

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA - MNPEF

FRANCISCO FLAVIO RIBEIRO VIANA

**FÍSICA DE PARTÍCULAS NO ENSINO MÉDIO:
UMA PROPOSTA EXPERIMENTAL SOBRE PARTÍCULAS
ELEMENTARES E RADIAÇÃO CÓSMICA.**

Santo André, SP

2020

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



Física de Partículas no Ensino Médio: uma proposta experimental sobre partículas elementares e radiação cósmica.

Francisco Flavio Ribeiro Viana

Dissertação de mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do ABC no curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Célio Adrega de Moura Junior

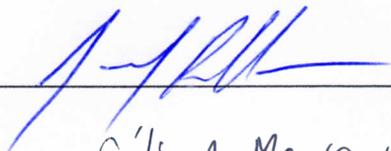
Santo André
Março de 2020

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, de acordo com as observações levantadas pela banca no dia da defesa, sob responsabilidade única do(a) autor(a) e com a anuência do(a) orientador(a).

Santo André/ SP

22 de junho de 2020

Assinatura do(a) autor(a):



Assinatura do(a) orientador(a):

Célio A. Moura Jr.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

Fundação Universidade Federal do ABC

Avenida dos Estados, 5001 – Bairro Santa Terezinha – Santo André – SP
CEP 09210-580 · Fone: (11) 4996-0017

FOLHA DE ASSINATURAS

Assinaturas dos membros da Banca Examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato, FRANCISCO FLAVIO RIBEIRO VIANA realizada em 03 de Março de 2020:

Graciella Watanabe

Prof.(a) GRACIELLA WATANABE
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC

Marcelo Gameiro Munhoz

Prof.(a) MARCELO GAMEIRO MUNHOZ
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Prof.(a) ALEXANDRE ALVES
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO

Prof.(a) GISELLE WATANABE
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC

Célio A. Moura Jr.

Prof.(a) CELIO ADREGA DE MOURA JUNIOR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC - Presidente

* Por ausência do membro titular, foi substituído pelo membro suplente descrito acima: nome completo, instituição e assinatura

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do ABC
Elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da UFABC
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Ribeiro Viana, Francisco Flavio

Física de Partículas no Ensino Médio : uma proposta experimental sobre partículas elementares e radiação cósmica. / Francisco Flavio Ribeiro Viana. — 2020.

159 fls. : il.

Orientador: Célio Adrega de Moura Junior

Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do ABC, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF, Santo André, 2020.

1. Ensino de Física. 2. Partículas elementares. 3. Raios Cósmicos. 4. Câmara de Nuvens. 5. Experimentos de baixo custo. I. Adrega de Moura Junior, Célio. II. Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF, 2020. III. Título.

Para todos e todas que propõem uma Educação como instrumento para o desenvolvimento da autonomia.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES - Código de Financiamento 001. À Sociedade Brasileira de Física - SBF. À Universidade Federal do ABC - UFABC.

Aos Professores do Programa do MNPEF da Universidade Federal do ABC, em especial para os professores José Kenichi Mizukoshi, Laura Paulucci Marinho, Jean Jacques Bonvent, Marcelo Oliveira da Costa Pires, Pedro Galli Mercadante, José Antonio Souza e Nelson Studart Filho.

Ao Professor Marcelo Gameiro Munhoz por sua generosidade em aceitar compor a banca examinadora.

À Professora Graciella Watanabe, por compartilhar seus conhecimentos sobre o Ensino de Física, pelas recomendações de leituras e por aceitar compor a banca examinadora.

Aos companheiros de mestrado Adilson, Alberto, Antonio, Bruno, Denilson, Denis, Derek, Eduardo, Leandro, Rafael, Rodrigo e ao querido André, que também aplicou meu Produto Educacional na E.E. Leda Guimarães Natal.

À direção e coordenação do Cursinho da Poli pela disponibilidade e compreensão para a aplicação da Unidade de Ensino. Em especial à Alessandra Venturi que possibilitou a aplicação das atividades.

À direção e coordenação do Colégio Humboldt, pela confiança e pelo incentivo ao desenvolvimento de práticas educacionais significativas.

Aos amigos, Rodrigo Tomita, Marcelo Medeiros, Paulo Amarelo, Márcio Arruda, Raphael Tim e à grande amiga, Fernanda Cervenka, que sempre lembra-me do caráter libertador que a Educação possui.

À minha família, Flora, Maya, Benvinda e Thais. Principalmente para Thais, minha companheira nesta jornada. Pelo apoio, carinho, paciência e pelo esforço conjunto que possibilitou a conclusão desta etapa de nossas vidas. Sem você eu jamais teria conseguido. Sou eternamente grato.

À Benvinda. Minha fonte inesgotável de motivação.

Por fim, ao meu orientador Prof. Dr. Célio Adrega de Moura Junior. Pelas paciência, franqueza, generosidade e sabedoria compartilhadas ao longo desses quase três anos.

Muito obrigado!

[...] E foi por isso que o meu primo nunca conseguiu usar álgebra, porque ele não entendia como tinha de fazer. Não tem jeito. Felizmente aprendi álgebra não indo para a escola e sabendo que a ideia toda era descobrir o valor de x e que não fazia diferença alguma o jeito de fazer. Não existe isso, sabe, de fazer com aritmética, fazer com álgebra. Isso é uma coisa falsa que inventaram na escola para que todas as crianças que têm de estudar álgebra passem por isso. Eles inventaram um monte de regras que se a gente seguir sem pensar encontra a resposta: subtraia 7 dos dois lados, se houver um multiplicador divida os dois lados por ele e assim por diante, e uma série de passos para encontrar a resposta se a gente não entendeu o que tem de fazer.[...]

(Richard P. Feynman, Os melhores textos de Richard P. Feynman)

[...] Por que não estabelecer uma “intimidade” entre os saberes curriculares fundamentais aos alunos e a experiência social que eles têm como indivíduos? Por que não discutir as implicações políticas e ideológicas de um tal descaso dos dominantes pelas áreas pobres da cidade? A ética de classe embutida neste descaso? Porque, dirá um educador reacionariamente pragmático, a escola não tem nada de ver com isso. A escola não é partido. Ela tem que ensinar os conteúdos, transferi-los aos alunos. Aprendidos, estes operam por si mesmos.[...]

(Paulo Freire, Pedagogia da Autonomia)

*[...]Daria um filme,
Uma negra,
E uma criança nos braços,
Solitária na floresta,
De concreto e aço[...]*

(Racionais MC's, Negro Drama)

Resumo

Física de Partículas no Ensino Médio: uma proposta experimental sobre partículas elementares e radiação cósmica.

Francisco Flavio Ribeiro Viana

Orientador: Prof. Dr. Célio Adrega de Moura Junior

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

O presente trabalho apresenta uma proposta de ensino com a aplicação de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) sobre Física de Partículas (FP) para o Ensino Médio. Para isso adotou-se diferentes metodologias e materiais. Inicialmente investigou-se as concepções prévias que os estudantes possuíam sobre a estrutura da matéria e seus elementos constituintes, sobre o ato de fazer Ciência e como investiga-se a natureza, tendo como referências, algumas das ideias de Paulo Freire e David Ausubel. Em seguida introduziu-se os conteúdos específicos com o uso de práticas educacionais ativas, como a sala de aula invertida e o uso de mídias digitais. Por fim os estudantes acompanharam o desenvolvimento e a aplicação de um experimento de baixo custo, composto por uma câmara de nuvens para a visualização da interação de partículas provenientes de Raios cósmicos, para consolidar os conceitos propostos. Desta forma, verificou-se como este modelo de atividade potencializa o ensino e a aprendizagem dos conceitos de Física Moderna e Contemporânea (FMC), assim como, evidenciou-se a importância das práticas experimentais para o Ensino de Física. Qualitativamente os estudantes se mostraram muito envolvidos com toda a proposta. Isto foi percebido pelas mudanças de posturas em sala de aula através das discussões de fechamento da atividade. Pôde ser verificado um aumento percentual sobre os conceitos físicos em relação às concepções prévias. Como proposta de aperfeiçoamento e extensão da atividade destaca-se a possibilidade de medir o fluxo de múons da radiação cósmica com a câmara de nuvens.

Palavras-chaves: ensino de física, aprendizagem significativa, partículas elementares, raios cósmicos, câmara de nuvens, experimentos de baixo custo, física moderna e contemporânea.

Abstract

Particle physics in high school: an experimental proposal on elementary particles and cosmic radiation.

Francisco Flavio Ribeiro Viana

Supervisor(s): Prof. Dr. Célio Adrega de Moura Junior

Abstract of master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do ABC – UFABC no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

This thesis presents a teaching and learning proposal with the application of a Significant Teaching Unit (UEPS) on Particle Physics (PF) for High School. Different methodologies and materials were adopted. Initially, the previous conceptions that students had about the structure of matter and its constituent elements were investigated, as well as about the act of doing science and how to investigate nature, using as reference some of the ideas of Paulo Freire and David Ausubel. Then the specific content was introduced using active educational practices, such as the flipped classroom and the use of social media. Finally the students followed the development and application of a low cost experiment, composed by a cloud chamber to visualize the interaction of particles from cosmic rays, to consolidate the proposed concepts. Thus, it was verified the way in which this activity model improves teaching and learning in the concepts of Modern and Contemporary Physics (FMC), as well as, it was shown the importance of experimental practices for teaching physics. Qualitatively, the students were very involved with the proposal. It was noticed by the student attitude changes in the classroom through the final discussions of the activity. A difference between the previous and final student conceptions was observed. To improve and further develop this activity it is possible to use the cloud chamber to measure the muon flux from the cosmic radiation.

Key-words: physics teaching, meaningful learning, elementary particles, cosmic rays, cloud chamber, low cost experiments, modern and contemporary physics.

Lista de ilustrações

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Aprendizagem Superordenada e Aprendizagem Subordinada. | 29 |
| Figura 2 – Um hipotético sistema de coordenadas formado pelos eixos aprendizagem mecânica x aprendizagem significativa e aprendizagem receptiva x aprendizagem por descoberta. | 33 |
| Figura 3 – Um mapa conceitual para a aprendizagem significativa de Ausubel. . . | 35 |
| Figura 4 – Principais componentes das cascatas cósmicas. | 44 |
| Figura 5 – Cascata de partículas elementares. | 45 |
| Figura 6 – Representação das placas com emulsões Ilford. | 55 |
| Figura 7 – Carta de Gleb Wataghin ao Embaixador da Bolívia. | 57 |
| Figura 8 – Lattes e Gardner em Berkeley em 1948. | 58 |
| Figura 9 – Percentuais de interesses por Ciência? | 83 |
| Figura 10 – Meios de interesse por Ciência? | 83 |
| Figura 11 – Tipo de divulgação científica de interesse. | 84 |
| Figura 12 – Percentuais de importância para o estudo da Física? | 85 |
| Figura 13 – Nomes de físicos que já tenha ouvido falar. | 86 |
| Figura 14 – Físicos brasileiros conhecidos. | 86 |
| Figura 15 – Físicos brasileiros mais conhecidos. | 87 |
| Figura 16 – Tipo de conteúdo que gostaria de aprender. | 87 |
| Figura 17 – Percentual de percepção acerca da matéria. | 88 |
| Figura 18 – Concepções sobre os constituintes da matéria. | 88 |
| Figura 19 – Conhecimento sobre os métodos de observação e organização da matéria. | 89 |
| Figura 20 – Percentual de conhecimento sobre partículas elementares? | 89 |
| Figura 21 – Quais são as partículas elementares que você conhece? | 90 |
| Figura 22 – Percentual sobre métodos de identificação de partículas elementares. | 90 |
| Figura 23 – Divisão sobre as manifestações de partículas elementares. | 91 |
| Figura 24 – Concepção prévia acerca da possibilidade de investigação da estrutura da matéria na escola. | 92 |
| Figura 25 – Respostas sobre os meios para investigar as partículas elementares. | 92 |
| Figura 26 – Percepção sobre o que são aceleradores de partículas. | 93 |
| Figura 27 – Grupo de respostas sobre os estudantes entendem por radiação cósmica. | 94 |
| Figura 28 – Número de respostas obtido para quatro grupos gerais de importância segundo o que está explicado no texto. | 97 |
| Figura 29 – Primeiro grupo de estudantes respondem aos questionários 1. | 98 |
| Figura 30 – Segundo grupo de estudantes respondem aos questionários 1. | 98 |
| Figura 31 – Terceiro grupo de estudantes respondem aos questionários 1. | 98 |
| Figura 32 – Primeiro grupo de estudantes durante a montagem do experimento. | 99 |

| | |
|--|-----|
| Figura 33 – Segundo grupo de estudantes durante a montagem do experimento. | 99 |
| Figura 34 – Terceiro grupo de estudantes durante a montagem do experimento. | 99 |
| Figura 35 – Alguns relatos que apresentaram impressões sobre a metodologia. | 100 |
| Figura 36 – Alguns relatos sobre relação teoria x experimento. | 101 |
| Figura 37 – Alguns relatos que apontam aumento no grau de interesse. | 101 |
| Figura 38 – Relato: não houve mudança na forma como se aprende Física. | 101 |
| Figura 39 – Condições para a Aprendizagem Significativa. | 104 |
| Figura 40 – Condições para a Aprendizagem Significativa. | 105 |
| Figura 41 – Incidência de concepções prévias sobre Ciências. | 106 |
| Figura 42 – Impressões sobre Ciências após a aplicação da atividade. | 106 |
| Figura 43 – Concepções prévias sobre Raios Cósmicos. | 107 |
| Figura 44 – Concepções prévias sobre Raios Cósmicos. | 107 |
| Figura 45 – Apropriação sobre as Partículas elementares. | 108 |
| Figura 46 – Apropriação sobre as Partículas elementares. | 108 |
| Figura 47 – Apropriação sobre as Partículas elementares. | 109 |
| Figura 48 – Esquema de desenvolvimento da Sequência de ensino/aprendizagem. | 112 |
| Figura 49 – Página principal do Perimeter Institute sobre recursos educacionais para o ensino básico e médio. | 142 |
| Figura 50 – Página principal do Perimeter Institute em português. | 143 |
| Figura 51 – Página principal do Perimeter Institute: login de usuário ou cadastro. | 143 |
| Figura 52 – Perimeter Institute: login de usuário ou cadastro. | 144 |
| Figura 53 – Escolha do Tópico: “Física de Partículas”. | 144 |
| Figura 54 – Escolha do material: “ <i>Além do átomo: remodelando a física de partículas</i> ”. | 145 |
| Figura 55 – Corte da placa de alumínio. | 147 |
| Figura 56 – Corte da placa de alumínio - parte aberta do aquário. | 147 |
| Figura 57 – Colagem de fita crepe para aplicação de silicone. | 148 |
| Figura 58 – Esquema de aplicação de silicone. | 148 |
| Figura 59 – Aplicação da tinta preta sobre a placa. | 149 |
| Figura 60 – Aplicação de silicone na borda do aquário. | 149 |
| Figura 61 – Estrutura de isopor. | 150 |
| Figura 62 – Três peças de isopor coladas. | 150 |
| Figura 63 – Conjunto de isopor antes da montagem. | 150 |
| Figura 64 – Esquema de colagem das peças. | 151 |
| Figura 65 – Esquema de colagem das fitas no interior da câmara. | 151 |
| Figura 66 – Aplicação de álcool isopropílico. | 152 |
| Figura 67 – Vedação inicial da câmara. | 153 |
| Figura 68 – Vedação final da câmara. | 153 |
| Figura 69 – Inserção da câmara em água quente. | 153 |
| Figura 70 – Câmara em água quente por 10 minutos. | 154 |

| | |
|---|-----|
| Figura 71 – Base com feltro preto para depósito de gelo seco. | 154 |
| Figura 72 – Base com gelo seco. | 154 |
| Figura 73 – Montagem da câmara sobre a base com gelo. | 155 |
| Figura 74 – Posição do feixe de luz sobre a câmara. | 155 |
| Figura 75 – Esquema de posicionamento do feixe de luz sobre a câmara. | 156 |
| Figura 76 – Primeiros traços deixados por partículas. | 156 |

Lista de tabelas

| | |
|---|-----|
| Tabela 1 – Tipo de interação e partícula mediadora. | 47 |
| Tabela 2 – Desdobramentos diretos e indiretos dos trabalhos de César Lattes . . . | 59 |
| Tabela 3 – Campo de investigação da partícula. | 64 |
| Tabela 4 – Tipos de interação | 64 |
| Tabela 5 – Unidades naturais (adotando-se o próton como partícula padrão). . . . | 65 |
| Tabela 6 – Os férmions e suas gerações. | 66 |
| Tabela 7 – Os quarks e suas gerações. | 66 |
| Tabela 8 – Os léptons e suas gerações. | 66 |
| Tabela 9 – Tipo de entretenimento de interesse. | 83 |
| Tabela 10 – Tipo de divulgação científica de interesse. | 84 |
| Tabela 11 – A importância em estudar Física. | 85 |
| Tabela 12 – Nomes de físicos que já tenha ouvido falar. | 85 |
| Tabela 13 – Custo aproximado dos materiais. | 146 |

Lista de abreviaturas e siglas

| Abr./Sig. | Descrição |
|-----------|--|
| CAE | Chuveiro Atmosférico Extenso |
| CP | Cursinho popular |
| EE | Escola Estadual |
| EM | Ensino Médio |
| EP | Escola Privada |
| FMC | Física Moderna e Contemporânea |
| FP | Física de Partículas |
| HC | História da Ciência |
| MNPEF | Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física |
| NDC | Natureza da Ciência |
| UEPS | Unidade de Ensino Potencialmente Significativa |
| UFABC | Universidade Federal do ABC |

Lista de símbolos

| | |
|-----------|--|
| γ | Radiação gama |
| λ | Comprimento de onda |
| π | Número Pi (3, 14) |
| A | Área |
| c | Velocidade da luz no vácuo ($c \approx 3 \cdot 10^8$ m/s) |
| E | Energia |
| eV | Unidade de medida de energia (elétron-volt, eV) |
| f | Frequência |
| h | Constante de Planck ($6,63 \cdot 10^{-34}$ J.s) |
| J | Unidade de medida de energia |
| m | Massa |

Sumário

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 18 |
| 1.1 | Objetivos Gerais | 21 |
| 1.2 | Objetivos Específicos | 22 |
| 2 | REFERENCIAIS TEÓRICOS | 23 |
| 2.1 | Referenciais Pedagógicos | 23 |
| 2.1.1 | Uma Introdução à Aprendizagem Significativa | 27 |
| 2.1.2 | Diferenciação Progressiva | 30 |
| 2.1.3 | Reconciliação Integradora | 31 |
| 2.1.4 | Preceitos e Materiais para a Aprendizagem Significativa | 31 |
| 2.1.5 | Tipos e formas de aprendizagem significativa: considerações finais | 34 |
| 2.1.6 | Revisão Bibliográfica | 36 |
| 2.1.7 | Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) | 39 |
| 2.2 | A Física de Partículas: uma pequena revisão | 41 |
| 2.2.1 | Os Raios Cósmicos | 42 |
| 2.2.2 | Píons | 46 |
| 2.2.3 | Múons | 50 |
| 2.2.4 | César Lattes e os mésons | 52 |
| 2.2.5 | Introdução à Física de Partículas em Nível Universitário | 60 |
| 2.2.6 | Tipos de interação | 63 |
| 2.2.7 | Unidades Naturais | 64 |
| 2.2.8 | Classificação das Partículas | 65 |
| 3 | METODOLOGIA DE PESQUISA E ENSINO | 68 |
| 3.1 | Tipos de análises e suas aplicações em pesquisas educacionais | 68 |
| 3.2 | Construção da sequência didática e Aplicação em sala de aula | 70 |
| 3.2.1 | Os encontros pedagógicos | 73 |
| 3.2.2 | Pré-questionário - levantamento de subsunçoes | 73 |
| 3.2.3 | Aplicação de questionário prévio | 75 |
| 3.2.4 | Apresentação dos modelos atômicos mais conhecidos | 75 |
| 3.2.5 | A câmara de nuvens | 77 |
| 3.2.6 | Fechamento e debate - Questionário de retorno | 78 |
| 3.2.7 | Avaliação da Unidade de Ensino e Redesenho | 78 |
| 4 | ANÁLISES DOS RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS | 82 |
| 4.1 | Análise do Pré-Questionário Inicial | 82 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 4.2 | Análise das questões do pré-questionário | 82 |
| 4.3 | Indicativos iniciais sobre a Unidade de Ensino | 94 |
| 4.4 | A predisposição para o ensino por experimentos | 100 |
| 4.4.1 | A apropriação conceitual e a Natureza da Ciência | 102 |
| 4.4.2 | Considerações finais | 109 |
| 5 | CONCLUSÕES | 114 |
| 6 | BIBLIOGRAFIA | 115 |

