas e alterações nas ferramentas de avaliação. Porém, obrigações como o preenchimento do material didático e adaptação do conteúdo para o modelo de avaliação da escola, ainda foram mantidas. De modo geral, esse diálogo com a coordenação permitiu com certa liberdade o desenvolvimento desse produto educacional nas aulas.

5.2 ESTRUTURA DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A Sequência Didática desenvolvida possui sua estrutura baseada na dinâmica didático-pedagógica dos 3MP proposto por Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002). Essa dinâmica valoriza o processo de ensino-aprendizagem colocando o estudante como protagonista da construção de seu próprio conhecimento, envolvendo-o em atividades como discussões, problematizações, fichas de estudos colaborativas, debates e outras atividades que incentivem a criticidade e autonomia do aluno frente a situações-problemas.

Portanto, considerando que as salas de aula possuem alunos com perfis de diferentes afinidades para cada estratégia de ensino aprendizagem, apresentar uma aula expositiva limitada apenas a interpretação da linguagem matemática das equações físicas e reprodução

mecanizada de exercícios, irá atingir apenas um perfil particular de aprendizagem do estudante e não de outros. Nessa perspectiva, “torna-se fundamental transformar o contexto escolar num espaço [...] em que a interação entre os constituintes da comunidade escolar seja mediada pelo diálogo e pelo trabalho coletivo” (Auler, 2007, p.17).

Nesse sentido, os 3MP se mostram uma ótima opção para o rompimento com o ensino tradicional, especialmente no ensino de Física. Com o objetivo de introduzir os conceitos sobre Física de Partículas nas aulas de Física, a partir do tema de Raios Cósmicos.

Moreira (2000) e Chiquetto e Krapas (2012) apontam a relevância das discussões sobre à naturalização de práticas costumeiramente adotadas nas aulas de Física, tais como a excessiva matematização, o foco na resolução de exercícios mnemônicos e a ausência de contextualização. Tradicionalmente os livros didáticos de Física são estruturados com base nesse ideário, parte considerável dos professores dessa disciplina têm pautado suas aulas nessa direção (Silva, 2019). Como a aplicação da SD foi realizada em uma escola particular, no qual a apostila tem um valor significativo para os pais e responsáveis dos estudantes matriculados na escola, há sempre uma exigência de cumprimento destes livros.

Levando em conta a discussão apresentada anteriormente e relacionando o fato de que o conteúdo de Física Moderna nos livros didáticos da instituição escolar que foi aplicado a SD, ser trabalhado apenas no segundo bimestre do 3º Ano do EM, como último conteúdo antes da revisão dos conteúdos de Física de todo o EM, a sequência a seguir foi elaborada somente para as duas turmas de 3º Ano que a escola possui, com uma quantidade de aluno relativamente pequena ao comparadas com outras turmas, uma com 16 alunos e a outra com 14.

A seguir será apresentado como a sequência foi planejada para ser aplicada (em sua primeira versão) em 17 aulas, cada aula com 50 minutos de duração, com uma média de 3 aulas por semana com exceções de semanas com feriado e outras alterações no calendário de aulas da escola, no período entre maio e junho de 2024. Partindo da dinâmica que estruturou a sequência, a divisão ficou dessa maneira: 5 aulas de PI, 8 aulas de OC e 4 aulas de AC. Cabe lembrar que dentro de cada momento foi utilizado o modelo fractal dos 3MP.

Quadro 1 - Quadro com informações sobre as descrições das aulas, objetivos, quantidade de aulas e temas abordados.

M.P.	Objetivos	Atividades (dentro do modelo Fractal)	Número da aula
PI	(PI) – Problematização inicial sobre tempestades solares e suas consequências.	(PI) – Apresentar a problematização (a partir da notícia entregue a eles) sobre as tempestades solares, a partir de 7 perguntas a serem respondidas pelos estudantes e posteriormente realizando uma síntese dessas respostas.	1 2
	(OC) – Discutir sobre as características do Sol, conceitos sobre tempestades solares e como as tempestades solares podem afetar a Terra. (AC) – Realizar o questionário sobre as características do Sol e uma redação sobre as consequências das Tempestades Solares.	(OC) – Discutir os conceitos relacionados às tempestades solares, relacionando a notícia e as respostas apresentadas por eles após a problematização. (AC) – Realizar a redação “Consequências tempestade solar”, como processo de reflexão sobre os efeitos nos quais os estudantes acreditam que possam acontecer. (AC) – Resolver o Questionário 1 e Questionário 2, a fim de organizar o conhecimento necessário para as próximas aulas.	3 4 5
OC	(PI) – Introduzir o problema: “As partículas ejetadas pelo sol que atingem nosso planeta, podem causar efeitos ao nosso corpo?” (OC) – Conhecer o processo histórico da descoberta dos Raios Cósmicos.	(OC) – Realizar de uma atividade na plataforma Kahoot sobre os principais fatos da descoberta dos Raios Cósmicos. (OC) – Realizar da Atividade Palavra Cruzada, a fim dos estudantes relacionarem alguns conceitos apresentados até o momento.	6 7 8
	(OC) – Conhecer sobre a construção do modelo de partículas atual. (OC) – Conhecer sobre alguns resultados das pesquisas sobre os Raios Cósmicos e a importância de Cesar Lattes nesse cenário. (AC) – Montar de um modelo de partículas pelos estudantes.	(AC) – Elaborar um modelo de partículas a partir das Fichas de estudo, com os estudantes criando seus próprios critérios e classificações. (AC) – Realizar o Questionário 3 (Questões da apostila), para cumprimento da apostila e reflexão sobre o conhecimento construído até o momento.	9 10
	(OC) – Conhecer mais profundamente as contribuições de Lattes a partir dos estudos sobre RC.	(OC) – Elaborar a atividade Paradoxo dos Gêmeos (AC) – Realizar o Questionário 4 e 5 (Questões da apostila) para cumprimento da apostila e reflexão sobre o	11 12 13

	(OC) – Entender como os conceitos de Relatividade Restrita contribuem para o entendimento dos RC. (AC) – Elaborar, em grupo, uma história com situações envolvendo o paradoxo dos gêmeos e a Relatividade Restrita, em formato de uma redação.	conhecimento construído até o momento.	
AC	(PI) – Problematizar aos estudantes: “Qual o impacto dos Raios Cósmicos para o ser humano?” (OC) – Compreender sobre as energias das partículas enviadas pelo Sol e o Impacto dos raios cósmicos na saúde humana. (AC) – Apresentação oral, em grupo, sobre a medicina nuclear e os impactos dos Raios Cósmicos.	(OC) – Preencher as fichas de estudos sobre os temas que cada grupo recebeu na primeira parte do painel integrado. (AC) – Elaborar uma apresentação sobre os temas da segunda etapa do painel integrado.	14 15 16 17

Fonte: Elaborado pelo autor.

A elaboração da SD sobre Raios Cósmicos buscou não apenas aproximar os estudantes dos fenômenos e conceitos da Física Moderna, mas também atender às orientações curriculares da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) para o Ensino Médio. De acordo, por exemplo, com a Competência Específica 2 da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, na qual os alunos devem ser capazes de analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para fundamentar decisões éticas e responsáveis.

Nesse sentido, a proposta dialoga diretamente com as habilidades **(EM13CNT203)** e **(EM13CNT207)**. A primeira propõe avaliar e prever seus impactos no corpo humano, com base nos mecanismos de manutenção da vida, nos ciclos da matéria e nas transformações e transferências de energia, utilizando representações sobre tais fatores. O que se concretiza nas atividades que exploram o papel dos Raios Cósmicos na atmosfera terrestre, seus efeitos sobre o ser humano e campo magnético, além das possíveis interferências em sistemas tecnológicos.

***(EM13CNT203)** Avaliar e prever efeitos de intervenções nos ecossistemas, e seus impactos nos seres vivos e no corpo humano, com base nos mecanismos de manutenção da vida, nos ciclos da matéria e nas transformações e transferências de energia, utilizando representações e simulações sobre tais fatores, com ou sem o uso de*

dispositivos e aplicativos digitais (como softwares de simulação e de realidade virtual, entre outros).

A segunda habilidade, **(EM13CNT207)**, está relacionada à análise de vulnerabilidades e desafios contemporâneos. Ao discutir temas como as tempestades solares e suas consequências para a sociedade tecnológica, os estudantes são incentivados a refletir sobre riscos e medidas de prevenção, desenvolvendo uma postura crítica e ética diante da interdependência entre fenômenos cósmicos e a vida na Terra. Essa habilidade não foi propositalmente pensada para estar dialogando com a sequência, mas que apareceu naturalmente nas respostas dos estudantes, principalmente vinculadas as dificuldades socioemocionais de se viver sem o uso de tecnologias.

***(EM13CNT207)** Identificar, analisar e discutir vulnerabilidades vinculadas às vivências e aos desafios contemporâneos aos quais as juventudes estão expostas, considerando os aspectos físico, psicoemocional e social, a fim de desenvolver e divulgar ações de prevenção e de promoção da saúde e do bem-estar.*

Na segunda etapa do painel integrado, os estudantes foram convidados a se posicionar diante da questão sobre o investimento na exploração espacial e os cuidados com o planeta Terra, debatendo possíveis implicações científicas, éticas e sociais dessas escolhas. Essa atividade está diretamente relacionada à habilidade **(EM13CNT304)** da BNCC, que propõe analisar e debater situações controversas envolvendo a aplicação de conhecimentos científicos com base em argumentos consistentes, legais, éticos e responsáveis, distinguindo diferentes pontos de vista.

(EM13CNT304) Analisar e debater situações controversas sobre a aplicação de conhecimentos da área de Ciências da Natureza (tais como tecnologias do DNA, tratamentos com células-tronco, neurotecnologias, produção de tecnologias de defesa, estratégias de controle de pragas, entre outros), com base em argumentos consistentes, legais, éticos e responsáveis, distinguindo diferentes pontos de vista.

A discussão sobre os limites e as prioridades da ciência, nesse contexto, estimulou os alunos a refletirem sobre o papel da humanidade no uso dos recursos naturais, no avanço

tecnológico e na responsabilidade com as futuras gerações. Ao confrontar perspectivas distintas, como a defesa da pesquisa espacial como caminho para o progresso científico e a necessidade de preservar as condições de vida no próprio planeta, os estudantes exercitaram o pensamento crítico e a argumentação fundamentada em evidências.

No momento da PI, a discussão sobre os efeitos dos RC foi proposta a partir de uma abordagem que buscava relacionar fenômenos naturais de alta energia a situações reais que afetam o cotidiano tecnológico da sociedade. Os estudantes foram instigados a refletir sobre como partículas vindas do espaço podem interferir no funcionamento de satélites, aeronaves e sistemas de comunicação, levando à necessidade de compreender e avaliar riscos associados a esses eventos.

Essa etapa está em consonância com a habilidade **(EM13CNT306)** da BNCC, que orienta o estudante a avaliar os riscos envolvidos em atividades cotidianas, aplicando conhecimentos das Ciências da Natureza para justificar o uso de equipamentos e recursos, bem como comportamentos de segurança voltados à integridade física, individual, coletiva e socioambiental. A reflexão sobre os raios cósmicos favoreceu o desenvolvimento dessa competência ao permitir que os alunos relacionassem conceitos físicos a situações concretas, compreendendo como a pesquisa científica e a tecnologia buscam mitigar possíveis impactos desses fenômenos.

***(EM13CNT306)** Avaliar os riscos envolvidos em atividades cotidianas, aplicando conhecimentos das Ciências da Natureza, para justificar o uso de equipamentos e recursos, bem como comportamentos de segurança, visando à integridade física, individual e coletiva, e socioambiental, podendo fazer uso de dispositivos e aplicativos digitais que viabilizem a estruturação de simulações de tais riscos.*

Assim, ao articular conteúdos de Física Moderna com uma abordagem dialógica e problematizadora, a SD proposta não apenas contextualiza o tema dos Raios Cósmicos, mas também promove o desenvolvimento de competências essenciais, conforme orienta a BNCC.

5.3 NATUREZA DA PESQUISA E LEVANTAMENTO DE DADOS

A pesquisa realizada a partir da aplicação do produto educacional tem natureza qualitativa, já que a análise dos processos é mais importante que a dos produtos (Ludke e André, 2018, p.13). Nas pesquisas com abordagem qualitativa, Oliveira (2007, p.37) diz ser comum a utilização de “observações, aplicações de questionários, entrevistas e análises de dados, que deve ser apresentada de forma descritiva”. Como o interesse neste trabalho é de avaliar a própria SD, nos pareceu que essa escolha é mais adequada para esta finalidade, justificando assim a escolha.

Neste trabalho, a análise teve um olhar para a avaliação da própria SD, a partir do documento registrado pelo próprio professor com anotações sobre transcrições de falas dos alunos e algumas atitudes tanto por parte dos estudantes quanto por parte do pesquisador. Além de informações relevantes para esse processo a partir das atividades entregue pelos estudantes, como os 4 questionários, 2 redações, 2 fichas de estudo e a elaboração das apresentações na atividade final.

Para isso se adotou um método de documentação desses dados chamado de Caderno de Campo, que pode ser compreendido como um recurso de registro contínuo utilizado pelo professor ao longo das aulas, permitindo o acompanhamento e a reflexão sobre os acontecimentos ocorridos em sala de aula. Trata-se de um material, como um caderno, bloco de anotações ou outro meio semelhante, no qual o docente pode escrever, desenhar ou registrar observações e impressões vivenciadas no cotidiano escolar. Mais do que um simples instrumento de anotação, o Caderno de Campo constitui um espaço de construção narrativa que contempla não apenas os aspectos pedagógicos, mas também os elementos subjetivos e emocionais envolvidos na prática educativa, podendo ser utilizado em diferentes ambientes, inclusive fora do espaço escolar (Barbosa, 2017).

O modelo de Caderno de Campo utilizado neste trabalho foi o qual Camargo (2023) propõe em sua dissertação de mestrado e está abaixo.

Caderno de Campo

1. Como foi o comportamento dos alunos na atividade?
2. Quais falas dos estudantes se destacaram na atividade?
3. Surgiu algum problema durante o desenvolvimento da atividade?
4. Que outros aspectos me chamaram atenção nessa atividade?

Devido à organização dos horários escolares, a aplicação do produto educacional foi distribuída em dois dias da semana, sendo ministradas duas aulas em um dia e apenas uma no outro. A cada encontro, foram definidos temas específicos a serem abordados, podendo estes se estender por uma ou duas aulas, conforme a complexidade do conteúdo. Ao final de cada tema, foram propostas atividades elaboradas pelo professor, com o objetivo de servirem como indicadores de aprendizagem e organizadores do conhecimento relacionados aos conteúdos discutidos, mantendo a característica fractal dos 3MP.

Ressaltou-se, durante a aplicação das atividades, o caráter não avaliativo das atividades, a fim de desestimular a busca por respostas prontas ou o uso de ferramentas de inteligência artificial como substitutas do processo de reflexão e construção do conhecimento por parte dos estudantes.

Capítulo 5

CONSTRUÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Os próximos tópicos descrevem, de maneira detalhada, como foi estruturada a aplicação da primeira versão do produto educacional, organizada com base nos 3MP. A versão final do produto será consolidada a partir das análises sobre essa primeira versão, considerando os resultados observados e os ajustes necessários identificados ao longo da aplicação. Vale lembrar que aqui foi utilizado o modelo fractal dos Momentos Pedagógicos. Isso significa que, como tópicos desse capítulo, será considerada a estrutura macro dos 3MP, mas em cada um deles acontecem cada um dos momentos ao longo das aulas. Ou seja, a Problematização Inicial, por exemplo, como estrutura macro ocorreu ao longo de 5 aulas, conforme o quadro 1 na página 52. Ao longo destas aulas é possível encontrar cada um dos três momentos pedagógicos também.

6.1 PROBLEMATIZAÇÃO INICIAL (PI)

Na presente pesquisa, o Produto Educacional desenvolvido é apresentado em uma SD, cuja versão completa está disponível no apêndice A desse trabalho, além de todos os outros materiais produzidos e utilizados pelo autor para a SD.

A primeira etapa da SD, seguindo a dinâmica dos 3MP, é conhecida como Problematização Inicial (PI), etapa essa que teve seu início antes mesmo da primeira aula elaborada para a sequência, já que, foi disponibilizado previamente uma notícia sobre tempestade solar e que seria responsável para auxiliar o início da discussão na primeira aula.

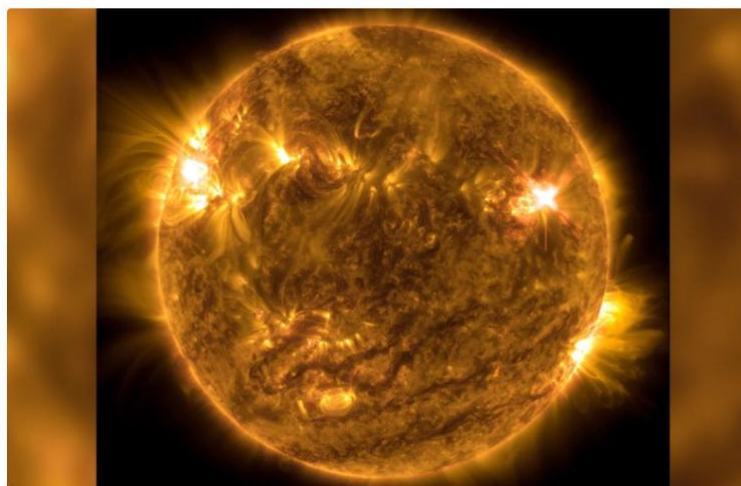
Vale ressaltar que, previamente o início da sequência de aulas, o professor relatou aos estudantes algumas características desse modelo de aulas e como a postura do próprio professor seria afetada por essa dinâmica, principalmente no momento de expor problemas, mas não entregar respostas.

A notícia foi produzida pela CNN Brasil e publicada no ano de 2023, feita por Ashley Strickland, e trazia uma discussão e apresentação de fatos a respeito do aumento da atividade solar e quais seriam suas consequências para o planeta Terra e os seres vivos que residem aqui.

Figura 24 - Notícia utilizada para iniciar as discussões sobre tempestade solar, publicada pela CNN em 2023 sobre a atividade solar e suas consequências.

Atividade solar está atingindo pico mais cedo do que o esperado, dizem cientistas

Fenômeno está relacionado com tempestades solares que podem afetar GPS, redes de energia elétrica, aviação e que representam riscos para missões espaciais



Fonte: CNN Brasil. <https://www.cnnbrasil.com.br/tecnologia/atividade-solar-esta-atingindo-pico-mais-cedo-do-que-o-esperado-dizem-cientistas/>.

Antes de iniciar o detalhamento das aulas, é importante registrar algumas observações sobre a dinâmica adota na aplicação da SD:

Para todas as aulas foi elaborada uma apresentação expositiva-dialogada através de projetor multimídia para auxiliar e nortear o professor durante as aulas e com possibilidade de explorar informações disponíveis online, como sites de notícias e/ou científicos e simuladores.

É importante lembrar que pelo contexto da escola, havia a necessidade da utilização do material didático da escola. Por isso optou-se pela elaboração de alguns questionários com caráter mais conteudista. Essa necessidade foi um grande dificultador da transformação de aulas

expositivas para aulas mais dialógicas e problematizadoras. Com isso, em alguns momentos, a atividade proposta aos estudantes foi o preenchimento de páginas específicas da apostila, escolhidas pelo professor, que se relacionam com os conteúdos discutidos durante as aulas. Para facilitar a adaptação para o produto educacional e a fim de tornar mais acessível a realização da atividade, levando o fato de que nem todos os estudantes possuíam o material didático em específico, foi criado um questionário com perguntas semelhantes ao deste material e anexado na lista de atividades do produto.

A seguir está a apresentação das aulas da SD organizadas pelos Momentos Pedagógicos e agrupadas conforme o horário da escola em que foi aplicada, ou seja, uma aula dupla (100 minutos) e outra simples (50 minutos) a cada semana. O relato está organizado em dois subtópicos: “o papel do professor”, sugestão de como o professor pode conduzir a aula, “sobre a aula”, o detalhamento das atividades previstas.

Momento Pedagógico: Problematização Inicial.

Aulas de 1 e 2 –

Tema: Problematizando as tempestades solares.

Duração: 100 min (2 aulas)

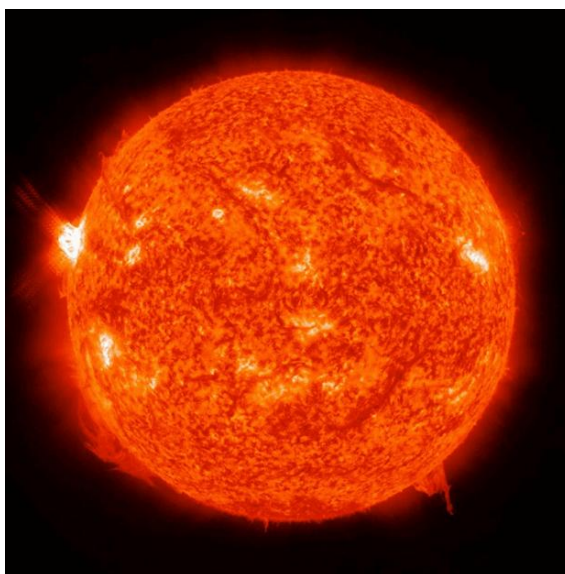
O papel do professor: Parte inicial da sequência foi voltada para a problematização das tempestades solares e a introdução de problemas aos estudantes. O professor deve assumir uma postura na qual ele não forneça devolutivas de respostas ou afirmações, a fim de garantir o desconforto, curiosidade e reflexões a respeito dos assuntos abordados e deixando aberto a possibilidade de retomar essas questões em um momento posterior.

Na aula 2, o docente deve auxiliar os estudantes durante o preenchimento do questionário, com possíveis dúvidas sobre alguma questão ou gerar uma reflexão a partir do diálogo com o estudante.

Sobre a aula: Um dos recursos usados para dar início a problematização foi a utilização de uma imagem do Sol, na qual o professor questionou aos estudantes qual a relação da imagem com a notícia enviada a eles e posteriormente a exibição de um vídeo-notícia com caráter sensacionalista a respeito das consequências que um máximo solar poderia causar em nossa tecnologia atual¹⁵.

¹⁵ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=eCpgp99DaeM>. Acesso em: 14 abr. 2025.

Figura 25 - Imagem do Sol usada na problematização das Tempestades Solares.



Fonte: NASA.

Sugestões de questionamento sobre a imagem:

- O Sol parece estar calmo ou agitado?
- Qual o termo que utilizamos para dizer que ele está “agitado”?
- Como podemos identificar isso?

Após a apresentação do vídeo foi disponibilizado o questionário sobre ‘Tempestade Solar’, para ser realizado em grupo de no máximo 5 pessoas. A ideia é que o grupo discutisse as questões, mas as respostas deveriam ser individuais, justamente para introduzir o caráter dialógico a aula, tanto entre professor-aluno, quanto aluno-aluno.

Questionário sobre Tempestade Solar

- 1) Você já recebeu notícias a respeito desse tema? Se sim, como eram tais notícias?
- 2) Você compartilhou alguma informação a respeito desse tema? Se sim, para quem enviou e por que decidiu compartilhar?
- 3) Você acredita que as tempestades solares podem afetar os equipamentos elétricos e magnéticos ou até mesmo os sistemas de internet? Como você acha que isso pode acontecer ou por que você considera que isso não pode acontecer?
- 4) O que você compreende sobre o que é uma tempestade solar?
- 5) Na sua opinião, por que está havendo uma maior preocupação atualmente a respeito desse tema?

- 6) Quando o sol está em baixa atividade, ele não causa perigo a esses equipamentos?
- 7) Na sua opinião, a tempestade solar pode ser perigosa ao corpo humano?

O preenchimento do questionário foi crucial para a discussão na aula 2, pois foi o momento de o professor questioná-los sobre as respostas escrita por eles e uma possibilidade de troca de conhecimento entre os relatos de outros grupos. O método utilizado pelo professor para a sistematização desses resultados foi repetir as perguntas de modo que cada grupo tinha seu momento de fala e a partir das respectivas respostas, anotou-se na lousa as palavras ou termos chaves para uma retomada desses termos em um momento posterior.

A ideia principal da utilização do questionário é aproximar os estudantes do tema que será trabalhado e instigá-los para as próximas aulas. Retomando a ideia de não trazer as respostas dessas questões neste primeiro encontro (Camargo, 2023).

Aula 3 e 4 –

Tema: Qual a composição das Tempestades Solares e sua relação com o Sol.

Duração: 100 min (2 aulas)

Papel do professor: Apresentar aos estudantes algumas características principais do Sol, como sua composição, condições de temperatura, estrutura e conceitos como manchas solares, explosões solares e ejeções de massa coronal. Associando com as respostas elaboradas por eles na aula 2. Discutir com os estudantes sobre quais são os riscos que uma tempestade solar de alta intensidade pode ocasionar no planeta Terra ou nos sistemas com componentes elétricos. Além de questionar a eles sobre como seria viver atualmente sem o uso da energia elétrica, incentivando uma reflexão que posteriormente será trabalhada em uma atividade.

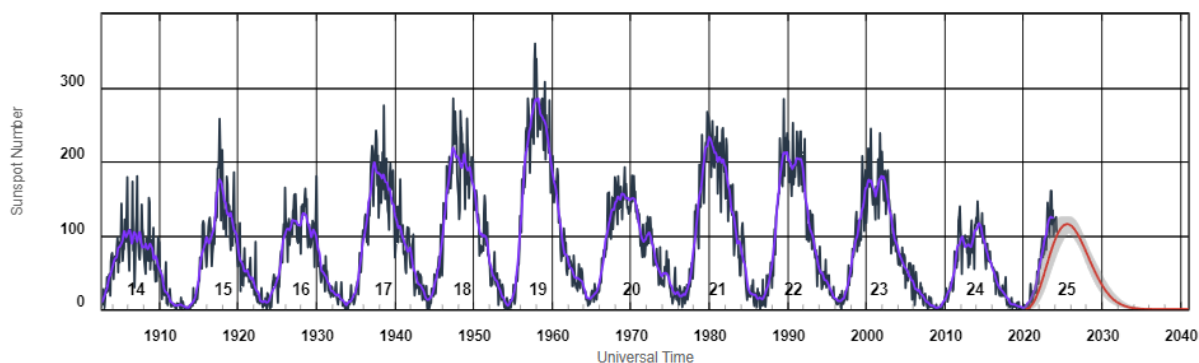
Sobre a aula: Nessas aulas o objetivo será sistematizar e relacionar alguns conteúdos considerados importantes para o entendimento do tema Tempestade Solar, junto a termos e palavras chaves mencionados por eles no final da Aula 2. Uma das estratégias utilizadas foi abordar alguns conteúdos que foram apresentados a eles em aulas anteriores, como por exemplo conceitos sobre eletromagnetismo, que no currículo atual da escola de aplicação do produto, foi o último tema discutido nas aulas de Física.

Sugestões de Tópicos para complementar a discussão inicial sobre Tempestades Solares:

- Quais são as formas de gerar campo magnético?
- Como você acha que é gerado o campo magnético do Sol? E da Terra?
- O que é o estado de Plasma?
- Como monitoramos a atividade solar?

Com o objetivo de instigar ainda mais as questões feitas inicialmente na aula 1 e criar um desconforto em relação ao tema, foi apresentada a Figura 26, obtida de forma gratuita pelo site de divulgação sobre as condições climáticas espaciais, o Space Weather Prediction Center, criado pela organização governamental National Oceanic And Atmospheric Administration (NOAA). A proposta era fazer com que eles tivessem uma reflexão do porquê que está havendo uma maior preocupação atualmente a respeito das Tempestades Solares, sendo que sua intensidade não pode ser considerada nem a mais intensa em um período de mais de 100 anos.

Figura 26 - Progressão do número de manchas solares do ciclo solar.



Fonte: NOAA

Por conta das várias definições discutidas durante a aula, foi entregue um questionário aos estudantes a fim de auxiliá-los a organizar o conhecimento aprendido até o momento, sendo esse o primeiro de 4 questionários com esse mesmo objetivo. O formato do questionário está apresentado abaixo.

Questionário 1 - O que aprendemos até agora?

Após as nossas discussões, vamos organizar nosso conhecimento sobre o sol. Para isso, reúna-se com seu grupo, e responda as questões a seguir, relacionando com os conceitos apresentados até agora:

- O que você compreende sobre o que é uma mancha solar?
- Na sua opinião, o que é um ciclo solar?
- Explique como as tempestades solares estão ligadas à atividade do Sol?
- Qual é a composição de uma ejeção de massa coronal (EMC)?
- Como a EMC pode interagir com a atmosfera terrestre?

A aula 4 teve como foco abordar discussões relacionadas a como as partículas e radiações emitidas pelo Sol poderiam interagir e afetar o campo magnético terrestre e nossa atmosfera. E ainda deixar uma questão em aberto, sobre como essas emissões solares poderiam afetar o corpo humano.

Um tema interessante neste momento foi abordagem sobre auroras polares, algo que a maioria dos estudantes já visualizou em algumas fotos pela internet, mas poucos (no mundo) puderam ver presencialmente, fazendo com que demonstrem interesse em saber mais sobre esse efeito que possui sua beleza própria.

Outro tópico apresentado aos estudantes é um relato sobre o Evento Carrington (nome em homenagem ao astrônomo inglês Richard C. Carrington), ocorrido em 1859, marcante na época por afetar as comunicações telegráficas em todo o mundo e causar falhas com faíscas elétricas e chamas nas linhas de transmissão em regiões próximas aos polos.

Aula 5 –

Tema: As consequências de um *Evento Carrington* atualmente.

Duração: 50 min.

Papel do professor: Auxiliar os estudantes com reflexões sobre como seria viver em um mundo sem o acesso à energia elétrica e quais as possíveis consequências que uma forte tempestade geomagnética poderia causar em nossos equipamentos elétricos.

Sobre a aula: Foi apresentado a proposta de que eles se juntassem em grupo e realizassem uma redação sobre “Na sua opinião, quais seriam as consequências da tempestade

solar atualmente?”, com no mínimo 10 linhas discutindo sobre os efeitos causados pela tempestade na vida do estudante.

Ao final da Aula 5, foi entregue o questionário 3, solicitando que eles realizassem como tarefa, com data de entrega para a próxima aula. Nesse questionário o estudante deve ser capaz de relacionar os conceitos apresentados durante as aulas com as questões propostas, sendo uma ótima oportunidade para discutirem em grupo, podendo por exemplo continuar com a mesma separação de grupo decidida no início da Aula 1.

Questionário 2 - O que aprendemos até agora?

Após as nossas discussões, vamos organizar nosso conhecimento sobre o sol. Para isso, reúna-se com seu grupo, e responda as questões a seguir, relacionando com os conceitos apresentados até agora:

- Na sua opinião, por que a magnetosfera é considerada um escudo protetor contra tempestades solares?
- Explique com suas palavras, por que esse sistema é necessário para a vida na Terra?
- Na sua opinião, por que os cientistas concordam que uma aurora serve como uma verificação de uma tempestade solar?
- O que causa essa variedade de cores nas auroras?

Junto com os questionários enviados há também dois materiais de apoio disponibilizados pelo professor para auxiliar no preenchimento das questões¹⁶.

Para dar continuidade ao momento da Organização do Conhecimento, partimos da discussão anterior sobre as partículas ejetadas pelo Sol e sua chegada ao planeta Terra para provocar nos estudantes uma nova indagação: “Essas partículas podem causar efeitos ao nosso corpo?”.

A partir disso, propomos uma breve retomada do contexto histórico relacionado à descoberta dos Raios Cósmicos, permitindo compreender como esse campo da Física se desenvolveu, que foi apresentada na etapa da OC.

¹⁶ Magnetosfera – <https://lilith.fisica.ufmg.br/~cristina/climaespacial/2pagmagnet.html>
Auroras – <https://lilith.fisica.ufmg.br/~cristina/climaespacial/2pagaurora.html>

6.2 ORGANIZAÇÃO DO CONHECIMENTO (OC)

Seguindo os 3MP agora é o momento da organização do conhecimento, separado entre as aulas 6 e 13, responsável por sistematizar o conhecimento necessário tanto para responder as problematizações conduzidas no primeiro momento quanto para novos problemas que ainda vão ser propostas no terceiro momento. A principal dificuldade deste momento pedagógico é evitar o retorno à aula expositiva tradicional, em que o professor transmite todo o conteúdo de forma unilateral, utilizando apenas uma estratégia de aprendizagem, sendo ele o único responsável pelo processo de construção de conhecimento do estudante. Portanto, o objetivo central consiste em desenvolver atividades de ensino sobre os temas por meio de abordagens pedagógicas que não se limitem apenas à transmissão de informações do professor para o aluno (Camargo, 2023).

Esse foi um dos principais desafios dessa pesquisa e para superá-lo foi preciso elaborar materiais didáticos que abordassem discussões histórico-conceituais e não apenas focar no tratamento matemático. A transposição para uma aula dialógica foi o objetivo em todos os momentos pedagógicos, para promoção do protagonismo do aluno no seu próprio processo de construção do conhecimento, tornando-o sujeito ativo e autônomo nesse processo.

A seguir, serão detalhadas as atividades utilizadas com o objetivo de manter a dialogicidade no processo de construção do conhecimento.

Momento pedagógico: Organização do Conhecimento

Aula 6 e 7 –

Tema: A descoberta dos Raios Cósmicos.

Duração: 100 min (2 aulas)

Papel do Professor: Apresentar discussões sobre fatos históricos e conceituais em relação ao processo de descobrimento dos RC ao longo dos anos. Discutir como cientistas da época tiveram que elaborar e testar teorias até a confirmação de que realmente havia partículas que chegam no topo da atmosfera e tinham suas origens desconhecidas.

Sobre a aula: Nesse momento optamos por uma abordagem histórico-conceitual, construída em forma de narrativa, que apresenta os principais acontecimentos e personagens envolvidos na descoberta dos Raios Cósmicos. Justamente para evidenciar aos estudantes o

caráter coletivo e contextualizado do processo de construção de teorias que torna possível esse avanço científico.

Na aula 7, foi utilizada uma plataforma de aprendizado baseada em jogos, individuais ou em grupos, usada como tecnologia educacional em escolas e outras instituições de ensino, conhecido como Kahoot. Dentro da plataforma foi elaborada uma sequência de 9 perguntas sobre a discussão feita durante a aula 6 e os desdobramentos históricos apresentados a eles. Uma das questões da atividade é apresentada na figura 27.

A competição em jogos educacionais se mostra muito interessante e uma ótima estratégia para engajamento dos estudantes, transformando aulas que muitas vezes os deixam sonolentos e acomodados, em um desafio para vencer seu companheiro e se atentar a maior parte das informações e discussões feitas em aula (Nascimento *et al.*, 2024).

Figura 27 - Exemplo do modelo de perguntas realizadas na plataforma Kahoot.



Fonte: Elaborado pelo autor

Aula 8 –

Tema: O descobrimento de novas partículas.

Duração: 50 min.

O papel do professor: O professor deve continuar com a abordagem em forma de narrativa, agora discutindo com os estudantes sobre as primeiras detecções de novas partículas, como o pósitron e o nêutron. Este é um ótimo momento para o professor apresentar as principais informações sobre a vida e feitos de Cesar Lattes, justamente pelo fato de que a maioria dos estudantes nunca terem ouvido falar sobre Lattes e sua importância para a Ciência no Brasil e no mundo

Sobre a aula: A estratégia de se utilizar a abordagem histórico-conceitual se estendeu também para a Aula 8, mas agora com um foco no descobrimento de novas partículas, consequência dos estudos sobre Raios Cósmicos e principal fonte de pesquisa para as novas partículas descobertas, como o pósitron (a antipartícula do elétron) e o méson pi (Píon).

Para concluir a aula foi elaborada uma palavra-cruzada com palavras associadas aos temas discutidos nas últimas aulas, com o objetivo de que eles pudessem relacionar conceitos e nomes importantes discutidos anteriormente, com data de entrega para a próxima aula. Abaixo estão as dicas de cada palavra da atividade.

Figura 28 - As dicas horizontais e verticais para o preenchimento da atividade da palavra cruzada.

Horizontais

2. Antipartícula do elétron
6. Gerado pelo impacto inicial de um raio cósmico com a atmosfera terrestre
8. Elemento descoberto por Marie e Pierre Curie
9. Sigla da grande quantidade de partículas carregadas e radiação eletromagnética emitidas pelo Sol
10. Tipo de partícula que possui suas propriedades semelhantes menos sua carga elétrica
13. Ganador do prêmio Nobel pela descoberta dos raios cósmicos
15. Nome da pessoa que descobriu a existência do pósitron (2 palavras)

Verticais

1. Ganador do Prêmio Nobel de 1933
2. Nome do Físico que possui um Observatório em sua homenagem (2 Palavras)
4. Partículas de alta energia vindas de diversas regiões do espaço e que atingem a Terra
5. Nome de um importante Físico Brasileiro que participou da descoberta do Méson Pi
7. Local onde Domenico Pacini fez seus experimentos com o eletrômetro em baixo d'água
11. Partícula descoberta por James Chadwick em 1932
12. Objeto de estudo de Coulomb que iniciou a discussão sobre a ionização do ar atmosférico
14. Nome de um importante pioneiro no estudo dos raios cósmicos da Itália

Aula 9 e 10 –

Tema: A construção de um modelo padrão de partículas.

Duração: 100 min (2 aulas).

O papel do professor: Apresentar todas as partículas que estão no Modelo Padrão de Partículas (MP), em forma de fichas, mas sem mencionar a existência de tal modelo. A partir disso, o professor deve instruir os estudantes a criarem um modelo de partículas, criando suas classificações e critérios para tal modelo. Após os grupos finalizarem a atividade, apresenta-se o MP e faça discussões com os estudantes sobre possíveis semelhanças e diferenças, destacando modelos que se aproximaram do MP ou modelos que possuem critérios distintos.

Sobre a aula: Após apresentar aos estudantes durante as aulas anteriores o conceito de partículas elementares e a montagem de um pequeno modelo de partículas até então descobertas, com apenas 4, o objetivo principal da aula 9 foi mostrar a enorme quantidade de partículas que vieram a ser descobertas e a necessidade de se criar um modelo mais sofisticado para classificar e ajudar no entendimento dessa nova era da Física de Partículas.

Para isso, foi elaborado uma ficha de estudo para cada partícula que está inserida dentro do MP, com informações sobre massa, carga, spin e sobre sua descoberta. A ficha foi distribuída para cada um dos grupos formados para a atividade e designada a seguinte proposta: eles deveriam montar e classificar seu próprio modelo de partículas e descrever quais critérios e classificações utilizaram para fazer tal separação e na próxima aula apresentar o modelo criado. Apenas depois da apresentação de todos os grupos, na Aula 10, o professor mostrou o modelo mais conhecido atualmente e realizou algumas discussões.

Figura 29 - Ficha de Estudo da partícula do Elétron.

1897

Elétron

Massa: $9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ ($0,511 \text{ MeV}/c^2$)

Carga Elétrica: $-1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ ($-e$)

Spin: $\frac{1}{2}$

Como foi descoberto:

Descoberto por J. J. Thomson, em 1897, utilizando uma Ampola de Crooks com raios catódicos no seu interior. Por conta do desvio da partícula sofrido pelo campo magnético, ele conclui ser um elétron.

Fonte: Elaborado pelo autor

Além da apresentação do modelo padrão mais conhecido entre os físicos, o professor explorou outros conteúdos envolvidos ao MP, como classificações derivadas, Hádrons, Léptons, Férmions e Bósons, principalmente para retomar e dar significado a termos apresentados a eles anteriormente, como o conceito de Mésons. Apresentou-se sobre as quatro tipos de interações fundamentais: gravitacional, eletromagnética, forte e fraca, que também estão associadas ao MP e suas partículas mediadoras correspondentes, finalizando com uma breve discussão sobre Cromodinâmica Quântica.

Ao final da aula foi disponibilizado o questionário 3, com o objetivo de aplicar o conhecimento até aqui trabalhado. Vale destacar novamente que esse questionário possui perguntas semelhantes ao da apostila trabalhada com as turmas.

Figura 30 - Trecho do questionário 3

Questionário 3 : O que aprendemos até agora?

Após as nossas discussões, vamos organizar nosso conhecimento sobre o sol. Para isso, reúna-se com seu grupo, e responda as questões a seguir, relacionando com os conceitos apresentados até agora:

- 1) A partícula próton é constituída de três quarks de dois tipos diferentes. Assinale a alternativa que contém os quarks que constituem o próton e justifique sua resposta:
 - a) up, up, up.
 - b) down, down, down.
 - c) up, up, down.

Fonte: Elaborado pelo Autor

Aula 11 e 12 –

Tema: O problema do Múon.

Duração: 100 min (2 aulas).

O papel do professor: Apresentar sobre as características e composições dos chuviros atmosféricos, relacionando com o trabalho do grupo de Cesar Lattes, Occhialini e Cecil Powel. Nesse momento o professor deve problematizar os cálculos sobre a detecção do múon na superfície terrestre, mostrando que o conhecimento de Física Clássica não é o suficiente para explicar sua velocidade e tempo de meia vida. A explicação virá posteriormente com os conceitos de Relatividade Restrita.

Sobre a aula: A partir das descobertas de Pierre Auger, sobre a colisão das partículas que atingiam o alto da atmosfera e criavam uma cascata de partículas denominada de Chuveiro Atmosférico Extenso (CAE), a discussão final escolhida para a OC foi relacionar o CAE e as partículas que o compõe, com a Teoria da Relatividade Restrita desenvolvida por Albert Einstein no início do Século XIX.

É importante destacar aqui que como o objetivo central da SD não é realizar um aprofundamento sobre a Teoria da Relatividade, foram destacados os tópicos que se mostraram necessários para o entendimento do tema escolhido, mas ainda assim houve a todo momento a preocupação de não apresentar o conteúdo de maneira superficial e rasa, ou de maneira que não houvesse contribuições significativas para a aprendizagem do estudante em relação a teoria.

Após a problematização dos dados do múon e a apresentação dos conceitos sobre a dilatação temporal, foi pedindo que os estudantes se dividissem em grupos e elaborassem uma história sobre o paradoxo dos gêmeos, demonstrando os cálculos e com descrições sobre quanto tempo durou a viagem, qual o valor da velocidade da nave, qual o objetivo da viagem e fatos ocorridos durante o caminho, com os últimos dois tópicos escolhidos para que eles trabalhassem a criatividade em cima desta proposta, a atividade poderia ser entregue em forma de redação ou em podcast de até 5 minutos.


Figura 31 - Atividade sobre o paradoxo dos gêmeos.

VAMOS APLICAR O QUE APRENDEMOS ATÉ O MOMENTO:

Em grupo, elabore uma história sobre o paradoxo dos gêmeos e demonstre os cálculos, que pode ser contada em forma de:

- Podcast (máx. 5 min)
ou
Redação (min. 15 linhas)

Objetivos: Descrever quanto tempo durou a viagem, qual o valor da velocidade da nave, qual o objetivo da viagem e fatos ocorridos durante o caminho.



Fonte: Autor.

A atividade teve início em sala de aula, mas com data de entrega final para o próximo encontro, assim como a entrega de mais um questionário, que poderia ser feito na apostila, sobre os conteúdos discutidos durante as duas últimas aulas.

Figura 32 - Trecho recortado do questionário 4 com questões semelhantes aos da apostila.

2) O paradoxo dos gêmeos é apenas aparente. Dessa forma, qual é a solução para ele?

3) Uma partícula tem velocidade que corresponde a 60% da velocidade da luz no vácuo em relação à Terra. Se passar um tempo de 5 minutos para um relógio colocado no solo terrestre, quanto tempo terá passado para essa partícula?

Fonte: Autor.

Aula 13 –

Tema: A contração espacial no problema do múon.

Duração: 50 min.

O papel do professor: Mediar as apresentações das histórias elaboradas pelos estudantes durante a atividade do paradoxo dos gêmeos. Dialogando com os grupos sobre as histórias criadas, questionando as condições e se estas estão coerentes com os princípios discutidos em aula. A partir dessas reflexões, o professor deve introduzir os conceitos de contração espacial, conectando-os ao exemplo do múon e à sua detecção na superfície terrestre.

Por fim, cabe ao professor retomar com os alunos a discussão sobre os perigos dos raios cósmicos, questionando-os se, após todas as análises e conhecimentos construídos, ainda consideram essas partículas perigosas. É possível que ainda existam lacunas, tornando importante uma discussão antes do início do último momento pedagógico, promovendo, assim, um fechamento reflexivo e crítico da sequência.

Sobre a aula: A finalização da OC foi marcada pela apresentação dos grupos sobre a atividade do roteiro de uma história com base no paradoxo dos gêmeos,

Além da apresentação sobre os efeitos da contração espacial, dando um foco a explicar as soluções sobre o problema no múon, mostrando algumas das aplicações que a relatividade possuiu ao longo dos anos e como ela se relaciona até mesmo na cultura do cinema e outras artes em gerais.

Por fim, foi feita a seguinte pergunta aos estudantes, “Após as nossas discussões, na sua opinião, a tempestade solar ou os raios cósmicos, podem ser perigosos ao corpo humano?”, as respostas obtidas na aplicação do produto serão discutida em um momento posterior, mas é importante comentar que se é esperado que até este momento os alunos sejam capazes de identificar a diferença dos perigos, principalmente, entre os raios cósmicos primário e secundários e entre os raios cósmicos solares e os de outra origem a não ser o Sol, relacionando com as diferenças de energias que respectivamente podem vir a possuir.

Foi feita também a entrega do último questionário com perguntas sobre Relatividade Restrita, mantendo o caráter dos anteriores, com questões de vestibulares e conteudistas.

Figura 33 - Trecho recortado do questionário 5.

4) (UPE) Uma régua cujo comprimento é de 50 cm está se movendo paralelamente à sua maior dimensão com velocidade de $0,6c$ em relação a certo observador. Sobre isso, é correto afirmar que o comprimento da régua, em centímetros, para esse observador vale:

Fonte: Autor.

6.3 APLICAÇÃO DO CONHECIMENTO (AC)

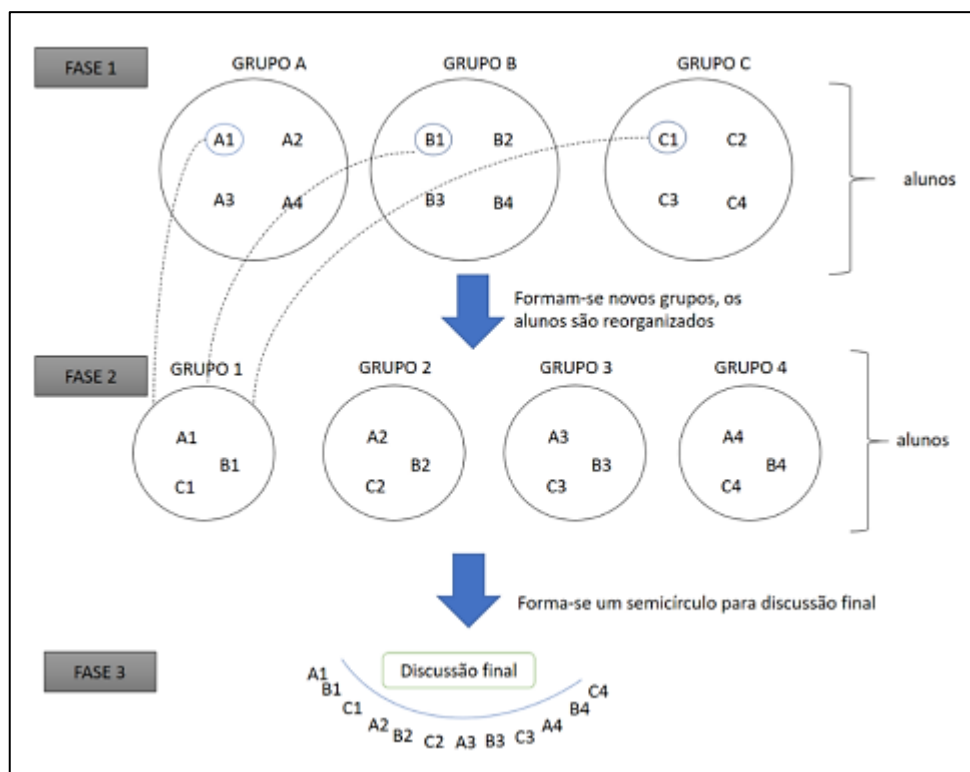
No terceiro e último momento, seguindo a dinâmica dos 3MP, a Aplicação do Conhecimento ficou marcada pela aplicação da atividade denominada de Painel Integrado, que consiste em uma atividade separada por duas etapas, que serão descritas a seguir denominadas de primeira e a segunda formação.

O painel integrado é uma estratégia de ensino que tem como finalidade potencializar a interação entre os estudantes e promover uma aprendizagem colaborativa e significativa. De acordo com Masseto (2003) e Freitas Filho (2010), essa técnica organiza-se em três momentos distintos. Inicialmente, a turma é dividida em grupos que realizam o estudo preliminar do conteúdo, discutindo ideias e construindo compreensões iniciais. Em seguida, ocorre o reagrupamento, no qual cada estudante se torna relator e compartilha com um novo grupo as informações e reflexões obtidas anteriormente, possibilitando a circulação de diferentes perspectivas e a ampliação do debate. Por fim, há uma etapa de síntese conduzida pelo professor, que intervém para consolidar os conceitos abordados, esclarecer dúvidas e enriquecer o conteúdo trabalhado.

Essa metodologia favorece não apenas a troca de conhecimentos, mas também o desenvolvimento da autonomia intelectual, da responsabilidade pelo aprendizado coletivo e do compromisso com o processo de ensino-aprendizagem. Ao permitir que todos os estudantes participem ativamente, o painel integrado rompe com a lógica tradicional de ensino centrada no professor e valoriza a construção conjunta do saber. Além disso, pode ser aplicado em turmas

de diferentes tamanhos, adaptando-se tanto a grupos pequenos quanto a classes numerosas, sendo uma alternativa eficaz para trabalhar conteúdos complexos de forma dinâmica e participativa.

Figura 34 - Exemplo de separação dos grupos na metodologia do painel integrado



Fonte: Zanon, Althaus e Bagio (2018).

Neste trabalho, optou-se por realizar algumas adaptações na estrutura original da atividade do painel integrado, de modo a adequá-la às especificidades da SD. Considerando o número de alunos e a necessidade de tornar o processo mais dinâmico e viável, a organização tradicional da atividade, composta por três etapas, foi ajustada para um formato de duas etapas.

Além disso, a quantidade de grupos também foi modificada, permitindo uma melhor distribuição dos participantes e um alinhamento mais adequado aos temas trabalhados. Essas alterações tiveram como objetivo potencializar a participação dos estudantes, assegurar uma maior coerência entre a atividade e os conteúdos abordados e garantir que a metodologia atendesse de maneira eficaz aos propósitos da sequência didática desenvolvida. A estrutura aplicada será detalhada abaixo.

Primeira Formação: Organização dos alunos em 3 grupos com 4 alunos em cada. Essa configuração será chamada de “formação de especialistas”, isso porque cada grupo desta etapa

será responsável pelo estudo de um tema determinado pelo professor. Ou seja, ao final teremos 4 alunos que se especializaram em cada tema. Para nortear os estudantes foi elaborado pelo professor uma ficha de estudo para cada tema.

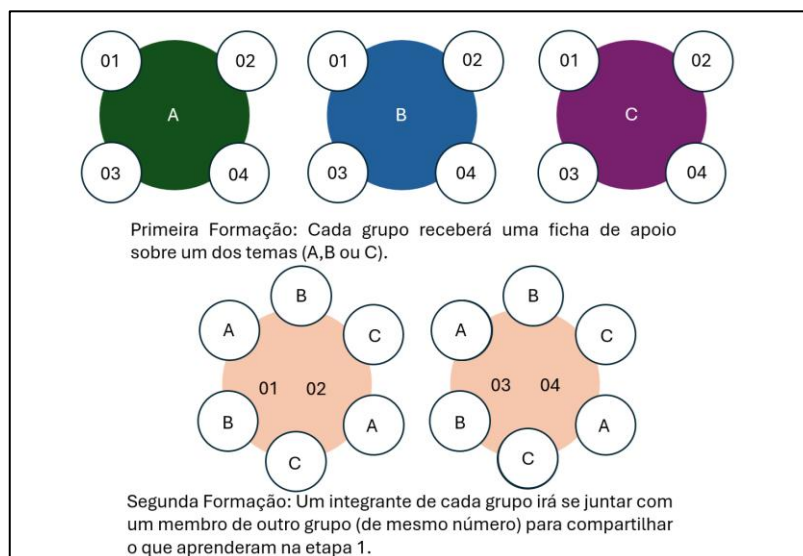
Segunda Formação: Ocorre a formação de outros grupos, agora composto por um aluno de cada grupo anterior. Ou seja, cada grupo terá 6 “especialistas” diferentes em casa grupo, com a proposta de resolver um problema apresentado a eles. Nesta nova configuração passa-se a ter 2 grupos de 6 alunos. O professor apresentará um problema relacionado aos temas da primeira etapa, por isso a importância da formação de cada especialista será crucial na resolução desta atividade.

Levando em conta as particularidades em relação ao número de alunos em cada turma, se torna interessante o professor adaptar a estrutura do Painel Integrado para uma aplicação mais efetiva para turmas com números de estudantes diferentes. As duas turmas de aplicação deste produto possuíam entre 14 e 16 alunos, para isso foi desenvolvido o esquema ilustrado abaixo, tanto para auxiliar o professor durante a aplicação, como também, para explicar e facilitar aos estudantes o entendimento da estrutura da atividade.

Exemplo prático: Por meio de um sorteio, o aluno João vai participar do grupo A, que ficará responsável pelo estudo das partículas emitidas pelo Sol, e no sorteio, João pegou o número 02. Após o estudo do tema e o preenchimento da Ficha de estudo, será formado outros grupos, e como João era o número 02, do grupo A, ele vai para o grupo 1 da segunda etapa, que ficará responsável pela apresentação sobre o investimento na medicina nuclear.

Com o objetivo de causar uma maior aproximação dos estudantes a casos reais, para as três fichas de estudo elaboradas para a primeira etapa, foi criado um roteiro relacionando empresas reais e fictícias com propostas a serem resolvidas pelos grupos da segunda etapa.

Figura 35 - Esquema da estrutura do Painel Integrado montada pelo professor para aplicação da atividade.



Fonte: Elaborado pelo autor

Primeira Formação: Estudo da ficha de apoio para “especialização” dos estudantes no tema dado a eles.

Grupo A: Análise das partículas emitidas pelo Sol e outras Estrelas. (Grupo de Cientistas do NOAA)

Grupo B: A importância da Física Médica no tratamento de câncer. (Grupo de médicos/cientistas especializados nessa área)

Grupo C: Impacto dos raios cósmicos na saúde humana (na Terra e Astronautas). (Grupo de médicos trabalhando para a NASA).

Segunda Formação: Apresentação sobre a proposta designada a eles e elaboração de uma notícia a ser divulgada pela empresa.

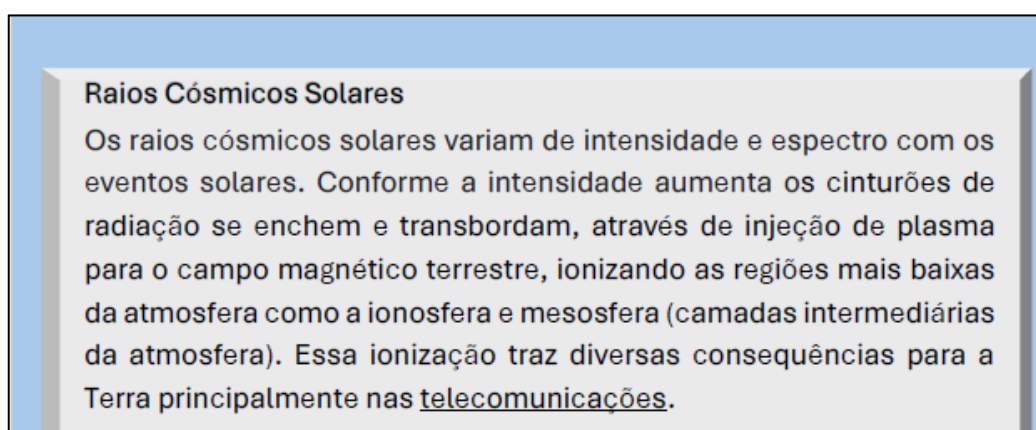
Grupo 1: Vale a pena o investimento da Empresa na medicina nuclear? (Empresa da área da saúde busca investir em aparelhos da Medicina Nuclear para tratamento de Câncer).

Grupo 2: Qual o impacto dos raios cósmicos em uma viagem de longa duração que a Nasa pretende fazer a Marte? (NASA busca divulgar os riscos dessa viagem).

Fichas de Apoio –

A Ficha de estudo com o tema “Análise das partículas emitidas pelo Sol e outras Estrelas. (Grupo de Cientistas do NOAA)” teve como objetivo atuar como um material de apoio em formato de estudo dirigido, auxiliando os estudantes na compreensão dos conceitos abordados. Através dela, busca-se fornecer subsídios para que consigam responder às perguntas propostas na própria ficha, além de prepará-los para a segunda etapa de formação do Painel Integrado, aprofundando o entendimento sobre os efeitos dos raios cósmicos solares na atmosfera terrestre e em aspectos tecnológicos do cotidiano.

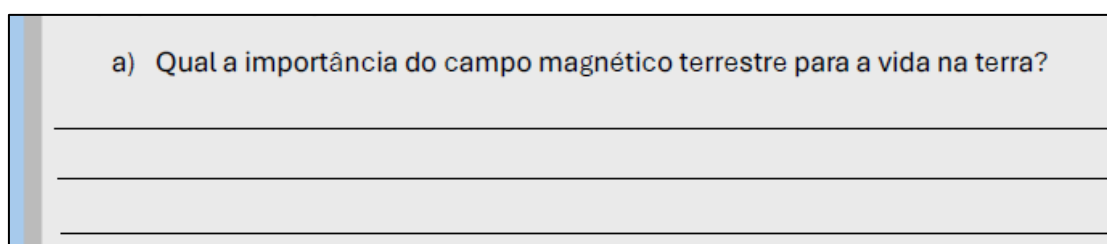
Figura 36 - Recorte da ficha de estudo do grupo A.



Fonte: Autor.

Além de apresentar trechos explicativos sobre o conteúdo trabalhado, a ficha também conta com algumas questões direcionadas aos estudantes. Essas perguntas têm como objetivo retomar conceitos discutidos durante as aulas, promovendo a revisão e consolidação do conhecimento. Ao final, é proposta ainda uma questão de caráter mais reflexivo, que estimula os estudantes a relacionarem o conteúdo aprendido com aspectos mais amplos e críticos, favorecendo uma discussão crítica para o tema abordado.

Figura 37 - Recorte de uma das questões presentes na ficha do grupo A.



Fonte: Autor.

As fichas de apoio completas estão no apêndice desse trabalho junto ao Produto Educacional.

Momento pedagógico: Aplicação do Conhecimento**Aula 14 e 15 –**

Tema: Primeira Formação do painel integrado.

Duração: 100 min (2 aulas).

O papel do professor: O docente deve dedicar o início da aula para explicar claramente o funcionamento da dinâmica do Painel Integrado, tendo em vista a complexidade da atividade. Nesse sentido, o professor precisa orientar os alunos sobre como será a divisão dos grupos (a forma escolhida na aplicação foi por sorteio, mas fica livre para o professor decidir qual a melhor maneira) e quais serão os temas e responsabilidades atribuídos a cada um deles. Ao fornecer essas explicações, o professor facilita a compreensão dos estudantes sobre a estrutura da atividade e garante que todos saibam como colaborar de forma eficaz.

No restante da aula, o professor deve acompanhar o desenvolvimento da atividade, permanecendo disponível para dar suporte as questões e reflexões dos alunos, oferecendo orientações nas discussões e estimulando o pensamento crítico e a análise dos temas abordados.

Sobre a aula: No início da aula, o professor apresentou aos alunos a dinâmica do painel integrado, explicando detalhadamente o processo de elaboração da ficha de estudo e como seria a divisão dos grupos. Essa introdução foi essencial para que os alunos compreendessem o funcionamento da atividade e se sentissem preparados para participar de maneira ativa.

Em seguida, foi realizado o sorteio dos grupos, que seriam responsáveis tanto pela primeira etapa do painel integrado quanto pela segunda etapa subsequente. A definição dos grupos nesse momento foi fundamental para estabelecer as bases da atividade, preparando os alunos para o desenvolvimento dos próximos passos do painel integrado. O restante da aula o professor ficou a disposição dos grupos, mantendo uma postura semelhante ao da PI, de não entregar as respostas prontas para os estudantes, e sim fazendo-os pensar e como encontrar tais respostas.

Figura 38 - Recorte da ficha de estudo do grupo C.

Ficha de Estudo – Grupo C	
Integrantes do grupo:	
Data:	
Impacto dos Raios Cósmicos na Saúde	
As radiações cósmicas podem ser de duas formas: ondas eletromagnéticas ou partículas subatômicas. Exemplos de ondas eletromagnéticas são a luz visível, os raios ultravioletas e infravermelhos, raios X, raios gama e ondas de rádio. Exemplos de raios cósmicos constituídos por fluxos de partículas subatômicas são elétrons, prótons, núcleos atômicos e neutrinos. A única diferença	Raios Cósmicos Solares Os raios cósmicos representam uma das barreiras mais importantes quanto aos planos de expansão de viagens interplanetárias por

Fonte: Autor.

Aula 16 e 17 –

Tema: Segunda Formação do painel integrado.

Duração: 100 min (2 aulas).

O papel do professor: O professor deve orientar aos estudantes como retomar os conteúdos discutidos ao longo da SD e como utilizar esses conhecimentos na construção de argumentos bem fundamentados. Oriente-os a relacionar os temas propostos às questões sociais, éticas e científicas envolvidas, ajudando-os a perceber a relevância da ciência na vida cotidiana.

Discuta com os grupos a clareza de suas ideias, incentive a reflexão e o diálogo entre os colegas. O professor deve estar atento para que todos os alunos participem ativamente do processo, promovendo um ambiente de escuta e respeito às diferentes opiniões.

Ao final da sequência, o professor deve conduzir um momento de fechamento coletivo. Mostre como os conceitos como os Raios Cósmicos, as descobertas científicas e os efeitos da radiação, se conectam com decisões que envolvem o investimento em ciência e a compreensão crítica da realidade. Discuta com a turma a importância de se formar uma postura consciente diante das questões tecnológicas que envolvem riscos e possibilidades, reforçando a ideia de que a educação científica deve preparar os estudantes para atuar como cidadãos críticos, informados e comprometidos com o bem comum.

Sobre a aula: Nas aulas 16 e 17, ocorreu a Segunda Formação do painel integrado, em que os alunos receberam uma proposta de atividade específica para cada grupo. Essas atividades foram projetadas para serem reflexivas, estimulando os estudantes a revisitarem e refletir sobre o conteúdo discutido ao longo das aulas anteriores, incluindo os temas abordados na primeira etapa do painel integrado. Como a dinâmica do painel integrado havia sido explicada nas aulas anteriores, foi feito apenas uma breve apresentação sobre o funcionamento da segunda etapa.

Cada grupo elaborou uma apresentação, com base nos temas específicos que haviam sido entregues. Esse momento foi crucial para que os estudantes aplicassem o conhecimento adquirido ao longo do processo, organizando suas ideias e criando estratégias para transmitir de forma clara e reflexiva o conteúdo discutido durante as aulas.

A atividade também exigia que os estudantes tomassem um posicionamento diante das questões propostas, estimulando a argumentação e o pensamento crítico. Cada grupo recebeu um tema que envolvia não apenas a revisão de conteúdos científicos, mas também a necessidade de refletir sobre suas implicações sociais, tecnológicas e éticas.

O Grupo A, por exemplo, ficou responsável por discutir se vale a pena ou não investir na medicina nuclear, considerando seus benefícios para a saúde e os riscos associados à radiação.

Figura 39 - Recorte da proposta de atividade do grupo 1.

Grupo 1

Vale a pena o investimento da Empresa na medicina nuclear?

A Empresa MEDNUC está avaliando a viabilidade de investir na área de medicina nuclear, um setor que promete trazer avanços significativos para a área da saúde e potencial de crescimento econômico no mercado. A medicina nuclear é uma especialidade médica que utiliza pequenas quantidades de substâncias radioativas para diagnosticar e tratar diversas doenças, incluindo câncer, doenças cardíacas e até mesmo Alzheimer.

Fonte: Autor

Já o Grupo B abordou a questão da viabilidade de viagens tripuladas para Marte, analisando os perigos oferecidos pelos Raios Cósmicos ao organismo humano. Essas propostas incentivaram os alunos a mobilizarem os conhecimentos adquiridos durante a SD e a construir argumentos fundamentados.

Figura 40 - Recorte da proposta de atividade do grupo 2.

Grupo 2

Qual o impacto dos raios cósmicos em uma viagem de longa duração que a Nasa pretende fazer a Marte?

A NASA está nos estágios avançados de planejamento para uma missão tripulada a Marte, um empreendimento que promete ser um marco histórico na exploração espacial. No entanto, uma das maiores preocupações para essa viagem de longa duração são os raios cósmicos, partículas altamente energéticas provenientes de fora do sistema solar, que podem representar um risco significativo para a saúde dos astronautas.