APÊNDICES **125**

| | | |
|---------|--|-----|
| | APÊNDICE A – PRÉ-QUESTIONÁRIO INICIAL | 126 |
| A.1 | Questionário 1 – Concepções prévias | 126 |
| | APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO INICIAL | 128 |
| | APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO DE RETORNO | 131 |
| | APÊNDICE D – PRODUTO EDUCACIONAL | 132 |
| D.1 | INTRODUÇÃO | 132 |
| D.2 | A SEQUÊNCIA DIDÁTICA | 132 |
| D.2.1 | Situação inicial | 134 |
| D.2.2 | Situação problema | 134 |
| D.2.3 | Revisão | 135 |
| D.2.4 | Os encontros pedagógicos | 135 |
| D.2.4.1 | Encontro 1: Levantamento de subsunçores | 135 |
| D.2.4.2 | Encontro 2: Aplicação de questionário prévio | 136 |
| D.2.4.3 | Encontro 3: Discussão sobre modelos conhecidos | 136 |
| D.2.4.4 | Encontro 4: Apresentação do novo tema: Partículas Elementares. | 137 |
| D.2.4.5 | Encontro 5: A câmara de nuvens | 138 |
| D.2.4.6 | Encontro 6: Fechamento/revisão/debate. | 138 |
| D.3 | ORGANIZADORES INICIAIS | 139 |
| D.3.1 | Breve evolução histórica dos modelos atômicos | 140 |
| D.3.2 | Material do Perimeter Institute | 141 |
| D.3.2.1 | O material e seu formato | 141 |
| D.3.2.2 | Cadastro no <i>website</i> do Perimeter Institute | 142 |
| D.3.3 | Construção e funcionamento da câmara de nuvens | 145 |
| D.3.3.1 | Introdução | 145 |
| D.3.3.2 | Materiais | 146 |

| | | |
|------------|--|------------|
| D.3.3.3 | Montagem | 146 |
| D.3.3.4 | Procedimentos para o bom funcionamento | 152 |
| D.3.3.5 | Vídeo sobre a montagem e o funcionamento da Câmara de Nuvens | 156 |
| D.4 | REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA | 157 |

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho apresenta uma proposta de ensino significativo sobre Física Moderna e Contemporânea (FMC), especificamente a Física de Partículas (FP). Para que esta proposta seja significativa deve-se permitir que as ideias expressas simbolicamente apresentem interações não ao pé da letra (não-literal), assim como sua conexão não deve ser feita com qualquer ideia prévia (não-arbitrária), mas sim com algum conhecimento prévio relevante para a aprendizagem, como aponta M. A. Moreira (MOREIRA, 2011, p. 13). Parte das análises apresentadas para a aplicação do trabalho deu-se pelo levantamento de concepções prévias e pela inversão de aulas, como aponta Oliveira et al., na qual os estudantes “entram em contato com os tópicos a serem discutidos em sala através de atividades prévias às aulas.” Oliveira *et al.* (OLIVEIRA *et al.*, 2016b, p.4). O fechamento da proposta realizou-se pelo desenvolvimento e a aplicação de uma sequência de ensino com o auxílio de uma Câmara de Nuvens para a visualização dos traços deixados pela passagem de algumas dessas partículas oriundas de Raios Cósmitos.

A escolha do tema está pautada na necessidade de inserção de tópicos que contemplem o crescente acesso aos avanços científicos, vistos principalmente pelas divulgações sobre os grandes aceleradores de partículas. Isto possibilita o desenvolvimento de competências para a uma formação cidadã mais ampla e consistente. Nesse viés analisa-se o desenvolvimento da autonomia acadêmica para a construção dos novos significados conceituais.

O ensino de ciências da natureza, assim como o ensino de maneira geral, mostra sinais intensos de desgastes e rupturas. Esta visão não é unicamente interna, pautada em inerentes mudanças educacionais nacionais, balizadas por documentos normativos, como a Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2017), mas também, como sugere G. Fourez, em uma transformação em todo o mundo industrializado (FOUREZ, 2003). Essas percepções, evidenciam muitas faces de um problema de extrema complexidade, que, portanto, necessita de soluções diversas, complementares, e não necessariamente simultâneas.

Este trabalho não possui a pretensão em apresentar soluções para os conflitos citados acima, mas sim, trazer ideias e propostas que possam fomentar estímulos e práticas adequadas ao ensino médio, bem como, propostas para um ensino de ciências, especificamente de Física, que seja significativo e transformador. Justamente nesse sentido tem-se a busca pelo conhecimento, na mais ampla concepção do conceito, evidenciando a inconclusão do ser humano, que investiga para transformar-se, como aponta o professor Paulo Freire (FREIRE, 1996).

O contexto em que ocorreu o desenvolvimento do trabalho é um recorte das mui-

tas possibilidades educacionais nacionais, uma vez que, sua aplicação dá-se em ambientes escolares distintos: em uma escola da rede de ensino particular (EP), em uma escola da rede de ensino pública estadual (EE), aplicado por outro professor, e em um curso popular pré-vestibular (CP) na cidade de São Paulo, logo, apresenta impressões e resultados pertinentes aos espaços sociais, assim como, específicas interações sócio-espaciais, como define I. Catalão (CATALÃO, 2011).

O trabalho tem como um dos pilares a aplicação de uma Sequência Didática sobre física moderna, especificamente a física de partículas sob o ponto de vista experimental, ou seja, pela construção de uma câmara de nuvens e visualização de traços formados por partículas elementares originadas em raios cósmicos que estão nos bombardeando a todo momento. Os estudantes envolvidos são integrantes dos anos iniciais e finais do ensino médio, assim como estudantes egressos do ensino médio, que nos encontros pedagógicos da presente pesquisa frequentavam um curso pré-vestibular. O contexto temático proposto pretende apresentar assuntos contemporâneos da Física. Fez-se um levantamento dos conhecimentos prévios apresentados pelos estudantes sobre a estrutura da matéria e sobre as percepções sobre como a Ciência é feita. Entre as finalidades destes levantamentos está a própria construção da Unidade de Ensino.

A realização de discussões, apresentação de textos e vídeos prévios, e por fim, um experimento demonstrativo no qual se permita a vivência investigativa sobre partículas elementares compõem as formas para a inserção dos temas e com isso o desenvolvimento de posturas investigativas que permitam a melhor compreensão dos fenômenos naturais, da composição da matéria e as trajetórias investigativas para a compreensão dos modelos científicos e suas evoluções.

Os referenciais teóricos pedagógicos apresentados são frutos de práticas e pesquisas como docente do ensino fundamental e médio, de levantamentos bibliográficos em teses e dissertações sobre o tema, bem como, do estudo de pensadores da educação. Mesmo ao apresentarem rotas distintas para a concepção e apropriação do ensino, esses pensadores não se mostraram excludentes, mas sim, ao aplicar suas teorias em momentos adequados, demonstraram complementaridade, como sugere A. M. P. Carvalho (CARVALHO, 2017).

São adotadas ideias sobre aprendizagem significativa propostas por M. A. Moreira (MOREIRA, 2010).

O ponto de partida para o desenvolvimento de um ensino que se pretende significativo se dá pela compreensão do ser que aprende e o respeito ao seu protagonismo. Assim, no contexto em que aplicou-se o trabalho, fica certo que as trajetórias são tão importantes quanto as conclusões. A investigação buscou acompanhar o crescimento conceitual e cognitivo do grupo estudado, ou seja, não teve como busca final a verificação de conceitos físicos de maneira estanque. Com isso no período específico contemplado pela unidade de ensino, a preocupação, como proposta por ensinamentos por investigações, se dá a

partir da concepção de que um conjunto de saberes pode ser desenvolvido se realizado com respeito aos limites impostos pelos elementos que compõem os grupos em estudo, como idades, concepções prévias e algumas conexões entre o tema apresentado e a realidade concreta dos estudantes, como sugerido por J. Torres e C. Vasconcelos (TORRES; VASCONCELOS, 2015):

A construção de um conhecimento sólido acerca da natureza da ciência revela-se crucial na Educação em Ciências, uma vez que contribui para o desenvolvimento da literacia científica, do conhecimento científico e de diversas competências, como o espírito crítico. (TORRES; VASCONCELOS, 2015, p. 460).

Desta forma, parte-se de preceitos bem estabelecidos, discutidos por muitos autores, inclusive no que diz respeito à Alfabetização Científica, conceitualmente pautado em um ensino de ciências por investigação, que pretende propor novas formas de ensino de ciências no ensino básico. Os estudantes são protagonistas e seus desenvolvimentos conceituais, sociais e epistemológicos, sofrem mudanças constantes, de maneira que a contribuição transcenda as práticas de enculturação científica e contribuam para formações mais amplas. Este caminho permite aos estudantes uma postura, de fato, cidadã e participativa em nossa sociedade, principalmente para o desenvolvimento de habilidades que contemplem temas contemporâneos, como destacado por A. M. P. Carvalho e L. H. Sasseron (CARVALHO; SASSERON, 2011). Com isso o ensino de Física no ensino médio tende a se tornar significativo para esses protagonistas, inclusive torna compreensível os motivos pelos quais, no mínimo, ensina-se Física, como visto nas Orientações Curriculares para o Ensino Médio:

O ensino dessa disciplina destina-se principalmente àqueles que não serão físicos e terão na escola uma das poucas oportunidades de acesso formal a esse conhecimento. Há de se reconhecer, então, dois aspectos do ensino da Física na escola: a Física como cultura e como possibilidade de compreensão do mundo. (BRASIL, 2006, p. 53).

Assim, a busca por formas de ensino-aprendizagem que possam aproximar os estudantes daquilo que as ciências naturais apresentam de mais humano, o ato de investigar, é elemento estruturante do trabalho, sendo que a finalidade máxima será a aproximação do ato de fazer ciência. O questionamento sobre os modelos vigentes e suas falhas apresenta muitas possibilidades, inclusive para o desenvolvimento das habilidades argumentativas. Desta forma, a compreensão do erro em experimentos de física se mostra fundamental para a aprendizagem. Como fator fundamental para a proposta está a necessidade da inserção da FMC, uma vez que, em meio a tantas mudanças nas tecnologias e nas relações que temos com elas, principalmente os mais jovens, o ensino desses temas se mostra necessário e urgente, como apontam os estudos de Brockington *et al.* (BROCKINGTON *et al.*, 2017):

Porém, como suprir as necessidades atuais do cidadão com um currículo de Física embasado em conhecimentos dos séculos XVII, XVIII e XIX? Em outras palavras, 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? (BROCKINGTON *et al.*, 2017, p. 11).

Dada a necessidade da inserção de temas contemporâneos da Física, por afinidade e interesse escolheu-se o estudo da Física de Partículas. Esta proposta consolida-se com a inserção do tema através da compreensão das concepções prévias, da introdução de textos, vídeos e discussões, e, por fim, com a realização do experimento com a câmara de nuvens, para que as(os) estudantes possam visualizar algumas das possíveis manifestações das partículas elementares com um experimento simples e acessível, de baixo custo, reproduzível em qualquer ambiente escolar.

Uma das questões mais antigas da humanidade ainda se mostra atual: do que é feita a matéria?

A compreensão sobre a estrutura da matéria evoluiu muito. Mesmo assim, em grande parte, os estudantes não conhecem o modelo adotado atualmente pelos físicos, seus componentes e a forma como se organizam. Tratar um assunto tão importante como este, privilegiando a compreensão sobre a evolução dos modelos e suas implicações, são condições básicas para o exercício da capacidade crítica e investigativa, algo que é inerente ao exercício da cidadania, da postura científica, do protagonismo discente e da autonomia do pensamento.

1.1 Objetivos Gerais

O presente trabalho pretende inserir o ensino de FMC através de uma UEPS que possa fomentar a construção de significados conceituais e experimentais sobre Física de Partículas. Para isso as(os) estudantes serão protagonistas de seus percursos pedagógicos por meio de atitudes participativas, desde a pesquisa inicial sobre o tema até a montagem do experimento em sala de aula.

Nesse sentido, as trajetórias de construções de conhecimentos individuais e coletivos se consolidam ao aproximar-se do ato de fazer ciências pelo diálogo aberto de ideias. Adotando-se a concepção de atividade coletiva aberta e pela proposição do livre debate e apropriação das ideias.

Também foram feitos alguns paralelos conceituais pertinentes, como as ideias do Professor Paulo Freire sobre autonomia e protagonismo do sujeito que aprende. Por fim, a apropriação dos saberes mínimos necessários para o embasamento teórico para a aplicação de uma UEPS para o ensino de FMC, especificamente a inserção do ensino de Partículas Elementares com o uso de uma câmara de nuvens.

1.2 Objetivos Específicos

Entre os muitos temas que compõem a chamada Física Moderna e Contemporânea, alguns temas que despertam grandes curiosidades entre as(os) estudantes do atual Ensino Médio são: a Física Quântica, a Relatividade de Einstein e as discussões acerca dos aceleradores de partículas e suas aplicações. Embora seja muito difundida a importância da construção deste tipo de equipamento raramente são evidenciados os estudos, os motivos, ou mais diretamente: o que se busca em aceleradores de partículas?

A busca pela compreensão sobre a estrutura da matéria não é algo atual, remontando ao início de nossas buscas por respostas sobre de onde viemos e do que somos feitos. Nesse sentido faz-se necessária a compreensão sobre a estrutura da matéria, por isso o tema aparece como extremamente relevante para a formação cidadã. Assim, a inserção da Física de Partículas no Ensino Médio se faz necessária.

Embora seja evidente que a inserção de FMC seja importante, existem muitos obstáculos para sua aplicação. Entre eles está a compreensão fenomenológica, conforme destacado por Brockington *et al.* (BROCKINGTON *et al.*, 2017):

a grande maioria dos fenômenos sobre os quais estão alicerçados os conteúdos da Física Clássica é acessível no mundo perceptual e em laboratórios didáticos, na forma de atividades experimentais simples. Entretanto, os fenômenos sobre os quais se fundamentam as Teorias Clássicas e Contemporâneas pertencem a um mundo para além dos limites da percepção. Tais fenômenos não são acessíveis no cotidiano, nem passíveis de serem apresentados em laboratórios didáticos por meio de experimentos simples. (BROCKINGTON *et al.*, 2017, p. 59).

De fato essas ideias indicam as dificuldades e as necessidades para que sejam discutidas e inseridas práticas em sala de aula sobre Física de partículas no ensino básico. Por causa dessas particularidades o presente trabalho, entre outras propostas, se justifica e encontra espaço.

2 REFERENCIAIS TEÓRICOS

2.1 Referenciais Pedagógicos

Muitos trabalhos já foram realizados acerca do que conhecemos por Aprendizagem Significativa. Este trabalho apresenta propostas e ideias que estão ancoradas neste referencial teórico. Por isso toma como referências as experiências e trajetórias adotadas por outros autores, limitando-se, em muitos aspectos, em fazer paralelos conceituais. Não apresenta nenhuma novidade conceitual ou releitura sobre essas ideias, principalmente de David Paul Ausubel e do Professor Paulo Freire. Tenta apenas evidenciar a importância dessas práticas para o ensino de Física no Ensino Médio.

Entre as muitas leituras possíveis acerca das ideias de Ausubel, uma chama a atenção pela simplicidade e clareza, na qual destaca a visão geral compreendida por uma das maiores autoridades sobre o tema, destacada pelos trabalhos de M. A. Moreira (MOREIRA, 2011):

Aprendizagem significativa é aquela em que ideias expressas simbolicamente interagem de maneira substantiva e não-arbitrária com aquilo que o aprendiz já sabe. **Substantiva** quer dizer não-literal, não ao pé da letra, e **não-arbitrária** significa que a interação não é com qualquer ideia prévia, mas sim com algum conhecimento especificamente relevante já existente na estrutura cognitiva do sujeito que aprende. (MOREIRA, 2011, p. 13).

Embora o termo apresente em sua essência aquilo que deve “fazer sentido”, encontra obstáculos que vão desde a forma das aulas aos materiais físicos, ou seja, de como a dinâmica da sala de aula se configura até a forma como a arquitetura dos prédios, desenhos das mesas e carteiras e a disposição física dos móveis em sala de aula são propostos, tornando-se de fato, em alguns casos, uma barreira para a relação Ensino/Aprendizagem.

Seria demasiado custoso a desconstrução desses mecanismos estabelecidos na grande maioria dos espaços educacionais, sobretudo nos espaços formais, como escolas, faculdades e universidades. Cabe, portanto, outras formas de relação com o conhecimento, uma relação que permita aos estudantes maior protagonismo, maior poder de decisão quanto à forma, às trajetórias e aos meios. Esta busca converge com ideias muito consistentes, na obra desses dois pensadores. Temos a síntese dessas posturas na obra de P. Freire (FREIRE, 1996):

A nossa capacidade de aprender, de que decorre a de ensinar, sugere ou, mais do que isso, implica a nossa habilidade de apreender a substantividade do objeto aprendido. A memorização mecânica do perfil do objeto

não é aprendido verdadeiro do objeto ou do conteúdo. Neste caso, o aprendiz funciona muito mais como paciente da transferência do objeto ou do conteúdo do que como sujeito crítico, epistemologicamente curioso, que constrói o conhecimento do objeto ou participa de sua construção. (FREIRE, 1996, p. 69).

A existência de convergências conceituais que partem da concepção de que o novo saber é concebido através de um saber já consolidado aproximam as ideias de Ausubel e Freire, e se complementam, independentemente das classes sociais envolvidas, como visto nos estudos de Carril *et al.* (CARRIL *et al.*, 2017):

Em termos de utilização de metodologias, para os dois grupos populacionais, sejam populares ou em uma posição econômica favorável, havia práticas pedagógicas que não impulsionaram a construção de habilidades que permitissem a melhor inserção do indivíduo na sociedade. Os conteúdos escolares não estavam representados na realidade do aprendiz. (CARRIL *et al.*, 2017, p. 70).

Desta forma, há a preocupação em unir os fundamentos dessas propostas com as dificuldades em aplicar-se ao Ensino de FMC, uma vez que sua importância é evidenciada pelo exercício da cidadania, pelo acesso aos temas contemporâneos.

As propostas de ensino pretendidas são apresentadas como negação de um conjunto de práticas e posturas denominadas por Paulo Freire como educação bancária. Busca-se honestamente com este trabalho a construção do processo de aprender significativo, uma vez que, este processo se dá no sentido mais amplo daquilo que é chamado de *ensino-aprendizagem*. Essa prática aguça a curiosidade e estimula a criatividade para a resolução de problemas, e assim, de fato, assume postura problematizadora. É fundamental destacar que os problemas sociais são determinantes nesse processo, mas não contemplam todos os aspectos, inclusive os aspectos cognitivos.