Fonte: Autor.

Capítulo 6

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para a realização desta discussão, a análise concentrou-se na própria SD enquanto produto educacional, com o objetivo de avaliar se ela foi conduzida de acordo com os pressupostos teóricos que a fundamentaram. Especificamente, buscou-se verificar a coerência da proposta com as características dos 3MP, articulados aos princípios da dialogicidade e da problematização.

A análise foi conduzida a partir dos registros do caderno de campo produzido pelo professor ao longo da aplicação da sequência, bem como de algumas atividades selecionadas que se mostraram particularmente significativas para a discussão. Entre essas atividades, destacam-se: a problematização inicial sobre tempestades solares, as redações reflexivas produzidas pelos alunos, as fichas de estudo construídas em grupo e as apresentações finais realizadas no contexto do painel integrado.

A organização da análise segue a lógica dos 3MP, possibilitando identificar mais claramente as potencialidades e fragilidades da proposta, especialmente no que diz respeito à mobilização de saberes prévios e a geração do diálogo, ao aprofundamento dos conteúdos trabalhados e à capacidade dos estudantes de articular conhecimento científico frente a problemas socialmente relevantes.

Dessa forma, esta discussão busca oferecer uma reflexão crítica sobre o processo de aplicação da SD, permitindo não apenas avaliar sua aderência aos fundamentos teóricos propostos, mas também apontar caminhos para o aprimoramento da versão final do produto educacional.

7.1 ANÁLISE DA PROBLEMATIZAÇÃO INICIAL

Considerando que a SD foi estruturada com base em uma dinâmica fractal dos momentos pedagógicos, a análise terá início pela problematização, entendida aqui como um elemento central da prática pedagógica freireana. A problematização, nesse contexto, não se limita ao início da sequência, mas reaparece em diferentes momentos.

Assim, será analisada inicialmente a presença e a qualidade da problematização enquanto característica fundamental de uma abordagem freireana. Em seguida, a análise será direcionada ao primeiro momento pedagógico, conforme a estrutura dos 3MP, observando como esse se desenvolveu na prática e em que medida contribuiu para a construção significativa do conhecimento.

O tema escolhido para iniciar a discussão com os estudantes foi o das Tempestades Solares. Esse fenômeno foi apresentado por meio de notícias e materiais que mostravam possíveis impactos em diferentes aspectos da vida cotidiana, como nas telecomunicações, na aviação e na saúde de astronautas. Essa escolha partiu da intenção de propor uma situação próxima da realidade dos alunos, ainda que em muitos casos pouco discutida no contexto escolar. A tempestade solar serviu como ponto de partida para levantar hipóteses, opiniões e curiosidades, provocando questionamentos e abrindo espaço para que os alunos compartilhassem seus conhecimentos prévios e percepções sobre o tema.

O objetivo desta análise é identificar se a problematização proposta gerou, de fato, um ambiente de diálogo entre o professor e os estudantes, e se esteve relacionada à realidade vivida por eles. Essa perspectiva está alinhada ao que é definido no trabalho de Araújo, Niemeyer e Muenchen (2013), que destacam a importância de uma problematização que não apenas provoque reflexões, mas que parta de situações reais para os alunos, promovendo o envolvimento ativo e o questionamento sobre os temas abordados.

A partir do que foi discutido no tópico “A importância da problematização para esta pesquisa”, foram selecionadas algumas características consideradas essenciais para uma boa prática problematizadora. Essas características foram identificadas a partir de contribuições de autores renomados na área da Educação em Ciências e da abordagem freireana, e servirão como base para a análise desta etapa da SD. As características que iremos analisar são as seguintes:

- I – “Problematização é a colocação de problemas pelo professor com o propósito de promover o diálogo com os estudantes.” (Muenchen, 2010, p. 160)
- II – A problematização ocorre a partir de questões que emergem do cotidiano dos educandos, baseando-se em suas vivências, percepções e experiências sociais. (Araújo, 2015)
- III – Processo pelo qual o professor reconhece os conhecimentos prévios dos alunos para, a partir de uma relação dialógica” (Camargo, 2023).

É com base nesses atributos que será analisada a etapa inicial da sequência didática. O objetivo é verificar se o ponto de partida da proposta foi capaz de mobilizar o interesse dos estudantes, provocar a reflexão e abrir caminho para a construção de um conhecimento científico e contextualizado.

7.1.1 A problematização a partir de notícias

A aula 1 foi marcada pela discussão sobre a notícia entregue aos estudantes na aula anterior, com os seguintes questionamentos, feito pelo professor:

“Sobre o que se tratava a notícia?”

“Vocês já tinham ouvido falar sobre esse tema?”

“Qual é o perigo tratado na notícia?”

“Vocês acreditam que essa tempestade possa ser perigosa para nós?”

Esse momento gerou algumas falas e questionamentos por parte dos estudantes, que logo perguntaram sobre alguns termos que a notícia falava, e quando questionados sobre o “perigo” das tempestades solares, logo respondiam com a pergunta de que se realmente havia perigo. Evidenciando aqui uma lacuna em relação ao entendimento dos efeitos ao corpo humano de uma tempestade solar.

Posteriormente foi utilizado uma imagem do Sol produzindo algumas erupções solares e questionado aos estudantes sobre qual a conexão daquela imagem apresentada no slide e a notícia enviada a eles.

“A maior parte dos alunos logo mencionou termos técnicos ligados ao fenômeno, demonstrando se ater a esses detalhes técnicos apresentados na notícia, como “Manchas solares”, “erupções solares”, “atividade solar”. A partir desses termos o professor foi questionando sobre o significado de cada termo e sua relação com a imagem, sem afirmar se as respostas dadas por eles estavam corretas ou não.” (Caderno de campo)

Essa postura dos estudantes já se relacionou com as condições I e II, mencionadas por Muenchen e Delizoicov (2012), com eles tendo um momento de fala e de expor suas opiniões, além de mostrar que não possuíam o conhecimento científico necessário para compreender os termos citados na notícia.

A apresentação do vídeo-notícia foi fundamental para gerar inquietação aos estudantes, uma possível explicação seria pelo fato de que o vídeo argumenta que uma das consequências das tempestades solares pode ser a queda da energia elétrica de algumas regiões. Como pode ser visto nas anotações do professor:

“Em ambas as turmas, frases com tom de preocupação começaram a surgir, principalmente sobre o fato apresentado na notícia sobre a possível queda da internet. Algumas perguntas sobre a veracidade dos impactos da tempestade solar foram feitas [...]” (Caderno de campo)

Antes de se iniciar a OC, dentro do modelo fractal, foi entregue aos estudantes um questionário, com 7 perguntas, buscando problematizar o tema. As questões serão discutidas abaixo conforme os 3 tópicos listados sobre as características da problematização.

Questão 1 – “Você já recebeu notícias a respeito desse tema? Se sim, como eram tais notícias?”

A partir das respostas elaboradas pelos estudantes na questão 1, percebe-se que mais de 80% deles já tiveram contato com notícias relacionadas a tempestades solares, principalmente próximos aos dias em que ocorrem explosões solares de maior intensidade.

Apenas 3 participantes não tiveram nenhum contato com notícias relacionadas a tempestades solares ou algumas de suas consequências que a mídia divulgava.

Outra resposta que acabou surpreendendo foi o número de estudantes que relatou ver essas notícias relacionadas até mesmo ao fim do planeta Terra e extinção dos seres humanos,

mostrando uma tática que a imprensa acaba utilizando para atrair a atenção do leitor, que muitas vezes pode acabar compartilhando essas informações sem verificar a procedência.

Em algumas notícias, a explicação ocorre de maneira correta, mas o título acaba por se tornar o ponto principal para atração do leitor.

Aluno A: “a possível chance de ocorrer um apagão na Terra, Fim do Mundo”;

Aluno B: “A internet deixar de existir”;

Aluno C: “No Instagram, sobre o fim do mundo”.

(Respostas dos estudantes sobre como eram tais notícias)

Questão 2 - “Você compartilhou alguma informação a respeito desse tema? Se sim, para quem enviou e por que decidiu compartilhar?”

A questão 2 se torna importante por se tratar sobre o compartilhamento dessas informações, no qual 5 alunos declararam já terem compartilhado notícias relacionadas a isso, outros 13 afirmaram não terem compartilhado. Uma possível explicação para a baixa quantidade de estudantes que compartilharam, se dá pelo fato de ser incomum o compartilhamento desse tipo de notícia entre eles nas redes sociais.

Aluno A: “Sim, para alertar outras pessoas”;

Aluno B: “Como nunca recebemos algo desse tema, também não compartilhamos com ninguém”

(Respostas dos estudantes sobre se já compartilharam notícias sobre Tempestades Solares)

Questão 3 - “Você acredita que as tempestades solares podem afetar os equipamentos elétricos e magnéticos ou até mesmo os sistemas de internet? Como você acha que isso pode acontecer ou por que você considera que isso não pode acontecer?”

Na questão 3, 21 alunos afirmaram que as tempestades solares podem causar danos a equipamentos eletrônicos e 11 relacionaram com afetar até mesmo a internet, esse grande número de afirmações possivelmente está relacionado a forma com que as notícias são divulgadas. Outros mencionaram que os danos a sistemas eletrônicos dependeriam do nível de

intensidade dessas tempestades, com as tempestades mais fracas não tendo energia suficiente para causar danos.

Alguns estudantes chegaram a citar que a tempestade solar aconteceria quando o Sol possui seu tamanho aumentado. Houve algumas respostas relacionadas ao campo eletromagnético da Terra, sendo ele o responsável por proteger ou deixar passar essa tempestade.

Aluno A: “Sim, pois as tempestades solares podem afetar a energia elétrica”;

Aluno B: “Sim, pois pode afetar GPS, sistema de internet, satélites e podem emitir ondas de calor fazendo com que aparelhos parem de funcionar e queimem”.

Aluno C: “[...] isso pode acontecer caso a tempestade solar afete drasticamente o campo eletromagnético da Terra, exemplos: internet, radio, GPS, etc.”.

(Respostas dos estudantes sobre como a tempestade solar pode afetar a Terra)

Questão 4 – “O que você compreende sobre o que é uma tempestade solar?”

No momento que questionamos sobre o que eles compreendem sobre tempestade solar, algo evidente foi a apropriação de alguns termos como explosões solares, raios, radiação e outros, de maneira incorreta no momento da elaboração de algumas respostas, possivelmente na tentativa de torná-las mais técnicas e formais, como na associação do aumento da atividade solar com a emissão de calor ou tamanho do Sol, argumentando serem os causadores das tempestades solares.

Alguns estudantes acabaram definindo como emissão de ondas de calor ou ondas de radiação, novamente relacionando à temperatura. Uma explicação para essa apropriação frequente do termo pode estar relacionada ao fato de eles relacionarem o Sol com algo extremamente quente ou dias de temperaturas mais elevadas.

Aluno A: “Alterações no Sol, aumento do calor, tamanho e manifestações dele”;

Aluno B: “Quando o Sol solta raios solares”;

Aluno C: “[...] é quando o Sol está no pico mais quente”.

(Respostas dos estudantes sobre o que compreendem como tempestade solar)

Questão 5 – “Na sua opinião, por que está havendo uma maior preocupação atualmente a respeito desse tema?”

A questão 5 foi responsável pelo questionamento sobre o motivo de no ano de 2023 e 2024, o número de notícias divulgadas a respeito de tempestades solares aumentarem, 7 deles relacionaram com a preocupação de um apagão dos sistemas elétricos na Terra, novamente, fato que pode estar relacionado ao formato com que as notícias estão sendo divulgadas, 8 estudantes citaram o aumento da atividade solar. Outros 3 relacionaram novamente a temperatura do Sol, citando que o Sol está ficando mais quente e que isso faz com que se crie uma preocupação em relação a sua atividade.

Aluno A: “Porque como a energia faz parte da nossa vida cotidiana, perderíamos nosso acesso à tecnologia que necessitamos para nosso dia a dia.”

Aluno B: “Porque a situação está piorando e pode causar mais danos a sociedade”;

Aluno C: “Pois afeta nossas vidas diariamente, e a comunicação, por conta do aumento do aquecimento”.

(Respostas do estudantes sobre o porquê da preocupação com as tempestades solares)

Questão 6 – “Quando o Sol está em baixa atividade, ele não causa perigo a esses equipamentos?”

Na questão 6 foi possível observar novamente a relação que a maioria dos estudantes criaram entre a intensidade da tempestade solar e suas consequências em equipamentos eletrônicos aqui na Terra, 33% dos estudantes afirmaram não causar danos, 42% afirmaram afetar os equipamentos igualmente e 25% afirmaram causar danos, mas inferiores a períodos de alta atividade solar. Nesse momento foi possível observar, durante as discussões, as dificuldades que eles possuem em pensar o sistema Sol-Terra como um sistema tridimensional e de que a emissão de partículas do Sol pode não alcançar diretamente o planeta.

Aluno A: “Não”;

Aluno B: “Sim, pois a energia diminui e atinge igualmente”;

Aluno C: “Ele ainda pode causar perigo, mas não tanto como em alto nível”.

(Respostas dos estudantes sobre o perigo do Sol em baixa atividade)

Questão 7 – “Na sua opinião, a tempestade solar pode ser perigosa ao corpo humano?”

Por fim, a questão 7 questionou-os sobre as consequências das tempestades solares para o corpo humano, apenas 3 afirmaram não causar dano algum, outros 12 afirmaram causar danos ao corpo humano, mas 5 deles envolveram o fator “intensidade da tempestade” para esses danos.

Aluno A: “Sim, há riscos e problemas pequenos por agora, mas se houver um aumento mais drástico nas tempestades, podem vir com elas problemas maiores”.

Outros dois dados mostraram novamente o poder com que a forma que a notícia é divulgada pode influenciar o seu leitor, com 9 estudantes associando os perigos ao câncer de pele, sendo o principal causador os raios ultravioletas, possivelmente uma apropriação do termo “raios” relacionada aos raios cósmicos descritos na notícia ou sua familiaridade com o termo ultravioleta a partir de suas próprias experiências.

Aluno B: “Pode ser perigosa, causando câncer de pele ou prejudicando de outras formas”

Aluno C: “Sim, [...] podendo causar até câncer de pele”.

Ainda 4 estudantes afirmaram até mesmo que ser atingido por uma tempestade solar pode causar a morte, em alguns desses casos não ficou claro se o estudante entendeu que o ser humano a ser atingido estaria na superfície terrestre ou se entendeu que seria atingido diretamente sem qualquer tipo de proteção.

Aluno D: “Sim, [...] você pode sofrer queimaduras e até a morte”;

Aluno E: “Sim, queimaduras na pele, [...] tendo risco para o corpo, podendo levar a morte”.

(Respostas dos estudantes sobre as consequências das tempestades solares no corpo humano)

A partir das respostas dos estudantes e das anotações registradas no caderno de campo do professor, foi possível identificar que as questões 3, 5 e 7 do questionário geraram diálogo frente aos problemas propostos. Essas perguntas provocaram reflexões nos alunos, que se envolveram nas discussões e expressaram opiniões relacionadas ao tema, indicando uma movimentação importante em direção a uma postura crítica.

No entanto, a análise da questão 6 revelou uma limitação nesse processo. Em três casos, a resposta registrada pelos estudantes foi simplesmente "não", sem qualquer tipo de justificativa ou desenvolvimento. Esse tipo de resposta não condiz com os objetivos da problematização, pois não promove reflexão nem instiga o aprofundamento do tema.

Em relação ao parâmetro III, que trata do reconhecimento dos conhecimentos prévios dos alunos a partir de uma relação dialógica (Camargo, 2023), as perguntas 1 e 2 do questionário foram fundamentais. Elas serviram como instrumentos iniciais para identificar se o tema das tempestades solares já fazia parte da realidade dos estudantes de alguma forma. Os dados mostraram que aproximadamente 80% dos alunos afirmaram já ter tido contato com alguma notícia relacionada ao assunto, o que indica que o tema escolhido estava, de fato, inserido em seu contexto social e informativo.

É importante destacar que, isoladamente, o questionário poderia ser compreendido como um instrumento diagnóstico tradicional, utilizado apenas para levantar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre determinado tema. No entanto, o modo e o contexto que ele foi inserido na dinâmica da aula teve como objetivo ter um caráter problematizador. O questionário também teve como função formalizar as discussões realizadas em sala sobre o tema das tempestades solares, servindo como um registro do momento inicial da problematização.

A tabela abaixo apresenta dados referentes às respostas obtidas no questionário de problematização inicial sobre tempestades solares. Esses dados ajudam a compreender de maneira mais didática de como os alunos se posicionaram diante das questões propostas.

Tabela 3 – Respostas obtidas no questionário de problematização inicial.

Nº	Respostas agrupadas por semelhança			
1	Viram notícias sobre tempestade solar (21)	Não tiveram acesso a nenhuma notícia sobre tempestade solar (3)	Notícias sensacionalistas sobre: - Fim da internet (3) - Fim do mundo (10)	Apenas viram sobre o aumento da atividade solar (3)
2	Compartilharam informações sobre o tema (5)	Não compartilharam informações (13)		

3	Tempestades solares podem danificar equipamentos eletrônicos (21)	Tempestades solares podem causar pane nos sistemas de internet (11)	- Mencionaram o fator “intensidade da tempestade” (5) - O Sol aumenta de tamanho em períodos de tempestade solar (3)	Associaram o campo eletromagnético da terra (4)
4	Aumento da temperatura do Sol (6)	Emissão de “raios” em direção a Terra (4)	Erupções Solares (8) Explosões Solares (3)	Onda de calor (5) Ondas de radiação (3)
5	Possibilidade de um apagão na Terra (7)	Aumento da atividade solar (8) Aumento do aquecimento do Sol (3)	“A situação no Sol está se agravando” (6)	Afetar nossa comunicação (3)
6	Causa perigo, mas inferior a períodos de alta atividade solar (6)	Afeta os equipamentos igualmente (10)	Não causam perigos aos equipamentos (8)	
7	Não causa perigo (3) Causa perigo (7)	Causa perigo dependendo da intensidade (5)	Associaram a radiação ultravioleta e câncer de pele (9)	Pode causar a morte (4)

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

7.1.2 Redação “Consequências da tempestade solar”

Durante a aula nº4 foi abordado um dos eventos mais significativos quando falamos sobre tempestades solares, o Evento Carrington, que leva o nome do astrônomo que o observou primeiramente e o divulgou. O objetivo de se discutir sobre as consequências desse evento ocorrido em 1859 está em explorar e desenvolver as habilidades críticas dos estudantes em relação as causas que esse mesmo evento teria atualmente. Fazendo com que eles observassem a atual dependência tecnológica que temos hoje e o quanto a sociedade sofreria com esses danos com falta de tecnologia da época.

Com isso, a aula nº5 se iniciou com um questionamento aos estudantes, “Quais seriam as consequências se houvesse um Evento Carrington atualmente?”, assim, eles se juntaram em grupo para elaborar uma resposta em forma de redação sobre como seriam afetados por um

evento semelhante, por mais que o professor tenha sugerido que a atividade fosse feita em grupo, alguns estudantes optaram por realizar individualmente.

Interessante notar que todos os textos descreveram consequências negativas das tempestades solares. Resultando em comentários a respeito da dificuldade de viver atualmente sem aparelhos elétricos que facilitam nosso dia a dia.

Grupo A: “As consequências seriam a perda da energia elétrica, [...] Tudo que é ligado a eletricidade não funcionaria mais”;

Grupo B: “Outro problema seria a falta de energia para utilizarmos aparelhos como geladeira, chuveiro, etc.”;

Grupo C: “Ficariamos sem internet, energia, sem nenhuma tecnologia, não teríamos banho quente”.

2 grupos e 1 estudante sugeriram como solução da queda dos geradores a utilização de outras fontes de energia, como a utilização de placas solares.

Aluno A: “usar outros tipos de energia, como a solar, que seria mais eficaz para se usar”;

Grupo A: “As placas solares salvariam as pessoas, pois ela continuaria funcionando mesmo com o Sol agitado”.

Grupo C: “Quem tivesse energia solar sobreviveria a essas consequências”.

Um outro tópico que acabou chamando a atenção foi a respeito de um tema que muitas vezes é evitado em sala de aula, mas muito comum, a ansiedade e dependência causada por telas. 1 grupo e 3 estudantes mencionaram o aumento no número de pessoas com ansiedade e depressão pela falta do acesso à internet.

Grupo C: “Aumentaria os casos de suicídio, ansiedade e depressão”;

Aluno A: “Muitos jovens têm dependência a energia e tecnologia, são muito viciados a internet. Afetaria 100% os hábitos básicos dos seres humanos”;

Aluno B: “sem falar dos nossos jovens que se ficam minutos sem tecnologia, passam mal, ansiedade, depressão”.

1 grupo e 2 estudantes relacionaram esse problema da internet com o aumento da desinformação da sociedade, algo que em um período delicado como esse, em que estariam

supostamente vivendo sem internet, poderia vir a agravar mais a situação, visto que em momentos de caos global, a desinformação pode ser uma das principais barreiras para superação do problema enfrentado.

Aluno A: “por falta de informação e comunicação”;

Aluno B: “Iriamos também ficar sem meio de comunicação”;

Grupo C: “ficaríamos sem rede de comunicação”.

Essa atividade de redação foi inserida dentro da etapa de AC, dentro da PI, seguindo a lógica fractal dos 3MP. O objetivo foi retomar e aplicar os conteúdos discutidos anteriormente na OC, permitindo que os estudantes refletissem criticamente sobre o tema a partir do que havia sido debatido. As respostas mostraram que muitos alunos conseguiram desenvolver visões críticas sobre como a sociedade seria afetada por eventos como esse, demonstrando preocupação com a dependência tecnológica atual e os possíveis impactos no cotidiano.

No entanto, também ficou evidente uma compreensão limitada sobre as reais consequências de uma tempestade solar. Essa limitação pode estar relacionada à influência de manchetes sensacionalistas presentes nas notícias que os próprios estudantes acessaram anteriormente a atividade.

Uma possível alteração na proposta seria reformular o enunciado da redação, questionando, por exemplo: “Quais seriam as consequências das tempestades solares atualmente?”. Com isso, seria possível retirar a exigência de conhecimento prévio sobre o evento de Carrington, tornando a atividade mais acessível e alinhada a uma perspectiva mais dialógica, centrada na realidade atual dos estudantes.

7.2 ANÁLISE DA ORGANIZAÇÃO DO CONHECIMENTO

Na etapa da OC, as atividades analisadas foram a montagem do Modelo Padrão e a atividade sobre o paradoxo dos gêmeos. Como mencionado anteriormente, essas atividades foram selecionadas devido à forma como foram desenvolvidas em sala de aula, com propostas que buscavam estimular o diálogo entre os estudantes e promover uma compreensão crítica dos conteúdos. A escolha se deu justamente por permitirem avaliar se os princípios de uma

abordagem dialógica e problematizadora estavam sendo efetivamente incorporados à prática pedagógica, conforme proposto no planejamento da SD.

7.2.1 Montando o Modelo Padrão de Partículas

Uma outra atividade proposta durante a SD foi o “Montando o Modelo Padrão de Partículas”, que consistiu na criação de um modelo de partículas pelos estudantes, utilizando suas próprias classificações e critérios, antes da apresentação formal do MP, com o objetivo de explorar como os alunos compreendiam e organizavam as informações dispostas nas fichas de cada partícula, a partir de seus conhecimentos prévios e das discussões realizadas até aquele momento.

O propósito da atividade é gerar uma discussão sobre a epistemologia da ciência, ao convidar os estudantes a construir seus próprios modelos de partículas elementares. Essa construção é uma estratégia fundamental no ensino de ciências, pois permite que os alunos compreendam a ciência como um processo de representação e interpretação da realidade, no qual diferentes modelos podem coexistir e evoluir conforme novas descobertas são feitas (Silva e Castelli, 2019). Assim, essa estratégia pedagógica permite que os estudantes exercitem sua criatividade, formulando hipóteses e categorizando as partículas de acordo com suas próprias interpretações, promovendo um aprendizado mais ativo, no qual os alunos não apenas recebem informações, mas também participam ativamente na construção do conhecimento.

Ao não apresentar previamente o MP, a atividade também funciona como um momento de reflexão e comparação para os estudantes. Após conhecerem o modelo real, eles têm a oportunidade de revisitar suas classificações iniciais, compará-las com o padrão científico utilizado e compreender os critérios que tornam o MP tão relevante na física moderna.

As atividades desenvolvidas pelos alunos demonstram organização de ideias e uma compreensão inicial dos conceitos abordados, com isso, mesmo sem a introdução formal ao MP, as soluções apresentadas revelam o potencial dos alunos para interpretar e categorizar as partículas.

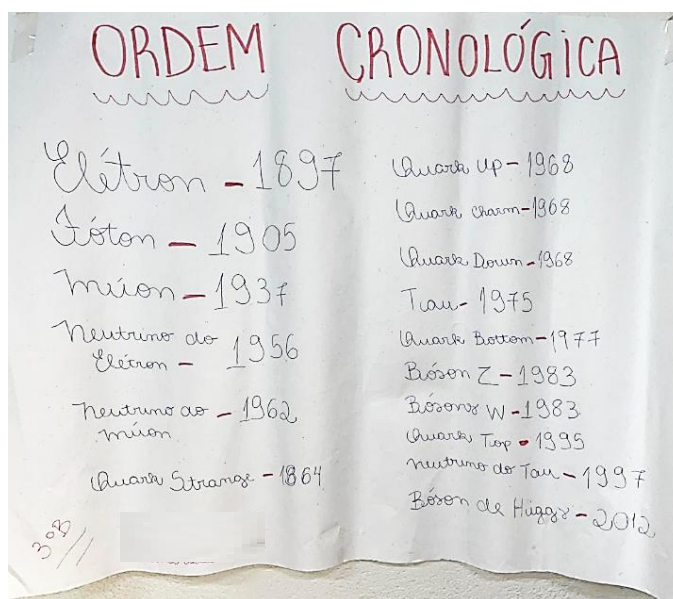
Ao todo, seis grupos participaram da atividade, sendo três grupos de cada turma. No entanto, um dos grupos não conseguiu concluir a atividade dentro do tempo proposto. Na aula seguinte, dedicada à apresentação do Modelo Padrão atualmente aceito na Física, cada grupo compartilhou com os colegas como estruturaram suas classificações e quais critérios utilizaram na elaboração do modelo proposto por eles.

Durante a apresentação do MP, os grupos discutiram entre si quais foram suas linhas de pensamento e compartilharam opiniões, promovendo um momento de troca de ideias e reflexão coletiva sobre as diferenças e semelhanças entre os modelos elaborados. A seguir, é apresentada uma análise detalhada das classificações utilizadas por alguns grupos que completaram a atividade.

Grupo 1:

O grupo organizou as partículas em ordem cronológica, com base nos anos de suas descobertas, destacando partículas importantes como o elétron (1897), o fóton (1905), o quark strange (1964) e o bóson de Higgs (2012). Essa organização utilizou-se de uma classificação mais simples, que não necessita de uma análise mais profunda das propriedades de cada partícula, permitindo apenas ordená-las em ordem cronológica, de acordo com sua respectiva data de descoberta.

Figura 41 - Atividade na qual os estudantes utilizaram a ordem cronológica como critério de organização.



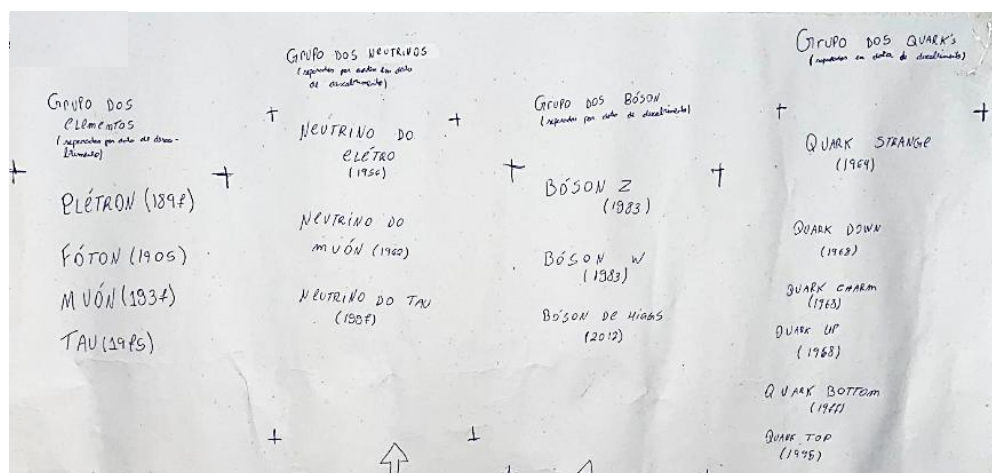
Fonte: Autor.

Grupo 2:

Nesse grupo, os alunos apresentaram classificações baseadas na nomenclatura das partículas, como "grupo dos neutrinos", "grupo dos quarks" e "grupo dos bósons", para os que não possuíam nomes semelhantes, como o próton e o fóton, eles criaram um grupo chamado de "grupo dos elementos". Essa abordagem demonstra um esforço criativo na organização, mesmo sem o conhecimento das divisões do MP, os alunos agruparam as partículas de acordo com suas características mais evidentes, seus nomes, o que aproxima a classificação utilizada pelo grupo

do modelo padrão, talvez não pelos mesmos critérios, mas o fato de algumas partículas terem “nomes” parecidos, pode indicar propriedades semelhantes.

Figura 42 - Atividade na qual os estudantes utilizaram a nomenclatura das partículas como critério de organização.

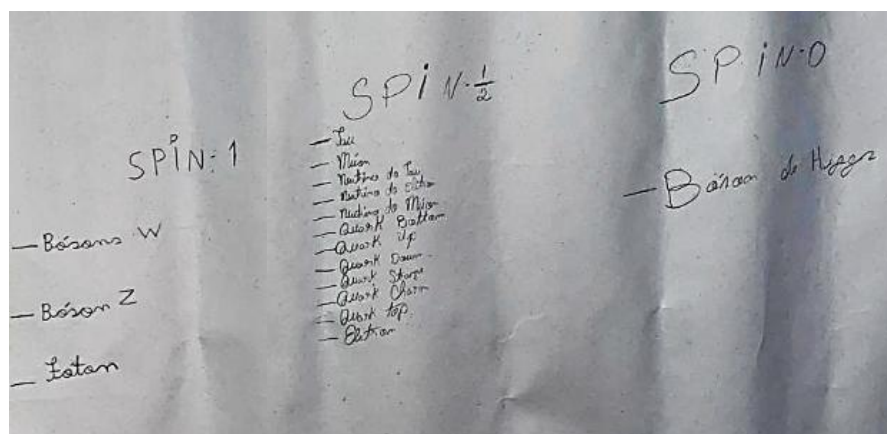


Fonte: Autor.

Grupo 3:

O grupo apresentou uma abordagem mais específica, com os alunos agrupando as partículas elementares de acordo com seu spin, sendo esse um critério bastante relevante dentro do contexto do Modelo Padrão, sugerindo que os alunos foram capazes de identificar e aplicar uma propriedade fundamental das partículas, talvez mesmo sem compreensão completa do conceito. Isso demonstra o potencial para aprofundamento em discussões futuras sobre propriedades intrínsecas das partículas e sua relevância nas interações fundamentais.

Figura 43 - Atividade na qual os estudantes utilizaram o spin como critério de organização.

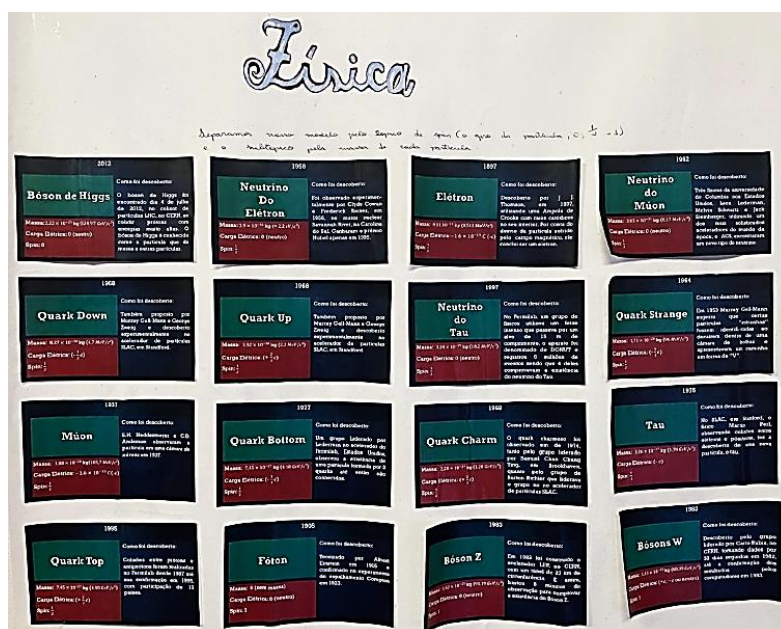


Fonte: Autor.

Grupo 4:

A classificação utilizada por esse grupo também foi a partir do spin, com uma disposição das partículas não muito clara, em comparação ao grupo 3, mas com maior cuidado aos detalhes e capricho na exposição do modelo. Os estudantes começaram com o Bóson de Higgs, com spin igual a 0, depois alocaram as partículas com spin fracionário, acrescentando ainda o que eles chamaram de “subtópico” que seria uma ordenação dentro de cada spin, no qual essa ordenação se basearia na massa de cada partícula, porém, seguindo isso a posição de algumas partículas estaria errada. E por fim as partículas com spin igual a 1, o fóton e os bósons W e Z.

Figura 44 - Atividade na qual os estudantes utilizaram o spin como critério de organização.

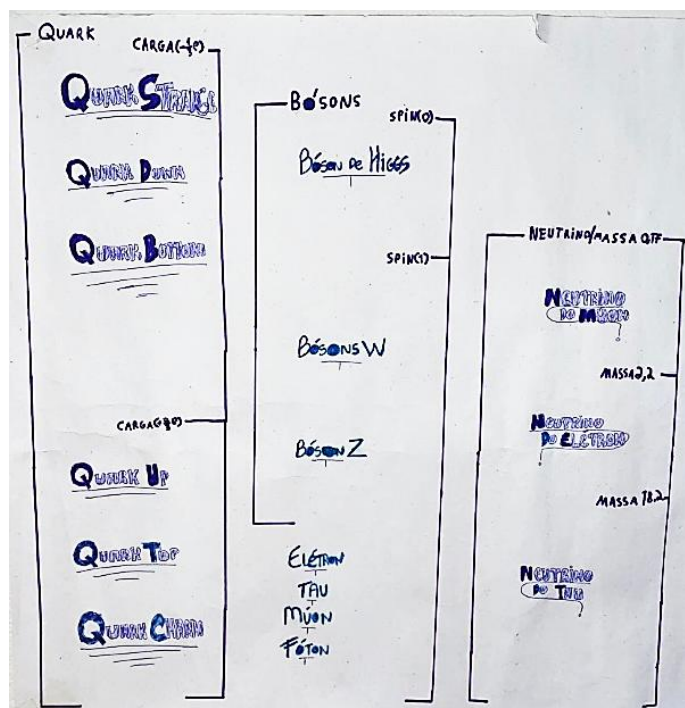


Fonte: Autor.

Grupo 5:

Podemos considerar que esse grupo foi o que chegou mais próximo do Modelo Padrão de Partículas utilizado no meio científico, inicialmente com um grupo para os quarks, mas separando eles em quarks com carga de $-1/3$ da carga do elétron e quarks com $2/3$ da carga do elétron, outro grupo para os bósons, separando-os pelo spin, um grupo para os neutrinos e por fim um último grupo, sem nome, mas que estava o elétron, múon, tau e fóton, sendo assim, em comparação com o MP, teríamos apenas o fóton alocado junto aos lépton, sem uma justificação coerente. A partir disso, a organização reflete uma tentativa lógica de identificar padrões, mesmo sem conhecimento prévio do MP, com os estudantes se atentando a propriedades como spin, carga, massa e possivelmente a nomenclatura semelhante de algumas partículas.

Figura 45 - Atividade na qual os estudantes utilizaram critérios muito próximo daqueles utilizados pelo MP.



Fonte: Autor.

Em relação aos questionários 3, 4 e 5, optou-se por não realizar uma análise qualitativa detalhada, uma vez que esses instrumentos foram elaborados com base em questões provenientes do material didático adotado pela escola. Essa decisão foi tomada considerando o cumprimento das regras e normas estabelecidas para a utilização do material em questão. Assim, os questionários serviram principalmente para consolidar os conteúdos abordados em sala de aula e assegurar a adequação às diretrizes pedagógicas vigentes.

7.2.2 Paradoxo dos Gêmeos

Essa atividade envolveu a elaboração de histórias fictícias pelos alunos, utilizando conceitos de relatividade especial. Após a apresentação dos conceitos como a de dilatação temporal e contração espacial, além da contextualização com situações reais, como o comportamento do múon ao atingir a superfície terrestre.

O objetivo dessa atividade foi promover um diálogo entre os estudantes sobre a relação entre a velocidade com que um corpo se move e sua percepção do tempo. Desse modo, a

proposta esteve inserida na AC, correspondente ao segundo momento pedagógico, conforme a estrutura fractal dos 3MP. A intenção foi verificar como os estudantes estavam apropriando-se dos conceitos discutidos durante a OC, ao mesmo tempo em que se incentivava a expressão criativa e o diálogo.

A proposta lançada a eles foi para se inspirarem no famoso paradoxo dos gêmeos, realizando uma redação ou um podcast, em grupo, explorando como a viagem em altas velocidades, próximas à da luz, afeta a passagem do tempo e a percepção do espaço, com narrativa contada de forma que eles fossem os protagonistas de uma jornada espacial para locais distantes, como estrelas, galáxias, planetas, e inserindo situações em que os efeitos relativísticos se tornassem elementos centrais da trama. A elaboração dessas histórias permitiu avaliar não apenas a compreensão conceitual dos tópicos abordados, mas também a capacidade dos estudantes de construir conexões entre os conceitos científicos e cenários criativos.

Olhando para as anotações do professor, foi possível identificar que o assunto despertou o interesse dos estudantes, principalmente por influência de filmes e séries que abordam temas relacionados à relatividade e viagens espaciais. No entanto, ao mesmo tempo, ficou evidente que muitos deles não compreendiam com clareza a profundidade do conteúdo envolvido. As dúvidas recorrentes, especialmente sobre os referenciais e a percepção do tempo em diferentes contextos, mostram que, embora motivados, os alunos ainda estavam em processo de construção do conhecimento.

"Durante a apresentação dos conceitos, os estudantes começaram a questionar sobre algumas situações vistas por eles em filmes e séries, principalmente sobre o filme *Interestelar*."
(*Caderno de campo*)

"Enquanto eles faziam em grupo a redação, houve várias perguntas sobre qual referencial os tempos da fórmula se referiam, eles tiveram dificuldade para compreender essa diferença entre o observador em repouso e o em movimento."
(*Caderno de campo*)

Os resultados mostraram-se bastante variados, refletindo tanto o nível de compreensão dos alunos quanto sua criatividade. Algumas histórias destacaram-se pelo detalhamento na descrição dos fenômenos relativísticos, como a percepção de tempos diferentes por viajantes em velocidades relativísticas em relação aos observadores em repouso, enquanto outras

histórias que focaram mais em enfatizar os números envolvidos na trama, como quantidade de anos que foram acrescentados de um irmão para o outro.

Grupo A: “Estabelecendo contato com a base na Terra, percebendo que haviam envelhecido de maneira considerável, [...] para apenas um ano e meio passado desde a partida. Enquanto isso, Pedro e Bruno aguardavam por notícias, [...] ao longo de 22 anos, ainda sem sinal de Marcos”;

Grupo B: “Julia irá realizar a viagem a 80% da velocidade da luz e vai permanecer fora da órbita terrestre por 40 anos terrestres”;

Aluno C: “A distância até o buraco negro exigia uma velocidade de 90% da velocidade da luz, para minimizar o tempo percebido por Mia”.

Um dos grupos acabou se equivocando ao incluir, em sua história, condições fisicamente incorretas, como a possibilidade de uma nave viajar na velocidade da luz. Esse tipo de confusão pode ter sido influenciado pelo recorte teórico adotado na atividade, que se concentrou na relatividade restrita. Embora o professor tenha feito algumas menções à relatividade geral durante as discussões.

Grupo A: “foram anos necessários para desenvolver uma nave capaz de alcançar a velocidade da luz”.

Grupo A: “Murilo e Gustavo passaram 22 anos, já que viajaram durante 11 anos também na velocidade da luz”.

No início da aula seguinte, cada grupo teve a oportunidade de compartilhar com a turma uma síntese de sua história. Esse momento permitiu que os estudantes expusessem suas interpretações sobre o paradoxo dos gêmeos e refletissem, de forma coletiva, sobre as diferentes formas de compreender a relação entre tempo e movimento. Além disso, a troca entre os grupos estimulou o diálogo em sala de aula, alinhando-se à proposta da SD.

A falta de criatividade observada em muitos estudantes atualmente pode estar relacionada à ausência de incentivo ou à pouca prática no desenvolvimento dessas habilidades ao longo de sua formação. Além disso, a falta de leitura ao longo da trajetória escolar também se apresenta como um fator relevante, uma vez que o processo criativo depende do domínio de elementos estruturais da narrativa, como organização de ideias, coesão, coerência e repertório temático. Sem esse embasamento, torna-se mais difícil para os estudantes desenvolverem propostas criativas e bem articuladas.

O ambiente escolar, muitas vezes focado em metodologias tradicionais, prioriza a memorização e a reprodução de informações em detrimento da exploração criativa e da resolução de problemas de forma inovadora.

Por outro lado, os grupos que se empenharam em elaborar textos mais completos e ricos em detalhes possivelmente obtiveram um aprendizado mais eficaz. Essa dedicação permitiu aos alunos não apenas consolidar os conhecimentos adquiridos, mas também explorar de forma mais profunda as aplicações práticas dos conceitos científicos. O contraste entre os dois perfis evidencia o impacto positivo do engajamento e da prática criativa no processo de aprendizagem.

7.3 ANÁLISE DA APLICAÇÃO DO CONHECIMENTO

O Painel Integrado foi escolhido como a atividade que estruturou a dinâmica dentro do último momento pedagógico. Essa atividade foi dividida em duas etapas: a Primeira Formação e a Segunda Formação, que se caracterizaram, respectivamente, pela realização da ficha de estudo pelos estudantes e pela apresentação dos grupos. Essa organização teve como objetivo consolidar os conhecimentos construídos ao longo da SD, favorecendo momentos de síntese, troca de ideias e aprofundamento coletivo a partir das discussões levantadas nas etapas anteriores.

7.3.1 Fichas de estudos

O objetivo dessa atividade, corroborando com o que foi mencionado por Camargo (2023), não foi avaliar se as respostas estavam corretas ou não, mas sim observar como se deu o processo de preenchimento e leitura das fichas de estudo. A ênfase esteve no diálogo estabelecido entre os integrantes dos grupos e na autonomia com que conduziram a atividade, aspectos centrais para compreender como os estudantes se apropriaram dos conteúdos discutidos ao longo da sequência e como mobilizaram seus saberes na construção coletiva do conhecimento.

As fichas de estudo foram respondidas em grupos compostos por três ou quatro integrantes. Na primeira formação, os estudantes utilizaram a primeira página da ficha, que apresentava uma síntese teórica com os principais conceitos necessários para a compreensão do tema, articulando esses conteúdos com discussões previamente realizadas ao longo da SD. Já a

segunda página da ficha trazia duas perguntas: a primeira voltada à aplicação de conceitos discutidos, e a segunda voltada à reflexão crítica sobre o tema abordado. Durante a realização da atividade, computadores foram disponibilizados para os grupos, permitindo que realizassem eventuais pesquisas e aprofundassem sua compreensão, favorecendo um ambiente de construção coletiva do conhecimento com autonomia e diálogo.

Por conta da estrutura da atividade e da quantidade de alunos que estavam presentes, a turma foi dividida em três grupos, com cada grupo responsável por estudar um tema próprio. Os temas escolhidos foram: Relatório do NOAA sobre o Sol (Grupo A), Física Médica (Grupo B) e Impactos dos Raios Cósmicos na Saúde (Grupo C).

As perguntas conceituais pediam para que os grupos escrevessem o que compreenderam sobre os conceitos abaixo, para cada grupo foram os seguintes tópicos:

Grupo A – Tempestades Solares, Raios Cósmicos e Ejeção de Massa Coronal.

Grupo B – Antimatéria, Perigos dos Raios Cósmicos e Equivalência Massa x Energia.

Grupo C – Radiação eletromagnética, Partículas subatômicas e Mutação do DNA.

Por conta do caráter dessa primeira pergunta da atividade, não foi observado muito diálogo entre os estudantes, porém, o que se destacou, na visão do professor, foi o avanço na autonomia deles ao procurar as respostas e elaborá-las em grupo.

“Percebi que eles sabiam o que tinham que preencher ali, só não sabiam como elaborar essas respostas. Eles foram mais objetivos ao procurar em suas anotações e no computador. Não houve muita discussão entre eles na construção das respostas, mas eles dialogaram a todo momento sobre qual era a melhor maneira de escrever a resposta, com frases como: “Vocês concordam?” ou “Posso colocar isso?”. (Caderno de Campo)

A segunda pergunta da ficha de estudo foram as seguintes:

Grupo A – “Qual a importância do campo magnético terrestre para a vida na terra?”.

Grupo B – “Quais as principais vantagens e desvantagens do exame PET?”

Grupo C – “A radiação cósmica pode representar perigo aos astronautas em viagens de longa duração?”

Por possuir um caráter mais reflexivo, gerou mais diálogo entre eles, principalmente pelo fato de que agora as respostas não estavam prontas. Os grupos usaram com muito menos frequência os computadores nesse momento.

“O diálogo se intensificou no momento de preencher a segunda pergunta da ficha de estudo, eles pouco foram até o computador para buscar as respostas. O que mais ocorreu foram eles pesquisarem a própria pergunta no Google e a partir da resposta que foi apresentada, eles discutiram sobre como formular uma melhor resposta para o questionamento.” (Caderno de Campo)

Uma possível explicação pelo fato de os grupos utilizarem menos o computador nessa segunda pergunta foi o texto da ficha de estudo estar de acordo com a pergunta reflexiva. Isso possibilitou eles estudarem apenas os textos e informações apresentadas para elaborar a respostas. Isso ficou mais evidente pelas menções deles a informações que estavam presentes na ficha.

Grupo C: “Pode resultar em fadiga, náuseas, vomito, sistema imunológico e variações na quantidade de glóbulos brancos”.

Grupo B: “Requer o uso de radioisótopos, que tem um tempo de meia-vida curto e precisam ser manuseados com cuidado”.

(Respostas da segunda pergunta da Ficha de Estudo)

Embora em alguns momentos a atividade com as fichas de estudo não tenha promovido um diálogo tão intenso entre os estudantes, de modo geral ela demonstrou estar alinhada com os temas discutidos ao longo das aulas. Foi possível perceber que os alunos conseguiam estabelecer conexões entre o conteúdo apresentado e as reflexões propostas nas fichas. Além disso, a atividade evidenciou avanços importantes no processo de autonomia dos estudantes, que passaram a buscar, de forma mais independente, os conhecimentos necessários para compreender e aprofundar os temas trabalhados.

7.3.2 Apresentações finais

As apresentações finais correspondem à segunda e última etapa do painel integrado. O objetivo central dessa etapa foi manter o diálogo e estimular uma visão crítica por parte dos

estudantes em relação aos temas estudados ao longo da SD, e indo além, sobre temas que podem fazer parte de problemas da sociedade.

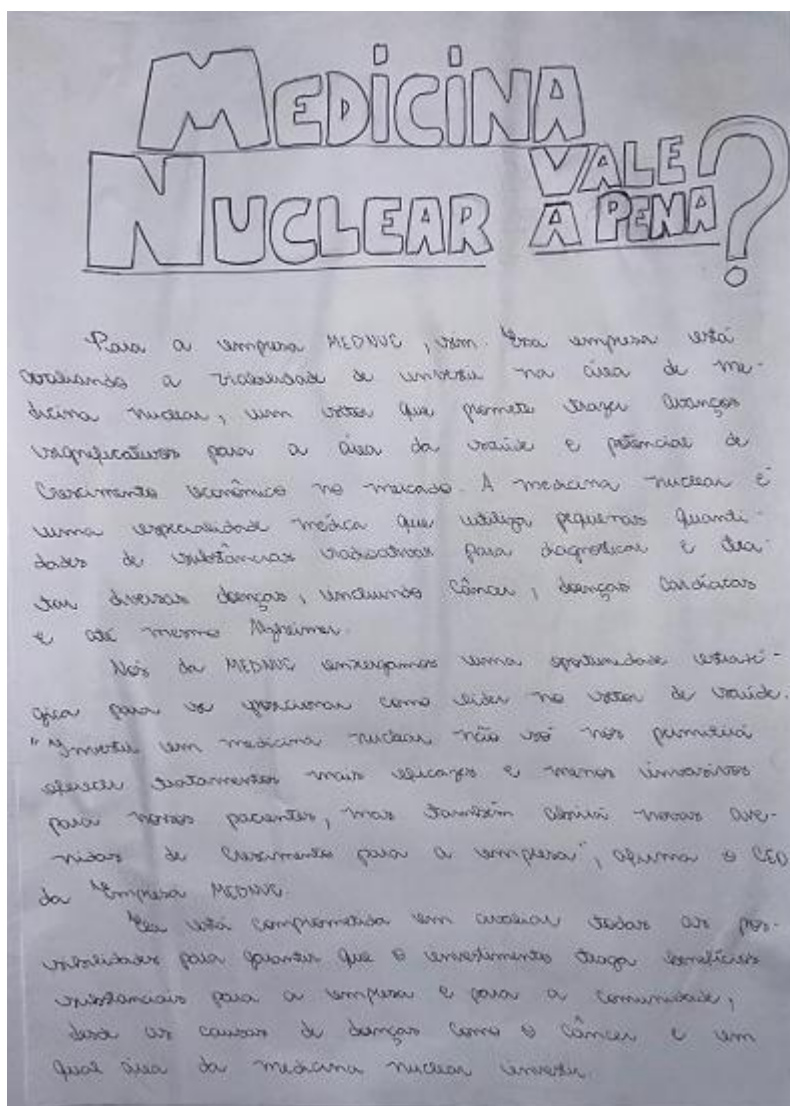
Para isso, cada grupo foi desafiado a elaborar e apresentar uma solução para um problema proposto, discutindo seus caminhos de raciocínio, justificativas e escolhas. Essa culminância teve como finalidade não apenas a exposição de respostas, mas, sobretudo, a construção coletiva em torno dos conceitos abordados, fortalecendo a articulação entre conhecimento científico e o entendimento de problemas da sociedade.

Essas quatro últimas aulas apresentaram um desafio importante relacionado à presença dos estudantes. Como foram realizadas na última semana do mês de junho, período em que, tradicionalmente, muitos alunos deixam de frequentar as aulas com regularidade, o número de alunos presentes estava significativamente reduzido. Diante dessa situação, a estratégia adotada pelo professor foi reunir as duas turmas em uma única sala, promovendo a atividade de forma conjunta. Essa organização possibilitou a viabilização da dinâmica planejada, mas também favoreceu novas interações entre de turmas diferentes.

O grupo 1 se posicionou a favor do investimento da empresa na área da medicina nuclear, dizendo que o investimento vale a pena, mas com os devidos cuidados. Foi interessante os métodos que utilizaram para apresentar suas opiniões.

Eles apresentaram em uma folha A4 em forma de notícia, dizendo como apresentariam o posicionamento deles para o público, e apresentaram também um cartaz para apresentar os motivos do crescimento e da necessidade do uso da medicina nuclear nos próximos anos. A apresentação durou entorno de 15 minutos e houve até professores de outras matérias assistindo, a profundidade abordada pelos estudantes foi algo destacado pelo professor.

“O tema abordado por eles abre espaço para falar sobre problemas como o câncer também, um tema delicado, mas presente na vida. Isso fez com que um dos integrantes contasse um relato sobre sua vida e abriu espaço para uma professora que estava assistindo também contribuir com a apresentação, foi um momento impactante”. (Caderno de Campo)

Figura 46 - Notícia elaborada pelo grupo 1 na segunda etapa do painel integrado.

Fonte: Autor.

O grupo 2 apenas apresentou suas opiniões com falas sobre o tema. Não apresentou nenhum cartaz ou outro tipo de documento para contribuir com a apresentação do grupo.

Em suas falas, eles se declararam a favor do investimento da NASA a viagens de longa durações com seres humanos, mas alertaram os perigos e fizeram menções aos Raios Cósmicos e seus efeitos a saúde humana.

“O segundo grupo mostrou menos esforço em relação a apresentação, por mais que eu tenha pedido um cartaz para guiar a apresentação, eles não produziram. Porém, dois estudantes se destacaram em suas falas, apresentaram suas opiniões fundamentadas no conhecimento científico discutido em aulas.”
(Caderno de Campo)

Seguindo o objetivo central da atividade, especialmente considerando o momento pedagógico em que está inserida, a AC, na qual, segundo Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002), é o momento de o professor perceber se houve superação dos limites explicativos das questões apresentadas e como os estudantes foram capazes de relacionar o conteúdo compreendido por eles durante a OC, com as novas propostas realizadas no último momento. Com isso, buscou-se retomar os conceitos abordados durante a etapa de OC, e ao mesmo tempo, promover novas reflexões entre os estudantes.

A elaboração das perguntas finais do painel integrado revelou-se um aspecto central para garantir que a atividade mantivesse seu caráter dialógico e aberto. Durante a primeira versão aplicada, observou-se que determinados enunciados induziam os estudantes a assumirem previamente um posicionamento, reduzindo a diversidade de argumentos apresentados nos grupos. Questões como “*Qual o impacto dos raios cósmicos em uma viagem de longa duração que a NASA pretende fazer a Marte?*” ou “*Vale a pena o investimento da empresa na medicina nuclear?*” acabaram orientando implicitamente os estudantes a priorizar as perspectivas negativas sobre os efeitos da radiação cósmica ou a defender automaticamente a importância do investimento tecnológico na medicina nuclear, limitando o horizonte de possibilidades de análise. Como resultado, todos os grupos convergiram para respostas semelhantes, o que empobreceu a etapa de socialização e debate.

Essa experiência evidenciou a necessidade de revisar cuidadosamente os enunciados das propostas, privilegiando formulações abertas que permitam múltiplas leituras e caminhos argumentativos. A construção de perguntas menos direcionadas evita que o aluno carregue pré-concepções indesejadas para a discussão, ou que a própria pergunta induza ela a uma resposta. A alternativa adotada na versão revisada da atividade foi reformular a segunda etapa para uma pergunta ainda mais ampla: “*Qual deve ser o futuro da humanidade?*”. Essa escolha permitiu que os estudantes articulassem diferentes temas, como tecnologia, exploração espacial, preservação ambiental, impactos sociais e científicos, sem estarem restringidos a uma direção argumentativa pré-definida.

A partir dessas análises, os resultados se mostraram de acordo com os objetivos, principalmente por conduzir os grupos a compreenderem que os temas discutidos ao longo da SD, como os Raios Cósmicos e a Física moderna, não estão distantes de sua realidade, mas possuem impactos concretos e globais na sociedade em que vivem. Dessa forma, procurou-se ampliar o olhar crítico dos alunos, incentivando-os a reconhecer a relevância desses conhecimentos para além da sala de aula.

Capítulo 7

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo central o desenvolvimento e a análise de uma SD voltada ao ensino de Física Moderna e Contemporânea, com ênfase no tema dos Raios Cósmicos e baseando-se na dinâmica didático-pedagógica dos Três Momentos Pedagógicos. A proposta buscou engajar os alunos em aulas que privilegiaram o diálogo, pensamento crítico e a relação de problematização entre a Física e a sociedade em que vivem.

Na análise da PI havia um receio de que a escolha do tema das tempestades solares não fosse familiar aos estudantes e que pudesse haver dificuldade em engajá-los no diálogo. No entanto, observou-se que esse fenômeno é divulgado no cotidiano deles, especialmente por meio das redes sociais e noticiários de TV. O que facilitou o interesse e a participação nas discussões. A partir da aplicação do questionário “Tempestade Solar”, que questionava aos estudantes se já haviam tido contato com alguma notícia relacionada a esse tema, observamos que aproximadamente 80% dos estudantes já tiveram contato. É importante destacar que, isoladamente, o questionário poderia ser compreendido como um instrumento diagnóstico tradicional, utilizado apenas para levantar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre determinado tema. No entanto, o modo e o contexto que ele foi inserido na dinâmica da aula teve como objetivo ter um caráter problematizador. O questionário também teve como função formalizar as discussões realizadas em sala sobre o tema das tempestades solares, servindo como um registro do momento inicial da problematização.

Olhando para a atividade “Redação: Consequências tempestade solar”, as respostas mostraram que os estudantes conseguiram desenvolver visões críticas sobre como a sociedade seria afetada por eventos como esse, demonstrando preocupação com a dependência tecnológica atual e os possíveis impactos no cotidiano. Porém, para tornar a atividade com um caráter mais problematizador, uma possível alteração na proposta seria reformular o enunciado da redação, questionando, por exemplo: “Quais seriam as consequências das tempestades

solares atualmente?”. Com isso, seria possível retirar a exigência de conhecimento prévio sobre o evento de Carrington, tornando a atividade mais acessível e alinhada a uma perspectiva mais dialógica, centrada na realidade atual dos estudantes.

Na organização do conhecimento, além dos questionários, que já tinham seu papel bem definido dentro da SD, de solucionar questões provenientes do uso do material didático em sala de aula e a necessidade do conhecimento científico para respondê-los, outras atividades chamaram a atenção. A atividade “montando o modelo padrão” se tornou um dos pilares dessa SD, seja pelo caráter incorporado a ela, discutindo sobre a epistemologia da ciência na construção de modelos, bem como a possibilidade de ser aplicada de forma independente, sem precisar estar vinculada exclusivamente a essa sequência.

A discussão final, a partir da análise do caderno de campo do professor, se mostrou como importante etapa da estrutura da atividade, permitindo que os grupos discutissem entre si quais foram suas linhas de pensamento, compartilhando opiniões, promovendo um momento de troca de ideias e reflexões coletiva sobre as diferenças e semelhanças entre os modelos elaborados.

A atividade do paradoxo dos gêmeos, teve seu papel de servir como uma metodologia diferente para trabalhar a criatividade e a resolução de problemas, com seus resultados evidenciando ainda mais a necessidade de desenvolver essas habilidades. Contudo, optamos por retirar essa atividade da versão final do produto. Alguns fatores contribuíram para essa decisão, o desejo de tornar a SD mais compacta, com menor número de aulas e menos conteúdo a ser discutido, como também o fato de ela ter sido inserida na sequência com o objetivo de suprir as exigências de cumprimento do material didático.

Além disso, a integração de história da ciência na SD ajudou a contextualizar os conceitos abordados, favorecendo a compreensão dos avanços da Física Moderna e da importância da construção do conhecimento científico e como ela é feita.

Por fim, para a Aplicação do conhecimento, a atividade do Painel Integrado foi escolhida para finalizar a SD. Em sua primeira etapa, denominada de Primeira Formação, as fichas de estudos foram responsáveis por nortear os estudantes dentro da atividade. Embora em alguns momentos as fichas não tenham promovido um diálogo tão intenso entre os estudantes, de modo geral, elas demonstraram estar alinhada com os temas discutidos ao longo das aulas. Foi possível perceber que os alunos conseguiam estabelecer conexões entre o conteúdo apresentado e as reflexões propostas nas fichas. Além disso, a atividade evidenciou avanços importantes no processo de autonomia dos estudantes, que passaram a buscar, de forma mais

independente, os conhecimentos necessários para compreender e aprofundar os temas trabalhados.

A Segunda Formação do painel integrado, teve como principal objetivo a montagem de uma apresentação sobre uma proposta designada aos novos grupos, seguindo toda a estrutura e dinâmica da atividade. Foi possível perceber, a partir das discussões apresentadas por eles, que foram capazes de estabelecer conexões entre o conteúdo apresentado e as reflexões propostas nas fichas. Além disso, a atividade evidenciou avanços importantes no processo de autonomia dos estudantes, que passaram a buscar, de forma mais independente, os conhecimentos necessários para compreender e aprofundar os temas trabalhados.

A partir da análise das atividades aplicadas e pensando no aprimoramento da SD, o produto educacional foi repensado e elaborado uma nova versão que está disponível no apêndice A. Seguindo os comentários acima em relação as adaptações feitas nas atividades a fim de torná-las mais dialógicas e problematizadoras, a nova versão possui alterações como redução no número de aulas, alterações nas perguntas dos questionários, novas problematizações realizadas na sequência, com sugestões para incentivar o diálogo a partir da realidade dos estudantes e a alteração dos temas discutidos no Painel Integrado. A escolha partiu do objetivo de tornar a atividade mais próxima de uma atividade problematizadora, ao definir que terá apenas um único tema a ser discutido e apresentado pelos dois grupos da segunda etapa, o tema “Qual deve ser o futuro da humanidade” se destaca pela ausência de uma resposta pronta ou definida, fazendo com que os estudantes expressem suas opiniões com embasamento científico adquirido durante a SD.

Vale ressaltar que a apresentação de conceitos sobre Raios Cósmicos revelou-se um desafio, dado que essa é uma área do ensino de Física com poucas pesquisas e materiais didáticos disponíveis para o EM (Hiraichi, 2024). Essa limitação aumentou o esforço necessário para a elaboração das atividades, na tentativa de mantê-las alinhadas aos pressupostos da dinâmica dos Três Momentos Pedagógicos, reforçando o caráter dialógico e problematizador. Junto a isso, espera-se que a publicação desse trabalho possa incentivar a outros pesquisadores da área a desenvolverem e aplicarem soluções como a deste trabalho, levando o tema Raios Cósmicos e personagens como Cesar Lattes às salas de aulas.

Por fim, o desenvolvimento deste mestrado teve um impacto importante na formação do professor e pesquisador autor desta dissertação, ajudando a ampliar sua forma de pensar e de atuar em sala de aula. Ao longo do trabalho, estudar a literatura, planejar a SD e analisar as atividades aplicadas contribuiu para construir um olhar mais investigativo e reflexivo sobre a própria prática. Um dos efeitos mais marcantes desse processo foi o exercício constante de criar

atividades problematizadoras e dialógicas, o que acabou influenciando diretamente o modo como as aulas do dia a dia passaram a ser planejadas. Essa experiência trouxe novas inspirações para tornar as aulas mais participativas, mais abertas ao diálogo e mais voltadas para o desenvolvimento do raciocínio dos estudantes.

Além disso, o mestrado reforçou a ideia de que a sala de aula pode ser também um espaço de pesquisa, onde é possível testar, observar e repensar práticas. Assim, essa trajetória formativa contribuiu para consolidar uma postura mais segura, fundamentada e criativa, fortalecendo tanto o trabalho como professor quanto a atuação como pesquisador no ensino de Física.

REFERÊNCIAS

ABDALLA, M. C. B. O discreto charme das partículas elementares. **Física na Escola**, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 38–44, 2005.

ABRANTES, M. de S.; ABRANTES, L. de S.; ACIOLY, V. O ensino de raios cósmicos no ensino médio por meio dos três momentos pedagógicos. **Revista do Professor de Física**, Brasília, v. 9, n. 1, p. 548–558, 2025. Disponível em: <http://periodicos.unb.br/index.php/rpf>. Acesso em: 24 maio 2025.

ALVARENGA, B. **A relevância do ensino médio da Física Atômica e das partículas elementares no currículo do 2º grau**. In: CARUSO, F. SANTORO, A. Livro: Do Átomo Grego à Física das Interações Fundamentais. Trabalhos apresentados na I escola Internacional de Física de Altas Energias do LAFEX. Associação Internacional dos Amigos da Física Experimental de Altas Energias. Rio de Janeiro. 1994.

ANJOS, J.; NATALE, A. A. **Partículas elementares: a (des)construção da matéria pelo homem**. Rio de Janeiro: CBPF, 2005.

ANJOS, J.; SHELLARD, R. C. **Raios cósmicos: energias extremas no universo**. Rio de Janeiro: Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, 2005.

ARAÚJO, L. B. **Os Três Momentos Pedagógicos como estruturantes de currículos**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

ARAÚJO, L. B.; NIEMEYER, J.; MUENCHEN, C. Uma análise dos trabalhos presentes nos Encontros de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF): problematizações ou perguntas? In: **IX CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE INVESTIGACIÓN EN DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS**, 9-12 set. 2013, Girona. Atas [...]. Girona, 2013. p. 188-193.

AULER, D. Enfoque Ciência-Tecnologia-Sociedade: pressupostos para o contexto brasileiro. **Ciência & Ensino**, vol.1, nº especial, nov. 2007.

BACKER, J. **50 Ideias de Física Quântica que você precisa conhecer**. Tradução: Rafael Garcia. 1 ed. São Paulo: Planeta, 2015. 214 p.

BALTHAZAR, W. F. **Partículas Elementares no Ensino Médio: uma abordagem a partir do LHC**. 2008. 200p. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, Nilópolis, 2008.

BANDEIRA, Y. B.; MACKEDANZ, L. F. Mecanismos de limitação da energia de raios cósmicos durante sua propagação. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 41, nº 4, e20190118, 2019.