Há, portanto, entre a atividade humana e a mente, devido à sua reciprocidade dialética, a fundamentação da efetividade da forma como o indivíduo se apropria de elementos da história social, e é na sua relação com outros indivíduos, que são mediadores de sua relação com o mundo humano, que se consolida o processo educativo, assim, a prática deste trabalho se mostrará efetiva e produtiva sob essa ótica, como apontam J. Camillo e C. Mattos (CAMILLO; MATTOS, 2014):

Nesse sentido, então, não se pode conceber uma atividade que seja puramente individual (sem relação com o outro), pois mesmo quando um indivíduo realiza isoladamente sua ação, ele a faz mediado pela história humana objetivada e por ele apropriada. Em outras palavras, ao adentrar o gênero humano, um indivíduo não pode ser senão um ser social carregando consigo as marcas daquilo que é tipicamente humano. (CAMILLO; MATTOS, 2014, p. 215).

Por isso, assim como o ato de fazer ciências só encontra validação pelo diálogo aberto de ideias, a concepção e o desenvolvimento deste trabalho só encontra significado em uma atividade coletiva, aberta, e que, proponha o livre debate e apropriação das ideias apresentadas e testadas, assim como a apropriação de ideias e modelos anteriores para que possam ser adotados ou refutados, diante dessa postura, que ela sim, se aproxima do ato de fazer ciência.

Como já foi citado anteriormente, convivemos com uma crise estrutural na forma como o ensino de ciências se apresenta atualmente. A Física tratada em sala de aula, em nível médio, reproduz ideias fundamentais, porém, quase sempre, deslocadas das realidades nacionais, principalmente urbanas, uma vez que, grande parcela da população nacional habita centros urbanos, como apresentado pelo Portal oficial do Governo Federal (BRASIL, 2016).

A população jovem que frequenta o ensino médio apresenta faixa etária predominante entre 13 anos e 19 anos de idade. Convive, manuseia, e interage fortemente com tecnologias que são, fundamentalmente, estruturadas e desenvolvidas com ideias e procedimentos da FMC. Basta pensarmos que, toda a microeletrônica lida com semicondutores, e estes, são os componentes para a construção dos tão intensamente utilizados smartphones. Isto, por si, já é a justificativa mínima para que esses estudantes possam ter o contato com os temas e desenvolvam a apropriação conceitual sobre o funcionamento dessas novas tecnologias. Desta forma, apresenta-se uma alternativa, uma vez que a solução mostra-se demasiadamente complexa.

Além do caráter utilitarista, frequente e perversamente, atribuído às ciências da natureza, deve haver também, outra perspectiva, que busque a compreensão dos fenômenos e leis que regem o universo que conhecemos e os paradigmas vigentes. É interessante percebermos que a aproximação dos jovens em relação à esses temas de FMC tem se intensificado por causa de informações nas quais estão inseridos, como canais em mídias sociais, principalmente o *YouTube* e as séries de televisão que envolvem super-heróis, já que seus personagens apresentam superpoderes que estão relacionados com a atividade científica ou tecnológica, como o *Incrível Hulk* ou o *Homem de Ferro*.

Com isso a busca pelo conhecimento é apresentada não somente como algo que traga benefícios materiais, mas também, como algo que satisfaz quem busca, pelo ato de conhecer. Há também uma parcela significativa da população que é também, de alguma forma objeto desse estudo, que possui acesso a rede fechada de televisão, tendo contato com canais como *National Geographic* ou *Discovery Channel*. Porém, nem sempre absorvem de maneira adequada aos processos científicos, apresentando concepções de ciência como algo regular, cumulativo e que, portanto, se aproxima de ideias positivistas, que não se mostram alinhadas com as práticas científicas.

O trabalho é inserido em uma noção de mundo utilitarista pautada no desenvolvi-

mento tecnológico como a finalidade das ciências. Por este motivo destaca-se a importância em se fazer Ciência pela busca do saber, o que é condição mínima para a emancipação da mente humana, como propõe P. Freire (FREIRE, 1996).

Em estudo apresentado no periódico *Investigações em Ensino de Ciências*, foi apontada uma revisão de literatura sobre o ensino de Física Moderna e Contemporânea, na qual, ao elencar os grupos de pesquisas, no que diz respeito ao tipo de estudo, foram elencados os seguintes grupos, propostos por A. P. Pereira e F. Ostermann (PEREIRA; OSTERMANN, 2009):

- Propostas didáticas testadas em sala de aula;
- Levantamento de concepções;
- Bibliografias de consulta para professores;
- Análise curricular.

Por fim, o estudo busca apresentar seu enfoque em Propostas Didáticas Testadas em sala de aula, embora o Levantamento de concepções também seja uma linha presente no trabalho, uma vez que, como será melhor detalhado nas metodologias do trabalho, a apresentação de questões encaminhadoras será uma das muitas inserções adotadas para efetivação da proposta. Esse referencial converge com os trabalhos nos quais se encontram discussões que apontam para a possibilidade de se ensinar Física com o uso de métodos inerentes à própria Física e não somente com a transposição didática dos temas, o que pode fazer com que os estudantes adquiram posturas investigativas e com isso fazer com que o ato de estudar se torne mais consistente e significativo, como propõem Forato *et al.* (FORATO *et al.*, 2011):

A metodologia seguida em tal estudo teórico consistiu-se nas seguintes etapas: mediante as demandas propostas pelas pesquisas educacionais, foram selecionados os objetivos pedagógicos específicos almejados com o ensino/aprendizagem da NDC, definindo os aspectos a serem tratados e que, também, esclarecem a concepção de ciência adotada. (FORATO *et al.*, 2011, p. 31).

A atividade experimental realizada em sala de aula em diferentes turmas e momentos pedagógicos cumpre papel fundamental no desenvolvimento do trabalho, uma vez que, ao ser aplicada em diferentes contextos, evidencia o caráter investigativo, independentemente do nível educacional, pois permite a apropriação do tema por diferentes realidades de aprendizagens, bem como a possibilidade da discussão para todas as turmas, justamente por se tratar de assunto contemporâneo.

2.1.1 Uma Introdução à Aprendizagem Significativa

Muitas pesquisas indicam que os atores educacionais, como professores, coordenadores, diretores e órgãos educacionais de maneira geral, principalmente os que fazem a gestão da educação básica, devem atentar-se ao desenvolvimento educacional pautado no protagonismo e na autonomia discente. Nesse sentido as relações entre Ensino e Aprendizagem devem ser fundamentadas em um modelo de educação que privilegia não somente esses pontos, mas, principalmente a evolução cognitiva balizada por uma aprendizagem que seja significativa, como aponta o estudo desenvolvido por Oliveira *et al.* (OLIVEIRA *et al.*, 2016a).

É sabido que existem muitas vertentes sobre aprendizagens nas quais as(os) estudantes sejam efetivamente protagonistas na construção do próprio conhecimento, nesse sentido as ideias de David Ausubel e de Paulo Freire são fundamentais para a consolidação dessas propostas. No presente texto será apresentada uma síntese das ideias de Ausubel e sempre que houver convergência serão apresentados paralelos com as ideias de Paulo Freire.

De maneira geral a aprendizagem que se diz significativa deve contemplar especificamente a conexão direta com conceitos já formados na estrutura cognitiva de quem aprende, esta relação como veremos não se dá de forma simplista, como já citado nos estudos de M. A. Moreira (MOREIRA, 2011).

De acordo com as ideias de Ausubel os conceitos já adquiridos e consolidados nas estruturas cognitivas das (dos) estudantes para determinado assunto serão chamados de *subsunçores*. Em princípio deve-se ter extremo cuidado com a compreensão dos termos. O Professor Marco Antonio Moreira alerta que é muito comum que a interpretação sobre o conceito de *subsunçor* seja feita ao pé da letra. Este seria um erro grosseiro. No entanto, uma boa interpretação para o conceito de *subsunçor* dá-se pelo conjunto de ideias, símbolos, experiências e modelos que as(os) estudantes apresentam previamente ao contato com as ideias e conceitos subsequentes. Desta forma, é esse conjunto de informações e vivências que Ausubel chama de *subsunçor* ou *ideia-âncora*. Segundo Ausubel é o *subsunçor* que está previamente consolidado na estrutura cognitiva de quem irá aprender, que permite a atribuição de significado a novos conhecimentos. O *subsunçor* já possui relação inicial com o que será discutido. Este processo dá-se tanto por recepção como por descobrimento, ou seja, "...a atribuição de significados a novos conhecimentos depende da existência de conhecimentos prévios especificamente relevantes e da interação com eles." (MOREIRA, 2011, p. 14).

As ideias apresentadas acima devem ser pensadas de forma que considere-se a plasticidade do conceito de *subsunçor*, ou seja, é importante destacar que a aprendizagem significativa é dada pela interação entre os conhecimentos prévios e os novos conhecimen-

tos, porém, durante essa interação há ressignificação tanto do conhecimento prévio quanto do novo conceito. Assim fica evidente o dinamismo com que os novos conceitos são construídos. Por este motivo, essas interações são não-literais e não-arbitrárias, como aponta M. A. Moreira (MOREIRA, 2011). Este processo específico de interação se mostrará significativo pela qualidade da conexão, não unicamente pela quantidade de conexões possíveis, como aponta Pelizzari *et al.* (PELIZZARI *et al.*, 2002).

Durante o processo de aquisição de novos conhecimentos ocorre a transformação mútua entre o novo e o prévio, de maneira que os conhecimentos prévios se consolidam em novos significados em maior estabilidade cognitiva, como aponta M. A. Moreira (MOREIRA, 2011). Entre os muitos exemplos apresentados destaca-se o conceito de Conservação da Energia. O professor Marco A. Moreira evidencia a aplicação relacionada à Energia Mecânica. As(os) estudantes ao resolverem problemas de transformação de Energia Potencial Gravitacional em Energia Cinética consolidam o conhecimento prévio, ou seja, reforçam sua estabilidade cognitiva. No entanto, ao serem apresentados à Primeira Lei da Termodinâmica, não importando o contexto, haverá o acionamento do subsunçor *Conservação de Energia*, e justamente por isso este ficará melhor elaborado, portanto adquire maior estabilidade cognitiva, como é apontado por M. A. Moreira (MOREIRA, 2011):

Através de novas aprendizagens significativas, resultantes de novas interações entre novos conhecimentos e o subsunçor Conservação de Energia, este ficará cada vez mais estável, claro, diferenciado, e o aprendiz dará a ele o significado de uma lei geral da Física, ou seja, a energia se conserva sempre. (MOREIRA, 2011, p. 15).

É importante destacar que há a possibilidade da criação de um novo subsunçor, no caso, Leis de Conservação, conforme aponta M. A. Moreira (MOREIRA, 2011). Este processo é raro, porém, passa a subordinar conceitos anteriores, por exemplo, todas as conservações que o precedem. A esta forma de aprendizagem significativa, na qual o novo subsunçor subordina os conhecimentos prévios, se dará o nome de *Aprendizagem Significativa Superordenada*.

Embora o exemplo apresentado seja fundamental para a melhor compreensão das ideias de Ausubel, vale destacar que a forma mais comum para aprender é conhecida por *Aprendizagem Significativa Subordinada*, ou seja, aquela em que o novo conhecimento se dá pela interação com um conhecimento prévio que seja especificamente relevante, como explica M. A. Moreira (MOREIRA, 2011).

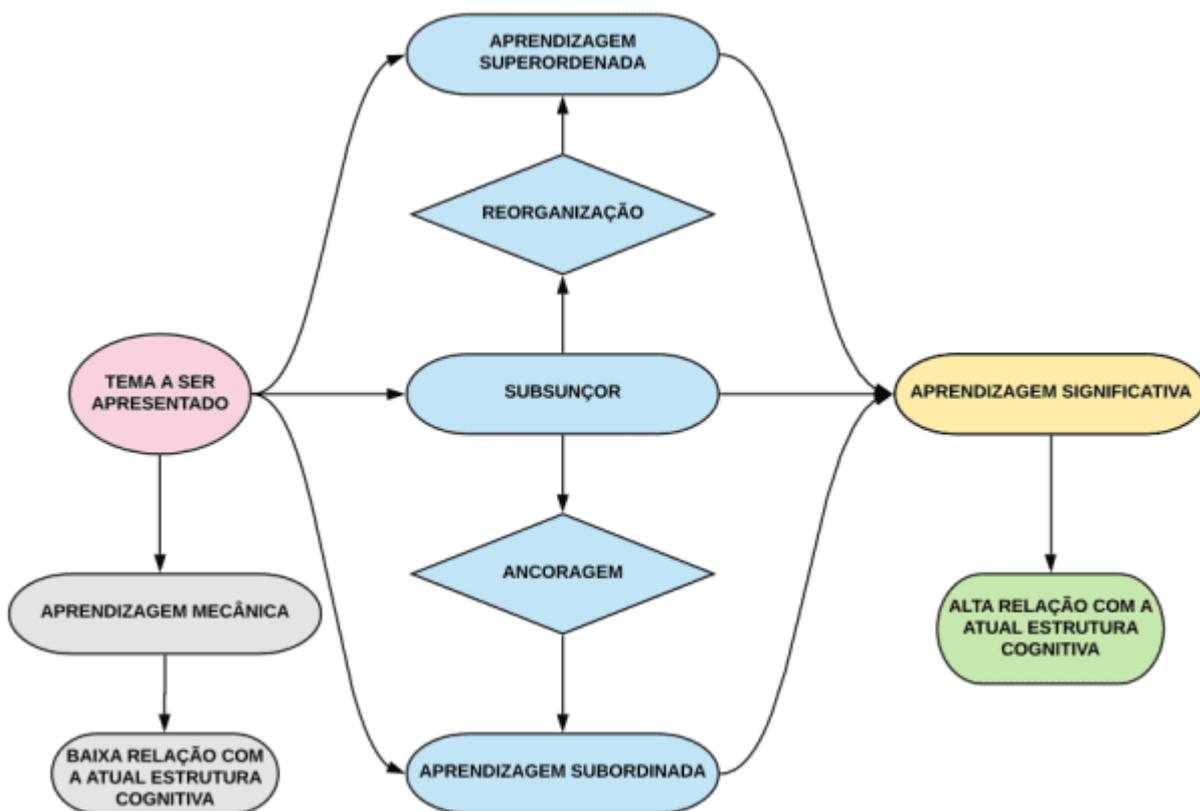
Em contrapartida, oposta a esses processos, está o que será chamada de *Aprendizagem Mecânica*, na qual não se estabelece relação alguma com conceitos prévios se consolidando como algo estanque. Aqui se estabelece uma relação muito próxima entre a obra de Paulo Freire e David Ausubel, já que, esses conceitos convergem, de maneira

que o significado daquilo que se aprende possa ser de fato transformador, como aponta o trabalho de Carril *et al.* (CARRIL *et al.*, 2017):

A afirmação acerca da aprendizagem mecânica encontra eco na concepção da Educação Bancária, abordada por Freire (1987), constituindo-se em crítica à escola tradicional, na qual o aluno é considerado um receptor das informações transmitidas pelo professor... (CARRIL *et al.*, 2017, p. 71).

A importância dos conhecimentos prévios mostra-se fundamental para o desenvolvimento de uma aprendizagem que pretende ser significativa. Em quaisquer trabalhos ou propostas educacionais com esta vertente deve-se considerar um levantamento prévio acerca deste tópico, com a finalidade de estruturar o desenvolvimento e a aplicação. Como será destacado a seguir, entender melhor essas concepções e suas ramificações embasam a adoção da postura pesquisadora dos docentes e permitem caminhos seguros para a transformação dos significados pelas(os) estudantes. A figura (1) ilustra esses conceitos iniciais.

Figura 1 – Aprendizagem Superordenada e Aprendizagem Subordinada.



A estrutura cognitiva apresentada acima é de extrema importância para a compreensão daquilo que chamamos de Aprendizagem Significativa. No entanto, é patente a

importância da estrutura cognitiva, assim como a maneira como ele evolui. A estrutura cognitiva é um conjunto hierárquico de subsunçores dinamicamente relacionados como aponta M. A. Moreira (MOREIRA, 2011, p. 19). A composição dessas hierarquias respeita o conjunto ao qual está relacionada, assim, em determinados contextos pode assumir um grau de importância, sendo que, em outro contexto, o mesmo subsunçor, pode apresentar maior ou menor relevância. Por este motivo as hierarquias não são fixas, na verdade, são dinâmicas e se transformam, uma vez que os próprios subsunçores se transformam. Ao estudarmos as transformações na estrutura cognitiva devemos considerar os dois principais processos:

- Diferenciação Progressiva;
- Reconciliação Integradora.

2.1.2 Diferenciação Progressiva

As relações básicas que definem a Aprendizagem Significativa estão edificadas na interação entre a estrutura cognitiva, no caso as condições prévias, ou organizadores prévios, e as novas ideias ou conceitos a serem trabalhados. A Diferenciação Progressiva se dá, em essência, pela atribuição de novos significados para um subsunçor devido à soma de mudanças que este sofre ao ser acionado para consolidar novos conhecimentos. Por causa dessas mudanças o subsunçor é alterado progressivamente, adquire novos significados, de maneira que se torna mais abrangente. Neste processo, a dinâmica da evolução do subsunçor está relacionada às conexões que este faz, ou seja, se refina e se diferencia, como destaca M. A. Moreira (MOREIRA, 2011):

A diferenciação progressiva está mais relacionada à aprendizagem significativa subordinada, que é mais comum, e a reconciliação integradora tem mais a ver com a aprendizagem superordenada que ocorre com menos frequência. (MOREIRA, 2011, p. 22).

O desenvolvimento e a inserção da Aprendizagem Significativa por diferenciação progressiva pressupõe, como visto acima, a diferenciação de significados. No entanto o processo de diferenciação não ocorre isoladamente, ou seja, o refinamento de um conceito inicial apenas aprimora o próprio conceito, levando a um conceito refinado, porém particular. Com isso o conceito pode compartilhar das muitas diferenças possíveis e também superar os muitos conflitos existentes nas transposições conceituais. A compreensão desses novos conceitos será realizada por outro caminho, chamado *Reconciliação Integradora*. Todas essas transformações na estrutura cognitiva não ocorre, necessariamente de forma harmônica. Apresenta-se aqui o recorte apontado pelos conceitos brutos. As práticas e pesquisas em ensino apontam maiores complexidades nessas análises.

2.1.3 Reconciliação Integradora

É sabido que na estrutura cognitiva existem muitos subsunçores ou ideias prévias. É sabido também que esses subsunçores, além de serem modificados pelas dinâmicas associadas à diferenciação progressiva citada acima, apresentam relações com outros subsunçores. A dinâmica das relações entre os muitos subsunçores consistentes, presente na estrutura cognitiva pressupõe ressignificações e reorganizações. Essa dinâmica de reorganização será chamada de *Reconciliação Integradora*, como aponta M. A. Moreira (MOREIRA, 2011, p. 22).

2.1.4 Preceitos e Materiais para a Aprendizagem Significativa

Efetivar a Aprendizagem Significativa parte de dois pontos básicos, segundo M. A. Moreira (MOREIRA, 2017):

- Material de aprendizagem potencialmente significativo;
- A(O) aprendiz deve apresentar predisposição para aprender.

O primeiro ponto, material de aprendizagem potencialmente significativo, deve apresentar alguma relação consistente com a estrutura cognitiva, ou seja, deve ter significado lógico e relevante com esta estrutura. Por isso, a(o) estudante deve apresentar concepções prévias; subsunçores com os quais o material possa ser aplicado. De fato, essa conexão só se efetiva por um levantamento detalhado sobre as ideias-âncora (subsunçores).