BARBOSA, G. L. S. O caderno de campo como instrumento de reflexão para a formação inicial de professores de Química. **Scientia Plena**, [S. l.], v. 13, n. 5, 2017. DOI: 10.14808/sci.plena.2017.059903. Disponível em: <https://www.scientiaplena.org.br/sp/article/view/3409>. Acesso em: 3 set. 2025.

BASSALO, J. M. F. César Lattes: um dos descobridores do então méson pi. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 7, n. 2, 1990.

BRAGA, G. R.; JOSÉ, W. D. Articulações entre Teoria da Flexibilidade Cognitiva e os Três Momentos Pedagógicos: confecção e análise de um material didático na estrutura fractal. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.38 n.1, p. 84-107. 2021.

BRASIL, Ministério da Educação. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio**. v. 2. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: 2006.

BRASIL. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional**. Lei número 9394, 20 de dezembro de 1996.

BROCKINGTON, G; SIQUEIRA, M; PIETROCOLA, M. **A realidade escondida: a inserção de conceitos de física quântica e de física de partículas no ensino médio**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2017.

BONFIM, D. D. S.; NASCIMENTO, W. J. Os três momentos pedagógicos no ensino de física: uma revisão sistemática de literatura. **Ensino & Pesquisa**, União da Vitória, v.16, n.3, p. 139-155, jul./set., 2018.

BUSTAMANTE, M. C. A descoberta dos raios cósmicos ou o problema da ionização do ar atmosférico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 2, abr. 2013.

CABRAL, R. B. S.; FERREIRA, G. C.; MENDONÇA, J. G.; SOUZA, S. E. H. T. A câmara de nuvens como estratégia pedagógica para o ensino de raios cósmicos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 44, e20210397, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0397>. Acesso em: 03 de fev. 2025.

CAMARGO, B. D. **Evolução biológica e mídia-educação: Problematizando uma sequência didática**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2023.

CARLSON, P.; DE ANGELIS, A. Nationalism and internationalism in science: the case of the discovery of cosmic rays. **The European Physical Journal H**, [S.l.], 2010. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1012.5068>. Acesso em: 24 maio 2025.

CHIQUETTO, M. J.; KRAPAS, S. Livros didáticos baseados em apostilas: como surgiram e por que foram amplamente adotados. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v.12, n. 3, p. 173-191, 2012.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. **Física**. São Paulo: Cortez, 1991.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. P.; PERNAMBUCO, M. M. C. A. **Ensino de Ciências: Fundamentos e Métodos**. 4 ed. São Paulo: Cortez, 2011.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. P.; PERNAMBUCO, M. M. C. A. **Ensino de Ciências: Fundamentos e Métodos**. São Paulo: Cortez, 2002.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J.; PERNAMBUCO, M. **Ensino de Ciências: fundamentos e métodos**. São Paulo: Cortez, 2002.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de Ciências: fundamentos e métodos**. 2. ed. São Paulo: Cortez, 2007.

DOBRIJEVIC, D. **Solar Cycle: What Is It and What Can We Expect?** Space.com, 25 abr. 2022. Disponível em: <https://www.space.com/solar-cycle-frequency-prediction-facts>. Acesso em: 7 abr. 2025.

DUBEUX, M.H.S.; SOUZA, I. P. Organização do trabalho pedagógico por sequências didáticas. In: BRASIL. **Pacto nacional pela alfabetização na idade certa: planejando a alfabetização**; integrando diferentes áreas do conhecimento: projetos didáticos e sequências didáticas. Ano 01, unidade 06. Brasília: MEC, SEB, 2012. p. 27-37. Disponível em: <https://www.serdigital.com.br/gerenciador/clientes/ceel/material/43.pdf>. Acesso em 25 jun. 2023.

EVANGELISTA, R. L. **Problematizando o ensino de Física Moderna e Contemporânea: uma proposta didática baseada nos três momentos pedagógicos utilizando a Astronomia como temática central**. 2016. 211 p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Federal do Espírito Santo, UFES, Vitória, 2016.

FREIRE, P. **Pedagogia do Oprimido**. 17. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.

FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. 50. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2011.

FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2015b.

FREITAS FILHO, J. R. Utilização de diferentes estratégias de ensino a partir de situações de estudo. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v.3, n. 2, p. 66-75, 2010.

HALMENSCHLAGER, K. R.; DELIZOICOV, D. Abordagem temática no ensino de ciências: caracterização de propostas destinadas ao ensino médio. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 10, n. 2, p. 305–330, nov. 2017.

HIRAICHI, H. A. et al. Em que medida a temática de raios cósmicos vem sendo trabalhada na formação de professores? In: **ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA – EPEF**, 20., 2024, Recife. Anais [...]. Recife: UFPE, 2024. p. 1–8.

KARAM, R. A. S., CRUZ, S. M. S. C. S.; COIMBRA, D. A abordagem das relatividades em sala de aula. **Atas do X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, Londrina/PR. 2006.

LABURÚ, C. E; ARRUDA, S. M; NARDI, R. Pluralismo metodológico no ensino de ciências. **Ciência & Educação**, Bauru, vol.9, n.2, pp.247-260, 2003.

LAGANÁ, C. Estudo de raios cósmicos utilizando uma câmara de nuvens de baixo custo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.l], v. 33, n. 3, p. 3302, set. 2011.

LETESSIER-SELVON, A.; STANEV, T. **Reviews of Modern Physics**, v. 83, p. 907-942, 2011.

LIMA, R. S.; PIMENTEL, L. C. F.; AFONSO, J. C. O Despertar da Radioatividade ao Alvorecer do Século XX. **Química Nova na Escola**. Vol. 33, Nº 2, p 93-98 mai. 2011.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. Editora Pedagógica e Universitária 2. ed. [Reimpr.]. Rio de Janeiro, 2018.

MASETTO, M. T. **Competência pedagógica do professor universitário**. São Paulo: Summus, 2003.

MARASCIULO, M. César Lattes: conheça a trajetória do brasileiro injustiçado pelo Nobel. **Revista Galileu**, 11 jul. 2020. Disponível em: <https://revistagalileu.globo.com/Sociedade/noticia/2020/07/César-lattes-conheca-trajetoria-do-brasileiro-injustificado-pelo-nobel.html>. Acesso em: 22 jan. 2025.

MATEUS, F. **Cem anos de uma vida que não cabe no currículo**. Jornal da Unicamp, Campinas: Unicamp, 2024. Disponível em: <https://www.jornal.unicamp.br/artigos/cem-anos-de-uma-vida-que-nao-cabe-no-curriculo>. Acesso em: 12 mai. 2025.

MIESCH, M. **Solar Cycle Progression Updated Prediction (Experimental): Validation Document**. NOAA Space Weather Prediction Center; CIRES – University of Colorado, 2024. Disponível em: https://www.swpc.noaa.gov/sites/default/files/images/solar_cycle_experimental_prediction_validation.pdf. Acesso em: 07 abr. 2025.

MOREIRA, M. A. Ensino de Física no Brasil: retrospectiva e perspectivas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.22, n.1, p. 94-99, 2000.

MOREIRA, M. A. O Modelo Padrão da Física de Partículas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 1, abr. 2009.

MOREIRA, M. A. Partículas e Interações. **Física na Escola**, v. 5, n. 2, p. 10-14, 2004.

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

MOREIRA, M.A. Grandes Desafios para o Ensino da Física na Educação Contemporânea. **Revista do Professor de Física**, vol. 1, n. 1, Brasília, 2017. Disponível em: <<http://periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/viewFile/25190/18899>>. Acesso em: 27 novembro. 2025.

MUENCHEN, C. **A Disseminação dos Três Momentos Pedagógicos: um estudo sobre práticas docentes na região de Santa Maria/RS**. Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica). Florianópolis: UFSC/PPGECT, 2010.

MUENCHEN, C.; DELIZOICOV, D. **Os três momentos pedagógicos: um olhar histórico-epistemológico** – Em: ATAS DO XII ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA – XIIIEPEF. Águas de Lindóia, 2010.

MUENCHEN, C.; DELIZOICOV, D. A construção de um processo didático-pedagógico dialógico: aspectos epistemológicos. **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 14, n. 3, p. 199–215, set./dez. 2012.

MUENCHEN, C.; DELIZOICOV, D. Concepções sobre problematização na educação em ciências? In: **IX CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE INVESTIGACIÓN EN DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS**, 9-12 set. 2013, Girona. Atas [...]. Girona, 2013. p. 2447-2451.

NASA. **Auroras – deeper science**. NASA Science. Atualizado em: jan. de 2025. Disponível em: <https://science.nasa.gov/sun/auroras/#deeper-science>. Acesso em: 23 jun. 2025.

NASA. **Solar storms and flares**. NASA Science. Atualizado em: nov. de 2024. Disponível em: <https://science.nasa.gov/sun/solar-storms-and-flares/>. Acesso em: 23 jun. 2025.

NASA. **Sunspots**. [S.l.]: NASA, [s.d.]. Disponível em: <https://science.nasa.gov/sun/sunspots/>. Acesso em: 23 jun. 2025.

NASA. **What is a solar flare?** 2025. Disponível em: <https://science.nasa.gov/solar-system/what-is-a-solar-flare/>. Acesso em: 23 jun. 2025.

NASCIMENTO, E. M.; REIS, M.; CHALLCO, G. C.; SANTOS, J.; BITTENCOURT, I. I. Gamificação no ensino: impulsionando a garra e o desempenho acadêmico. **Ensino & Tecnologia em Revista**, Londrina, v. 8, n. 3, p. 1-15, set./dez. 2024.

OLIVEIRA, M. M. de. **Como fazer pesquisa qualitativa**. Petrópolis, RJ: Vozes, 2007.

OLIVEIRA, F. F.; VIANNA, D. M.; GERBASSI, R. S. Física Moderna no Ensino Médio: o que dizem os professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol.29, n. 3, p. 447-454, 2007.

OLIVEIRA, A. G. I. De.; ROCKENBACH, M.; PACINI, A. A. Raios cósmicos e a Heliosfera. **Revista Brasileira De Ensino De Física**, v. 36, n. 2, p. 1–13. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172014000200016>. 2014

OSTERMANN, F. Um Texto para professores do Ensino Médio sobre partículas elementares. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 21, n. 3, set. 1999.

OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. H. Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: elaboração de material didático, em forma de pôster, sobre partículas elementares e interações fundamentais. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. Vol. 16, n. 3. p. 267-286. 1999.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. **Investigações em Ensino de Ciências**. POA, Vol. 5, nº 1, 2000.

OSTERMANN, F. **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.

PARRA, F. A. **Uma proposta para o engajamento dos alunos no processo de ensino-aprendizagem de raios cósmicos no ensino médio**. 2019. 160 p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Federal do ABC, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF, Santo André, 2019.

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

PEREIRA, P. N.; GUERINI, S. C. Física moderna e Contemporânea: análise de conteúdo dos livros didáticos de física do ensino médio aprovados pelo PNL D de 2018. **Revista Contexto & Educação**, [S. l.], v. 38, n. 120, p. e10374, 2023. DOI: 10.21527/2179-1309.2023.120.10374. Disponível em:

<https://revistas.unijui.edu.br/index.php/contextoeducacao/article/view/10374>. Acesso em: 26 maio. 2025.

REZENDE, D. S. et al. César Lattes e a descoberta do méson pi. In: **ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS- ENPEC**. 12., 2019, Natal. Anais [...]. Natal, RN: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 25-28 jun. 2019.

SANTOS, A. J.; SANTOS, P. J.; JÚNIOR, M. G. A.; GEHLEN, S. T. O modelo fractal dos Três Momentos Pedagógicos em um processo formativo de professores de Ciências e Matemática. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 29, n. 2, p. 32–56, 2024.

SARAN, M. C. B. **Astrofísica de partículas na sala de aula: uma sequência de ensino e aprendizagem sobre raios cósmicos para o ensino médio**. 2012 129 p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Exatas) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

SILVA, A. C. As radiações na medicina: o que dizem livros didáticos de Física do Ensino Médio? **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 24, n. 3, p. 222-243, dez. 2019. DOI: 10.22600/1518-8795.ienci2019v24n3p222. Acesso em: 22 jan. 2025.

SILVA, J. Raios cósmicos: uma visão geral. **ComCiência**, 15 mar. 2020. Disponível em: <https://www.comciencia.br/dossies-1-72/reportagens/cosmicos/cos05.shtml>. Acesso em: 22 jan. 2025.

SILVA, M. J. V. T.; ANGOTTI, J. A. P. E.; MION, R. A. Revitalizar laboratórios para ensinar Física: possibilidades dos softwares de autoria em atividades teórico-experimentais. **Atas do XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, Curitiba/PR. 2008.

SILVA, F. S. Da .; CASTELLI, F. Os modelos na ciência: traços da evolução histórico-epistemológica. **Revista Brasileira De Ensino De Física**, [s.l.], v. 41, n. 4, e20190029, 2019. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2019-0029>.

SOUZA, M. A. M. et al. Jogo de física de partículas: descobrindo o bóson de Higgs. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 41, n. 2, 2019.

SOUZA, M. S. **Abordando os Raios Cósmicos no Ensino Médio: Uma proposta de Sequência de Ensino Investigativa**. 2017. 92 p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2017.

TERRAZAN, E. A., CHAVES, T. V.; HERNANDEZ C. L. Currículo e mudança didática em sala de aula: acompanhando a prática pedagógica de professores em serviço. **Atas do VII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, Florianópolis/SC. 2000.

TERRAZAN, E. A. **A Inserção de Física Moderna e Contemporânea no Ensino de Física na Escola de 2º grau**. Cad.Cat.Ens.Fís., Florianópolis, v.9, n.3: p.209-214. Dez. 1992.

TURTELLI, A. O que são raios cósmicos? **Com Ciência**(Dossiês sobre ciência e tecnologia), São Paulo, n. 8, mai. 2003. Disponível em: <https://www.comciencia.br/dossies-1-72/reportagens/cosmicos/cos08.shtml>. Acesso em: 3 set. 2025.

UFMG. Ejeções de massa coronal. In: **O Sol, o clima espacial e a Terra – Sobre o clima espacial**. Belo Horizonte: Departamento de Física, Universidade Federal de Minas Gerais,

[s.d.]. Disponível em: <https://lilith.fisica.ufmg.br/~cristina/climaespacial/2pageje.html>. Acesso em: 23 jun. 2025.

VIDEIRA, A. A. P.; FRANCISQUINI, M. F. B. A instituição da “Física de Partículas Elementares” como disciplina científica e sua relação com a formação de professores. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 35, n. 1, p. 81-96, abr. 2018.

VIANA, F. F. R. **Física de Partículas no Ensino Médio: uma proposta experimental sobre partículas elementares e radiação cósmica**. 2020. 161 p. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) — Universidade Federal do ABC, Santo André, 2020.

VIDEIRA, A. A. P.; FRANCISQUINI, M. F. B. A instituição da “Física de Partículas Elementares” como disciplina científica e sua relação com a formação de professores. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 35, n. 1, p. 81-96, abr. 2018.

VIDEIRA, A. A. P.; VIEIRA, C. L. **Lattes - 10 anos depois**. Rio de Janeiro: CBPF, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/290447288>. Acesso em: 22 jan. 2025.

VIEIRA, C. L. **César Lattes – Arrastado pela história**. 3. ed. Rio de Janeiro: Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), 2019.

YOUNG, H.; FREEDMANN, R. **Ótica e Física moderna**. Ed. Pearson, 2016.

ZANON, Denise; ALTHAUS, Maiza; BAGIO, Viviane. Didática: pra que te quero? Algumas provocações pedagógicas para a docência universitária. In: _____ **Didática na docência universitária em saúde: metodologias ativas e avaliação**. Curitiba: Appris, 2018.

APÊNDICE A - PRODUTO EDUCACIONAL



PRODUTO EDUCACIONAL:

UMA SEQUÊNCIA PARA ENSINAR SOBRE RAIOS CÓSMICOS

Autor: Valmir Galvão Fragozo

Produto educacional produzido no âmbito do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) sob orientação da Prof.^a Dra. Nilva Lúcia Lombardi Sales, com a intenção de contribuir e incentivar a abordagem sobre Raios Cósmicos nas aulas de Física

2025

MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fomento ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) durante todo o período de formação.

Agradeço especialmente a minha orientadora Nilva Lúcia Lombardi Sales por todo apoio, ensinamento, paciência e incentivo durante esses anos. Agradeço também aos meus professores e companheiros de pós-graduação, que tornaram essa trajetória mais leve e prazerosa, além de muito enriquecedora por compartilhar essa experiência com eles.

Agradeço a minha família, principalmente a meu pai, minha mãe e minha avó. A meus amigos que me apoiaram durante essa jornada, principalmente a meu amigo Daniel Camargo, pelo apoio durante todos esses anos. E não poderia faltar um agradecimento especial a minha namorada e a minha irmã, por estarem sempre comigo.

Expresso minha gratidão também a coordenação e professores do Colégio EcoVille Itapetininga pelo apoio e suporte, além de viabilizar a aplicação desse trabalho de mestrado. Agradeço também ao meu professor de ensino médio, orientador de estágio e amigo, Gustavo Guerreiro, por sempre me apoiar e incentivar minha carreira como professor de física.

Ressalto que o presente trabalho foi realizado com o apoio do Governo do Estado de São Paulo, por meio da Secretaria da Fazenda e Planejamento, vinculada à minha participação como supervisor pedagógico na UNIVESP.

Apresentação

Caro professor,

Este documento apresenta uma Sequência Didática (SD) desenvolvida pelo professor Valmir Galvão Fragozo no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissionalizante no Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Federal de São Carlos, sob orientação da prof. Dra. Nilva Lúcia Lombardi Sales.

Esta SD foi construída e aplicada pelo professor em 2024 com estudantes do 3º ano do Ensino Médio (EM) de uma escola particular de Itapetininga-SP. Essa aplicação trouxe sugestões de melhorias e permitiu a construção desta última versão corrigida e apresentada aqui neste documento.

A proposta central desta SD é problematizar os conteúdos de Tempestades Solares com o tema Raios Cósmicos (RC), em uma perspectiva dialógica. Para isso, apresentamos ao longo da SD atividades que valorizam a problematização, a criticidade, o trabalho em grupo e a autonomia dos estudantes.

A SD foi estruturada a partir da dinâmica didático pedagógica dos Três Momentos Pedagógicos (3MP) propostos por Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002): Problematização inicial (PI), Organização do Conhecimento (OC) e Aplicação do Conhecimento (AC). Para melhor adequação do tema a SD, a estrutura dos 3MP foi organizada de maneira fractal, ou seja, com pequenos fragmentos de cada momento pedagógico, inserido dentro de outros momentos. Cada um desses momentos tem atividades com objetivos específicos que buscam efetivar o processo de ensino-aprendizagem por meio de uma abordagem dialógica e problematizadora.

As atividades se dividem em: discussões em sala de aula, questionários escritos, atividades dialógicas, fichas de estudo, apresentações e produções de textos. Cada tipo de atividade tem um objetivo específico e procura trabalhar habilidades como: trabalho e discussão em grupo, autonomia, pesquisa, leitura, escrita, raciocínio lógico, argumentação, criatividade e criticidade. Essa diversidade de recursos didáticos é fundamental para atender à diversidade de formas de aprender dos estudantes.

Nesse documento, há diversas sugestões e orientações de como trabalhar com as atividades, incluindo os objetivos de cada uma, mas há espaço para outras possibilidades de uso, a partir de seu contexto escolar. Todas elas estão disponibilizadas em uma pasta compartilhada no link a abaixo, o que facilita a reprodução, caso deseje reaplicar da mesma forma.

<https://drive.google.com/drive/folders/1XR-DByrG2bfdqNwjHpcQ9OwoR-KDOxL?usp=sharing>

Sumário

O Produto Educacional	6
Contextualização para os professores.....	7
Os Três Momentos Pedagógicos (3MP).....	8
Raios Cósmiticos.....	13
César Lattes.....	20
Física de Partículas.....	28
Tempestade Solares.....	33
Sugestão de Organização.....	41
Detalhamento do Produto.....	46
Problematização Inicial.....	46
Notícia sobre Tempestades Solares.....	47
Vídeo-Notícia sobre Consequências das Tempestades Solares.....	48
Questionário da Problematização Inicial.....	49
Questionário sobre as tempestades solares.....	51
Redação sobre as consequências das tempestades solares.....	53
Organização do Conhecimento.....	55
Atividade Kahoot.....	55
Palavra cruzada.....	57
Atividade Modelo Padrão.....	58
Questionário 3: O que aprendemos até agora?.....	60
Aplicação do Conhecimento.....	61
Painel Integrado.....	61
Referências.....	65

O Produto Educacional

Esse Produto Educacional foi produzido a partir de uma pesquisa de mestrado profissional pertencente ao programa MNPEF, sendo uma produção obrigatória. O produto é uma SD que foi desenvolvida de modo que outros professores interessados na proposta didática sejam capazes de utilizá-la sem uma necessária consulta ao texto da dissertação que originou e elaborou o Produto Educacional.

Portanto, esse Produto Educacional consiste em uma SD voltada para o ensino de Raios Cósmicos, partindo da problematização sobre Tempestades Solares. A proposta foi elaborada com o objetivo de oferecer aos professores do EM, especialmente aqueles que lecionam para turmas do 3º ano, uma ferramenta pedagógica para abordar temas de Física Moderna e Contemporânea.

Estruturada com base nos 3MP, a SD contempla atividades dialógicas e problematizadoras que visam promover um aprendizado contextualizado. Além disso, o material busca conectar os conceitos de Física de Partículas ao cotidiano dos alunos, despertando interesse por temas científicos contemporâneos e destacando a relevância da ciência brasileira nesse campo.

Nas próximas seções será descrito as sugestões para melhor aplicação da SD, procurando um diálogo simples e direto com os professores que tiverem interesse em aplicar esse trabalho em suas aulas de Física.

Todo o material utilizado nesse Produto Educacional está disponível gratuitamente no link abaixo: <https://drive.google.com/drive/folders/IXR-DByrG2bfdqNwjHpceQ9OwoR-KDOxL?usp=sharing>

Contextualização para os professores

O desenvolvimento deste mestrado teve um impacto importante na formação do professor e pesquisador autor desta dissertação, ajudando a ampliar sua forma de pensar e de atuar em sala de aula. Ao longo do trabalho, estudar a literatura, planejar a SD e analisar as atividades aplicadas contribuiu para construir um olhar mais investigativo e reflexivo sobre a própria prática. Um dos efeitos mais marcantes desse processo foi o exercício constante de criar atividades problematizadoras e dialógicas, o que acabou influenciando diretamente o modo como as aulas do dia a dia passaram a ser planejadas. Essa experiência trouxe novas inspirações para tornar as aulas mais participativas, mais abertas ao diálogo e mais voltadas para o desenvolvimento do raciocínio dos estudantes.

Além disso, o mestrado reforçou a ideia de que a sala de aula pode ser também um espaço de pesquisa, onde é possível testar, observar e repensar práticas. Assim, essa trajetória formativa contribuiu para consolidar uma postura mais segura, fundamentada e criativa, fortalecendo tanto o trabalho como professor quanto a atuação como pesquisador no ensino de Física.

A seguir, está descrito um pouco do percurso desenvolvido ao longo da pesquisa realizada durante o mestrado, bem como algumas das atividades elaboradas para compor a SD proposta. Essas produções representam parte do processo de criação, experimentação e reflexão que acompanharam todo o trabalho.

Os Três Momentos Pedagógicos (3MP)

Nas práticas pedagógicas tradicionais, ainda é comum observar a ausência de um diálogo verdadeiro entre educador e educando, sendo frequente a substituição da escuta ativa por interações superficiais, que podem ser respondidas facilmente por “sim” ou “não”, ou que necessitam de um conhecimento específico, se limitando a conversas pontuais ou à simples permissão para que o aluno fale.

No entanto, o conceito de dialogicidade, conforme formulado por Freire (2011), vai muito além dessa compreensão reduzida. O diálogo, em sua concepção freireana, é um ato de construção coletiva do conhecimento, que exige abertura, respeito e compromisso com a transformação da realidade. É por meio dela que os estudantes são desafiados a se posicionar, a expor suas ideias, inquietações e hipóteses, o que contribui diretamente para o desenvolvimento do pensamento crítico e da autonomia intelectual.

Incorporada à proposta dos 3MP desde suas primeiras formulações, a dialogicidade passou a ocupar papel central na dinâmica de ensino problematizadora, sendo compreendida como elemento estruturante da dinâmica (Muenchen; Delizoicov, 2012). Ao promover a escuta ativa, o respeito as opiniões e a construção coletiva do saber, o diálogo transforma a relação pedagógica e permite que o conhecimento escolar se articule com os saberes dos sujeitos envolvidos.

O ensino a partir do diálogo permite que os alunos se sintam livres para expor suas opiniões e que aprendam a respeitar e ouvir as opiniões dos outros, além de possibilitar que o conhecimento a ser construído por ele, se relacione com a realidade vivida pelo educando. (Araújo; Niemeyer; Muenchen, 2013, p. 189).

Nesse sentido, a dinâmica dos 3MP possibilita o rompimento com o paradigma curricular transmissivo, geralmente sustentado por uma abordagem conceitual. Essa dinâmica, quando usada como metodologia de ensino, se estrutura em três etapas: Problematização Inicial, a Organização do Conhecimento e a Aplicação do Conhecimento, proposta por Delizoicov e Angotti (1991).

Nessa metodologia, os conteúdos curriculares são trabalhados em consonância com situações vivenciadas no cotidiano dos estudantes, por meio de temas problematizadores, partindo da abordagem temática, que pode ser entendida como uma “perspectiva curricular cuja lógica de organização é estruturada com base em temas com os quais são selecionados os conteúdos de ensino das disciplinas. Nessa abordagem, a conceituação científica da programação é subordinada ao tema” (Delizoicov, Angotti E Pernambuco, 2002, p. 189). Essa perspectiva permite a valorização de suas concepções prévias e favorece a sistematização de conhecimentos científicos de forma contextualizada.

Além disso, é importante esclarecer que o tema desta sequência foi definido previamente. A escolha se deu em razão do interesse pessoal do autor e da relação com o grupo de pesquisa ao qual está vinculado, que já vinha desenvolvendo estudos sobre o tema. Tal decisão também se justifica pela relevância científica e educacional da temática dos Raios Cósmicos.

A seguir, serão apresentados e discutidos os três momentos que compõem a dinâmica didática-pedagógica dos 3MP.

1º Momento - Problematização Inicial (PI)

A problematização inicial é caracterizada pela apresentação de uma discussão que gere inquietação, curiosidade e dúvidas aos estudantes sobre o tema escolhido.

Para este momento, o professor é responsável por apresentar problematizações sobre o tema escolhido, que façam emergir contradições ou concepções alternativas que não respondem satisfatoriamente ao problema, com liberdade para os estudantes apresentarem seus conhecimentos prévios sobre o assunto (Araújo, 2015). Este não é um momento para o professor fornecer explicações diretas de suas problematizações, e sim, mostrar o caminho para uma construção do conhecimento a partir da problematização do tema a ser trabalhado, uma vez que de maneira natural, o educando perceberá que com apenas seu conhecimento prévio não será suficiente para responder satisfatoriamente as questões apresentadas pelo professor (Delizoicov, Angotti e Pernambuco, 2007).

Por mais que possua esse primeiro momento para o professor adotar uma postura que busque mais o diálogo sobre as problematizações apresentadas e que busque trabalhar suas habilidades críticas em relação a algum problema, não se torna interessante abandonar esta postura nas duas etapas seguintes da dinâmica (Delizoicov, Angotti e Pernambuco, 2002).

2º Momento – Organização do Conhecimento (OC)

Neste segundo momento ocorre a sistematização do conteúdo necessário para o estudante compreender as problematizações iniciais, além de apresentar como esse conhecimento se relaciona na resolução de problemas. Esta se torna uma etapa desafiadora para o professor, justamente pela possibilidade de em um mero descuido, retornar às aulas com estratégias transmissivas de ensino, retomando a educação bancária. Por isso deve-se adotar metodologias de ensino-aprendizagem que não reproduzam essa lógica de uma educação transmissiva, mas sim, com foco na autonomia do estudante e buscando manter a dialogicidade durante todo o segundo momento (Delizoicov, Angotti e Pernambuco, 2002).

Como mencionado por Araújo (2015), a dialogicidade possibilita que os estudantes apresentem uma postura de participação na construção de seus conhecimentos, pois eles envolvem-se e buscam soluções e respostas, de forma compartilhada, para a compreensão das problematizações lançadas inicialmente a eles.

3º Momento – Aplicação do Conhecimento (AC)

Por fim, no terceiro e último momento, as problematizações apresentadas inicialmente são retomadas para dar aos estudantes uma nova possibilidade de responder as perguntas iniciais, agora com o conhecimento necessário para respondê-las satisfatoriamente. Ou até mesmo, a partir da problematização inicial e dos conteúdos apresentados no segundo momento, apresentar novas situações propostas pelo professor.

Apesar da possibilidade de o professor optar por uma avaliação formativa neste momento, a aplicação do conhecimento se torna uma ótima oportunidade para uma avaliação dialógica-problematizadora, justamente pela necessidade que a maioria dos educadores tem de preencher boletins e documentos que visam classificar os estudantes pelos seus desempenhos nas avaliações.

Nesse sentido, a última etapa é o momento de o educador perceber como se deu a evolução e construção do conhecimento a partir da problematização inicial, se houve superação dos limites explicativos das questões apresentadas e como os estudantes foram capazes de relacionar o conteúdo compreendido por eles durante a OC, com as novas propostas realizadas no último momento (Delizoicov, Angotti e Pernambuco, 2002).

Vale ressaltar que na SD produzida, os 3MP foram utilizados como estruturante da organização de aula em sua maneira fractal, na qual cada momento está inserido dentro de outro, ou seja, contendo em menor escala, os elementos característicos dos demais. Para um melhor aprofundamento sobre essa estrutura ver a dissertação ou o artigo de Braga e José (2021).

Raios C3smicos

Este trabalho tem como intenc3o principal apresentar alguns epis3dios hist3ricos em forma de narrativa, buscando oferecer subs3dios a outros colegas professores. Ressalta-se tamb3m que n3o se trata de uma investiga3o aprofundada sobre a Hist3ria e Filosofia da Ci3ncia, mas sim de um esfor3o voltado 3 elabora3o de propostas pedag3gicas inspiradas em epis3dios hist3ricos selecionados, com o objetivo de tornar o ensino mais contextualizado para os estudantes e de f3cil acesso ao professor, tomando os devidos cuidados para n3o cometer equ3vocos epistemol3gicos criticados por pesquisadores da 3rea.

A descoberta dos Raios C3smicos

Em 1785, Charles Augustin Coulomb (1736-1806), iniciou as observa3es sobre o funcionamento dos eletrosc3pios. Coulomb observou que uma esfera eletrizada, carregada e em ambiente fechado, suspensa por um fio de seda, era descarregada de maneira progressiva.

Algumas d3cadas depois, esses trabalhos foram reproduzidos em 1835 e 1879, por Michael Faraday (1791-1867) e William Crookes (1832-1919), respectivamente. Chegando a conclus3es semelhantes 3s de Coulomb, de que a velocidade de descarga era proporcional 3 press3o do ar, corroborando para a ideia da ioniza3o do ar atmosf3rico. O que apontava para a exist3ncia de uma condutividade intr3nseca do ar (Bandeira e Mackedanz, 2019).

Em 1895, Roentgen (1845-1923) realizou importantes avan3os no conhecimento sobre os raios-X, e que influenciou os estudos de Henri

Becquerel (1852-1908), que investigou corpos fosforescentes, principalmente os sais de urânio. Ele verificou que os sais emitiam raios que eram capazes de aumentar a condutividade do ar atmosférico, retirando os elétrons dos gases e formando íons (Bandeira e Mackedanz, 2019).

Esses “raios” acabaram sendo nomeados na época como *raios ionizantes* (Bustamante, 2013). Assim se deu início aos estudos sobre a radioatividade, fenômeno que ficou muito famoso no início do século XX, tanto dentro da comunidade científica como na sociedade europeia em geral. Fama que se estendeu de maneira preocupante até mesmo a produtos de consumo pessoal (Lima, Pimentel e Afonso, 2011).

Entre os interessados da comunidade científica, estavam Marie Curie (1867-1934) e Pierre Curie (1859-1906), que realizaram grandes contribuições para o entendimento da radioatividade. Eles descobriram elementos que tinham características radioativas, como o polônio e o rádio, e que outras substâncias também eram capazes de emitir esses raios de forma espontânea. Os raios alfa, que apresentavam baixo poder de penetração, não atravessando nem mesmo uma barreira fina e com uma quantidade de carga relativamente alta, e os raios beta, que penetravam facilmente barreiras mais grossas e apresentavam uma carga menor (Saran, 2012).

Após essas descobertas, foi possível determinar a velocidade de ionização a partir da taxa de descarga de um eletroscópio, utilizando a radioatividade como padrão de calibragem (Bandeira e Mackedanz, 2019).

Ainda no início do século XX, na Escócia, Charles Thomson Rees Wilson (1869-1959) e concomitantemente, na Alemanha, Hans Geitel (1855-1923) e Julius Elster (1854-1920), aprimoraram o experimento do eletroscópio de Coulomb. Eles realizaram uma montagem experimental com duas finas folhas de ouro, mantidas no interior de um recipiente de

vidro, presas a uma haste carregada e ligada a uma esfera de carga conhecida, carregando as folhas de ouro, que sofrem repulsão, afastando-se uma da outra.

Ambos chegaram a conclusões semelhantes, eles observaram que depois de certo tempo, as folhas perdiam suas cargas, voltando a ficar próximas umas da outra, mesmo o aparato experimental sendo isolado eletricamente. Para eles, uma possível explicação seria que o ar estava ionizado e os elétrons livres eram atraídos pelas folhas, neutralizando-as novamente, constatando uma descarga de maneira indefinida, mesmo feita de maneira cuidadosamente isolada (Carlson e De Angelis, 2010).

A partir desses experimentos e análises, foi possível chegar a conclusões que contribuíram para o aprimoramento das medidas de ionização do ar atmosférico, utilizando a taxa de descarga das folhas de ouro como referência (Bandeira e Mackedanz, 2019).

Mas o que poderia causar essa ionização do ar?

Com o conhecimento da época sobre as radiações alfa e beta, sabia-se que eram capazes de descarregar imediatamente um eletroscópio, com isso, uma das primeiras justificativas era que ainda restavam resíduos de substâncias radioativas no material do experimento. Outros argumentavam que no solo terrestre havia muitas dessas substâncias radioativas, e que essa seria a fonte dessa ionização do ar (Carlson e De Angelis, 2010).

Entretanto, ao tomarem conhecimento dos trabalhos realizados por Ernest Rutherford (1872-1937) e sua equipe em 1902, no qual mostraram que a ionização foi significativamente reduzida quando o recipiente

fechado foi cercado por escudos metálicos mantidos livres de impurezas radioativas. Mostrando que parte da radiação vinha de fora (Carlson e De Angelis, 2010). A partir disso, começou-se de vez a buscar por essa tal fonte radioativa externa ao instrumento.

Uma das hipóteses mais argumentadas pela comunidade científica, era de que essa fonte seria uma radioatividade natural da crosta terrestre, e assim houve uma busca por uma prova experimental.

Ao observar toda essa discussão, Charles Wilson sugeriu uma hipótese, de que a origem para a radiação seria extraterrestre, de fora do planeta Terra. Na tentativa de sua comprovação, ele mediu a ionização do ar em túneis de grande profundidade, sob uma camada de rocha sólida, na esperança dos resultados mostrarem um decréscimo no valor da ionização, pelo fato de a radiação ser atenuada por essa camada de rocha, porém os resultados não foram satisfatórios (Bandeira E Mackedanz, 2019).

Em contrapartida, ao analisar as hipóteses e resultados de Wilson, o engenheiro químico Albert Nodon (1862-1934) realizou estudos precisos da variação da ionização do ar conforme a altitude. Ele sugeriu que a radiação teria uma origem extraterrestre, justificando de que ela seria apenas muito penetrante (Bandeira E Mackedanz, 2019).

O pensamento de Theodor Wulf (1868-1946) foi de que se a radiação é proveniente do solo, então quanto mais distante da superfície, menor será seu efeito sobre os eletroscópios. A partir disso, em 1909 decide investigar a origem da radiação levando um eletroscópio para o topo da torre Eiffel, realizando medições da ionização do ar tanto no topo da torre, a 300 metros de altura, quanto no solo. Wulf constatou que a taxa de ionização não diminuía conforme o aumento da altitude, e sim ao contrário, o valor era ainda maior próximo do topo da torre. Os resultados desse experimento

foram de grande contribuição para as pesquisas sobre a origem dessa radiação, justamente pelo rigor metodológico utilizado por ele, com coleta de dados em diferentes horários do dia e por um alto número de dias, gerando confiabilidade nos resultados. Porém, Theodor Wulf era cético em relação a seus próprios resultados, e ainda mantinha sua aposta de uma radiação com origem a partir do solo terrestre (Bustamante, 2013).

Entre os anos de 1909 e 1911, o italiano Domenico Pacini (1878-1934), realizou uma série de experimentos a partir dos dados obtidos por Wulf. O primeiro objetivo de Pacini era buscar entender qual a relação entre a condutividade do ar e o tipo de meio envolvido. Para tentar responder essas questões, além de buscar a comprovação de que essa radiação era emitida pelo solo, Pacini realizou uma sequência de experimento sob o Golfo do Gênova, coletando dados tanto na superfície quanto a uma profundidade de 3 metros (Bandeira E Mackedanz, 2019).

Um dos avanços dos experimentos de Pacini em relação ao de Wulf, foi o aprimoramento do aparato utilizado, o eletrômetro era mais sensível a coleta de informações e isolado em uma caixa de cobre, fato que possibilitou sua imersão a tal profundidade. Os resultados da sequência de experimento no golfo foram claros, ao comparar as taxas de descargas do eletrômetro, o valor na superfície era 20% maior do que as taxas a 3 metros de profundidade (Bandeira E Mackedanz, 2019). Reforçando mais uma vez as hipóteses de que a fonte dessa radiação não era o solo terrestre, justamente porque a água absorveria tal radiação, além de confirmar o poder de penetrabilidade, pelo fato de que as condições do aparato desenvolvido por Pacini não foram suficientes para inibir as taxas de descarga.

A divulgação desses resultados influenciou o físico austríaco Viktor Franz Hess (1883-1964), que após analisar resultados como os de Wulf e

do físico inglês Arthur Stewart Eve, buscou estudar o coeficiente de absorção do ar em relação aos raios gama. O resultado desta série de experiências realizadas em laboratório, permitiu inferir que a radiação deveria ser absorvida pelo ar a altitudes maiores do que 500 metros, supondo ainda uma fonte de radiação do solo terrestre (Bustamante, 2013).

A partir desses resultados, Hess começou a realizar uma série de experimentos, classificados como inseguros e arriscados, em balões, durante os anos de 1911 e 1913. Chegando a incríveis 5.350 metros de altura em algumas de suas ascensões, sendo elas em sua maioria durante a noite, somente uma delas durante o dia, porém sob eclipse total, o que possibilitou desconsiderar o Sol como fonte direta de radiação ou qualquer interferência aos resultados (Bandeira E Mackedanz, 2019).

Durante a análise dos dados coletados em suas ascensões, além das conclusões já esperadas por ele em relação a medição do coeficiente de absorção de raios gama próximo a superfície ir diminuindo até aproximadamente 1 km de altitude, ele se deparou com informações que mostravam uma relação entre o aumento da altitude e o aumento da ionização no ar. Portanto, só restava a explicação de que a fonte para essa radiação deveria ser extraterrestre, pelo fato dela provir do topo da atmosfera, além de altamente penetrante, por ser capaz de causar ionizações até mesmo em recipientes isolados, como os aparatos utilizados por Pacini (Bandeira E Mackedanz, 2019).

Essa última característica era tão fascinante no meio científico que nomeou tal radiação como radiação ultrapenetrante. Mas somente após os resultados conclusivos de Pacini e Hess, a radiação leva o nome em que hoje é conhecida, os Raios Cósmicos, nome que teve como responsável por

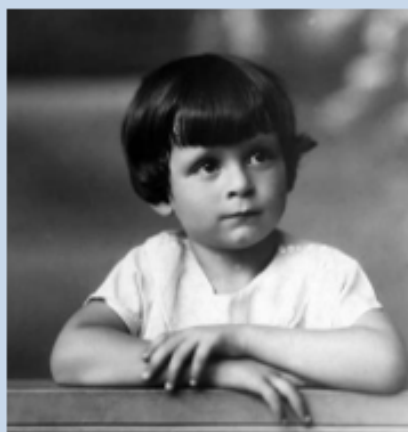
sua popularização, Robert Millikan (1868-1953), já renomado cientista estadunidense (Bustamante, 2013).

O pioneirismo do descobrimento da radiação cósmica logo teve suas divergências, muitas de suas referências dependiam da língua materna que tratava sobre o assunto, no italiano ligavam a descoberta a Domenico Pacini, e no alemão, a Viktor Hess. Porém, já no ano em que o responsável pelas descobertas seria agraciado com o prêmio Nobel, Pacini já não estava mais vivo, faleceu em 1934 devido a uma forte pneumonia, facilitando assim a decisão de agraciar Viktor Franz Hess com o prêmio Nobel de 1936 pela descoberta dos Raios Cósmicos (Bustamante, 2013).

César Lattes

Césare Mansueto Giulio Lattes, nasceu no dia 11 de julho de 1924, na cidade de Curitiba, capital do Estado do Paraná, filho de imigrantes italianos. Seu primeiro contato com o ambiente acadêmico foi quando ingressou no primário pelo Instituto Menegati, na cidade de Porto Alegre, no ano de 1929, mas um ano depois, se mudou para Torino, na Itália, continuando seus estudos em uma escola pública local. Retornou ao Brasil e concluiu o curso primário em uma escola americana em Curitiba, em 1933. Aos 12 anos, ingressou no Instituto Médio Dante Alighieri, para cursar a etapa do Ginásio, semelhante ao Ensino Médio atual, vindo a concluir em 1938. Ao finalizar o Ginásio, Lattes já tinha em mente a intenção de cursar Física, contudo, outros fatores reforçaram as pretensões dele para seguir a carreira na área das ciências (Bassalo, 1990).

Giuseppe Lattes, pai de César Lattes, conheceu Gleb Wataghin, Físico ucraniano reconhecido no Brasil e no mundo, e falou sobre seu filho. Wataghin, além de conversar com Lattes, ainda explicou a ele que não era necessário finalizar o curso do Ginásio para ingressar a faculdade de Física. Outros fatores citados por Lattes que o incentivaram a seguir essa carreira foram sua facilidade com a matéria, justificando que não seria necessário para ele se esforçar muito nos estudos, além dos benefícios da profissão como professor, como as quantidades de férias que teria ao longo do ano. Em 1943, aos 19 anos, foi graduado Bacharel em Física pela Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo, a USP (Bassalo, 1990).



Vieira (2019, P. 67).

Na Faculdade, por conta das aulas ministradas por Giuseppe Occhialini (1907-1993) no terceiro ano do curso, Lattes se interessou e aprendeu analisar e fazer leituras de filmes de raios X, revelando filmes expostos a radiação e medindo propriedades físicas (Vieira, 2019). Com essa proximidade criada entre os dois durante as aulas, Occhialini ao partir para fora do Brasil deixa como “presente” para Lattes uma câmara de Wilson, junto com o desafio de consertá-la. A partir desse contato com a câmara, Lattes e mais dois amigos iniciam os estudos sobre Raios Cósmitos e suas detecções na câmara (Vieira e Vieira, 2016).

Em 1945, Lattes recebe outro presente de Occhialini, as emulsões nucleares, denominadas também como chapas fotográficas, responsáveis por registrar trajetórias de partículas com a ajuda de um microscópio. A vantagem em relação a câmara de Wilson é que nas emulsões a nitidez e as precisões dos traços eram ainda melhores (Vieira e Vieira, 2016).

Lattes, por se aprofundar na análise das emulsões nucleares, solicita a Occhialini que tente uma vaga para ele trabalhar junto ao grupo liderado

por Cecil Powel (1903-1969), no laboratório da Universidade de Bristol (Vieira, 2019).

Em 1946, ao chegar em seu novo local de pesquisa, o primeiro objetivo de Lattes foi aprimorar as propriedades de detecção nas emulsões nucleares, tendo uma ótima ideia ao sugerir para a empresa que era responsável pela produção das chapas fotográficas inserir o elemento químico boro em sua fabricação, facilitando a observação indireta dos nêutrons criado pelo choque dos raios cósmicos com a atmosfera. Occhialini levou consigo algumas das chapas de emulsões nucleares, com e sem boro, aos Pirineus franceses em um passeio de férias. Ao retornar a Bristol, a equipe de físicos e microscopistas conseguiram detectar a existência de uma partícula de massa intermediária entre o elétron e o próton, chamada de méson (Vieira e Vieira, 2016).

Edifício que abriga o laboratório H.H. Wills na Universidade de Bristol em que Lattes trabalhou.



VIEIRA (2019, p. 16).

Após análises mais minuciosas sobre as emulsões nucleares com o boro, foi identificado que aquela partícula era a mesma que foi proposta em 1935 e foram ainda identificados dois eventos que mostravam um possível decaimento em uma outra partícula, o méson μ , chamado na época de méson μ , chamado na época de méson μ (Vieira e Vieira, 2016).

Com o objetivo de expor as chapas fotográficas e obter resultados mais confiáveis, Lattes localizou o monte Chacaltaya, na Bolívia, a 5,2 mil metros de altitude. A fim de evitar eventos que poderiam interferir na detecção, escolheu um local com pressão atmosférica próxima à metade da encontrada ao nível do mar. Além disso, devido à altitude elevada, havia maiores chances de capturar partículas que colidiram com a atmosfera (Vieira, 2019).

Carro de boi transportando uma câmara de nuvens até o monte Chacaltaya.



Vieira (2019, p. 51).

Ao retornar a Bristol e analisar os resultados das chapas, encontrou mais de 30 eventos de decaimento do méson pi (π) em méson mi (Vieira e Vieira, 2016).

Após a repercussão da descoberta feita pelo grupo de Bristol, principalmente no cenário europeu, Lattes decide “tentar a sorte” e encontrar os mésons entre as partículas secundárias produzidas pelo acelerador na Universidade de Berkeley (EUA), que possuía um dos mais potentes aceleradores da época (Vieira e Vieira, 2016).

Esse novo desafio foi relativamente mais fácil que a detecção natural dos mésons em Chacaltaya, junto a seu colega de laboratório, Eugene Gardner (1913-1950). No início de 1948 eles já tinham dados suficientes para anunciar que foram detectados mésons de maneira artificial em aceleradores de partículas. Feito que tornou Lattes ainda mais reconhecido no cenário científico mundial. Seus feitos contribuíram para criações de campanhas no Brasil em prol de melhorias para condições de trabalho para cientistas e professores, além da criação de um centro de pesquisas em Física.

Essas campanhas resultaram na criação do CBPF, o Centro Brasileiro de Pesquisas em Física, em janeiro de 1949, liderado por José Leite Lopes (1918-2006), além de uma mudança no olhar sobre a importância da ciência e no investimento a ela para o desenvolvimento do país, no contexto de poder político e econômico.

Lattes voltando ao Brasil ao final de 1948, já reconhecido mundialmente.



VIEIRA (2019, p. 30).

A USP deu a ele o título de Doutor Honoris Causa, se tornando Prof. Dr. Lattes e assim começou a atuar como professor na universidade (Vieira e Vieira, 2016).

Mesmo após suas publicações sobre os trabalhos realizados em Bristol e Berkeley, Lattes não foi agraciado com o prêmio Nobel, mas Cecil Powel, então diretor do laboratório em Bristol, acabou por receber o prêmio. Ainda hoje há dúvidas do porquê Lattes não recebeu o prêmio, Marasciulo (2020) menciona que à política interna do prêmio até o ano de 1960 premiava apenas o chefe da equipe que liderava uma descoberta, porém a argumentos como o de Rezende et. al (2019) de que o fato de Lattes ser brasileiro influenciou na decisão de não ser um vencedor do prêmio.

Pesquisas recentes mostram que Lattes foi indicado sete vezes para o prêmio Nobel de Física, por seus trabalhos na detecção nas emulsões nucleares no laboratório de Bristol e pela detecção artificial no acelerador de partículas na Universidade de Berkeley, sendo até hoje o maior número de indicações a um físico brasileiro.

Lattes e Leite Lopes no edifício do CBPF, no Rio de Janeiro.



VIEIRA (2019, p. 47).

Lattes foi diretor científico do CBPF, liderou o projeto de construção do Laboratório de Física Cósmica de Chacaltaya, um dos maiores projetos científicos da época, liderou a colaboração entre Brasil e Japão, o CBJ, que ampliaria a estrutura do laboratório de Chacaltaya e seria responsável por dar continuidade nos estudos sobre Raios Cósmicos e de fenômenos relacionados à produção múltipla de píons. Lattes também foi um dos responsáveis pela criação do Conselho Nacional de Pesquisa, o CNPq (Vieira e Vieira, 2016).

Após acabar se envolvendo com um escândalo ao denunciar um desvio de verbas do CBPF, que seriam destinadas à construção de um acelerador de partículas, Lattes acabou sendo duramente criticado por trazer o ocorrido aos noticiários. Toda essa repercussão fez com que ele decidisse se afastar do Brasil, ficando em tratamento médico por dois anos nos EUA por conta de seu transtorno mental que o fazia oscilar em estado de humor de euforia e depressão (Vieira e Vieira, 2016).

Cesar Lattes



VIEIRA (2019, p. 63).

Em 1957, Lattes decide retornar ao Brasil e continuar sua luta para o fortalecimento da educação científica no país.

A trajetória de César Lattes, assim como a de muitos outros cientistas, evidencia que a carreira científica está longe de ser linear ou isenta de dificuldades. Ressaltar esse aspecto em sala de aula é fundamental para desconstruir a imagem idealizada do cientista, frequentemente associada a uma figura distante da realidade dos estudantes. Ao compreender que a ciência é construída por pessoas, com trajetórias complexas, os alunos podem se reconhecer nesse processo e perceber a possibilidade de também atuarem nesse cenário científico.

Física de Partículas

A quantidade de partículas descobertas ao longo do século XX fez com que os físicos da época começassem a pensar em maneiras de classificar todas essas novas informações de uma maneira acessível. Atualmente, temos ao todo 61 partículas ditas como elementares, aquelas que possuem apenas um único constituinte (Abdalla, 2005). A teoria que engloba a classificação dessas partículas se tornou uma das mais sólidas teorias já construídas na Física e permanece válida até hoje, o Modelo Padrão de Partículas (MP), segundo Moreira (2009). Abaixo serão descrito as classificações que compõe o MP.

Primeiramente o MP pode ser dividido em dois grandes grupos:

Férmions: possuem spin fracionário ($1/2$; $3/2$, etc) e obedecem ao Princípio de Exclusão de Pauli.

Bósons: possuem spin inteiro (0, 1, 2, etc) e não obedecem ao Princípio de Exclusão de Pauli.

Essas duas classificações fazem com que surjam outras ramificações para ambas, primeiro descreveremos a partir dos Férmions.

Os Férmions possuem duas classes fundamentais:

Léptons: não possuem carga de cor.

Quarks: possuem carga de cor.

A cor se trata de uma propriedade dessas partículas e não de uma cor propriamente dita, portanto, assim como a carga elétrica, que é também uma propriedade de certas partículas, pode ser positiva ou negativa, a propriedade cor, que poderia ser chamada de carga cor, e apresenta três variedades que foram chamadas de vermelho, verde e azul (Moreira, 2009), o estudo dessa propriedade da matéria deu origem a área da Cromodinâmica Quântica ou QCD (Quantum Chromodynamics).

Tanto os Léptons quanto os Quarks podem ser classificados em seis tipos de “sabores”:

Léptons: Elétron, múon, Táu e seus respectivos neutrinos: neutrino do elétron, neutrino do múon e neutrino do Táu.

Quarks: up, down, charm, strange, top e bottom.

Portanto, os férmions são constituídos por 44 partículas, sendo 6 sabores de quarks, mas cada quark possui sua antipartícula correspondente e ainda cada uma com três cargas de cores possíveis, totalizando 36 quarks (6 sabores de quarks \times 2 para cada antipartícula \times 3 cargas de cor = 36). Os léptons com 6 sabores, mais suas respectivas antipartículas, totalizam mais 12 férmions para o modelo padrão (Abdalla, 2005).

Agora descreveremos as ramificações da classe dos Bósons (partículas que possuem o spin inteiro e estão intimamente ligadas a mediação das quatro interações fundamentais).

As quatro interações fundamentais são: gravitacional, eletromagnética, força forte e força fraca, sendo que cada uma delas ocorre via interação de partículas que são chamadas de partículas mediadoras ou bósons

mediadores. Cada uma interage com sua propriedade fundamental, por exemplo, a partícula responsável pela mediação da força eletromagnética é o fóton, e como dito por **Young e Freedman (2016)**:

“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.” (Young & Freedman, 2016, p. 459).

Segundo Moreira (2004), os Bósons podem ser classificados como:

Glúons: Os bósons mediadores das interações fortes são glúons, que possuem carga de cor, interação de curto alcance e que ocorre via interações entre cargas de cor.

Partículas Z e W: As partículas mediadoras da força fraca, são W^+ , W^- , Z; estes são muito massivos, o que implica em um raio de ação limitado, interação de curto alcance e em geral associada aos decaimentos do tipo beta.

Fótons: O fóton é a interação eletromagnética, pode ser atrativa ou repulsiva, por conta de sua massa nula ela é uma interação de longo alcance.

Bóson de Higgs: O bóson de Higgs representa a explicação para a origem da massa das outras partículas elementares, por meio da interação com o campo de Higgs, que permeia todo o universo.

Gráviton: Partícula responsável pela interação da força gravitacional.

Uma outra classificação para um determinado grupo inserido no MP são os Hádrons. Por conta de os Quarks nunca terem sido observados livres de outros Quarks e, portanto, sempre confinados (Moreira, 2004), tal confinamento pode ser encontrado de duas maneiras:

Bárions: formados por três quarks e respeitam o Princípio de Exclusão de Pauli. Exemplo: Prótons e Nêutrons.

Mésons: formados por um par quark-antiquark e não respeitam o Princípio de Exclusão de Pauli. Exemplo: píons e káons.

O quadro a seguir, elaborado por Abdalla (2005), apresenta as partículas que compõem o MP, seguindo a classificação apresentada neste capítulo. Vale destacar que o bóson de Higgs, cuja existência foi confirmada experimentalmente apenas em 2012, não está incluído na representação abaixo.

	Partículas	Antipartículas	Total
Léptons	$e^-, \nu_e, \mu, \nu_\mu, \tau, \nu_\tau$ (6)	$e^+, \bar{\nu}_e, \bar{\mu}, \bar{\nu}_\mu, \bar{\tau}, \bar{\nu}_\tau$ (6)	12
Quarks	u, d, s, c, b, t (cada quark pode ter 3 cores) (6x3 = 18)	$\bar{u}, \bar{d}, \bar{s}, \bar{c}, \bar{b}, \bar{t}$ (18)	36
Mediadoras	$\gamma, W^+, W^-, Z^0, g_1, g_2, g_3, g_4, g_5, g_6, g_7, g_8$ (12)	As antipartículas são as mesmas que as partículas	12
Total			60

Abdalla, 2005, p. 44

Atualmente a figura abaixo mostra o MP de um modo simplificado para demonstrar as partículas elementares existentes, mas acaba sendo uma das representações mais conhecidas nas aulas de FP.

Modelo Padrão das Partículas Elementares



Fonte: IFSC/USP

Tempestade Solares

Os RC são partículas subatômicas altamente energéticas provenientes do espaço. Essas partículas, compostas majoritariamente por prótons e núcleos atômicos, apresentam um amplo espectro de energia. Devido a interação com campos magnéticos interestelares, a identificação direta de sua origem é extremamente complexa. No entanto, métodos indiretos apontam que partículas com energias entre 10^9 eV e 10^{15} eV têm origem galáctica (dentro da nossa galáxia), enquanto aquelas com energias superiores a 10^{19} eV são atribuídas a fontes extragalácticas (de outras galáxias), segundo Oliveira, Rockenbach e Pacini (2014).

O quadro abaixo mostra o espectro de energia de acordo com a origem dos RC.

Faixas de energia dos raios cósmicos e sua possível origem

Faixa de Energia	Possível Origem
Até 10^9 eV	Raios Cósmicos Solares (SCR)
10^9 a 10^{15} eV	Origem Galáctica
10^{15} a 10^{19} eV	Remanescentes de Supernovas
Acima de 10^{20} eV	Origem Desconhecida (Possivelmente extragaláctica)

Adaptada de Oliveira, Rockenbach e Pacini (2014).

Dentro desse espectro, os Raios Cósmicos com energias até 10^9 eV podem ser explicados por fenômenos associados à atividade solar, sendo assim denominados Raios Cósmicos Solares (SCRs, sigla em inglês) e chegam à Terra com uma quantidade de energia relativamente baixa, mas em grande quantidade por conta da proximidade com nossa estrela (Saran, 2012, p. 44). Esse fenômeno está intimamente relacionado com as manchas

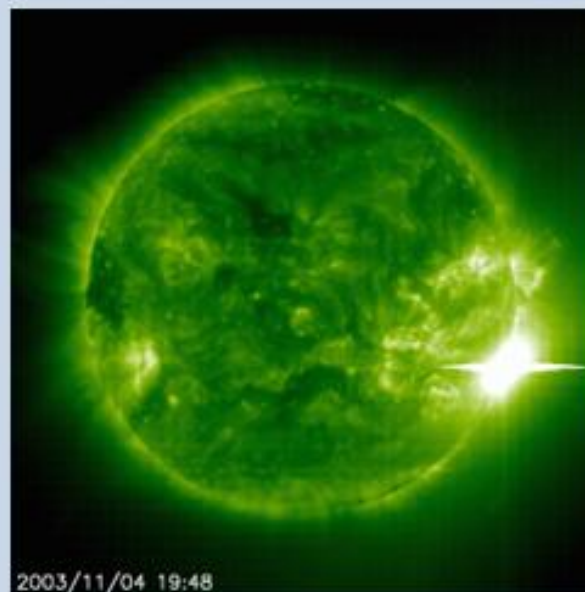
e erupções solares (flares), que possuem variações em suas ocorrências e intensidades ao longo do tempo.

Erupções solares (flares) –

Erupções solares são explosões que ocorrem na superfície do Sol, liberando enormes quantidades de energia, luz e partículas de alta velocidade para o espaço. Esses eventos estão frequentemente associados a tempestades magnéticas solares conhecidas como Ejeções de Massa Coronal (EMC), que podem afetar o ambiente espacial ao redor da Terra (NASA, 2025).

A intensidade das erupções solares é classificada em um sistema que utiliza letras: A, B, C, M e X. As erupções de classe A representam eventos menos energéticos, enquanto as de classe X são as mais intensas. Semelhante à escala Richter, usada para medir terremotos, cada classe representa um aumento de dez vezes na liberação de energia. As erupções de classe X são consideradas as maiores explosões do sistema solar. Durante esses eventos, loops magnéticos imensos, com dimensões de dezenas de vezes maiores que a Terra, podem se projetar da superfície solar, resultado da reconexão de campos magnéticos solares (NASA, 2025).

Explosão solar capturada pelo observatório SOHO.



Fonte: NASA

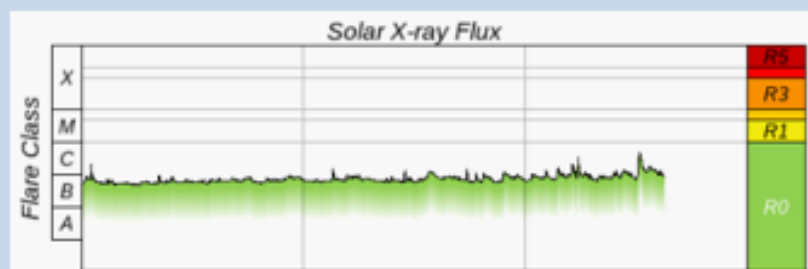
Atualmente, diversas instituições científicas e agências governamentais mantêm monitoramento constante da atividade solar e suas possíveis consequências. Entre essas instituições, destacam-se a NASA, a NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) e a Agência Meteorológica da Força Aérea dos Estados Unidos (AFWA), que atuam em cooperação no acompanhamento em tempo real do comportamento do Sol.

Esse trabalho de vigilância é fundamental para a emissão de alertas antecipados, permitindo que medidas preventivas sejam adotadas a fim de minimizar os impactos sobre sistemas tecnológicos sensíveis, como satélites de comunicação, redes elétricas e naves espaciais.

O site da NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), está disponível um dashboard interativo, no qual é possível acompanhar, em tempo real, a intensidade das erupções solares dos últimos quatro

dias. Esse painel, acessível pelo link <https://www.swpc.noaa.gov/communities/space-weather-enthusiasts-dashboard>, apresenta gráficos como o de Solar X-ray Flux, que classificam as erupções de acordo com sua intensidade.

Gráfico em tempo real da intensidade das erupções solares e potencial de impacto.

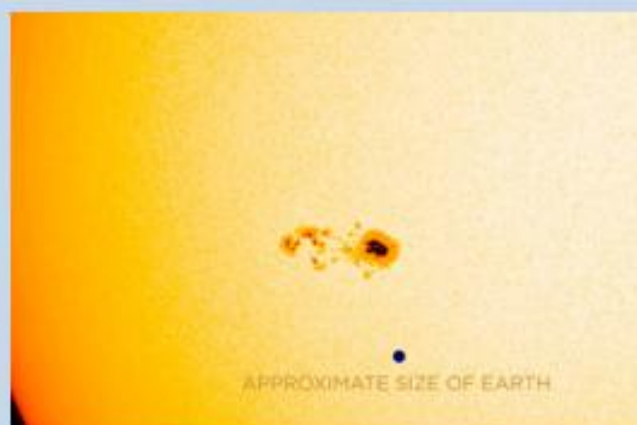


Fonte: Space Weather Prediction Center/NOAA.

Manchas Solares (Sunspots) –

As manchas solares são regiões visivelmente mais escuras da fotosfera do Sol, caracterizadas por temperaturas mais baixas em relação às áreas ao redor. Essas manchas surgem devido à concentração intensa de linhas de campo magnético, que bloqueiam temporariamente o fluxo convectivo de energia na superfície solar. Por serem indicadores importantes da atividade magnética solar, as manchas solares são amplamente utilizadas pelos cientistas como uma ferramenta de monitoramento do Ciclo Solar, ajudando a compreender e prever períodos de maior ou menor atividade solar (NASA, s.d).

Mancha solar capturada em 2011, comparada ao tamanho da Terra.



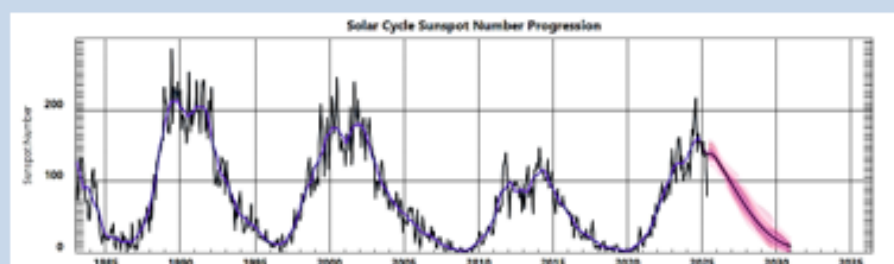
Fonte: NASA

Para entendermos porque as manchas solares são causadas pelo campo magnético do Sol, é importante conhecer algumas características de nossa estrela. O Sol é constituído predominantemente por plasma, um estado da matéria formado por gás eletricamente neutro¹. Esse plasma em constante movimento influencia diretamente as linhas do campo magnético solar, provocando torções, rotações e emaranhamentos que alteram a estrutura magnética da superfície solar. Quando essas linhas magnéticas se tornam intensamente entrelaçadas, elas dificultam a transferência de calor das camadas internas para a superfície, originando regiões temporariamente mais frias conhecidas como manchas solares. Essas áreas podem atingir temperaturas próximas a 3.700 °C, contrastando com os aproximadamente 4.000 °C da fotosfera ao seu redor, o que as torna visivelmente mais escuras no disco solar (NASA, s.d).

¹ Plasma: Conhecido como quarto estado da matéria, quando os plasmas se formam, as ligações moleculares se rompem e os elétrons se separam dos átomos dos quais eles fazem parte. O plasma é composto de íons e elétrons, ambos eletricamente carregados, por tanto, como um todo, são considerados eletricamente neutro.

Um outro dado importante divulgado pelo site da Space Weather Prediction Center/NOAA, é o monitoramento do números de manchas solares, evidenciando a relação do número de manchas com o ciclo solar.

Evolução do número de manchas solares ao longo de vários Ciclos Solares.



Fonte: Space Weather Prediction Center/NOAA.