Embora, em primeiro momento, possa parecer simplista a apresentação desses tópicos, existem muitos percursos para que, de fato, se desenvolva uma proposta potencialmente significativa. Segundo o conjunto de ideias apresentadas, não existe material que possa ser plenamente chamado de significativo. Mesmo com todas as condições mínimas para que se desenvolva uma proposta ancorada nesses preceitos, o conjunto de ideias, materiais, instrumentos, entre tantos outros, só se efetiva enquanto Aprendizagem Significativa, com a validação dos atores envolvidos, no caso, as (os) estudantes. De acordo com M. A. Moreira (MOREIRA, 2011):

É importante enfatizar aqui que o material só pode ser *potencialmente significativo*, não significativo: não existe livro significativo, nem aula significativa, nem problema significativo, . . . , pois o significado está nas pessoas, não nos materiais.

É o aluno que atribui significado aos materiais de aprendizagem e os significados atribuídos podem não ser aqueles aceitos no contexto da matéria de ensino. (MOREIRA, 2011, p. 25).

É essencial lembrar que a variável isolada mais importante para uma aprendizagem que pretende ser significativa é o conhecimento prévio acerca do tema. No entanto, como

destacado acima, sem a predisposição para aprender não haverá meios para a consolidação do processo, como destaca Carril *et al.* (CARRIL *et al.*, 2017):

A promoção da aprendizagem significativa se fundamenta num modelo dinâmico, em que o aluno, seus saberes, é o ponto de partida e de chegada. A aprendizagem se dá quando o aluno (re)constrói o conhecimento e forma conceitos significativos sobre o mundo, o que vai possibilitá-lo agir e reagir diante da realidade. Não há mais espaço para a repetição memorística, para a falta de contextualização e para a aprendizagem não significativa. (CARRIL *et al.*, 2017, p. 71).

A maior complexidade em todo o processo é percebida pelo segundo ponto, ou seja, na compreensão e implementação sobre a predisposição em aprender. Não se trata de motivação, mas sim, em um conjunto de ações que estão ancoradas na disposição do sujeito que aprende se dispor em conectar aquilo que já conhece com aquilo que pode conhecer, como destaca M. A. Moreira (MOREIRA, 2011). Uma vez isso feito, garantidas essas condições de partida, a aprendizagem se diz potencialmente significativa.

Embora ancorada em outro referencial teórico, existe uma relação bastante próxima entre essas ideias e o que chamado de ensino por investigação. Esta relação é evidenciada pela apropriação dos conteúdos por meio da forma com dá-se a investigação. Não descarta-se que no processo de alfabetização científica, mesmo que inicial, este se dará pela conexão entre os subsunçores e os novos conceitos. Nesse sentido o processo de alfabetização é evidenciado como fundamental, justamente por ser composto de elementos mais consistentes e complexos, como aponta I. Martins (MARTINS, 2008):

Uma possibilidade, consoante com abordagens funcionalistas, considera que ler e escrever possibilita aos sujeitos ajustar-se socialmente, participando e contribuindo para a sociedade, seu progresso e manutenção de suas instituições. Esta perspectiva geralmente está associada ao conceito de alfabetismo funcional. Por outro lado, com base em abordagens críticas, pode-se argumentar que a leitura e a escrita permitem não apenas a participação na sociedade mas o questionamento de suas bases e conseqüente transformação. (MARTINS, 2008, p. 4)

Aqui se percebe semelhanças entre essas concepções, principalmente no ensino de ciências, como aponta A. M. P. Carvalho (CARVALHO, 2017):

Nessa construção humana e não acabada, não podemos esquecer, portanto, o papel das trocas entre equipes, das teorias científicas anteriores para a produção de novos conhecimentos; das hipóteses, da relação com a sociedade, com o movimento político e social, e, também, o papel da problematização para a construção do conhecimento. (CARVALHO, 2017, p. 115).

Entre as muitas possibilidades para a aprendizagem que se pretende significativa, temos: aprendizagem receptiva e aprendizagem por descoberta. A primeira é mais comum e pode ser mal interpretada, justamente por realizar-se uma leitura superficial, pois receptiva não significa passiva. Em princípio este processo pressupõe que o sujeito que aprende

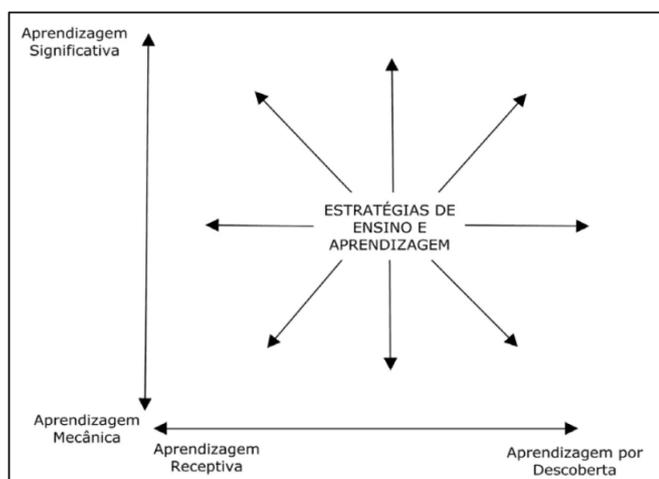
recebe a informação já em sua forma final, o que não anula a potencialidade significativa, uma vez que, durante o processo o sujeito que aprende relaciona intensamente os conceitos recebidos com os novos conceitos em um processo de diferenciação, ancoragem e reconciliação integradora, como aponta M. A. Moreira (MOREIRA, 2011).

Já a “Aprendizagem por descoberta implica que o aprendiz primeiramente descubra o que vai aprender.” (MOREIRA, 2011, p. 34). Nesse sentido, embora pareça uma condição implícita, não é preciso descobrir para aprender significativamente e por este motivo a Aprendizagem Receptiva e a Aprendizagem por Descoberta não são dicotômicas, mas sim complementares, como aponta M. A. Moreira (MOREIRA, 2011):

É preciso também ter claro que aprendizagem por recepção e aprendizagem por descoberta não constituem uma dicotomia. Assim como há um contínuo entre aprendizagem mecânica e aprendizagem significativa, há outro entre aprendizagem por recepção e aprendizagem por descobrimento. Quer dizer, o conhecimento não é, necessariamente, construído ou por recepção ou por descoberta. (MOREIRA, 2011, p. 34).

A compreensão sobre as relações existentes entre essas formas de aprendizagem permite, antes de quaisquer inferências, perceber a possibilidade de uma aprendizagem significativa por recepção, o que ocorre com maior frequência. Outro ponto importante é que a aprendizagem mecânica não se opõe à aprendizagens significativas, mas sim, as complementam em vários momentos, servindo em alguns casos, como futuros subsunçores. Na figura (2) tem-se uma representação gráfica para elucidar as ideias apresentadas pelo Professor M. A. Moreira (MOREIRA, 2011):

Figura 2 – Um hipotético sistema de coordenadas formado pelos eixos aprendizagem mecânica x aprendizagem significativa e aprendizagem receptiva x aprendizagem por descoberta.



Fonte: (MOREIRA, 2011, p. 35).

2.1.5 Tipos e formas de aprendizagem significativa: considerações finais

O campo de estudo sobre aprendizagem significativa é bastante vasto e o presente trabalho não possui, dentro de seu escopo, o objetivo de fazê-lo em detalhes. No entanto, a principal preocupação deste capítulo é fazer uma breve apresentação das principais ideias associadas à aprendizagem que pretende ser significativa, pautadas nas leituras e contribuições do Professor Marco Antonio Moreira. Também, como citado anteriormente, foram feitos alguns paralelos conceituais com as ideias do Professor Paulo Freire. As *Problematização*, *Organização do conhecimento e primeira elaboração* e *Aplicação do conhecimento e função da elaboração e compreensão conceitual* são os pressupostos desses alinhamentos, uma vez que, permitem a compreensão acerca dos encontros pedagógicos apresentando a forma com se relacionam, como aponta Delizoicov *et al.* (DELIZOICOV *et al.*, 2012):

Outro aspecto a destacar na função da elaboração e compreensão conceitual é a retomada das questões iniciais apresentadas na problematização, pois há a finalidade de se obter uma compreensão conceitual dessas. Além disso, destaca-se que, a partir da formação de um pensamento conceitual, o estudante terá condições de compreender outras situações, para além daquelas que lhe foram apresentadas durante o desenvolvimento da Situação de Estudo. Com base nisso, na terceira etapa, também são apresentadas outras situações sobre as quais os estudantes têm algo a dizer, e que, na maioria das vezes, representam uma problemática mais ampla, uma dimensão mais global. (DELIZOICOV *et al.*, 2012, p.14).

Como já discutido inicialmente não há a possibilidade de uma aprendizagem ser significativa antes da aplicação efetiva em sala de aula. Saber isso torna o processo de construção de uma UEPS um desafio único. A efetivação da prática é o que dirá se a Unidade foi ou não significativa, o que não reduz seu impacto educacional, uma vez que, os percursos educacionais não são excludentes, seja a aprendizagem mecânica ou significativa, como aponta M. A. Moreira (MOREIRA, 2011, p. 32).

A Aprendizagem significativa pode ser classificada em três formas básicas:

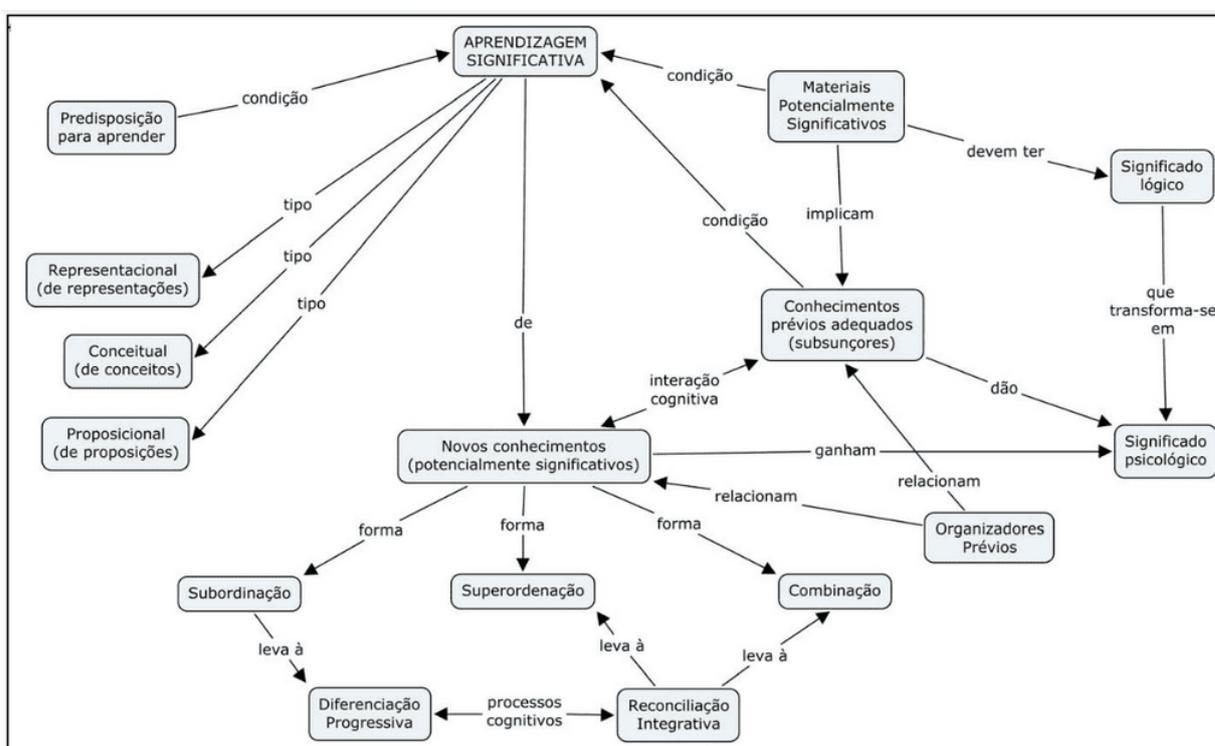
- por subordinação;
- por superordenação;
- combinatória.

Sendo esta última a forma na qual há uma interação com outros conhecimentos já existentes na estrutura cognitiva, porém, não subordina ou superordena, mas combina outros significados compondo o novo. Já os tipos são:

- Aprendizagem representacional: é bastante elementar e está associada, por exemplo, à representação simbólica de um objeto. Como quando uma criança associa a palavra bola ao objeto e com isso a representação do objeto.
- Aprendizagem conceitual: neste caso a aprendizagem está associada ao conceito bola, ou seja, ao perceber as regularidades existentes entre as inúmeras representações de bolas o sujeito associa à esta regularidade um conceito, no caso, o conceito de bola e com isso esta aprendizagem se torna significativa.
- Aprendizagem proposital: por fim, este tipo de aprendizagem se consolida com a significação de novas ideias em forma de proposições, ou seja, além de se apropriar dos conceitos, e isso pode ser feito de maneira representativa ou conceitual, o sujeito que aprende se percebe em condições cognitivas para propor novos conceitos.

Abaixo, na figura (3), está um mapa conceitual proposto por M. A. Moreira para elucidar os possíveis percursos de uma aprendizagem que pretende ser significativa.

Figura 3 – Um mapa conceitual para a aprendizagem significativa de Ausubel.



Fonte: (MOREIRA, 2013, p. 5).

Para todas as interações consideradas destacam-se os processos de aprendizagem nas formas e nas inter-relações, como os instrumentos facilitadores, os meios para suas

implementações e por fim suas avaliações de processo. Desta forma, por exemplo, os *novos conhecimentos* (potencialmente significativos) podem ser adquiridos por caminhos distintos, por subordinação, por superordenação ou por combinação.

Aqui é possível fazer uma discussão que permite compreender as correlações entre as ideias de Ausubel e de Paulo Freire. O conceito de instrumentos facilitadores engloba os objetos que fisicamente compõem os espaços educacionais, como cadeiras, mesas e materiais escolares como papel e lápis, mas também, e mais relevante para o aprendizado, o papel da(o) educador(a) como sujeito que constrói possibilidades ancoradas na defesa da autonomia, na curiosidade, nas individualidades e, sobretudo, na prática ética de seu papel, que nesse contexto, mostra-se facilitador por respeitar essas propostas, como aponta P. Freire (FREIRE, 1996):

É neste sentido que o professor autoritário, que por isso mesmo afoga a liberdade do educando, amesquinhando o seu direito de estar sendo curioso e inquieto, tanto quanto o professor licenciado, rompe com a radicalidade do ser humano - a de sua inconclusão assumida em que se enraíza a eticidade. É neste sentido também que a dialogicidade verdadeira, em que os sujeitos dialógicos aprendem e crescem na diferença, sobretudo, no respeito a ela, é a forma de estar sendo coerentemente exigida por seres que, inacabados, assumindo-se com tais, se tronam radicalmente éticos. (FREIRE, 1996, p. 60).

Entre as possibilidades apresentadas, a subordinação consolida-se pela diferenciação progressiva através dos processos cognitivos. A efetividade da aplicação da UEPS não pode ser estimada somente por este caminho. Como visto acima, as posturas facilitadoras serão determinantes para que esses processos de diferenciação possam ocorrer de forma respeitosa, ou seja, garantindo as autonomias e as relações estabelecidas com os espaços, saberes e com as próprias trajetórias.

2.1.6 Revisão Bibliográfica

As preocupações com a qualidade e os formatos de trabalhos em ensino de Ciências de maneira geral, são percebidas pelos materiais disponíveis nos mais diversos bancos de conteúdos, desde revistas especializadas até os bancos de dissertações e teses. No Ensino de Física essas preocupações se alinham à necessidade da inserção de temas recentes, ou seja, a FMC. Nesse contexto é imprescindível a apropriação conceitual para a compreensão do mundo, sobretudo para os tópicos mais avançados das Ciências, como apontado por Brockington *et al.* (BROCKINGTON *et al.*, 2017):

A introdução de alguns tópicos referentes às partículas elementares com uma linguagem mais apropriada pode contribuir para uma descrição mais atual do átomo e dos seus constituintes, bem como as interações presentes nessa nova descrição da estrutura da matéria. Consequentemente, o estudo desse tópico pode levar os alunos a desvendar o mundo

microscópico e subatômico, conhecendo suas peculiaridades e suas implicações tecnológicas e sociais no mundo atual. (BROCKINGTON *et al.*, 2017, p. 33).

Dadas as preocupações, faz-se necessário um levantamento acerca dos trabalhos já realizados sobre o tema. Muitos são os trabalhos sobre a Física de Partículas no Ensino Médio, por isso não há a pretensão de apresentar um levantamento completo, mas, sim, um levantamento sobre os trabalhos que apresentam convergência entre os temas, o que permite entender suas semelhanças e diferenças.

Através do levantamento das bibliografias em trabalhos sobre Física de partículas, raios cósmicos ou sobre o modelo padrão, constata-se que alguns trabalhos são referências recorrentes para a produção acadêmica sobre o tema. De maneira geral, são recorrentes nessas bibliografias os trabalhos de M. A. Moreira (MOREIRA, 2004, 2009, 2012b, 2013 e 2017), de A. P. Pereira e F. Ostermann (PEREIRA; OSTERMANN, 2009), do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF, 2005), dos estudos de Brockington *et al.* (BROCKINGTON *et al.*, 2017) e o trabalho experimental sobre câmara de nuvens de C. Laganá (LAGANÁ, 2011). Esses trabalhos aparecem frequentemente nas referências bibliográficas de artigos, dissertações ou teses.

Na presente dissertação de mestrado, além das referências acima, realizou-se o levantamento de outras dissertações de mestrado, de diferentes programas e instituições, que apresentam proximidades no que dizem respeito aos temas, metodologias, ou aplicações. Destacam-se os trabalhos de R. W. Corrêa (CORRÊA, 2014), de M. C. B. Saran (SARAN, 2012) e M. dos S. Souza (SOUZA, 2017).

Todos esses trabalhos apresentam características particulares e contextos de aplicação próprios, de modo que esta análise apresenta apenas as impressões e levantamentos sobre as metodologias e enfoques. De maneira alguma pretende resumir os trabalhos mencionados, frutos de anos de pesquisa. Não há como, em poucas linhas ou páginas, analisar trabalhos com tamanha dedicação, desta forma, nesta leitura, busca-se uma aproximação entre esses esforços para a construção de uma outra proposta com características próprias. Entende-se, portanto, que esses autores apresentam caminhos bem fundamentados e muito interessantes sobre o ensino de Física de partículas.

Os trabalhos apresentam, de alguma forma, a inserção de Física de Partículas ou estudo dos Raios Cósmicos. O texto de M. dos S. Souza (SOUZA, 2017), por exemplo, apresenta um estudo bastante consistente sobre as metodologias e a aplicação, inclusive experimental. Há, portanto, grande proximidade não somente entre os temas abordados, mas também em relação ao uso de experimentos para a consolidação da aprendizagem. No entanto, os enfoques analítico/quantitativo, e as próprias sequências didáticas distanciam-se tanto pelas formas, quanto pelas aplicações.

No presente trabalho, pretende-se uma aproximação cognitiva por meio da apropriação e da vivência experimental, por isso, o uso do experimento não dá-se somente pelo caráter demonstrativo, mas, também pela construção/montagem do experimento como elemento de descoberta. Isto potencializa a postura autônoma, tanto da prática discente, quanto docente.

O trabalho de M. dos S. Souza (SOUZA, 2017) destaca-se pelo estudo dos Raios Cósmicos especificamente. Também foi feito o uso de uma Câmara de nuvens, porém o enfoque deu-se pela leitura de textos de trabalhos experimentais previamente realizados, incluindo o artigo de C. Laganá (LAGANÁ, 2011).

Aqui percebe-se uma diferença entre as abordagens, uma vez que, no presente trabalho o enfoque deu-se, essencialmente, pela concepção de investigação e manifestações que são reforçadas com aparatos experimentais em situações problemas.

Os estudos propostos no trabalho de M. C. B. Saran (SARAN, 2012) também apresentam algumas proximidades, como o enfoque qualitativo e o uso de recursos de internet, como sites especializados ou vídeos. Mas os enfoques específicos se afastam, uma vez que aponta-se para os estudos de alguns tópicos com maior ênfase, como o estudo de ordens de grandezas, escalas de energia e Raios Cósmicos primários, como aponta M. C. B. Saran (SARAN, 2012). No presente trabalho não houve enfoque numérico/experimental. Os elementos de análises experimentais foram concentrados na construção e montagem do experimento, com participação dos estudantes e a apropriação conceitual apresentada pelo comparativo entre as concepções prévias e os novos conhecimentos por meio da vivência experimental.

Por fim, o trabalho de R. W. Corrêa (CORRÊA, 2014) apresenta uma análise bastante ampla sobre outros trabalhos sobre o ensino de Física de partículas e raios cósmicos. São apresentadas análises sobre as possibilidades de inserção de outros estudos e tem como uma das propostas fomentar a melhora em currículos e/ou formação de professores, o que afasta-se dos objetivos do presente trabalho.

Entende-se que esses trabalhos complementam-se, uma vez que a multiplicidade de aplicações e metodologias contribui para a compreensão sobre a efetividade das propostas em diferentes contextos. Também é possível compreender os resultados dessas referências para o desenvolvimento do presente trabalho, que em si, devem fomentar a melhoria do Produto Educacional que compõe esta dissertação de mestrado.

Como visto acima, este levantamento apenas apresenta algumas correlações entre os diferentes trabalhos de forma bastante direta, principalmente pelo tema, no qual destaca a inserção da Física de Partículas. De maneira alguma pretende classificá-los, mas sim, apresentar as múltiplas possibilidade de inserção de um mesmo tema, no caso, a Física de Partículas no Ensino Médio.

2.1.7 Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS)

Nesta seção será feita uma breve apresentação sobre os tópicos que norteiam as construções e implementações de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS). Entre as muitas referências sobre o tema destaca-se o trabalho escrito para o Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da UFRGS, desenvolvido pelo Professor M. A. Moreira (MOREIRA, 2012b), no qual são evidenciados que as UEPS são caracterizadas principalmente por proporem a ruptura com o modelo de ensino/aprendizagem em que os conteúdos são apresentados de maneira mecânica. Na aprendizagem mecânica as(os) estudantes recebem o conhecimento por intermédio docente, sendo apenas receptores de conhecimentos, por isso ficam restritos às lógicas de determinados ambientes educacionais, não cumprindo, portanto, o caráter emancipador da educação. Assim, como destaca (MOREIRA, 2012b):

Os alunos copiam tais conhecimentos como se fossem informações a serem memorizadas, reproduzidas nas avaliações e esquecidas logo após. Esta é a forma clássica de ensinar e aprender, baseada na narrativa do professor e na aprendizagem mecânica do aluno. (MOREIRA, 2012b, p. 3).

A efetividade da proposta deve ser verificada durante todo o processo. Com isso evita-se a construção de algo estanque indicando os ajustes, e orientando os processos. Por isso a importância dos encontros e debates. A construção de uma UEPS deve ter como um de seus principais objetivos a apresentação de sequências de ensino que sejam facilitadoras da aprendizagem de um conteúdo específico, como aponta M. A. Moreira (MOREIRA, 2012b).

Há uma sequência de passos para a implementação de uma UEPS, na qual as principais ideias foram adotadas para a elaboração do presente trabalho. Os tópicos estruturantes podem ser apresentados da seguinte maneira, como aponta M. A. Moreira (MOREIRA, 2012b):

- a definição do conteúdo a ser apresentado (no caso: Física de Partículas);
- criação de momento pedagógico no qual as(os) estudantes possam externar seus conhecimentos prévios acerca do assunto;
- introduzir uma situação problema para que seja possível a sensibilização e envolvimento com o tema tratado;
- apresentação de aspectos mais gerais sobre os temas propostos de forma que possa favorecer a diferenciação progressiva;
- proporcionar momento pedagógico no qual seja inserida uma situação problema que possa fomentar a busca autônoma por respostas;

- apresentação formal dos conteúdos propostos e respectivo momento de discussão/debate ou experimento que possa cumprir este momento;
- propor fechamento de conteúdos para que seja possível o retorno aos conceitos prévios e à diferenciação progressiva;
- Avaliação.

As avaliações, de maneira, geral tendem a apresentar apenas uma das muitas faces das propostas educacionais. Em uma UEPS a avaliação não deve seguir com os mesmos equívocos. Então é esperado que o processo seja avaliado durante sua execução, em diferentes etapas e formas.

Desta forma, no presente trabalho, considera-se que as mudanças atitudinais são elementos que podem compor um dos muitos indícios avaliativos, principalmente no que diz respeito ao envolvimento com o tema e com as práticas durante o desenvolvimento da proposta, como apontam J. I. Pozo e M. A. G. Crespo (POZO; CRESPO, 2009):

Portanto, a educação científica também deveria promover e modificar certas atitudes nos alunos, algo que normalmente não consegue, em parte porque os professores de ciências não costumam considerar que a educação em atitudes faça parte de seus objetivos e conteúdos essenciais – apesar de, paradoxalmente, as atitudes dos alunos nas salas de aula geralmente serem um dos elementos mais incômodos e agressivos para o trabalho de muitos professores. (POZO; CRESPO, 2009, p. 18).

O processo de avaliação não deve ser composto estritamente por atividades que busquem verificar conteúdos, muito menos ser realizado em único momento. Como propõe M. A. Moreira (MOREIRA, 2012b):

a avaliação da aprendizagem através da UEPS deve ser feita ao longo de sua implementação, registrando tudo que possa ser considerado evidência de aprendizagem significativa do conteúdo trabalhado; (MOREIRA, 2012b, p. 5).

As posturas, percepções e discussões que compuseram os tópicos avaliativos devem potencializar a aprendizagem significativa. Estes processos dependem mais intensamente de novas posturas do que de novas tecnologias, isto por si, pressupõe novas formas de avaliação, como destaca M. A. Moreira (MOREIRA, 2011):

O contexto (administradores escolares, pais, advogados, a sociedade em geral) exige “provas” de que o aluno “sabe ou não sabe”. Esse tipo de avaliação baseada no sabe ou não sabe, no certo ou errado, no sim ou não, é comportamentalista e em geral promove a aprendizagem mecânica, pois não entra na questão do significado, da compreensão da transferência. (MOREIRA, 2011, p. 51).

A avaliação do processo de aprendizagem significativa deve ser gradual e acompanhar o processo de aplicação, inclusive em suas mudanças de percursos. Não deve portanto, se ater aos conteúdos específicos, mas sim às mudanças atitudinais, principalmente ao adotar-se o conceito de recursividade, ou seja, na possibilidade dos estudantes as discussões e os temas.

2.2 A Física de Partículas: uma pequena revisão

Uma introdução sobre a evolução das principais concepções acerca da estrutura da matéria é extremamente relevante para promover a aproximação dos estudantes com o tema. Assim, “Ao se construir, utilizar ou divulgar uma determinada versão da HC, está se propagando uma concepção de como a ciência foi construída.”, como aponta Forato *et al.* (FORATO *et al.*, 2011, p. 30).

Por este motivo é fundamental uma apresentação evolutiva dessas concepções para a construção dos organizadores prévios, cujas finalidades principais são ambientar e aproximar as(os) estudantes dos tópicos futuros.

Esta pequena introdução permite apontar referenciais mais consistentes, que possam fundamentar as discussões prévias sobre a Física de partículas. Desta forma, a apropriação conceitual sobre a partícula que exerce maior influência sobre o presente trabalho, o múon, poderá ser melhor construída.

Antes da sistematização da ciência como a concebemos hoje, a busca pela compreensão sobre o mundo que nos cerca trilhou caminhos um pouco diferentes daqueles que hoje consideramos “científicos”. As contribuições para a construção do conhecimento vêm de todos os lados, e por isso, a adoção de um referencial é apenas para elucidar as principais ideias sobre como o assunto será tratado.

A Física consolidou-se como modelo de ciências e impõe validade naquilo que hoje é conhecido por método científico. Basicamente organiza um roteiro mínimo para que se possa investigar a natureza. Desta forma, tão importante quanto elaborar as perguntas está a forma como se busca respostas.

Alguns autores se mostram essenciais para este propósito, entre eles o estudos dos professores Francisco Caruso¹ e Vitor Oguri², materializados na obra intitulada Física Moderna: origens clássicas e fundamentos quânticos, (CARUSO; OGURI, 2016). Nesta obra os autores fazem uma apresentação extremamente aprofundada e completa, o que torna o material uma referência indispensável para a formação de professores de física. O texto citado permite ainda a leitura em tópicos independentes com o rigor acadêmico ne-

¹ Professor Titular do CBPF, Professor-associado no Instituto de Física (UERJ), Professor colaborador (UFRJ).

² Professor Titular no Instituto de Física da UERJ.

cessário para a discussão dos tópicos, como visto em Caruso e Oguri (CARUSO; OGURI, 2016). Desta forma, pode-se saltar dos modelos propostos na antiguidade para a evolução dos modelos clássicos que antecederam os modelos quânticos, tópicos fundamentais para o presente trabalho.

Outra referência de extrema importância é o material organizado por João dos Anjos³ e Cássio Leite Vieira⁴ (Editores) intitulado *Um olhar para o futuro: desafios da física para o século 21*, (ANJOS; VIEIRA, 2008). Esta referência permite uma visão mais ampla da FMC, com leitura bastante acessível ao público geral e com dados históricos que ajudam a entender o desenvolvimento da Física no Brasil. Este material permite, inclusive, uma introdução ao livro do professor José Leite Lopes⁵, organizado pela professora Amélia Império Hamburger⁶, intitulado *Uma história da Física no Brasil*. Tanto os textos de J. dos Anjos e C. L. Vieira (ANJOS; VIEIRA, 2008), quanto de J. L. Lopes (LOPES, 2004) são indispensáveis para a compreensão da Física no Brasil e suas contribuições para o desenvolvimento da Ciência nacional.

Sobre as Partículas Elementares propriamente ditas, há o brilhante trabalho de M. C. B. Abdalla, *O discreto charme das partículas elementares* (ABDALLA, 2016). Uma obra de grande importância para o tema e referência para o Ensino de Física Moderna e Contemporânea. Contempla diversos públicos, mas, fundamentalmente os estudantes e professores do Ensino Médio. Em convergência com este trabalho há a coletânea de estudos de M. A. Moreira, principalmente o artigo publicado na Revista Física na Escola, intitulado: Partículas e Interações, visto em M. A. Moreira (MOREIRA, 2004).

Por fim tem-se outro trabalho organizado por Caruso *et al.*, no qual muitos outros professores dissertam sobre os cem anos das descobertas sobre o que hoje chama-se Partículas Elementares, *Partículas elementares: 100 anos de descobertas* (CARUSO *et al.*, 2012).

Neste último trabalho há textos separados por tópicos da evolução dos estudos sobre a Física de Partículas, assim como capítulos específicos sobre os grupos de partículas.

2.2.1 Os Raios Cósmicos

De maneira geral, pode-se dizer que Raios Cósmicos são partículas elementares, algumas vezes compostas como núcleos atômicos, emitidas pelos astros. Assim, os Raios cósmicos são partículas aceleradas de diversas maneiras, incluindo as transformações estelares em objetos como núcleos ativos de galáxias e eventos como supernovas, conforme aponta R. A. Salmeron (SALMERON, 2012).

³ Editor científico do CBPF.

⁴ Editor científico do CBPF.

⁵ Um dos maiores físicos brasileiros de sua época ao lado do Professor César Lattes, entre outros.

⁶ Uma das referências em divulgação científica no Brasil. Foi professora no Instituto de Física da USP.

A descoberta dos raios cósmicos é atribuída a Victor Hess que ao observar um eletroscópio carregado percebeu que o mesmo se descarregava, apesar da aparente ausência de cargas elétricas livres no laboratório. Propondo que o eletroscópio era atingido por partículas radioativas, Hess considerou levar o experimento para regiões isentas dessas radiações, isto foi feito com o uso de um balão, como aponta R. A. Salmeron⁷:

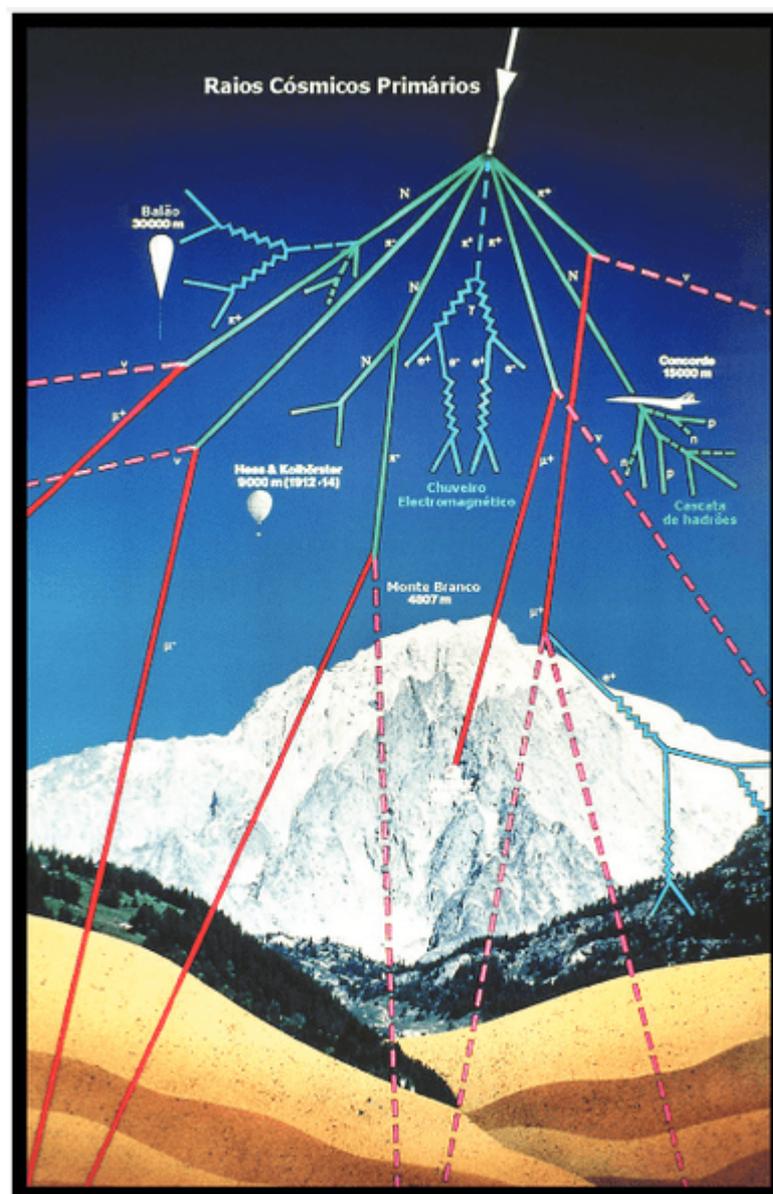
Para verificar essa hipótese, subiu com o eletroscópio carregado de eletricidade num balão, para afastá-lo do laboratório, de rochas etc. Verificou que o eletroscópio se descarregava também longe da Terra, e que o efeito aumentava com a altitude. Fez então a hipótese de que talvez o eletroscópio fosse descarregado por “raios” vindo do cosmo, que chamou “raios cósmicos”. Pouco depois foi provado que essa hipótese era correta. (SALMERON, 2012, p. 48).

Sabe-se hoje que cerca de 89% das partículas que efetivamente chegam a Terra são compostas por prótons, núcleos de Hidrogênio, que é o átomo mais abundante do universo.

Recentemente foi publicado um texto na revista Pesquisa Fapesp, de autoria de V. Flório, sobre os trabalhos da Professora Carola Chinellato (Unicamp). Nele são destacadas a formação e a importância dos Raios Cósmicos. Esses raios na verdade são partículas que colidem com os átomos presentes na atmosfera terrestre formando o que é conhecido por chuviscos cósmicos, ou chuviscos atmosféricos extensos, como aponta o artigo de V. Flório (FLÓRIO, 2017). Na figura (4) há uma ilustração de um chuvisco atmosférico extenso com suas principais componentes: o Chuvisco Eletromagnético, a Cascata de Hádrons e, em vermelho, a componente muônica.

⁷ Professor Roberto A. Salmeron é um dos mais renomados físicos brasileiros. Entre muitos cargos como físico, soma o de Pesquisador emérito da Organização Europeia para a Investigação Nuclear (CERN).

Figura 4 – Principais componentes das cascatas cósmicas.

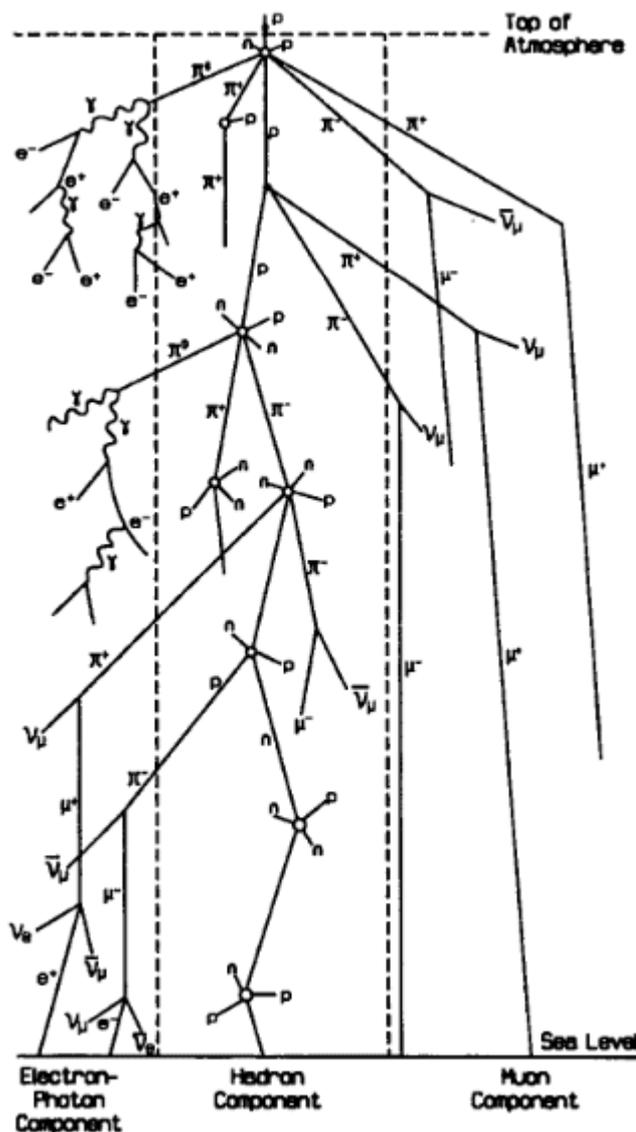


Fonte: (ANJOS; VIEIRA, 2008, p. 77).

Ao incidirem raios cósmicos em nossa atmosfera ocorrem colisões com outros átomos e moléculas, o que desencadeia uma cascata de partículas resultantes e neste processo são criados, entre outras partículas, os múons (linhas em vermelho) e respectivos neutrinos (tracejado).

Pela figura (5) pode-se visualizar a predominância das partículas que efetivamente são percebidas com a câmara de nuvens do presente trabalho, os múons.

Figura 5 – Cascata de partículas elementares.



Fonte: (GRIEDER, 2001, p. 22).

Ainda destaca-se que o fluxo aproximado dessas partículas é de 180 partículas por metro quadrado a cada segundo, ou seja, mesmo considerando toda a superfície terrestre a intensidade de corrente elétrica é desprezível comparada ao nosso cotidiano, conforme aponta R. A. Salmeron (SALMERON, 2012, p.48). Ao comparar esta estimativa com a área do experimento proposto pelo presente trabalho, no qual foi adotado um aquário padrão para peixes (número 2), com dimensões (25 cm x 12 cm x 14 cm), a área superior da câmara é $3 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$.