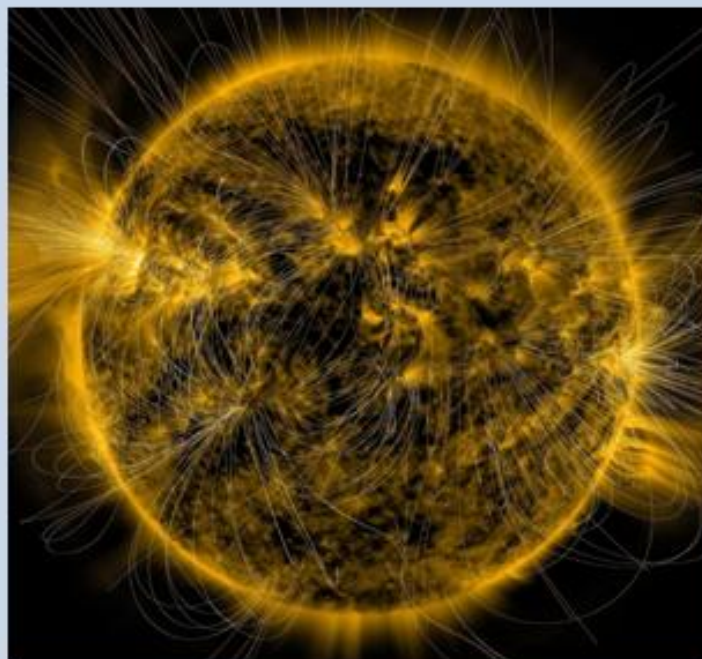
Tempestades Solares –

Como mencionado anteriormente, as variações de manchas solares e erupções solares estão associadas ao chamado Ciclo Solar, um período de aproximadamente 11 anos que se inicia e termina com um mínimo solar, fase em que o Sol apresenta baixa atividade, com poucas manchas solares e eventos energéticos (Saran, 2012). Entre dois mínimos solares ocorre o máximo solar, caracterizado por uma intensa atividade do campo magnético, incluindo um aumento significativo no número de manchas solares e na ocorrência de erupções solares (Dobrijevic, 2022).

Uma outra consequência de um máximo solar é o aumento das tempestades solares. As tempestades solares são explosões súbitas e intensas de partículas, energia, campos magnéticos e matéria lançadas pelo Sol em direção ao sistema solar. Essas tempestades têm origem nos campos magnéticos solares, que se entrelaçam e se deformam devido à rotação diferencial do Sol (seu equador gira mais rapidamente do que os polos). Com o

tempo, esses campos magnéticos se tornam tão torcidos que se rompem e se reconectam em um processo conhecido como reconexão magnética, liberando enormes quantidades de energia (NASA, s.d).

Representação dos campos magnéticos do Sol, sobreposta a uma imagem do Sol capturada em luz ultravioleta extrema.



Fonte: NASA/SDO/AIA/LMSAL (2016).

Quando direcionadas à Terra, as tempestades solares podem causar intensas perturbações no campo magnético do planeta, fenômeno

conhecido como tempestade geomagnética. Esse tipo de tempestade pode desencadear uma série de efeitos, como:

- Interferências e apagões em sistemas de comunicação por rádio.
- Falhas em redes de distribuição de energia elétrica.
- Surgimento de auroras polares em latitudes mais baixas.

Apesar de seu potencial de impacto sobre infraestruturas tecnológicas, tais eventos não oferecem riscos diretos à saúde humana, uma vez que o campo magnético terrestre, juntamente com a atmosfera, atua como uma barreira protetora, atenuando os efeitos mais severos da radiação e das partículas carregadas emitidas pelo Sol (NASA, s.d).

Sugestão de Organização

No quadro abaixo, apresenta-se uma sugestão de organização das atividades propostas. As atividades foram pensadas para serem desenvolvidas em grupos de até 5 estudantes, porém o professor tem liberdade para inserir novos tópicos ou ajustar a dinâmica, caso deseje formar um maior número de grupos. A sequência foi estruturada considerando uma carga de três aulas de Física por semana, mas pode ser adaptada conforme a realidade de cada contexto escolar.



M.P	Objetivos	Atividades (dentro do modelo Fractal)	Número da aula
P.I	(P.I) – Problematização inicial sobre tempestades solares e suas consequências.	(P.I) – Apresentar a problematização (a partir da notícia entregue a eles) sobre as tempestades solares, a partir de 7 perguntas a serem respondidas pelos estudantes e posteriormente realizando uma síntese dessas respostas.	1 2
	(O.C) – Discutir sobre as características do Sol, conceitos sobre tempestades solares e como as tempestades solares podem afetar a Terra. (A.C) – Realizar a redação “Consequências tempestade solar”, como processo de reflexão sobre os efeitos nos quais os estudantes acreditam que possam acontecer.	(O.C) – Discutir dos conceitos relacionados às tempestades solares, relacionando a notícia e as respostas apresentadas por eles após a problematização. (A.C) – Resolução do Questionário 1 e Questionário 2, a fim de organizar o conhecimento necessário para as próximas aulas.	3 4 5

O.C	(P.I) – Introdução do problema: "As partículas ejetadas pelo sol que atingem nosso planeta, podem causar efeitos ao nosso corpo?"	(O.C) – Realizar a atividade na plataforma Kahoot sobre os principais fatos da descoberta dos Raios Cósmicos.	6
	(O.C) – Conhecer o processo histórico da descoberta dos Raios Cósmicos.	(O.C) – Realizar a Atividade Palavra Cruzada, a fim dos estudantes relacionarem alguns conceitos apresentados até o momento.	7 8
A.C	(O.C) – Conhecer sobre a construção do modelo de partículas atual.	(A.C) – Elaborar um modelo de partículas a partir das Fichas de estudo, com os estudantes criando seus próprios critérios e classificações.	9
	(O.C) – Conhecer sobre alguns resultados das pesquisas sobre os Raios Cósmicos e a importância de Cesar Lattes nesse cenário.	(A.C) – Realizar o Questionário 3 para cumprimento da apostila e reflexão sobre o conhecimento construído até o momento.	10
	(A.C) – Montar de um modelo de partículas pelos estudantes.		
A.C	(P.I) – Problematizar aos estudantes: "Qual o destino da humanidade?"	(O.C) – Preencher as fichas de estudos sobre os temas que cada grupo recebeu na primeira parte do painel integrado.	11
	(O.C) – Compreender sobre as energias das partículas enviadas pelo Sol e o Impacto dos raios cósmicos na saúde humana.	(A.C) – Elaborar uma apresentação sobre os temas da segunda etapa do painel integrado.	12 13 14
	(A.C) – Apresentação oral, em grupo, sobre o destino da humanidade e perigos cósmicos.		

A elaboração da SD sobre Raios Cósmicos buscou não apenas aproximar os estudantes dos fenômenos e conceitos da Física Moderna, mas também atender às orientações curriculares da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) para o Ensino Médio. De acordo, por exemplo, com a Competência Específica 2 da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, na qual os alunos devem ser capazes de analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para fundamentar decisões éticas e responsáveis.

Nesse sentido, a proposta dialoga diretamente com as habilidades (EMI3CNT203) e (EMI3CNT207). A primeira propõe avaliar e prever seus impactos no corpo humano, com base nos mecanismos de manutenção da vida, nos ciclos da matéria e nas transformações e transferências de energia, utilizando representações sobre tais fatores. O que se concretiza nas atividades que exploram o papel dos Raios Cósmicos na atmosfera terrestre, seus efeitos sobre o ser humano e campo magnético, além das possíveis interferências em sistemas tecnológicos.

(EMI3CNT203) Avaliar e prever efeitos de intervenções nos ecossistemas, e seus impactos nos seres vivos e no corpo humano, com base nos mecanismos de manutenção da vida, nos ciclos da matéria e nas transformações e transferências de energia, utilizando representações e simulações sobre tais fatores, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como softwares de simulação e de realidade virtual, entre outros).

A segunda habilidade, (EMI3CNT207), está relacionada à análise de vulnerabilidades e desafios contemporâneos. Ao discutir temas como as tempestades solares e suas consequências para a sociedade tecnológica, os estudantes são incentivados a refletir sobre riscos e medidas de prevenção, desenvolvendo uma postura crítica e ética diante da interdependência entre

fenômenos cósmicos e a vida na Terra. Essa habilidade não foi propositalmente pensada para estar dialogando com a sequência, mas que apareceu naturalmente nas respostas dos estudantes, principalmente vinculadas as dificuldades socioemocionais de se viver sem o uso de tecnologias.

(EM13CNT207) Identificar, analisar e discutir vulnerabilidades vinculadas às vivências e aos desafios contemporâneos aos quais as juventudes estão expostas, considerando os aspectos físico, psicoemocional e social, a fim de desenvolver e divulgar ações de prevenção e de promoção da saúde e do bem-estar.

Na segunda etapa do painel integrado, os estudantes foram convidados a se posicionar diante da questão sobre o investimento na exploração espacial e os cuidados com o planeta Terra, debatendo possíveis implicações científicas, éticas e sociais dessas escolhas. Essa atividade está diretamente relacionada à habilidade (EM13CNT304) da BNCC, que propõe analisar e debater situações controversas envolvendo a aplicação de conhecimentos científicos com base em argumentos consistentes, legais, éticos e responsáveis, distinguindo diferentes pontos de vista.

(EM13CNT304) Analisar e debater situações controversas sobre a aplicação de conhecimentos da área de Ciências da Natureza (tais como tecnologias do DNA, tratamentos com células-tronco, neurotecnologias, produção de tecnologias de defesa, estratégias de controle de pragas, entre outros), com base em argumentos consistentes, legais, éticos e responsáveis, distinguindo diferentes pontos de vista.

A discussão sobre os limites e as prioridades da ciência, nesse contexto, estimulou os alunos a refletirem sobre o papel da humanidade no uso dos recursos naturais, no avanço tecnológico e na responsabilidade com as futuras gerações. Ao confrontar perspectivas distintas, como a defesa da pesquisa espacial como caminho para o progresso científico e a necessidade

de preservar as condições de vida no próprio planeta, os estudantes exercitaram o pensamento crítico e a argumentação fundamentada em evidências.

No momento da PI, a discussão sobre os efeitos dos RC foi proposta a partir de uma abordagem que buscava relacionar fenômenos naturais de alta energia a situações reais que afetam o cotidiano tecnológico da sociedade. Os estudantes foram instigados a refletir sobre como partículas vindas do espaço podem interferir no funcionamento de satélites, aeronaves e sistemas de comunicação, levando à necessidade de compreender e avaliar riscos associados a esses eventos.

Essa etapa está em consonância com a habilidade (EM13CNT306) da BNCC, que orienta o estudante a avaliar os riscos envolvidos em atividades cotidianas, aplicando conhecimentos das Ciências da Natureza para justificar o uso de equipamentos e recursos, bem como comportamentos de segurança voltados à integridade física, individual, coletiva e socioambiental. A reflexão sobre os raios cósmicos favoreceu o desenvolvimento dessa competência ao permitir que os alunos relacionassem conceitos físicos a situações concretas, compreendendo como a pesquisa científica e a tecnologia buscam mitigar possíveis impactos desses fenômenos.

(EM13CNT306) Avaliar os riscos envolvidos em atividades cotidianas, aplicando conhecimentos das Ciências da Natureza, para justificar o uso de equipamentos e recursos, bem como comportamentos de segurança, visando à integridade física, individual e coletiva, e socioambiental, podendo fazer uso de dispositivos e aplicativos digitais que viabilizem a estruturação de simulações de tais riscos.

Assim, ao articular conteúdos de Física Moderna com uma abordagem dialógica e problematizadora, a SD proposta não apenas contextualiza

o tema dos Raios C3smicos, mas tamb3m promove o desenvolvimento de compet3ncias essenciais, conforme orienta a BNCC.

Detalhamento do Produto

A seguir ser3 apresentada a vers3o atualizada do produto educacional pensado e elaborado no 3mbito desta pesquisa de mestrado. As atividades ser3o organizadas conforme a estrutura dos 3MP, respeitando as caracter3sticas pr3prias de cada etapa em que foram aplicadas, de modo a evidenciar o percurso metodol3gico seguido e suas contribui33es para o processo de aprendizagem.

Para toda a seq3ncia de aula foi elaborada uma apresenta3o expositiva-dialogada atrav3s de projetor multim3dia para auxiliar e nortear o professor durante as aulas e com possibilidade de explorar algumas tecnologias que necessitam da conex3o a algum servidor online.

Todo o material utilizado nesse Produto Educacional est3 dispon3vel gratuitamente no link abaixo: <https://drive.google.com/drive/folders/1XR-DByrG2bfdqNwjHpceQ9OwoR-KDOxL?usp=sharing>

Problematiza3o Inicial

Começaremos pela problematiza3o inicial, momento pedag3gico que permite ao professor investigar as concep33es pr3vias dos estudantes sobre o tema em discuss3o. Trata-se de um espaço que favorece a abertura para o di3logo, possibilitando que os alunos compartilhem suas impress3es e ideias iniciais. Essa etapa 3 fundamental para diferenciar percep33es

espontâneas de conceitos científicos, além de criar um ponto de partida que orienta as atividades posteriores.

Notícia sobre Tempestades Solares

A primeira etapa da SD, seguindo a dinâmica dos 3MP, é conhecida como Problematização Inicial, etapa essa que deve ser iniciada antes mesmo da primeira aula, disponibilizado em momento anterior a aula I, uma notícia sobre tempestade solar e que será responsável para auxiliar o início da discussão no primeiro momento pedagógico.

A notícia foi produzida pela CNN Brasil e publicada no ano de 2023, feita por Ashley Strickland, escritora da CNN, o tema principal da publicação é uma discussão e apresentação de fatos a respeito do aumento da atividade solar e quais seriam suas consequências para o planeta Terra e os seres vivos que residem aqui.

NOTÍCIA UTILIZADA PARA INICIAR AS DISCUSSÕES SOBRE TEMPESTADE SOLAR.

Atividade solar está atingindo pico mais cedo do que o esperado, dizem cientistas

Fenômeno está relacionado com tempestades solares que podem afetar GPS, redes de energia elétrica, satélites e que representam riscos para missões espaciais



Fonte: CNN Brasil

Link da notícia: <https://www.cnnbrasil.com.br/tecnologia/atividade-solar-esta-attingindo-pico-mais-cedo-do-que-o-esperado-dizem-cientistas/>

Vídeo-Notícia sobre Consequências das Tempestades Solares

Um dos recursos usados para dar início a problematização é a utilização de uma imagem do Sol, na qual o professor deve realizar alguns questionamentos a respeito da imagem, como:

“O que você compreende por atividade solar?”

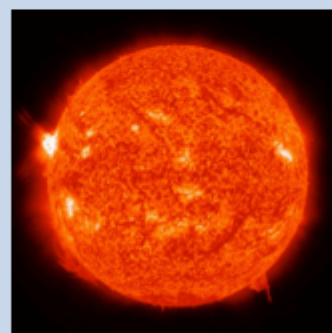
“O que são essas manchas?”

“Como eu sei se o Sol está ativo ou não?”

“Essas manchas brancas, estão mais quentes ou frias?”

“A ação humana possui relações com as tempestades solares?”

“A humanidade sobreviveria sem a tecnologia atual?”



Posteriormente a exibição de um vídeo-notícia com caráter sensacionalista a respeito das consequências que um máximo solar poderia causar em nossa tecnologia atual. Logo após o vídeo, proponha uma roda de conversa com questões como:

“Você compartilhou alguma informação a respeito desse tema? Se sim, para quem enviou e por que decidiu compartilhar?”



“Como podemos saber se essas informações são confiáveis?”


Link para o vídeo-notícia: <https://www.youtube.com/watch?v=eCpgp99DaeM>

Questionário da Problematização Inicial

Essa atividade tem como objetivo levantar as concepções prévias dos estudantes. É importante que o professor conheça de que forma os estudantes pensam para que, ao longo da SD, haja adaptações e/ou o professor busque novas atividades que proporcionem avanços dos conhecimentos prévios e que superem concepções alternativas sem base científica.

Além disso, é fundamental que o professor deixe claro que, nesse momento, não serão fornecidas respostas prontas, pois o essencial é que os estudantes preencham o questionário com os conhecimentos que possuem e exponham suas opiniões, para que posteriormente essas ideias sejam discutidas em grupo.

Questionário sobre Tempestade Solar

 Considere o texto lido e seus conhecimentos sobre o assunto para discutir e responder as questões a seguir.

- 1) Você já recebeu notícias a respeito desse tema? Se sim, como eram tais notícias?
- 2) Qual a importância do Sol para a vida aqui na Terra?
- 3) Você acredita que as tempestades solares podem afetar os equipamentos elétricos e magnéticos ou até mesmo os sistemas de internet? Como você acha que isso pode acontecer ou por que você considera que isso não pode acontecer?
- 4) Se o Sol está tão distante, por que deveríamos nos preocupar com o que acontece nele?
- 5) Na sua opinião, por que está havendo uma maior preocupação atualmente a respeito desse tema?
- 6) Quais são as proteções que temos contra o Sol?
- 7) Na sua opinião, como uma tempestade solar pode afetar o corpo humano?

Durante o tempo restante da aula, permita que os estudantes respondam ao questionário, pois o preenchimento é crucial para a discussão na aula 2, sendo o momento de o professor questioná-los sobre as respostas escrita por eles e uma possibilidade de troca de conhecimento entre os relatos de outros grupos.

Um dos métodos utilizado pelo professor nesse momento para a sistematização desses resultados pode ser o de repetir as perguntas de modo que cada grupo tenha seu momento de fala e a partir das respectivas respostas, anota-se na lousa as palavras ou termos chaves para uma retomada desses termos em um momento posterior.

Questionário sobre as tempestades solares

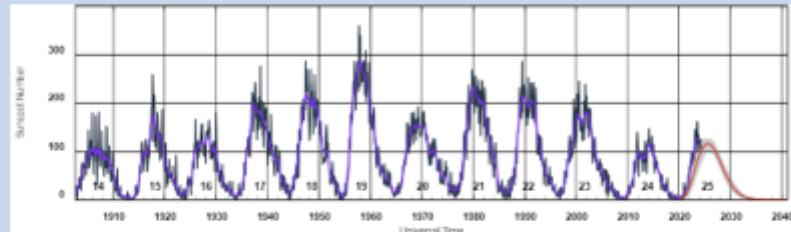
A Aula 3 é o momento de começar a sistematizar e relacionar alguns conteúdos considerados importantes para o entendimento do tema Tempestade Solar com os termos e palavras chaves mencionados por eles no final da Aula 2. Uma das estratégias utilizadas foi abordar alguns conteúdos que foram apresentados a eles em aulas anteriores.

Sugestões de Tópicos para complementar a discussão inicial sobre Tempestades Solares:

- Quais são as formas de gerar campo magnético?
- Como você acha que é gerado o campo magnético do Sol? E da Terra?
- O que é o estado de Plasma?
- Como monitoramos a atividade solar?

Ao final da aula, com o objetivo de instigar ainda mais as questões feitas inicialmente na aula 1 e criar um desconforto em relação ao tema, foi apresentada a figura abaixo, obtida de forma gratuita pelo site de divulgação sobre as condições climáticas espaciais, o Space Weather Prediction Center, criado pela organização governamental National Oceanic And Atmospheric Administration (NOAA). A proposta é fazer com que eles tenham uma reflexão do porquê que está havendo uma maior preocupação atualmente a respeito das Tempestades Solares, sendo que sua intensidade não pode ser considerada nem a mais intensa em um período de mais de 100 anos.

Progressão do número de manchas solares do ciclo solar.



Fonte: NOAA

Nas duas últimas aulas destinadas a PI, Aula 4 e 5, tem como foco abordar discussões relacionadas a como as partículas e radiações emitidas pelo Sol poderiam interagir e afetar o campo magnético terrestre e nossa atmosfera, e ainda deixar uma questão em aberto, sobre como essas emissões solares poderiam afetar o corpo humano. Um tema interessante neste momento foi abordagem sobre auroras polares, algo que a maioria dos estudantes já visualizaram em algumas fotos pela internet, mas poucos (no mundo) puderam ver presencialmente, fazendo com que demonstrem interesse em saber mais sobre esse efeito que possui sua beleza própria.

Ao final da Aula 3 e 5, escolhidas justamente por serem as últimas aulas do dia em que foram aplicadas, deve ser entregue os questionário 1 e 2 respectivamente, para cada aula. Com o objetivo de ser um momento em que o estudante organize suas ideias e conhecimentos construídos por ele durante as aulas e relacione os conceitos apresentados com as questões propostas. Sendo uma ótima oportunidade para discutirem em grupo, podendo por exemplo continuar com a mesma separação de grupo decidida no início da Aula 1.

As atividades serão entregue para serem realizadas em casa e deverão ser devolvidas na aula seguinte. É importante que os estudantes tentem resolver as questões sozinhos, buscando inicialmente aplicar os conhecimentos já discutidos em sala. Caso surjam dificuldades, recomenda-se que recorram às anotações feitas durante as aulas ou realizem uma pesquisa complementar na internet sobre os tópicos abordados.

Questionário 1 : O que aprendemos até agora?

Após as nossas discussões, vamos organizar nosso conhecimento sobre o Sol. Para isso, reúna-se com seu grupo, e responda as questões a seguir, relacionando com os conceitos apresentados até agora:

- 1) O que você compreende sobre o que é uma mancha solar?
- 2) Na sua opinião, o que é um ciclo solar?
- 3) Explique como as tempestades solares estão ligadas à atividade do Sol?
- 4) Qual é a composição de uma ejeção de massa coronal (EMC)?
- 5) Como a EMC pode interagir com a atmosfera terrestre?

Questionário 2 : O que aprendemos até agora?

Após as nossas discussões, vamos organizar nosso conhecimento sobre o Sol. Para isso, reúna-se com seu grupo, e responda as questões a seguir, relacionando com os conceitos apresentados até agora:

- 1) Na sua opinião, por que a magnetosfera é considerada um escudo protetor contra tempestades solares?
- 2) Explique com suas palavras, por que esse sistema é necessário para a vida na Terra?
- 3) Na sua opinião, por que os cientistas concordam que uma aurora serve como uma verificação de uma tempestade solar?
- 4) O que causa essa variedade de cores nas auroras?

Organização do Conhecimento

Nesse momento é essencial valorizar os conhecimentos prévios dos alunos, articulando-os aos novos conteúdos, de modo que o aprendizado faça sentido. O professor também deve incentivar a pesquisa, o diálogo e a cooperação entre os estudantes, criando um ambiente em que a autonomia e a curiosidade sejam desenvolvidas.

As atividades abaixo foram criadas com o objetivo de manter a dialogicidade nas aulas, não deixando o professor retornar a prática transmissiva do ensino.

Atividade Kahoot

O objetivo da Aula 6 consiste em apresentar discussões sobre fatos históricos e conceituais em relação ao processo de descobrimento dos Raios Cósmicos ao longo dos anos, como cientistas da época tiveram que elaborar e testar teorias até a confirmação de que realmente havia partículas que chegam ao topo da atmosfera e tinham suas origens desconhecidas. Além de continuar o debate instaurado inicialmente sobre quais seriam os efeitos dessas partículas que chegam em nossa atmosfera em relação ao corpo humano.

Se torna interessante uma abordagem histórico-conceitual justamente por evidenciar aos estudantes como é feito e elaborado todo o processo de construção de teorias, de que não é apenas uma pessoa responsável por um descobrimento científico e sim um conjunto de fatores que torna possível esse avanço científico.

Um recurso a ser utilizado ao final da aula é uma plataforma de aprendizado baseada em jogos, individuais ou em grupos, usada como tecnologia educacional em escolas e outras instituições de ensino, conhecido como Kahoot.

Foi elaborada uma sequência de 9 perguntas sobre a discussão feita durante a aula 6 e os desdobramentos históricos apresentados a eles. A competição em jogos educacionais se mostra muito interessante e uma ótima estratégia para engajamento dos estudantes, transformando aulas que muitas vezes os deixam sonolentos e acomodados, em um desafio para vencer seu companheiro e se atentar a maior parte das informações e discussões feitas em aula.



Link para acesso da atividade: <https://create.kahoot.it/share/aula-6-historia-dos-raios-cosmicos/c16bcf63-5b4f-4fb8-b76f-2686104cad54>

Palavra cruzada

A estratégia de se utilizar a abordagem histórico-conceitual se estendeu também para a Aula 8, mas agora com um foco no descobrimento de novas partículas, consequência dos estudos sobre Raios Cósmicos e principal fonte de pesquisa para as novas partículas descobertas, como o pósitron (a antipartícula do elétron) e o méson pi (Píon), sendo um ótimo momento para o professor apresentar as principais informações sobre a vida e feitos de Cesar Lattes, justamente pelo fato de que a maioria dos estudantes do Ensino Médio atual nunca terem ouvido falar sobre Lattes e sua importância para a Ciência no Brasil e no Mundo.

Para concluir a aula foi elaborada uma palavra-cruzada com palavras associadas aos temas discutidos nas últimas aulas, com o objetivo de que eles pudessem relacionar conceitos e nomes importantes discutidos anteriormente.

Horizontais	Verticais
2. Antipartícula do elétron	1. Ganhador do Prêmio Nobel de 1933
6. Gerado pelo impacto inicial de um raio cósmico com a atmosfera terrestre	2. Nome do Físico que possui um Observatório em sua homenagem (2 Palavras)
8. Elemento descoberto por Marie e Pierre Curie	4. Partículas de alta energia vindas de diversas regiões do espaço e que atingem a Terra
9. Sigla da grande quantidade de partículas carregadas e radiação eletromagnética emitidas pelo Sol	5. Nome de um importante Físico Brasileiro que participou da descoberta do Méson Pi
10. Tipo de partícula que possui suas propriedades semelhantes menos sua carga elétrica	7. Local onde Domenico Pacini fez seus experimentos com o eletrômetro em baixo d'água
13. Ganhador do prêmio Nobel pela descoberta dos raios cósmicos	11. Partícula descoberta por James Chadwick em 1932
15. Nome da pessoa que descobriu a existência do pósitron (2 palavras)	12. Objeto de estudo de Coulomb que iniciou a discussão sobre a ionização do ar atmosférico
	14. Nome de um importante pioneiro no estudo dos raios cósmicos da Itália

Atividade Modelo Padrão

Após apresentar aos estudantes durante as aulas anteriores o conceito de partículas elementares e a montagem de um pequeno modelo de partículas até então descobertas, com apenas 4, o objetivo agora é classificar a enorme quantidade de partículas que vieram a ser descobertas e a necessidade de se criar um modelo mais sofisticado para classificar e ajudar no entendimento dessa nova era da Física de Partículas.

Para isso, foi elaborado uma ficha de estudo para cada partícula que está inserida dentro do Modelo Padrão de Partículas Elementares (MP), que deve ser distribuída para cada um dos grupos formados para a atividade e designada a seguinte proposta:

“Montem e classifiquem seu próprio modelo de partículas e descrevam quais classificações e ordenações que utilizaram para fazer tal separação e que apresentassem o modelo criado.”

Aqui está um modelo da Ficha de Estudo criada para cada partícula:

The diagram shows a study card for the Muon particle. The card is dark blue with several colored boxes containing text. Red arrows point from external labels to these boxes:

- Ano da descoberta:** Points to a white box containing the year "1937".
- Nome da partícula:** Points to a green box containing the name "Múon".
- Características da partícula:** Points to a red box containing physical properties: "Massa: $1,88 \times 10^{-28}$ kg ($105,7$ MeV/c²)", "Carga Elétrica: $-1,6 \times 10^{-19}$ C (-e)", and "Spin: $\frac{1}{2}$ ".
- Descrição de como a partícula foi descoberta:** Points to a white box containing the discovery story: "Como foi descoberto: S.H. Neddermeyer e C.D. Anderson observaram a partícula em uma câmara de núvens em 1937."

Apenas depois da apresentação de todos os grupos, na Aula 10, o professor deve mostrar o modelo mais conhecido atualmente e realizar algumas discussões sobre semelhanças e diferenças entre o MP e o criado pelos alunos. Relembre o estudante de que essa atividade não será avaliada se está certa ou errada, a fim de que diminua a chance de o grupo realizar a pesquisa do atual MP e apenas se apropriar desse modelo.

Após a apresentação do modelo padrão, o professor deve explorar outros conteúdos envolvidos ao MP, como suas classificações derivadas, os Hádrons, Léptons, Férmions e Bósons, principalmente para retomar e dar significado a termos apresentados a eles anteriormente, como o conceito de Mésons.

Apresenta-se também sobre as quatro tipos de interações fundamentais: Gravitacional, eletromagnética, forte e fraca, que também estão associadas ao MP e suas partículas mediadoras correspondentes, finalizando com uma breve discussão sobre Cromodinâmica Quântica.

The image displays three overlapping cards, each representing the discovery of a different particle. Each card has a title, a year, and a section titled 'Como foi descoberto:'. The cards are arranged in a descending staircase pattern from top-left to bottom-right.

Year	Particle Name	Discovery Details	Mass	Electric Charge	Spin
1905	Fóton	Teorizado por Albert Einstein em 1905 e descoberto experimentalmente em 1917.	0 (sem massa)	0 (neutro)	1
1968	Quark Up	Também proposto por Murray Gell-Mann e George Zweig e descoberto experimentalmente em 1968.	$3,92 \times 10^{-31}$ kg (2,2 MeV/c ²)	$+\frac{2}{3}e$	$\frac{1}{2}$
2012	Bóson de Higgs	O bóson de Higgs foi encontrado dia 4 de julho de 2012, no colisor de partículas LHC, no CERN, ao colidir prótons com energias muito altas. O bóson de Higgs é conhecido como a partícula que dá massa a outras partículas.	$2,22 \times 10^{-25}$ kg (124,97 GeV/c ²)	0 (neutro)	0

Questionário 3: O que aprendemos até agora?

No Questionário 3, os estudantes são convidados a refletir sobre a composição da matéria e como suas estruturas fundamentais podem se organizar para formar partículas mais complexas. As questões abordam a constituição de prótons e nêutrons a partir de quarks, incentivando o aluno a aplicar os conceitos estudados sobre partículas elementares e sua interação. O objetivo é que o estudante utilize seus conhecimentos prévios para justificar respostas e compreender a organização da matéria em nível subatômico.

Questionário 3: Aplicando o conhecimento

1) A partícula próton é constituída de três quarks de dois tipos diferentes. Assinale a alternativa que contém os quarks que constituem o próton e justifique sua resposta:

2) Com base nesta informação, o nêutron – uma partícula (não fundamental) também formado por três quarks, mas com uma carga total NULA – deve ser formado por:

O objetivo das perguntas é mobilizar os conhecimentos sobre partículas elementares. Alguns estudantes podem se sentir confuso nesse momento, necessitando de uma explicação mais detalhada pelo professor.

Aplicação do Conhecimento

Nessa etapa, buscou-se gerar um diálogo ativo entre os alunos por meio de fichas de estudos elaboradas para o trabalho em grupos, seguidas de apresentações coletivas, com o intuito de desenvolver habilidades de comunicação e resolução de problemas. Além de promover a interação, essa organização almeja que os estudantes revisitem conceitos discutidos em aulas anteriores, aplicando-os em situações-problema semelhantes às apresentadas no início da proposta.

Painel Integrado

O Painel Integrado foi escolhido como a atividade que estruturou a dinâmica dentro do último momento pedagógico. Essa atividade foi dividida em duas etapas: a Primeira Formação e a Segunda Formação, que se caracterizam, respectivamente, pela realização da ficha de estudo pelos estudantes e pela apresentação dos grupos.

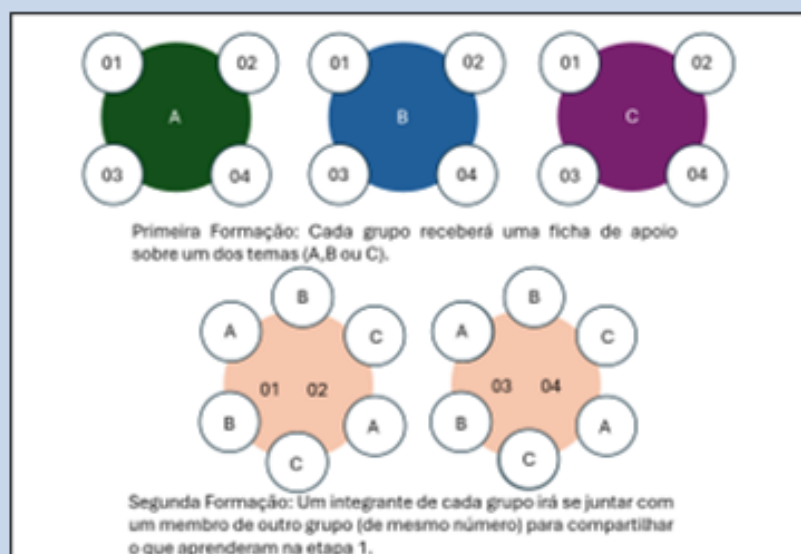
A *primeira formação*, é responsável pela “formação de especialistas”, na qual os estudantes são separados em grupos e cada grupo é responsável pelo estudo de um tema específico, determinado pelo professor. Para nortear os especialistas foi elaborado uma ficha de estudo para cada tema.