Ao considerarmos o fluxo proposto, tem-se: $\Phi \approx 180$ partículas carregadas / m^2s .

Que nos dá aproximadamente 5 partículas por segundo.

O valor esperado é coerente com as observações. Ao ajustar-se a filmadora do aparelho celular é possível perceber estes valores.

Apenas mais partículas elementares haviam sido descobertas até 1947, o pósitron, por C. Anderson, e o múon, pela parceria de C. Anderson com S.H. Neddermeyer. O múon é uma das partículas que pode ser vista com o uso da câmara de nuvens que está descrita no texto do Produto Educacional nos apêndices do presente trabalho.

No mesmo contexto, especificamente em 1947, ocorreram descobertas de outras partículas, como o méson pi, ou pión, por César Lattes, Giuseppe Occhialini e Cecil Powell, como aponta R. A. Salmeron (SALMERON, 2012). Muitos outros conjuntos de partículas foram descobertos.

Como veremos, os trabalhos de César Lattes, junto com os de outros grandes físicos brasileiros, foram fundamentais para a consolidação da física nacional. De qualquer forma, fica evidente que o estudo dos chamados raios cósmicos é de grande importância para a física de partículas.

2.2.2 Píons

A descoberta do méson pi estabeleceu uma relação direta com a proposta apresentada anteriormente pelo físico japonês Hideki Yukawa. As ideias de Yukawa estavam embasadas na compreensão que tinha-se sobre os fótons. Assim, se os fótons são as partículas mediadoras das interações eletromagnéticas deveria haver algo semelhante que pudesse estabelecer a mediação entre as partículas constituintes do núcleo. Esta partícula mediadora, segundo Yukawa, deveria apresentar distâncias de ação na ordem da dimensão do núcleo, ou seja, para distâncias maiores seu campo de ação não seria percebido.

De acordo com as previsões as partículas previstas deveriam possuir massas da ordem de cerca de 200 vezes a massa do elétron. Por este motivo foram chamadas inicialmente de mésons, que significa médios. Outro dado importante era o tempo de existência dessas partículas fora da região de núcleo, da ordem de bilionésimos de segundos, o que dificultaria sua percepção.

Os prótons e o nêutrons não são considerados partículas elementares. Na verdade são constituídos por outras partículas menores, chamadas quarks. No entanto, essas estruturas (prótons e nêutrons) são melhor designadas por outro termo: núcleons. O tipo de interação entre estruturas portadoras de cargas elétricas é de caráter eletromagnético. Ou seja, se considerássemos apenas esse tipo de interação não seria possível a existência de um núcleo como o conhecemos, já que nos núcleos atômicos, com exceção do hidrogênio, há muitos prótons e nêutrons. Atribui-se papel mais relevante ao nêutron do que ao próton no que diz respeito à estabilidade do núcleo atômico, como aponta A. Marques⁸ (MAR-

⁸ Professor Alfredo Marques é Pesquisador aposentado do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas - CBPF.

QUES, 2012). Esta ideia é confirmada pela estabilidade de átomos com grande número de massa A .

Entre as muitas buscas para explicar a estrutura nuclear o Professor Hideki Yukawa propôs a existência de uma partícula mediadora, algo que pudesse explicar a força que mantêm estáveis os núcleos atômicos. Assim, como aponta M. C. B. Abdalla (ABDALLA, 2016):

Yukawa achava que deveria haver uma força diferente, e bem mais forte do que a força eletromagnética, capaz de manter o núcleo estável. E foi além. Da mesma forma que o campo eletromagnético produz fótons⁴, achava que essa força mais forte deveria ser capaz de produzir, sob certas condições, algum tipo de nova partícula, e assim previu a existência de uma partícula de massa intermediária entre o próton e o elétron. Essa partícula seria responsável por “carregar” a força forte, da mesma forma que o fóton “carrega” a força eletromagnética. (ABDALLA, 2016, p. 72).

M. C. B. Abdalla ainda destaca na observação (4) do próprio texto que diz:

A força que existe entre dois elétrons é chamada eletromagnética, e o campo de interação entre dois elétrons é o eletromagnético. A partícula elementar que intermedeia a interação entre dois elétrons é o fóton. Dessa forma, dizemos que o campo eletromagnético produz fótons. (ABDALLA, 2016, p. 72).

Os quatro tipos de interações existentes, gravitacional, eletromagnética, forte e fraca, se dão por partículas que são chamadas de partículas mediadoras. Desta forma, a interação entre elétrons, se dá pela partícula mediadora que é o fóton, a interação entre os quarks é do tipo forte, a interação que há no decaimento β (um nêutron decaindo em um próton mais um elétron e um neutrino) é do tipo fraca, e a interação gravitacional se dá entre partículas portadoras de massa. Cada tipo de interação possui seus limites e domínios, como visto em M. A. Moreira (MOREIRA, 2004 e 2009). No entanto pode-se apresentar um quadro resumido:

Tabela 1 – Tipo de interação e partícula mediadora.

| Interações | Intensidade | Mediador |
|-------------------|--------------------|-------------------|
| Forte | 10 | Glúon |
| Eletromagnética | 10^{-2} | Fóton |
| Fraca | 10^{-5} | W^{\pm} e Z^0 |
| Gravitacional | 10^{-40} | Gráviton ? |

Fonte: Adaptado de (ENDLER, 2012).

Assim, como aponta M. A. Moreira (MOREIRA, 2004):

Mediar a interação significa que a força existente entre as partículas interagentes resulta de uma “troca” (emissão e absorção) de outras partículas (virtuais) entre elas. Assim, a força eletromagnética resulta da

troca de fótons entre as partículas (eletricamente carregadas) interagentes. Fótons são portadores da força eletromagnética, são partículas de radiação, não de matéria; (MOREIRA, 2004, p. 11).

Analogamente ao fóton têm-se as outras partículas mediadoras. Como visto, cada uma age em seus limites e domínios.

As ideias de Yukawa não tiveram grande repercussão no ocidente, e recebeu grandes críticas, inclusive de físicos como o neozelandês Niels Bohr, de acordo com A. Marques (MARQUES, 2012, p. 147).

Quando um sistema emite um fóton de energia (E), a conservação de energia impõe que a variação de energia do sistema que o emitiu seja dada por:

$$\Delta E = E. \quad (2.1)$$

O intervalo de tempo (Δt) para que isto ocorra respeita a relação, ou princípio da incerteza, de Heisenberg:

$$\Delta E \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}. \quad (2.2)$$

Sendo (\hbar) a chamada constante de Planck reduzida que é definida por: $\hbar = \frac{h}{2\pi}$, sendo (h) a constante de Planck: $h = 6,63 \cdot 10^{-15} \text{ J} \cdot \text{s}$.

Uma partícula relativística possui velocidade (v):

$$v \approx c. \quad (2.3)$$

Se considerarmos o fóton virtual (inobservável) propagando-se por uma distância da ordem de r_0 teremos:

$$\Delta t = r_0/c. \quad (2.4)$$

Pela relação de Einstein a energia (E) dessa partícula é dada pela relação:

$$E = mc^2. \quad (2.5)$$

Para uma partícula relativística portadora de massa m , usando a equação (2.2), a distância (r_0) será aproximadamente:

$$r_0 \approx \hbar/mc. \quad (2.6)$$

Lembrando que o fóton possui massa nula ($m = 0$), teremos:

$$r_0 \longrightarrow \infty. \quad (2.7)$$

O que é plenamente coerente com a interação coulombiana visto que, mesmo fracamente, manifesta sua presença até o infinito! Porém, ao considerar-se o limite para as interações da ordem do tamanho do núcleo atômico, 10^{-15} m, teremos um valor aproximado para a massa dessa partícula.

$$m \approx \frac{\hbar}{r_0 c}. \quad (2.8)$$

$$m \approx 300m_e. \quad (2.9)$$

Por este motivo, Hideki Yukawa previu a existência de uma partícula com massa intermediária entre a do elétron e a do próton. Essas partículas foram inicialmente chamadas de mésons. Ainda pode-se dizer que uma “abordagem mais refinada mostrou que essa partícula deveria existir numa variedade eletricamente neutra, e duas outras carregadas com cargas $\pm e$ ”, como destaca A. Marques (MARQUES, 2012, p. 148).

Como já visto na discussão sobre raios cósmicos, a produção da cascata cósmica já era conhecida. Também sabia-se sobre a existência de outras partículas. Alguns estudos foram fundamentais para a melhor compreensão sobre a estrutura da matéria, principalmente os estudos de C. Anderson e S. Neddermeyer, bem como, os estudos de J.C. Street e E.C. Stevenson, o primeiro trabalho teve caráter mais analítico, já o segundo, mais experimental, inclusive, “Street e Stevenson foram capazes de atribuir um valor para a massa daquelas partículas: $170 m_e$ ”. Esta partícula foi chamada de méson, deu-se início a tentativa por identificá-la como o méson de Yukawa. Aqui percebe-se a coerência com as propostas apresentadas, uma vez que, para a época, o grau de precisão sobre a medida realizada não permitia dizer o contrário, como aponta A. Marques:

A grande diferença entre o valor da massa observada e o valor previsto não constituía propriamente uma dificuldade porque tanto a estimativa de Yukawa como a medida de Street & Stevenson, baseada num único evento mensurável, eram muito imprecisas. Constituía, sim, um enigma, conciliar a ideia de que tais partículas pudessem ser os agentes da interação nuclear forte (mésons de Yukawa) com o grande poder de penetração dessas partículas, capazes de atravessar toda a atmosfera sem realizar uma só interação para serem encontradas ao nível do mar (e mesmo em túneis subterrâneos em minas a uns poucos quilômetros de profundidade!). (MARQUES, 2012, p. 150).

A interação desta partícula com o núcleo era muito fraca e não mostrava-se coerente com as ideias iniciais, estabelecendo-se mais um enigma, que foi resolvido parcialmente por Shoichi Sakata em 1942. A instabilidade do chamado méson já era conhecida, então

Sakata apresentou um modelo no qual o méson de Yukawa também o seria, conforme apontado por A. Marques (MARQUES, 2012):

Sakata e colaboradores então construíram um modelo segundo o qual a partícula de Yukawa seria também instável, desintegrando-se no méson que em seguida também se desintegraria, conforme as observações de Rasetti: Méson de Yukawa \rightarrow méson + partículas não observadas; méson \rightarrow elétron + partículas não observadas. (MARQUES, 2012, p. 151).

O processo descrito ficou conhecido como desintegração em dois mésons, e a partícula que seria observada (méson) era o produto da desintegração da partícula de Yukawa, no caso, o méson π . A forma como essa desintegração ocorre ficou por muito tempo desconhecida, sendo resolvida, apenas em 1947, por César Lattes, Giuseppe Occhialini e Cecil Powell. Associarmos um campo a uma partícula hoje em dia é bastante comum para quem estuda as forças nucleares, no entanto, a proposta da existência do méson π para explicar essas forças foi duramente criticada “...De fato, precisou-se de quase 15 anos para sua teoria ficar confirmada.”, como destaca T. Kodama⁹, (KODAMA, 1982, p. 225).

2.2.3 Múons

Acreditava-se que a partícula hoje conhecida por múon fosse a partícula proposta pelas ideias de Hideki Yukawa. No entanto, como visto, os trabalhos do grupo de pesquisadores de Bristol, composto, essencialmente por Giuseppe Occhialini, Cecil Powell e César Lattes, com a participação protagonista do Professor César Lattes, mostrou que tal partícula na verdade era a hoje conhecida por pión, como aponta Fauth *et al.* (FAUTH *et al.*, 2010):

Inicialmente acreditou-se que o múon fosse a partícula prevista por Yukawa, mas a descoberta do pión em 1947 [6] pelo grupo de Bristol, com participação decisiva do físico brasileiro Cesar Lattes [7], mostrou ser esta última a prevista pela teoria de Yukawa (FAUTH *et al.*, 2010, p. 4502-2).

Os raios cósmicos de altas energias que inicialmente chegam às camadas mais externas de nossa atmosfera recebem o nome de raio cósmico primário.

Os raios cósmicos primários, geralmente prótons, têm suas primeiras interações geralmente com átomos de oxigênio ou nitrogênio, dando origem a uma porção de partículas secundárias que, mesmo após essas interações, possuem altas energia. Essas primeiras interações ocorrem no topo da atmosfera gerando partículas que também possuem grandes

⁹ Professor Takeshi Kodama é Professor Emérito do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

energias. Novas interações ocorrem a medida que essa cascata se aproxima da superfície terrestre. No primeiro grupo de partículas produzidas estão os píons e káons, os píons em maior quantidade. Os píons podem ser de dois tipos básicos: os neutros (π_0) e os carregados (π^+) e (π^-). Os píons e káons são estruturas compostas que compõem um conjunto maior, chamados hádrons. Os píons neutros decaem em um par de fótons, como destaca Fauth *et al.* (FAUTH *et al.*, 2010):

Os píons neutros possuem uma vida média muito curta, $\sim 10^{-16}$ s [1] e decaem em um par de fótons de alta energia, veja Eq. (2), sendo este o principal processo da origem da denominada componente eletromagnética do CAE. Os fótons por sua vez interagem com o campo coulombiano do núcleo e por produção de par geram um elétron e um pósitron. Estes interagem com o campo eletromagnético do núcleo, sendo freados, e geram mais fótons. (FAUTH *et al.*, 2010, p. 4502-2).

A equação a que se referem os autores evidencia o principal processo da componente eletromagnética do Chuveiro Atmosférico Extenso (CAE), como visto na relação (2.10):

$$\pi^0 = \gamma + \gamma \quad (2.10)$$

Componentes do CAE os píons carregados dão origem a outras partículas ao interagirem com os átomos da atmosfera. Também podem decair em outras partículas, sendo uma dessas o múon. Com isso, como aponta Fauth *et al.* (FAUTH *et al.*, 2010), tem-se:

$$\pi^+ = \mu^+ + \nu_\mu \quad (2.11)$$

$$\pi^- = \mu^- + \bar{\nu}_\mu \quad (2.12)$$

O múon é a partícula que essencialmente será observada no presente trabalho, uma vez que após sua origem pelo processo citado, terá sua trajetória praticamente retilínea até a superfície terrestre, sendo que sua energia será reduzida pelos processos de ionização pelos quais ela passa, mas chegará à superfície, como destacado por Fauth *et al.* (FAUTH *et al.*, 2010):

A maior parte dos múons são criados a uma altitude de aproximadamente 15 km possuindo uma velocidade da ordem de $0,9998c$ (c = velocidade da luz no vácuo). Esta alta velocidade faz com que o seu tempo de vida no sistema de referência do laboratório seja dilatado [11] permitindo que a maioria alcance a superfície da Terra. (FAUTH *et al.*, 2010, p. 4502-2).

O múon é uma partícula instável e decai em outras partículas de acordo com sua carga, como representado abaixo:

$$\mu^+ = e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu \quad (2.13)$$

$$\mu^- = e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu \quad (2.14)$$

O modelo proposto para o estudo das partículas elementares é chamado de Modelo Padrão. Neste modelo existem dois tipos básicos de partículas: os férmions, com spin semi-inteiro ($1\hbar/2, 3\hbar/2, 5\hbar/2, \dots$) e que respeitam o princípio de exclusão de Pauli, ou seja, a estatística de Fermi-Dirac; e os bósons, com spin inteiro ($1\hbar, 2\hbar, 3\hbar, \dots$) e que não respeitam o princípio de exclusão de Pauli, pois respeitam a estatística de Bose-Einstein, como aponta A. M. F. Endler (ENDLER, 2010, p. 27).

Historicamente o múon foi fundamental para o desenvolvimento e a evolução do atual Modelo Padrão, tanto para a identificação direta de partículas e estruturas, quanto para estudos indiretos. Seu estudo é de grande relevância para pesquisas atuais e para o desenvolvimento futuro da Física, como visto em G. A. Alves (ALVES, 2012):

Em qualquer um destes cenários, o múon continuará representando um papel fundamental, uma vez que tanto o bóson de Higgs como as partículas supersimétricas, podem ser facilmente identificadas pelos decaimentos em múons. Uma outra proposta para o futuro, prevê a construção de grandes aceleradores, onde será feita a colisão de múons a altas energias, de forma a se testar o caráter elementar, entre outras coisas. (ALVES, 2012, p. 138).

2.2.4 César Lattes e os mésons

Este capítulo tem como principal objetivo apresentar as principais contribuições, ramificações e os legados da vida e obra do Professor César Lattes, tanto para o desenvolvimento da Física de Partículas, quanto para a Ciência de maneira geral. Também contempla as orientações para a aplicação do produto educacional, conforme a concepção de Historiografia da Ciência, como indica Forato *et al.* (FORATO *et al.*, 2011):

Qualquer narrativa da HC traz, implícita ou explicitamente, os valores, as crenças e as orientações metodológicas do seu autor. O relato histórico da criação de um conceito científico, ou de um debate entre teorias rivais, ou da realização de experimentos, por exemplo, carregam concepções sobre a natureza da ciência e sobre os processos da sua construção. (FORATO *et al.*, 2011, p. 35).

Desta maneira espera-se que uma das características deste trabalho seja a conscientização científica para o exercício da cidadania. Como apontado por importantes estudos

sobre os indicadores de percepção das Ciências, o exercício da cidadania é dado pelos envolvimento, apropriação e valorização das práticas científicas, seus métodos e a defesa da criação de autonomia para a construção de mecanismos de participação e consulta pública, como visto em documento da Red Iberoamericana de Indicadores de Ciencia y Tecnología (RED, 2015, p. 14).

César Lattes foi um dos maiores pensadores mundiais. Professor, pesquisador e defensor da ciência nacional na sua forma mais ampla, com certeza será lembrado por seu legado, inclusive, a maior plataforma nacional de integração de bases de dados de currículos e de instituições da área de ciência e tecnologia, merecidamente, leva seu nome. O professor Odilon A. P. Tavares¹⁰, fala sobre o que aprendeu com César Lattes sobre a Física:

Dele aprendi muitas lições. Aqui, recordo apenas duas delas: a primeira, ele dizia, Física é Natureza, uma investigação constante sobre a natureza do mundo visível e invisível; a segunda, ele insistia em dizer, a história da Física é tão importante quanto a própria Física que fazemos. (TAVARES, 2018, p. 2).

Lattes foi um dos maiores físicos do Brasil e figurou entre os maiores do mundo, formou gerações de brilhantes cientistas e ajudou a fundar o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, contribuindo para que o país se tornasse uma referência mundial em ensino e pesquisa. A importância de Lattes para a Ciência brasileira é enorme, como destacado pelo Portal de Divulgação Científica e Tecnológica do Instituto Brasileiro de Informação em Ciências e Tecnologia (ibict) (CIÊNCIA, 2018):

Cesare Mansueto Giulio Lattes, conhecido como César Lattes, foi um dos cientistas brasileiros mais brilhantes de sua geração. Com apenas 23 anos, ao lado do cientista inglês Cecil Frank Powell e o italiano Giuseppe Occhialini, descobriu uma partícula no interior do núcleo atômico que garante a coesão do átomo: o méson pi. (CIÊNCIA, 2018).

Por volta de 1936 os físicos Seth H. Neddermeyer e Carl D. Anderson ao estudarem aquilo que chamamos de radiação cósmica, tiveram pistas da possível partícula de Yukawa. Apresentava características que a colocava como possível candidata, porém, a previsão era de que ao atravessar núcleos atômicos essa partícula fosse fortemente absorvida pelos componentes do núcleo, o que não foi observado. Esse comportamento não permitiu a conclusão dos trabalhos de Yukawa. É nesse contexto que os trabalhos de César Lattes se mostraram fundamentais.

A solução definitiva para as ideias de Yukawa só veio com a descoberta do méson pi, ou pión. Lattes, Powell e Occhialini concluíram esta parte da história da Física de Partículas em 1947, conforme destaca A. Marques (MARQUES, 2012).

¹⁰ Físico Nuclear do CBPF/MCTI e Pesquisador Titular do CBPF desde 1985.

Após a queda de Mussolini na Itália com o término da segunda grande guerra, Giuseppe Occhialini foi convidado para trabalhar na Universidade de Bristol na Inglaterra, no grupo de pesquisa de Cecil Powell, no qual César Lattes futuramente trabalharia. Após o término dos trabalhos que desenvolvia em Física Teórica com Gleb Wataghin e Mário Schenberg, Lattes estava desencantado com a Física Teórica. Recebe de Occhialini um pedido para que analisasse “fotografias de traços de partículas alfa e prótons registrados nas novas chapas de emulsão fotográfica fabricadas pela Ilford, sediada em Essex (Inglaterra).”, como destaca O. A. P. Tavares (TAVARES, 2018, p. 6). Nesse contexto Lattes se vê motivado pela Física Experimental, e, convidado para integrar o grupo raios cósmicos na Universidade de Bristol liderado pelo Prof. Cecil Powell.

Em seus trabalhos em Bristol, Powell já investigava os traços que partículas ionizadas deixavam em chapas fotográficas especiais, no entanto, foram os trabalhos de Lattes que trouxeram excelentes avanços ao grupo. César Lattes se integrou ao grupo de Powell entendendo melhor os processos de captação das imagens e sugerindo melhoramentos nos métodos de obtenção das trajetórias. Lattes estava motivado pelas imagens obtidas nas emulsões Ilford que havia sido solicitadas ao fabricante pelo próprio Powell. A maneira que as emulsões de Ilford tornavam nítidas as trajetórias permitiu o avanço dos trabalhos, conforme apontam os estudos de O. A. P. Tavares (TAVARES, 2018):

Essas emulsões são as mesmas da fotografia ordinária, isto é, uma dispersão de pequenos grãos de cristais de brometo de prata (AgBr) em gelatina depositada de forma uniforme sobre uma base de vidro plano, diferindo apenas pela concentração de AgBr, cerca de 4 vezes maior do que na fotografia comum... (TAVARES, 2018, p. 7).

O próprio Lattes em entrevista concedida a Jesus De Paula Assis, descreve alguns detalhes das chapas, como visto em J. de P. Assis (ASSIS, 2001):

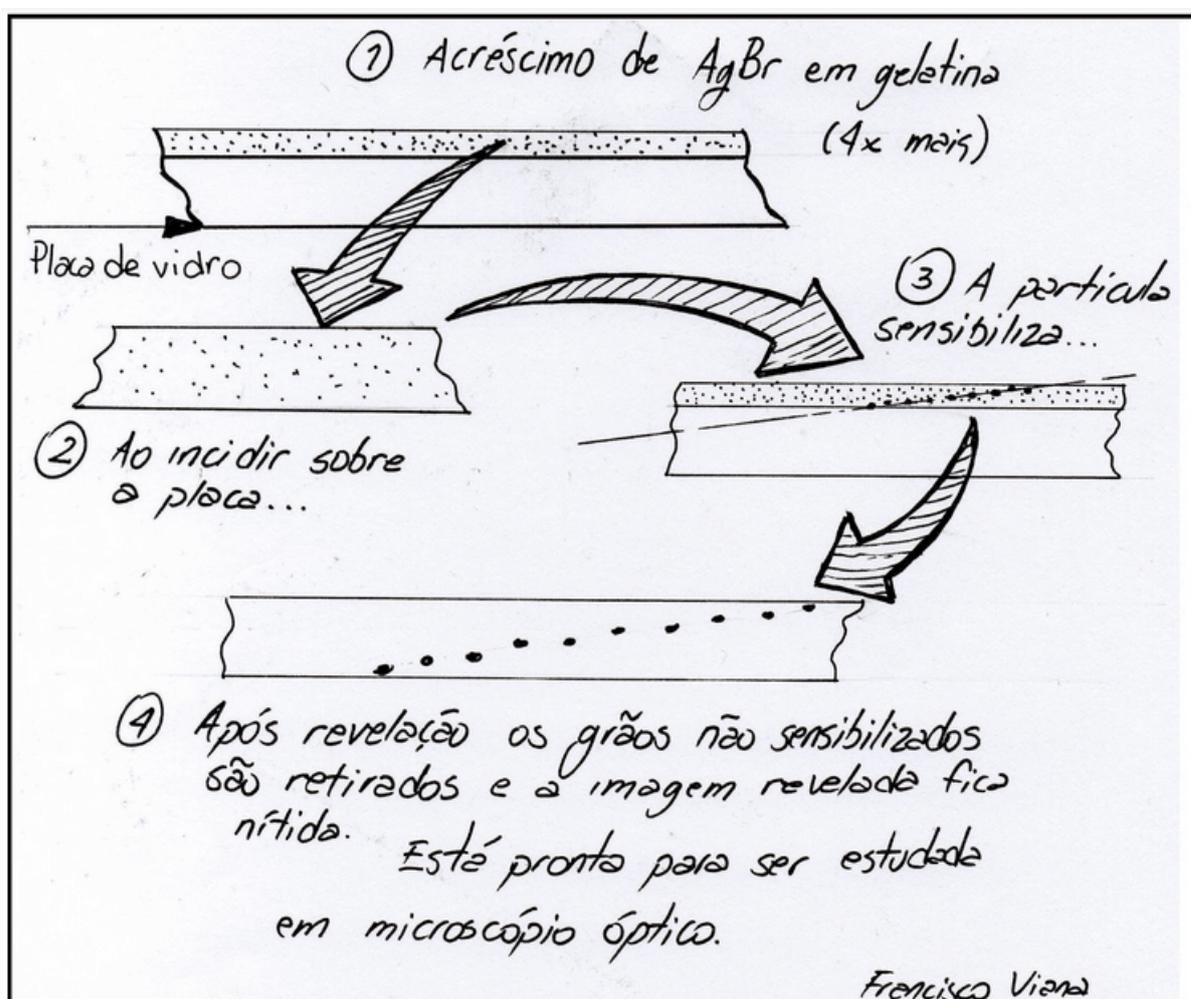
Trata-se de autofotografia. Elas são sensíveis à luz visível, mas como o filme é muito concentrado e espesso, a luz visível só vela para superfície, sem conseguir penetrar. Mesmo que elas sejam expostas com um pouco de luz visível, com álcool você tira essa camada e o resto é transparente, menos os grãos que foram sensibilizados pelos prótons e companhia, além de alguns de fundo. (ASSIS, 2001, p. 43).

César Lattes ainda aponta como foi o contexto dos avanços acerca das chapas, como aponta J. de P. Assis (ASSIS, 2001):

Foi por acaso. Eu queria ver a desintegração de boro em duas alfa e um H^3 . Então pedi à Ilford que fizesse uma chapa contendo bórax e aconteceu que se verificou que as chapas com bórax não tinham enfraquecimento da imagem latente. Ou seja, o próton que bateu na chapa há dois dias deixa uma impressão tão boa quanto a do que bateu hoje. (ASSIS, 2001, p. 44).

Na figura (6) está uma representação de uma dessas placas inspirada no texto de O. A. P. Tavares (TAVARES, 2018) ao descrever a estrutura de uma das placas. É depositada sobre uma placa de vidro uma gelatina rica em brometo de prata quatro vezes mais concentrado que o comum. Neste processo, quando a placa é atravessada por determinadas partículas a região na qual está a gelatina fica ionizada, deixando um traço bem definido. Após a revelação da placa as partículas que não foram sensibilizadas não são fixadas na chapa fotográfica, o resultado é uma imagem bem definida pronta para ser analisada em um microscópio óptico, como visto no trabalho de O. A. P. Tavares (TAVARES, 2018).

Figura 6 – Representação das placas com emulsões Ilford.



Já familiarizado com o uso dessas chapas e com os resultados positivos que teve, principalmente com radiações alfa, Lattes é indicado para estudar os raios cósmicos, consolidando assim sua busca pela compreensão dessas novas partículas.

Lattes solicita à equipe técnica da Ilford que acrescente bórax às placas com o objetivo de verificar o alcance de prótons, as placas foram produzidas com diferentes

alvos, como, Lítio, Berílio, Boro e Níquel. Solicitou também que a produção de placas com tetraborato de sódio (bórax) com a finalidade de obter “...nêutrons de até 13 MeV das reações com boro ($2H + 11B \rightarrow 12C + \text{nêutron}$).” (TAVARES, 2018, p. 8).

A proposta de Lattes era estudar nêutrons provenientes da radiação cósmica ao interagirem com o nêutrons do bórax.

Nesse contexto César Lattes pede a Giuseppe Occhialini que levasse consigo as placas preparadas e as deixasse expostas ao Pic-du-Midi durante suas férias. Neste período os físicos de Bristol tiveram contato com as propostas de Shoichi Sakata e Takeshi Inoue sobre o méson de Yukawa se desintegrar no méstron de Anderson, Street e Nishina, ou seja, a proposta era o decaimento $\text{méson} \rightarrow \text{méstron}$, como aponta O. A. P. Tavares (TAVARES, 2018).

Logo após a visualização das chapas e a percepção de Occhialini sobre a excelente qualidade das imagens, que permitiu finalmente a visualização do decaimento $\text{méson} \rightarrow \text{méstron}$, Lattes apresentou uma observação determinante para o experimento, o bórax aumentava significativamente o intervalo de tempo para a criação das imagens formadas por partículas ionizantes. Assim, as exposições poderiam ser feitas por maiores intervalos de tempo, melhorando a percepção desses fenômenos. A percepção do múon é de grande relevância para os estudos sobre partículas elementares, como aponta G. A. Alves (ALVES, 2018):

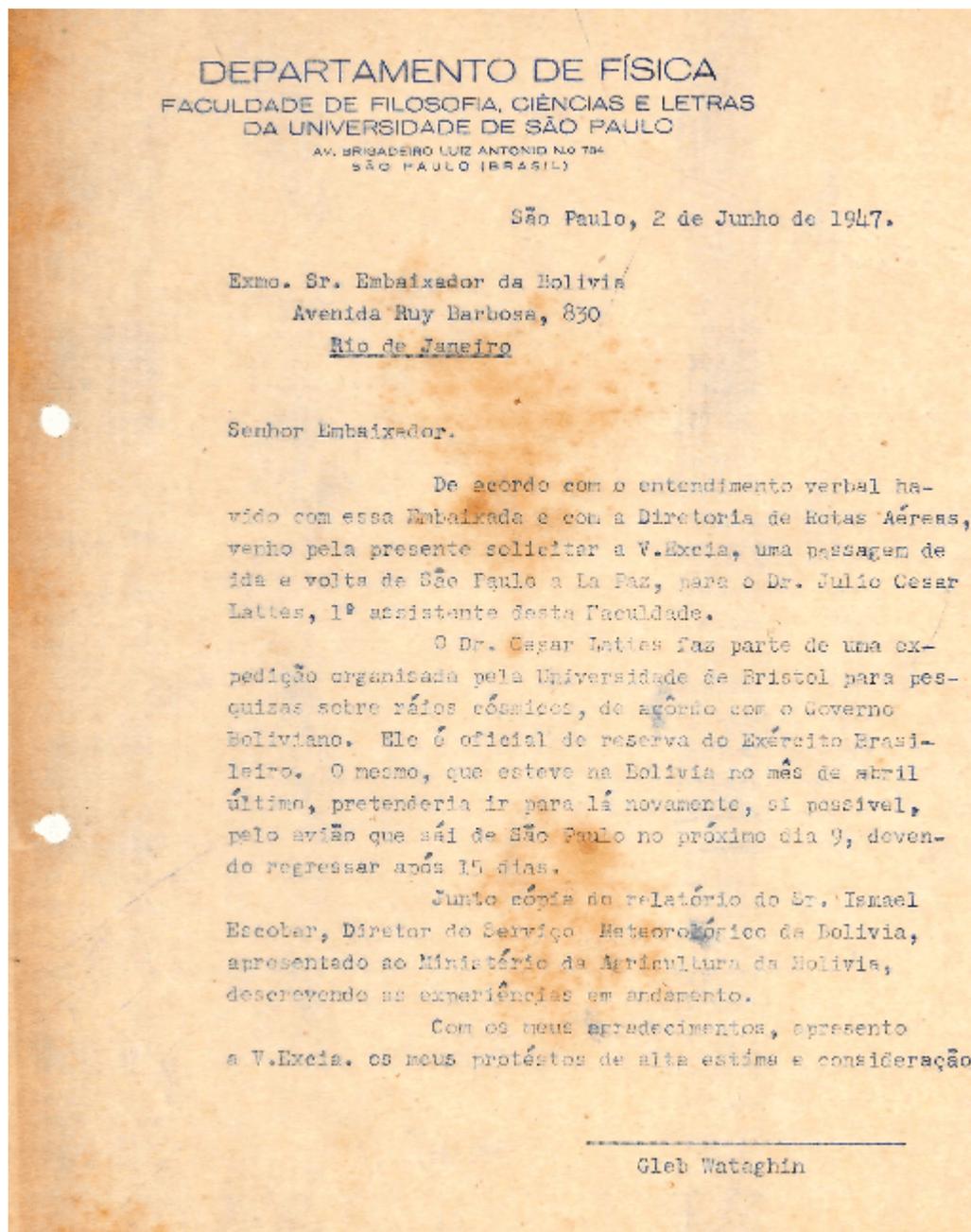
Atualmente o múon ocupa um papel de destaque entre as partículas elementares. Por sua fácil detecção e identificação em colisões de Altas Energias, o múon se tornou uma ferramenta fundamental nas grandes descobertas científicas do último século. (ALVES, 2018, p. 137).

Considerando sua fácil detecção, também por ser uma das partículas elementares que podem ser detectadas com nosso aparato experimental, compreendermos a qual grupo de partículas o múon pertence, faz parte da nossa proposta de sequência de ensino. Outro ponto importante consiste em entendermos que a detecção de um múon pressupõe a existência de um pión. Daí a grande importância em inserirmos esse recorte da Física brasileira.

Embora esses resultados se mostrassem excelentes para a época, Lattes percebeu que deveria expor as chapas em maiores altitudes para “enriquecer a estatística com novos eventos”, como aponta G. A. Alves (MARQUES, 2018, p. 152).

Foi assim que o físico encontrou na Bolívia uma montanha com pico de 5600 metros com estrada até 5200 metros nos arredores de La Paz, o Monte Chacaltaya. De acordo com o acervo histórico do Instituto de Física da Universidade de São Paulo, a solicitação para a viagem de César Lattes para a Bolívia, cujo trabalho resultou na descoberta do méson π , foi solicitada pelo próprio Gleb Wataghin, com visto na figura (7):

Figura 7 – Carta de Gleb Wataghin ao Embaixador da Bolívia.



Fonte: (IFUSP, 1947).

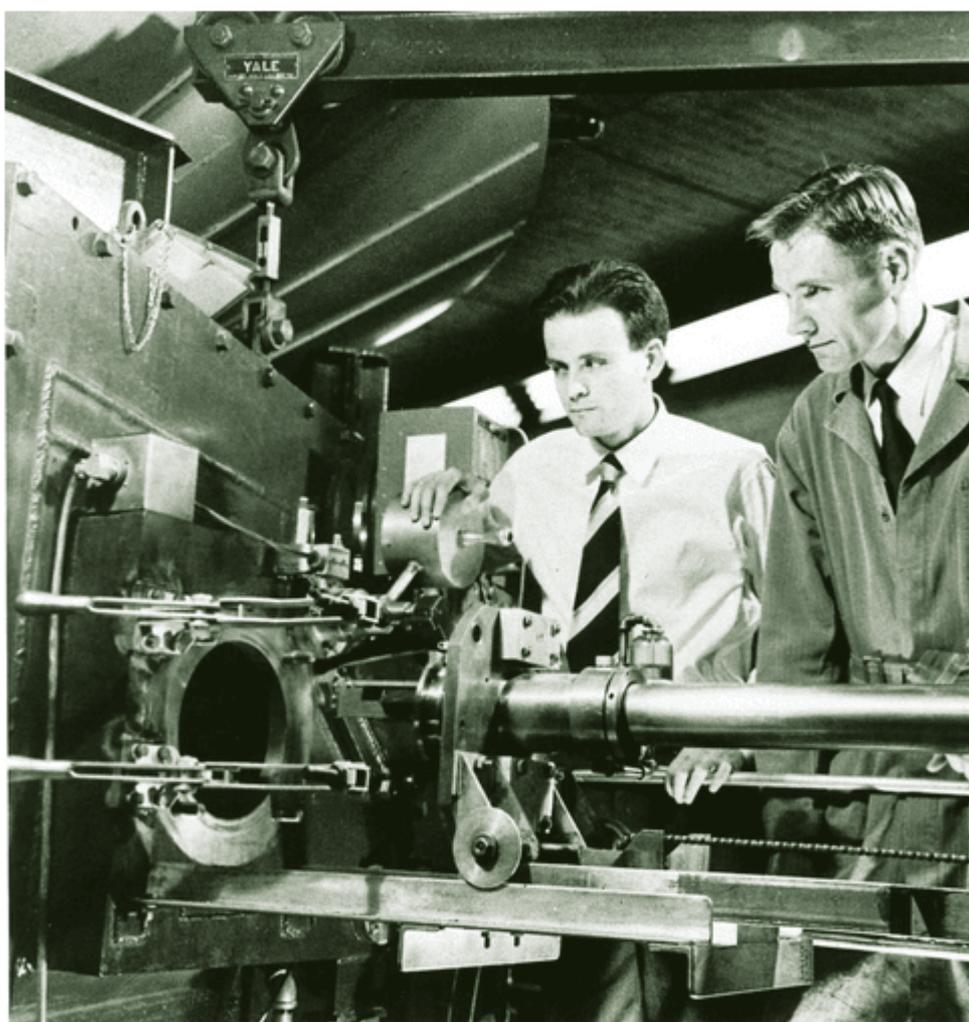
O principal objetivo da expedição foi a melhoria dos dados estatístico, dado o enorme volume de eventos que poderiam ser coletados nessas altitudes. Esses novos estudos contribuíram para melhorar a estatística do experimento e consequentemente valores mais precisos das massas, mas a dúvida quanto à interação nuclear permanecia. Esta dúvida só foi resolvida em 1948, como aponta A. Marques (MARQUES, 2018, p. 152):

...as dúvidas quanto à forte interação nuclear daquela partícula so-

mente foram definitivamente removidas no ano de 1948, quando Gardner e Lattes demonstraram a produção dessas partículas em alvos de Carbono bombardeados por partículas α no recém construído sincrociclotron de 180 MeV da Universidade de Berkeley. Nestes experimentos ficaram também manifestos os dois estados de carga π^+ e π^- da partícula de Yukawa; a componente neutra, π^0 , foi detectada logo a seguir. (MARQUES, 2018, p. 152).

Em artigo da Revista da FAPESP de abril de 2005, e atualizado em março de 2019, a figura (8) destaca Gardner e Lattes logo após a conclusão dos estudos:

Figura 8 – Lattes e Gardner em Berkeley em 1948.



Fonte: (MARCOLIN, 2005).

O artigo, publicado na Revista Nature em 24 de maio de 1947, ainda foi seguido de outros dois em outubro do mesmo ano, onde Lattes, Occhialini e Powell apresentaram todos os dados, análises e registros que evidenciaram os dois mésons, o de Yukawa, pión

(da interação forte), e o de Anderson, Street e Nishina, múon (da interação fraca), segundo O. A. P. Tavares (TAVARES, 2018, p. 15).