Na *segunda formação*, ocorre a formação de outros grupos e com uma proposta que eles apresentem uma solução para o problema designado a eles. Sugerimos que os grupos tenham aproximadamente o tempo de uma aula (50 min) para elaborar uma apresentação (Com cartazes ou em slides) sobre qual posicionamento tomaram em relação à proposta.

Levando em conta cada particularidade em relação ao número de alunos em cada turma, se torna interessante o professor adaptar a estrutura do Painel Integrado com uma organização mais efetiva, para turmas com números de estudantes diferentes.

A proposta apresentada aqui neste trabalho consiste em turmas que possuam entre 12 e 16 alunos, para isso foi desenvolvido o esquema ilustrado abaixo, tanto para auxiliar o professor durante a aplicação, como também, para explicar e facilitar aos estudantes o entendimento da estrutura da atividade.

ESQUEMA DA ESTRUTURA DO PAINEL INTEGRADO



Primeira Etapa: Estudo da ficha de apoio para “especialização” dos estudantes no tema dado a eles.

Grupo A: Análise das partículas emitidas pelo Sol e outras Estrelas. (Relatório do NOAA)

Grupo B: Relatório sobre Mudanças Climáticas. (Relatório do IPCC)

Grupo C: Impacto dos Raios Cósmicos na saúde humana. (Relatório da NASA).

Segunda Etapa: Apresentação dos grupos sobre quais posicionamentos tomariam e suas soluções para o problema.

“Qual deve ser o destino da humanidade? Devemos permanecer na Terra enfrentando os desafios ambientais que nos cercam, ou buscar colonizar outros lugares como Marte e a Lua? Quais seriam os riscos à saúde e à vida humana nesses ambientes e o que poderíamos fazer para minimizar esses perigos?”

Este produto educacional representa não apenas o resultado de uma pesquisa, mas também um reflexo das inquietações, experiências e aprendizados construídos ao longo da minha trajetória como professor de Física. Ele nasceu do desejo de tornar a Física mais próximo dos estudantes, mais significativo e conectado com os desafios do mundo contemporâneo.

Ao organizar este material, pensei constantemente no professor que está em sala de aula, lidando com limitações de tempo, estrutura e recursos, mas que, ainda assim, insiste em promover uma educação de qualidade.

Por isso, busquei elaborar uma proposta que fosse prática, acessível e flexível, de modo a facilitar o trabalho docente e fortalecer sua autonomia em sala. Espero, sinceramente, que este produto possa contribuir para o ensino de Física, despertando nos alunos curiosidade, senso crítico e encantamento pela ciência, e oferecendo ao professor um apoio concreto em sua prática cotidiana.

Referências

- ABDALLA, Maria C. B. O discreto charme das partículas elementares. *Física na Escola*, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 38–44, 2005.
- ARAÚJO, L. B. *Os Três Momentos Pedagógicos como estruturantes de currículos*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.
- ARAÚJO, L. B.; NIEMEYER, J.; MUENCHEN, C. Uma análise dos trabalhos presentes nos Encontros de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF): problematizações ou perguntas? In: **IX CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE INVESTIGACIÓN EN DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS**, 9-12 set. 2013, Girona. Atas [...]. Girona, 2013. p. 188-193.
- BANDEIRA, Y. B.; MACKEDANZ, L. F. Mecanismos de limitação da energia de raios cósmicos durante sua propagação. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 41, n° 4, e20190118, 2019.
- BASSALO, J. M. F. César Lattes: um dos descobridores do então méson pi. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 7, n. 2, 1990.
- BRAGA, G. R.; JOSÉ, W. D. Articulações entre Teoria da Flexibilidade Cognitiva e os Três Momentos Pedagógicos: confecção e análise de um material didático na estrutura fractal. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v.38, n.1, p. 84-107, 2021.
- BUSTAMANTE, M. C. A descoberta dos raios cósmicos ou o problema da ionização do ar atmosférico. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 35, n. 2, abr. 2013.
- CARLSON, P.; DE ANGELIS, A. Nationalism and internationalism in science: the case of the discovery of cosmic rays. *The European Physical Journal H*, [S.l.], 2010. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1012.5068>. Acesso em: 24 maio 2025.
- DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. *Física*. São Paulo: Cortez, 1991.
- DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. P.; PERNAMBUCO, M. M. C. A. *Ensino de Ciências: Fundamentos e Métodos*. São Paulo: Cortez, 2002.
- DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José André; PERNAMBUCO, Marta Maria. *Ensino de Ciências: fundamentos e métodos*. 2. ed. São Paulo: Cortez, 2007.
- DOBRIJEVIC, D. *Solar Cycle: What Is It and What Can We Expect?* Space.com, 4 abr. 2024. Disponível em: <https://www.space.com/solar-cycle-frequency-prediction-facts>. Acesso em: 7 abr. 2025.
- FREIRE, P. *Pedagogia do oprimido*. 50. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2011.

LIMA, R. S.; PIMENTEL, L. C. F.; AFONSO, J. C. O Despertar da Radioatividade ao Alvorecer do Século XX. *Química Nova na Escola*. Vol. 33, N° 2, p. 93-98 mai. 2011.

MARASCIULO, M. César Lattes: conheça a trajetória do brasileiro injustiçado pelo Nobel. *Revista Galileu*, 11 jul. 2020. Disponível em: <https://revistagalileu.globo.com/Sociedade/noticia/2020/07/Cesar-lattes-conheca-trajetoria-do-brasileiro-injustificado-pelo-nobel.html>. Acesso em: 22 jan. 2025.

MOREIRA, M. A. O Modelo Padrão da Física de Partículas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 31, n. 1, abr. 2009.

MOREIRA, M. A. Partículas e Interações. *Física na Escola*, v. 5, n. 2, p. 10-14, 2004.

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

MUENCHEN, Cristiane; DELIZOICOV, Demétrio. A construção de um processo didático-pedagógico dialógico: aspectos epistemológicos. *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências*, Belo Horizonte, v. 14, n. 3, p. 199-215, set/dez. 2012.

NASA. **Solar storms and flares**. NASA Science. Atualizado em: nov. de 2024. Disponível em: <https://science.nasa.gov/sun/solar-storms-and-flares/>. Acesso em: 23 jun. 2025.

NASA. **Sunspots**. [S.l.]: NASA, [s.d.]. Disponível em: <https://science.nasa.gov/sun/sunspots/>. Acesso em: 23 jun. 2025.

OLIVEIRA, A. G. I. De., ROCKENBACH, M., & PACINI, A. A. Raios cósmicos e a Heliosfera. *Revista Brasileira De Ensino De Física*, v. 36, n. 2, p. 1-13. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172014000200016>.

REZENDE, D. S. et al. César Lattes e a descoberta do méson pi. In: **ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS- ENPEC**. 12., 2019, Natal. Anais [...]. Natal, RN: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 25-28 jun. 2019.

SARAN, M. C. B. **Astrofísica de partículas na sala de aula: uma sequência de ensino e aprendizagem sobre raios cósmicos para o ensino médio**. 2012 129 p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Exatas) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

VIDEIRA, A. A. P.; VIEIRA, C. L. **Lattes - 10 anos depois**. Rio de Janeiro: CBPF, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/290447288>. Acesso em: 22 jan. 2025.

VIEIRA, C. L. **César Lattes – Arrastado pela história**. 3. ed. Rio de Janeiro: Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), 2019.

YOUNG, H.; FREEDMANN, R. **Ótica e Física moderna**. Ed. Pearson, 2016.

APÊNDICE E - QUESTIONÁRIO 3

Questionário 3: Aplicando o conhecimento

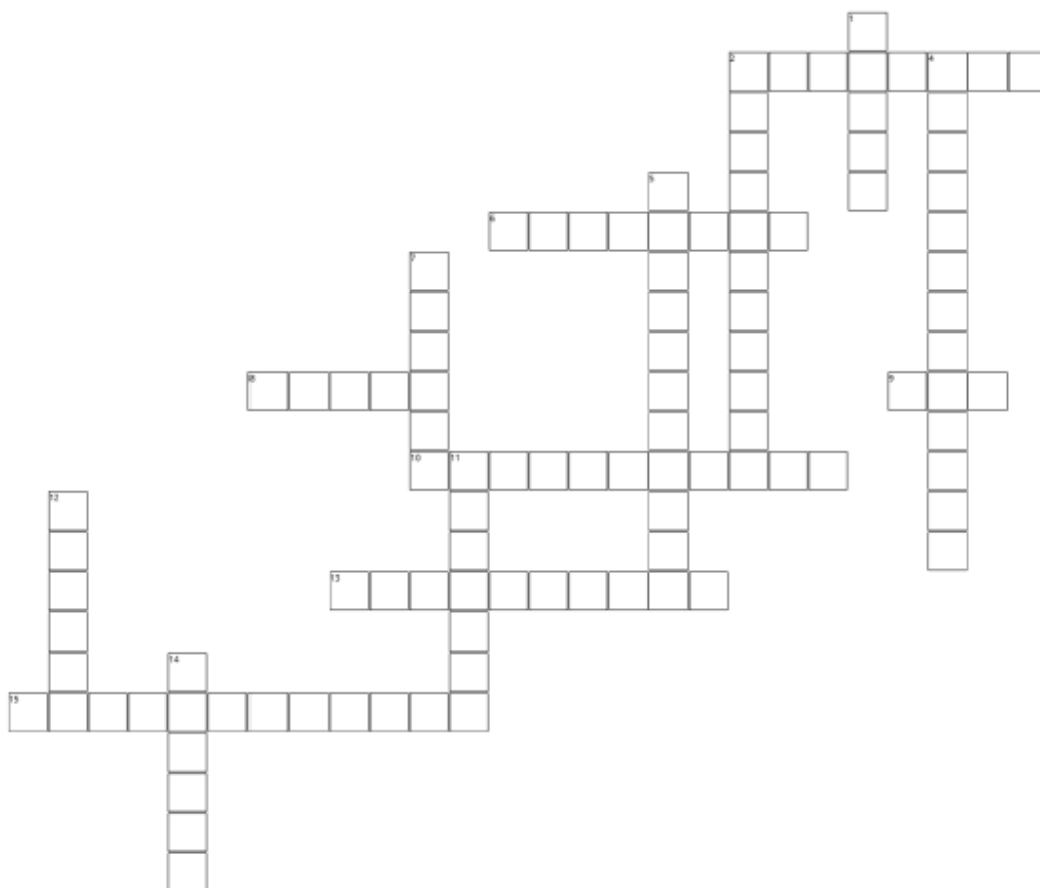
- 1) A partícula próton é constituída de três quarks de dois tipos diferentes. Assinale a alternativa que contém os quarks que constituem o próton e justifique sua resposta:

- 2) Com base nesta informação, o nêutron – uma partícula (não fundamental) também formado por três quarks, mas com uma carga total NULA – deve ser formado por:

- 3) No modelo atômico atual, o próton pode ser considerado uma partícula elementar? Explique.

- 4) Como você explicaria para alguém sobre o significado de Partículas Elementares?

APÊNDICE G – PALAVRA CRUZADA



Horizontais

2. Antipartícula do elétron
6. Gerado pelo impacto inicial de um raio cósmico com a atmosfera terrestre
8. Elemento descoberto por Marie e Pierre Curie
9. Sigla da grande quantidade de partículas carregadas e radiação eletromagnética emitidas pelo Sol
10. Tipo de partícula que possui suas propriedades semelhantes menos sua carga elétrica
13. Ganhador do prêmio Nobel pela descoberta dos raios cósmicos
15. Nome da pessoa que descobriu a existência do pósitron (2 palavras)

Verticais

1. Ganhador do Prêmio Nobel de 1933
2. Nome do Físico que possui um Observatório em sua homenagem (2 Palavras)
4. Partículas de alta energia vindas de diversas regiões do espaço e que atingem a Terra
5. Nome de um importante Físico Brasileiro que participou da descoberta do Méson Pi
7. Local onde Domenico Pacini fez seus experimentos com o eletrômetro em baixo d'água
11. Partícula descoberta por James Chadwick em 1932
12. Objeto de estudo de Coulomb que iniciou a discussão sobre a ionização do ar atmosférico
14. Nome de um importante pioneiro no estudo dos raios cósmicos da Itália

APÊNDICE I – PAINEL INTEGRADO

Ficha de Estudo – Grupo A

Integrantes do grupo:

Data:

Relatório NOAA

O NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) é uma agência científica dos Estados Unidos responsável pelo monitoramento das mudanças no clima, oceanos, costas e atmosfera, além de conservar e gerenciar os recursos marinhos e costeiros para atender às necessidades econômicas, sociais e ambientais do país.

A agência também monitora e analisa a atividade solar e suas interações com a Terra. Isso inclui a observação de manchas solares, erupções solares, ejeções de massa coronal e outros fenômenos solares que podem impactar o clima espacial e o

Raios Cósmicos Solares

Os raios cósmicos solares variam de intensidade e espectro com os eventos solares. Conforme a intensidade aumenta os cinturões de radiação se enchem e transbordam, através de injeção de plasma para o campo magnético terrestre, ionizando as regiões mais baixas da atmosfera como a ionosfera e mesosfera (camadas intermediárias da atmosfera). Essa ionização traz diversas consequências para a Terra principalmente nas telecomunicações.

Quando o Sol apresenta um número grande de erupções solares (*solar flares*), parte dessas radiações são ejetadas ao espaço (*Ejeção de Massa Coronal - CME*), atingindo a Terra. Os efeitos das tempestades solares nos modernos sistemas de telecomunicações, se dão pelas interferências nas ondas eletromagnéticas, podendo inclusive prejudicar materiais como computadores de bordo, satélites, foguetes e balões estratosféricos. O fluxo magnético vindo do Sol pode provocar fortes ondas de descarga elétrica nos cabos de transmissão de força, causando curto-circuito e queima de equipamentos.

Energias dos Raios Cósmicos:

até $10^9 eV$ – Raios Cósmicos Solares

$10^9 a 10^{15} eV$ – Origem galáctica

$10^9 a 10^{19} eV$ – Remanescentes de Supernovas

$> 10^{20}$ – Origem desconhecida

Ciclo Solar

O máximo solar é o período de maior atividade no ciclo solar de aproximadamente 11 anos, caracterizado por um aumento significativo no número de manchas solares e eventos solares, como erupções solares e EMC's.

Essas partículas podem interagir com o campo magnético e a atmosfera terrestre, causando diversos efeitos, incluindo riscos para astronautas e passageiros de voos em alta altitude.

O campo magnético da Terra nos protege da radiação solar, sem essa proteção, por exemplo, em viagem espaciais os seres humanos ficam expostos aos raios cósmicos. O magnetismo terrestre atua como um escudo de proteção para os seres vivos. A principal função do campo magnético é a manutenção da atmosfera e, conseqüentemente, da vida na Terra.



Estudo Dirigido – Grupo A

Relembre e explique com suas palavras o que você compreendeu durante o estudo do texto e das aulas sobre: a) Tempestades solares; b) Raios Cósmicos; c) Ejeção de Massa Coronal.

O perigo dos Raios Cósmicos

São constituídos majoritariamente por prótons e por outros núcleos atômicos, mas há também elétrons, pósitrons, antiprótons, neutrinos e fótons gama. Ao atingir organismos vivos, os raios cósmicos podem causar alterações genéticas, devido ao seu alto nível de energia que pode danificar o DNA e outras moléculas.

Momento reflexão

- a) Qual a importância do campo magnético terrestre para a vida na terra?

Ficha de Estudo – Grupo B

Integrantes do grupo:

Data:

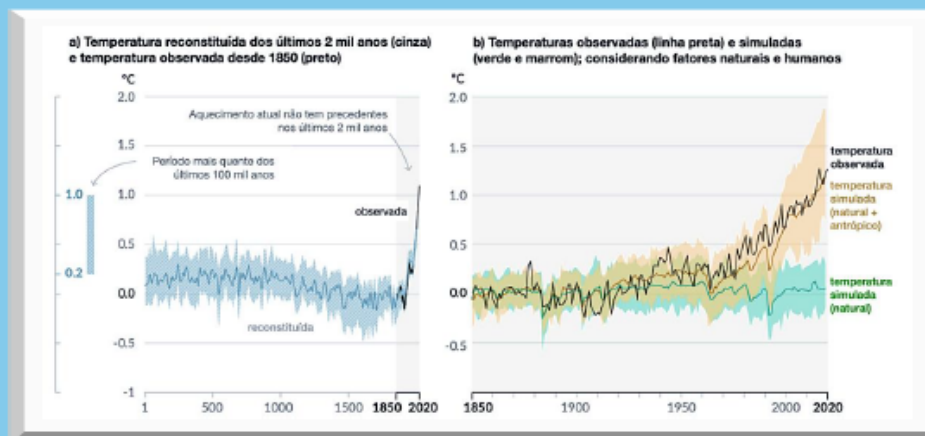
Relatório IPCC

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, na sigla em inglês para *Intergovernmental Panel on Climate Change*) é um órgão científico criado em 1988 pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), com o objetivo de fornecer avaliações científicas sobre as mudanças climáticas, seus impactos e riscos, bem como estratégias de mitigação e adaptação. O IPCC não realiza pesquisas originais; ele reúne, avalia e sintetiza os estudos científicos mais recentes produzidos mundialmente, apresentando relatórios que servem como base para decisões políticas e negociações internacionais.

Aquecimento Global

Modelos climáticos projetam diferenças robustas nas características climáticas regionais entre os dias atuais e o aquecimento global de 1,5°C na temperatura média da Terra. Essas diferenças incluem aumentos:

- em temperatura média na maioria das regiões terrestres e oceânicas;
- nos extremos de calor na maioria das regiões habitadas;
- na ocorrência de chuva intensa em diversas regiões;
- probabilidade de seca e déficits de chuva em algumas regiões.



Impacto nos Oceanos

As mudanças da criosfera e as mudanças hidrológicas associadas impactaram espécies e ecossistemas terrestres e de água doce nas regiões polares e de altas montanhas por meio do aparecimento de terras anteriormente cobertas por gelo, mudanças na cobertura de neve e degelo do permafrost. Essas mudanças contribuíram para mudar as atividades sazonais, a abundância e distribuição de espécies de plantas e animais de importância ecológica, cultural e econômica, os distúrbios ecológicos e o funcionamento do ecossistema.

Estudo Dirigido – Grupo B

Relembre e explique com suas palavras o que você compreendeu durante o estudo do texto e das aulas sobre: a) Aquecimento Global; b) Perigos dos Raios Cósmicos ;c) Tempestades Solares.

Mudanças Climáticas

O uso futuro da terra depende, em parte, do resultado climático desejado e do portfólio de opções de resposta implantado (confiança alta). Todas as trajetórias modeladas avaliadas que limitam o aquecimento a 1,5°C ou bem abaixo de 2°C exigem mitigação e mudança no uso da terra, com a maioria incluindo diferentes combinações de reflorestamento, florestamento, redução do desmatamento e bioenergia (confiança alta). Um pequeno número de trajetórias modeladas atinge 1,5°C com redução da conversão da terra (confiança alta) e, portanto, menores consequências para desertificação, degradação da terra, e segurança alimentar.

Momento reflexão

- a) Qual a importância do Sol para a manutenção da vida na Terra?

Ficha de Estudo – Grupo C

Integrantes do grupo:

Data:

Impacto dos Raios Cósmicos na Saúde

Radiações Cósmicas

As radiações cósmicas podem ser de duas formas: ondas eletromagnéticas ou partículas subatômicas. Exemplos de ondas eletromagnéticas são a luz visível, os raios ultravioletas e infravermelhos, raios X, raios gama e ondas de rádio. Exemplos de raios cósmicos constituídos por fluxos de partículas subatômicas são elétrons, prótons, núcleos atômicos e neutrinos. A única diferença entre esses diversos tipos de radiação é a frequência de oscilação das ondas (que é proporcional à sua energia). Raios cósmicos são partículas extremamente penetrantes com energia elevada que ao atingir organismos vivos podem causar alterações genéticas

Exploração Espacial

A exploração de Marte e da lua Europa apresenta desafios significativos devido à fraca proteção contra radiação cósmica. Diferente da Terra, que possui um campo magnético intenso e atmosfera densa, Marte tem um campo fraco e Europa depende do campo magnético de Júpiter. Essa vulnerabilidade aumenta os riscos para astronautas e equipamentos, exigindo tecnologias avançadas de proteção.

Viagens Espaciais

Em viagens espaciais de longa duração no espaço sideral, a radiação pode representar um imenso perigo para a saúde dos seres humanos. A exposição a fontes desse tipo de propagação de energia, como raios cósmicos ionizantes, pode resultar em fadiga, náusea, vômito, bem como em danos ao sistema imunológico e variações na quantidade de leucócitos.

Chamados de glóbulos brancos, responsáveis pela defesa do organismo.

Quando um Raio Cósmico colide com uma molécula de DNA, ele pode causar mutações, se essas mutações não forem corrigidas corretamente, elas podem levar ao crescimento descontrolado das células, formando tumores cancerígenos.

Imagine o DNA como uma longa fita dupla, com as bases nitrogenadas se emparelhando como peças de um quebra-cabeça. Quando um Raio Cósmico colide com o DNA, ele pode causar diversos tipos de danos:

Quebra de ligações: Rompimento das ligações entre as bases nitrogenadas, distorcendo a estrutura do DNA.

Mutações: Erros na "leitura" do código genético podem ocorrer, levando à substituição de uma base nitrogenada por outra.

Consequências:

Efeitos estocásticos: são aleatórios e podem se manifestar anos após a exposição.

Efeitos agudos: são imediatos e dependem da dose recebida.



Ligações das bases nitrogenadas no DNA.

Estudo Dirigido – Grupo C

Relembre e explique com suas palavras o que você compreendeu durante o estudo do texto e das aulas sobre: a) Radiação eletromagnética; b) Partículas subatômicas; c) Mutação do DNA.

NASA EM MARTE

O laboratório científico da missão Marte da NASA a bordo do “Jipe” Curiosity que está explorando o solo deste planeta desde 2012 está fornecendo as informações necessárias para projetar sistemas capazes de proteger os exploradores humanos da exposição à radiação em expedições no espaço sideral no futuro.

Momento reflexão

- a) A radiação cósmica pode representar perigo aos astronautas em viagens de longa duração?

Problema Final

Qual deve ser o destino da humanidade?

Devemos permanecer na Terra enfrentando os desafios ambientais que nos cercam, ou buscar colonizar outros lugares como Marte e a Lua? Quais seriam os riscos à saúde e à vida humana nesses ambientes e o que poderíamos fazer para minimizar esses perigos?

Elaborem uma apresentação para expor a opinião do grupo em relação ao problema apresentado. Utilizem os materiais da primeira etapa da atividade e nossas discussões durante essas últimas aulas para embasar a apresentação.

Integrantes:

APÊNDICE J – TRABALHOS APRESENTADOS EM EVENTOS

Ao longo do desenvolvimento desta pesquisa foi possível apresentar alguns trabalhos em eventos, os quais serão indicados a seguir. Neste apêndice, encontram-se a descrição de cada evento, a respectiva capa dos trabalhos apresentados e o link para acesso ao conteúdo completo. Essa organização tem como objetivo registrar a disseminação parcial dos resultados obtidos durante a pesquisa e facilitar a consulta às produções realizadas ao longo do processo investigativo.

Artigo A – EM QUE MEDIDA A TEMÁTICA DE RAIOS CÓSMICOS VEM SENDO TRABALHADA NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES? - XX Encontro de Pesquisa em Ensino de Física – Recife/PE, 2024.

Link: <https://www.sisgeenco.com.br/anais/epf/2024/arquivos/T0482-1.pdf>

Artigo B – PROBLEMATIZANDO OS RAIOS CÓSMICOS NO ENSINO MÉDIO - Encontro Regional de Ensino de Física – Itapetininga/SP, 2024.

Link:

<https://drive.google.com/file/d/1MbLXOdRxjvSd5w4zwedABG4iIOutxWf/view>.

Artigo C – A CONSTRUÇÃO DE MODELOS DE PARTÍCULAS ELEMENTARES NO ENSINO DE FÍSICA - Encontros Integrados em Física e seu Ensino (EIFE) – Fortaleza/CE, 2025.

Link: <https://sec.sbfisica.org.br/eventos/enmnpef/iv/sys/resumos/R0042-1.pdf>

EM QUE MEDIDA A TEMÁTICA DE RAIOS CÓSMICOS VEM SENDO TRABALHADA NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES?

TO WHAT EXTENT IS THE TOPIC OF COSMIC RAYS BEING DISCUSSED IN TEACHER EDUCATION?

Harumi Adriane Hiraichi¹, Gabriel de Souza Costa Silva², Valmir Galvão Fragozo³, Márlon Caetano Ramos Pessanha⁴, Nilva Lúcia Lombardi Sales⁵

¹Instituto de Física de São Carlos/USP, harumihiraichi97@gmail.com

²Universidade Federal de São Carlos, gabriel.scsilvaa@gmail.com

³Universidade Federal de São Carlos, valmir.fragozo@estudante.ufscar.br

⁴Universidade Federal de São Carlos/DME, pessanha@ufscar.br

⁵Universidade Federal de São Carlos/DME, nilvasales@ufscar.br

Resumo

O trabalho aborda a relevância do ensino da Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio, destacando a necessidade de incorporar temas como raios cósmicos nas práticas pedagógicas. A discussão sobre a inserção da FMC nas escolas teve início em meados de 1990, contudo, ainda nos deparamos com a dificuldade em encontrar trabalhos que discutem resultados de aplicações reais. Dessa forma, destacamos também, a escassez de trabalhos que abordam a formação de professores em relação aos raios cósmicos. O Estado do Conhecimento realizado, analisou artigos publicados em periódicos de Ensino de Ciências/Física até o ano de 2022. Foram encontrados 17 artigos, predominantemente focados em aspectos históricos e experimentais dos raios cósmicos. A categorização dos artigos revelou três principais grupos: Contexto e Desenvolvimento Histórico (CDH), Propostas Didáticas (PD) e Materiais de Apoio (MA). No entanto, nota-se a ausência de trabalhos que se concentram na formação de professores. A análise temporal dos artigos evidencia uma inconsistência no número de publicações ao longo dos anos, com artigos sendo publicados apenas a partir de 2007. A falta de enfoque na formação docente e a predominância de abordagens históricas e experimentais sugerem uma lacuna na produção acadêmica relacionada ao ensino de raios cósmicos. A pesquisa aponta para a necessidade de estudos que explorem a percepção e prática dos professores em sala de aula, visando compreender por que esses temas não são amplamente discutidos. Assim destacamos a importância de direcionar futuras investigações para preencher essa lacuna e fornecer subsídios efetivos para a formação de professores, tanto inicial quanto continuada, no contexto da FMC relacionada a raios cósmicos.

Palavras-chave: Formação de Professores; Raios Cósmicos; Física Moderna e contemporânea; Ensino de Física.

Abstract

The work addresses the relevance of teaching Modern and Contemporary Physics (MCP) in high school, highlighting the need to incorporate topics such as cosmic rays into pedagogical practices. The discussion about the insertion of MCP in schools



Guerras, Direitos Humanos, Inteligência Artificial: como ficam a Física e seu Ensino nesse contexto?
PROBLEMATIZANDO OS RAIOS CÔSMICOS NO ENSINO MÉDIO

Valmir Galvão Fragozo (MNPEF-So/UFSCar valmir.fragozo@estudante.ufscar.br)
Nilva Lúcia Sales Lombardi (Universidade Federal de São Carlos, nilvasales@ufscar.br)

Palavras-chave: Raios cósmicos, Problematização, Física Moderna, Ensino de Física.

1. Fundamentação Teórica

A educação dialógica-problematizadora surge da necessidade de se pensar sobre um ensino mais focado no estudante e em seu processo de construção de conhecimento, do que nos processos de transmissão e recepção do saber. Aliás, essa forma de ensino é conhecida na literatura como educação bancária, que segundo Freire (2021) remete a um processo de ensino em que o professor transfere seus saberes e conhecimento ao estudante, como depósitos que são recebidos de maneira passiva e não reflexiva por eles.

Uma proposta alternativa a esse ensino bancário, visando uma ação educativa dialógica segundo referenciais de Paulo Freire, é a dinâmica dos Três Momentos Pedagógicos (3MP) propostos por Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2011). Essa perspectiva prevê a organização do trabalho didático-pedagógico em três momentos descritos a seguir.

O primeiro momento é o da *Problematização Inicial* (PI) que é caracterizada pela apresentação de uma discussão que gere inquietação, curiosidade e dúvidas aos estudantes sobre o tema escolhido. Este tema deve sempre dialogar de alguma maneira com a realidade vivenciada pelos educandos, de maneira que o diálogo sobre o tema faça com que os aproximem das discussões a serem realizadas. O professor deve apresentar questões sobre esse tema que faça emergir contradições ou concepções alternativas que não respondem satisfatoriamente o problema, com liberdade para os estudantes apresentarem seus conhecimentos prévios sobre o assunto e com espaço para propor explicações para as questões apresentadas.

O segundo momento é o da *Organização do Conhecimento* (OC), ou seja, é quando ocorre a sistematização dos conteúdos necessários para o estudante compreender os questionamentos iniciais. Essa se torna uma etapa desafiadora para o professor, justamente pela facilidade de, em um mero descuido, retornar para as aulas transmissivas. Por isso é importante buscar abordagens e metodologias que mantenham o espaço de diálogo.

Por fim, chega-se à *Aplicação do Conhecimento* (AC), momento em que os educandos utilizarão o conhecimento construído para responder os questionamentos apresentados inicialmente e novas situações propostas pelo professor.

2. Objetivo

Esse trabalho é um recorte de um mestrado profissional em desenvolvimento que utilizou uma sequência de ensino sobre Raios Cósmicos organizada a partir dos Três Momentos Pedagógicos. Para esse texto o objetivo é apresentar e discutir como ocorreu a problematização inicial desta sequência de ensino.

VII EREFis (Encontro Regional de Ensino de Física)

16 a 18 de outubro de 2024

Instituto Federal de São Paulo campus Itapetininga



A CONSTRUÇÃO DE MODELOS DE PARTÍCULAS ELEMENTARES NO ENSINO DE FÍSICA

THE CONSTRUCTION OF ELEMENTARY PARTICLE MODELS IN PHYSICS TEACHING

Valmir Galvão Fragozo¹, Nilva Lúcia Lombardi Sales²

^{1,2} Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), valmirfragozo@hotmail.com

Resumo

Este trabalho, inserido em uma sequência didática de uma pesquisa de mestrado em andamento, propõe uma atividade educacional que visa aprofundar a compreensão dos estudantes sobre a natureza da ciência por meio da construção de modelos de partículas. Na atividade, os alunos recebem fichas informativas sobre diversas partículas elementares, sem uma referência ao Modelo Padrão (MP) estabelecido. Eles são incentivados a desenvolver seus próprios critérios de classificação e organização das partículas, justificando suas escolhas. Essa construção é uma estratégia fundamental no ensino de ciências, pois permite que os alunos compreendam a ciência como um processo de representação e interpretação da realidade, no qual diferentes modelos podem coexistir e evoluir conforme novas descobertas são feitas (Silva; Castelli, 2019). Posteriormente, ocorre uma discussão coletiva para comparar as diferentes classificações propostas, introduzindo conceitos formais do MP e permitindo que os alunos identifiquem semelhanças e diferenças entre suas classificações. A pesquisa foi realizada com alunos do 3º ano do Ensino Médio em uma escola particular. Os instrumentos incluíram fichas informativas sobre partículas elementares e registros das discussões coletivas. A análise qualitativa focou em como a estrutura dialógica da atividade favoreceu a construção coletiva do conhecimento. O uso de modelos didáticos auxilia no desenvolvimento da capacidade dos alunos de lidar com abstrações e visualizar conceitos científicos complexos (Silva; Castelli, 2020). Espera-se que essa atividade contribua para a formação de cidadãos reflexivos, capazes de compreender a ciência não apenas como um conjunto de conhecimentos estabelecidos, mas como uma prática sujeita a mudanças e revisões contínuas.

Palavras-Chave: Modelos Padrão; Ensino de Física; Epistemologia da Ciência.

Abstract

This work, inserted in a didactic sequence of ongoing master's research, proposes an educational activity that aims to deepen students' understanding of the nature of science through the construction of particle models. In the activity, students receive information sheets about various elementary particles, without a reference to the expected Standard Model (SM). They are encouraged to develop their own criteria for classifying and organizing particles, justifying their choices. This construction is a fundamental strategy in science teaching, as it allows students to understand science as a process of representing and interpreting reality, in which different models can coexist and evolve as new discoveries are made (Silva; Castelli, 2019). Subsequently, a collective discussion takes place to compare the different proposed classifications, introducing formal concepts of the MP and allowing students to identify similarities and differences between their classifications. The research was