Após todos os eventos mencionados, em dezembro do mesmo ano, o Professor Lattes foi recebido por Niels Bohr. Na ocasião explicou sua intenção em visitar o acelerador da Universidade de Berkeley (EUA) para detectar mésons que poderiam estar sendo produzidos no ciclotron de 184 polegadas (maior acelerador de partículas na época), como visto no trabalho de O. A. P. Tavares (TAVARES, 2018, p. 16). Lattes foi incentivado por Bohr a continuar sua busca, mas chegou em Berkeley no início de Fevereiro de 1948, após casar-se com a matemática Martha Siqueira Netto.

Ao unir-se a Eugene Gardner em Berkeley, Lattes começa a trabalhar no aparato experimental com o uso das chapas com as emulsões Ilford. A quantidade de mésons produzidos no experimento era cerca de cem vezes a quantidade percebida em quarenta dias no Monte Chacaltaya, logo a dupla conseguiu as primeiras imagens do píons produzidos em aceleradores de partículas.

Os trabalhos de Lattes trouxeram, além das conquistas específicas em suas pesquisas, avanços e parcerias que ajudaram a consolidar a Física no Brasil, entre eles, a parceria Brasil-Japão para o estudo de Raios Cósmicos, que culminou na criação do Laboratório de estudos de Raios Cósmicos no Monte Chacaltaya, mas, além disso, em sequência cronológica, temos os desdobramentos diretos e indiretos dessas conquistas, como aponta O. A. P. Tavares (TAVARES, 2018, p. 33):

Tabela 2 – Desdobramentos diretos e indiretos dos trabalhos de César Lattes

| <i>Diretos</i> | |
|---|---|
| 1949 | Criação do CBPF - Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas |
| 1951 | Criação do CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico |
| 1952 | Criação do IMPA - Instituto Nacional de Matemática Pura e Aplicada |
| 1956 | Criação da CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear |
| 1960 | Criação da CLAF - Centro Latino-Americano de Física |
| 1962 | Criação da CBJ - Colaboração Brasil-Japão - de Raios Cósmicos |
| <i>Indiretos: com a criação da CBPF</i> | |
| 1951 | Laboratório de Física Cósmica (Chacaltaya, La Paz, Bolívia) |
| 1980 | Criação da LNCC - Laboratório Nacional de Computação Científica |
| 1986 | Criação do LNL - Laboratório Nacional de Luz Síncrotron |

Fonte: Adaptado de (TAVARES, 2018, p. 33).

Deve-se destacar também que a iniciativa para utilizar os aceleradores de partículas (sincrociclotron) com seus respectivos acertos também foram frutos desses estudos, o que viabilizou a construção de máquinas maiores e mais completas, contribuindo para o estudo das partículas elementares e a Física de altas energias.

A contribuição do Professor César Lattes, como visto, transcende o aspecto único de avanço científico. Lattes abriu portas para a Ciência brasileira, junto com muitos outros

cientistas de seu tempo e de nossa História. Mostrou que é possível fazermos Ciência em alto nível mesmo em condições adversas, embora seja muito difícil. Outro notável expoente de nossa história é o Professor José Leite Lopes. Em brilhante trabalho de construção histórica da Física no Brasil, com textos organizados pela Professora Amélia Império Hamburger, uma das grandes físicas e divulgadoras científicas brasileiras, o Professor José Leite Lopes apresenta um trecho de uma das muitas correspondências trocadas com Lattes durante o período em que Lattes esteve em Bristol e aponta a postura do Professor Lattes na maneira como concebia a Ciência enquanto instrumento de construção social, como destaca J. L. Lopes (LOPES, 2004)::

Estou perfeitamente disposto a ir trabalhar aí em condições muito menos favoráveis do que a que (estou me referindo à parte científica e à possibilidade material de pesquisa não à parte profissional) porque acho que é muito mais interessante e difícil formar uma boa escola num ambiente precário do que ganhar o prêmio Nobel trabalhando no melhor laboratório de física do mundo. (LOPES, 2004, p. 155).

Registra-se aqui essa humilde homenagem ao Professor César Lattes que tanto fez pela Ciência brasileira.

2.2.5 Introdução à Física de Partículas em Nível Universitário

As ideias de Hideki Yukawa foram fundamentais para o desenvolvimento da Física de Partículas. As experiências foram ancoradas, principalmente, nos estudos sobre a radiação cósmica. Na época foram a principal fonte de partículas de altas energias.

Como já visto, o trabalho de Yukawa apresentava explicações sobre as forças nucleares que agiam entre os núcleons (prótons e nêutrons). As interações eletromagnéticas são mediadas pelos fótons. Hideki Yukawa demonstrou que o motivo da força eletromagnética ser de longo alcance se dá pela massa zero do fóton, ou seja, o alcance estaria relacionado com a massa da partícula mediadora, como apresentado por A. M. F. Endler (ENDLER, 2010).

Yukawa partiu da já conhecida equação de Klein-Gordon para realizar sua análise do problema.

Para compreender esta equação pode-se partir da relação clássica entre energia e momento, como visto no livro de D. Griffiths (GRIFFITHS, 2008, p. 225):

$$E = \frac{p^2}{2m} + V, \quad (2.15)$$

Em que (E) é a energia, (p) é o momento, (m) a massa e (V) a energia potencial da partícula estudada.

Relativisticamente esta relação de energia será dada por:

$$E^2 - p^2 c^2 - m^2 c^4 = 0, \quad (2.16)$$

Considerando os operadores apropriados adotados na mecânica quântica para a energia (E) e o momento (p) não relativísticos, tem-se:

$$E \rightarrow i\hbar \frac{\partial}{\partial t}, \quad (2.17)$$

$$p \rightarrow -i\hbar \nabla, \quad (2.18)$$

e permitindo que o operador atue na função de onda ψ , tem-se:

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \psi + V\psi = i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t}, \quad (2.19)$$

que é a equação de Schrödinger.

$$\nabla^2 \psi - \frac{mc^2}{\hbar^2} \psi - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = 0. \quad (2.20)$$

Para determinar a equação de Klein-Gordon parte-se da mesma equação relativística, no entanto, por tratar-se de partículas livres, não será considerada a energia potencial, ou seja, a equação (2.16) pode ser apresentada da seguinte forma:

$$p^u p_u - mc^2 = 0. \quad (2.21)$$

As equações (2.17) e (2.18) não sofrem alterações. E considera-se:

$$p_u \rightarrow i\hbar \partial_u, \quad (2.22)$$

considerando:

$$\partial_u \equiv \frac{\partial}{\partial x^u}, \quad (2.23)$$

com isso as quatro componentes podem ser representadas por:

$$\partial_0 = \frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial t}, \partial_1 = \frac{\partial}{\partial x}, \partial_2 = \frac{\partial}{\partial y}, \partial_3 = \frac{\partial}{\partial z}. \quad (2.24)$$

Desta forma, substituindo a equação (2.22) na equação (2.21) e aplicando as derivadas, operando na função de onda (ψ), tem-se:

$$-\hbar^2 \partial^u \partial_u \psi - m^2 c^2 \psi = 0, \quad (2.25)$$

ou:

$$-\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} + \nabla^2 \psi = \left(\frac{mc}{\hbar}\right)^2 \psi. \quad (2.26)$$

que é a equação de Klein-Gordon, como visto no livro de D. Griffiths (GRIFFITHS, 2008, p. 226) e que "descreve o campo escalar ψ associado às partículas de massa m ", como aponta A. M. F. Endler (ENDLER, 2010, p.2).

Ao considerar uma massa $m = 0$, tem-se a equação de onda eletromagnética:

$$\nabla^2\psi - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2\psi}{\partial t^2} = 0, \quad (2.27)$$

se a massa considerada for diferente de zero, $m \neq 0$, tem-se a parcela independente do tempo dada por:

$$\nabla^2\psi - \frac{mc^2}{\hbar^2}\psi = 0, \quad (2.28)$$

que possui solução esfericamente simétrica para $r > 0$:

$$\psi = \frac{g}{r} \exp\left(-\frac{mcr}{\hbar}\right). \quad (2.29)$$

na qual g é chamada constante de acoplamento.

Desta forma, ao considerar-se pequenos valores para r , a força terá módulo aproximado:

$$F = \nabla\psi \simeq \frac{g}{r^2} \left(1 - \left(\frac{mcr}{\hbar}\right)^2\right), \quad (2.30)$$

sendo que a força será nula para,

$$r_0 = \frac{\hbar}{mc}. \quad (2.31)$$

O alcance desta força será dado pelo comprimento de onda de Compton, \hbar/mc .

Como visto anteriormente a partícula proposta por Yukawa detectada por Lattes, Occhialini e Powell, é hoje chamada de pión. O alcance estimado para esses estudos é da ordem de 10^{-13} cm, o que define a massa na ordem de 200 MeV.

É possível fazermos uma estimativa para esta massa usando como ponto de partida o princípio da incerteza, como apresentado por A. M. F. Endler (ENDLER, 2010):

Este resultado pode também ser obtido aplicando o princípio de incerteza na descrição do campo nuclear em termos de troca de píons. Nesta descrição, o núcleon é considerado como uma partícula que emite continuamente píons (até uma distância equivalente ao alcance das forças nucleares) e os reabsorve de tal forma que o núcleon é efetivamente circundado por uma nuvem de píons. A não conservação temporária de energia que é implícita nos dois estados, núcleon \rightarrow núcleon + méson é possível intervalo de tempo permitido pelo princípio da incerteza, $\Delta E \Delta t \sim \hbar$ sendo ΔE igual à energia de repouso mesmo e Δt igual ao tempo em que o núcleo existe na condição núcleon méson. (ENDLER, 2010, p. 3).

Em uma primeira estimativa ao adotar-se o intervalo de tempo $\Delta t = r_0/c$, com $r_0 = 10^{-13}$ cm tem-se:

$$\Delta E \Delta t \sim \frac{r_0 \Delta E}{c} \sim \hbar, \quad (2.32)$$

um valor aproximado para a massa do pión será,

$$Para \rightarrow r = 10^{-15} \text{ m} \rightarrow 200 \text{ MeV}. \quad (2.33)$$

No entanto, a troca de méson entre os prótons em um núcleo deveria violar, temporariamente a conservação de energia em uma quantidade dada por, mc^2 (a energia restante do méson). Como aponta D. Griffiths: “O princípio da incerteza de Heisenberg diz que você pode "emprestar" um ΔE de energia, desde que você “pague de volta”, desta forma, há um “empréstimo” de energia $E = mc^2$ em tempo suficiente para que o méson passe de um próton para o outro, em um período Δt dado por $\Delta E \Delta t = \hbar$ (onde $\hbar = h/2\pi$).” (GRIFFITHS, 2008, p. 56, tradução nossa).

Esta estimativa possui alguns equívocos conceituais. Por exemplo, em um átomo conclui-se que a massa do fóton é de cerca de $7 \cdot 10^{-30}$ g, o que é um absurdo, como destaca D. Griffiths (GRIFFITHS, 2008, tradução nossa):

Além disso, é uma desigualdade, $\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar/2$, que no máximo, poderia fornecer um limite inferior para m . Normalmente, é verdade que o alcance de uma força é inversamente proporcional à massa do mediador, mas o tamanho de um estado ligado nem sempre é uma boa medida do alcance (é por isso que o argumento falha no fóton: força eletromagnética é infinita, mas o tamanho de um átomo não é) (GRIFFITHS, 2008, p. 56, tradução nossa).

Embora seja uma estimativa coerente para o caso do pión, não se pode entendê-la como conceitualmente adequada.

2.2.6 Tipos de interação

A Física de partículas busca por respostas fundamentais sobre a estrutura da matéria, ou seja, saber do que a matéria é feita nas suas estruturas mais fundamentais. De acordo com o modelo aceito tudo que conhecemos é composto por um conjunto bastante pequeno de estruturas que chamamos de partículas elementares.

Uma das principais características dessas partículas é a indistinguibilidade. Por exemplo, um elétron que compõem um átomo de hidrogênio é idêntico ao elétron que compõem um átomo de nitrogênio em qualquer lugar do universo. Quando livres não podem ser distinguíveis, como aponta D. Griffiths (GRIFFITHS, 2008).

No entanto, é possível compreender o comportamento dessas estruturas por campos da Física, considerando as dimensões e as velocidades, como aponta a tabela abaixo:

Tabela 3 – Campo de investigação da partícula.

| Redução de tamanho → | |
|-------------------------|--|
| Aumento de Velocidade ↓ | Mecânica Clássica Mecânica Quântica |
| | Mecânica Relativística Teoria Quântica de Campo |

Fonte: Fonte: Adaptado de (GRIFFITHS, 2008).

Por isso, em nossa percepção cotidiana, vemos um mundo governado pela Mecânica Clássica. Porém, para objetos que possuem velocidades próximas à velocidade da Luz a melhor abordagem é dada pela Mecânica Relativística. Caso os objetos de estudo sejam da ordem das dimensões nucleares, adota-se a Mecânica Quântica. Por fim temos os dois extremos, corpos de dimensões nucleares e portadores de velocidades de ordem relativísticas, são estudados pela Teoria Quântica de Campos, como aponta D. Griffiths (GRIFFITHS, 2008).

Na natureza são conhecidas quatro tipos de interações: forte, fraca, eletromagnética e gravitacional, como pode ser visto na tabela abaixo, que contempla também a intensidade e o alcance. “A intensidade da interação se reflete na forma de uma constante de acoplamento do elemento de matriz de transição para o processo considerado”, como aponta A. M. F. Endler (ENDLER, 2010, p. 13). Cada tipo de interação evidencia uma propriedade da matéria, como aponta M. A. Moreira (MOREIRA, 2009):

Cada uma delas é devida a uma propriedade fundamental da matéria: massa (interação gravitacional), carga elétrica (interação eletromagnética), cor (interação forte) e carga fraca (interação fraca). Se chamarmos cada uma dessas propriedades de carga teremos quatro cargas: carga massa, carga elétrica, carga cor e carga fraca. (MOREIRA, 2009, p. 1306-2).

Com isso uma estimativa das intensidades, alcances e vidas médias podem ser apontados pela tabela abaixo.

Tabela 4 – Tipos de interação

| Interações | Intensidade | Alcance (cm) | Vidas médias (s) |
|-----------------|-------------|----------------|------------------|
| Forte | 10 | 10^{-13} | 10^{-23} |
| Eletromagnética | 10^{-2} | ∞ | 10^{-16} |
| Fraca | 10^{-5} | $\ll 10^{-13}$ | 10^{-8} |
| Gravitacional | 10^{-40} | ∞ | - |

Fonte: Adaptado de (ENDLER, 2010).

2.2.7 Unidades Naturais

Existem alguns padrões que são frequentemente adotados para no estudo da Física de Partículas, por exemplo, a constante de Planck dividida por (2π) , \hbar , e a velocidade

da Luz no vácuo c . Assim, ao escolher-se adequadamente um padrão para massa, como a massa do próton e adotando $\hbar = c = 1$, tem-se:

- Unidade de comprimento, o comprimento de onda Compton da partícula: $\lambda = \hbar/(m_0 \cdot c)$;
- Unidade de tempo, o intervalo de tempo associado à Luz percorrer a unidade de comprimento.

Com o uso desses padrões os cálculos se mostram mais adequados às ordens utilizadas neste campo do conhecimento. “Estas unidades facilitam os cálculos, mas o resultado final é sempre convertido às unidades usuais, como o segundo, o centímetro, o MeV, etc.”, como visto em A. M. F. Endler (ENDLER, 2010, p. 15).

Ao adotar-se o próton como partícula padrão tem-se a tabela abaixo:

Tabela 5 – Unidades naturais (adotando-se o próton como partícula padrão).

| | |
|--------------------|---------------------------------------|
| Comprimento | 0,21 fermi = $0,21 \cdot 10^{-13}$ cm |
| Massa | 938 MeV/ c^2 |
| Energia | 938 MeV |
| Momento | 938 MeV/ c |

Fonte: Adaptado de (ENDLER, 2010)

2.2.8 Classificação das Partículas

Nesta seção será apresentada de forma sucinta a classificação das Partículas Elementares. Não há, portanto, pretensões em apresentar a forma como foram descobertas ou suas particularidades, mas sim, uma pequena representação do Modelo Padrão complementar a compreensão acerca das famílias das Partículas Elementares. Outros autores apresentam enfoques mais consistentes com fundamentação teórica comprovada, como M. C. B. Abdalla (ABDALLA, 2016), Caruso *et al.* (CARUSO *et al.*, 2012), A. M. F. Endler (ENDLER 2010), D. Griffiths (GRIFFITHS, 2008) e M. A. Moreira (MOREIRA, 2009) entre tantos outros.

A principal forma para classificar as partículas elementares é pelo principal tipo de interação. É importante destacar que todas as partículas estão sujeitas à interação gravitacional. O hádrons são as partículas elementares em que a principal interação é dada pela força nuclear forte, mas também possuem interação fraca e eletromagnética, os léptons, são as partículas em que predominam as interações fracas e as partículas que possuem cargas elétricas também possuem interação eletromagnética, como destaca A. M. F. Endler (ENDLER, 2010, p. 27).

Como visto na seção sobre os múons há a classificação em relação ao spin das partículas. As partículas com spin semi-inteiro são chamadas férmions e as partículas com spin inteiro são chamadas bósons, como apresentado por M. A. Moreira (MOREIRA, 2009):

De acordo com o Modelo Padrão, *léptons* e *quarks* são partículas verdadeiramente elementares, no sentido de não possuírem estrutura interna. Partículas que têm estrutura interna são chamadas de *hádrons*; são constituídas de *quarks*: bárions quando formadas por três quarks ou três antiquarks, ou *mésons* quando constituídas por um quark e um antiquark. (MOREIRA, 2009, p. 1306-1).

Os hádrons, como visto, são compostos por partículas elementares, os quarks. Porém, os quarks não são encontrados isolados, sempre em pares ou trios. Esta relação é conhecida como confinamento, como descreve M. A. Moreira (MOREIRA, 2009). A família dos férmions é composta pelos quarks e léptons, que podem ser apresentados por suas gerações, como aponta G. A. Alves (ALVES, 2012):

Tabela 6 – Os férmions e suas gerações.

| férmions | Primeira geração | Segunda geração | Terceira geração |
|-----------------|--|---------------------------------------|---------------------------------------|
| <i>quarks</i> | <i>u (up)</i> | <i>c (charm)</i> | <i>b (botton)</i> |
| <i>quarks</i> | <i>d (down)</i> | <i>s (strange)</i> | <i>t (top)</i> |
| <i>léptons</i> | <i>e (elétron)</i> | μ (<i>múon</i>) | τ (<i>tau</i>) |
| <i>léptons</i> | ν_e (<i>neutrino do elétron</i>) | ν_μ (<i>neutrino do múon</i>) | ν_τ (<i>neutrino do tau</i>) |

Fonte: Adaptado de (ALVES, 2012).

Os quarks e léptons e suas respectivas gerações são apresentados nas tabelas abaixo:

Tabela 7 – Os quarks e suas gerações.

| Primeira geração | Segunda geração | Terceira geração |
|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| <i>u (up)</i> | <i>c (charm)</i> | <i>b (botton)</i> |
| <i>d (down)</i> | <i>s (strange)</i> | <i>t (top)</i> |

Fonte: O próprio autor.

Tabela 8 – Os léptons e suas gerações.

| Primeira geração | Segunda geração | Terceira geração |
|--|---------------------------------------|---------------------------------------|
| <i>e (elétron)</i> | μ (<i>múon</i>) | τ (<i>tau</i>) |
| ν_e (<i>neutrino do elétron</i>) | ν_μ (<i>neutrino do múon</i>) | ν_τ (<i>neutrino do tau</i>) |

Fonte: O próprio autor.

As interações entre essas partículas se dão pelas partículas chamadas mediadoras. Com isso a partícula mediadora da força elétrica é o fóton, a partícula mediadora da

força forte é o glúon, da força fraca são os bósons Z e W , e, da força gravitacional, ainda não detectada o gráviton. Esse conjunto de partículas mediadoras compõem os bósons, são chamadas de partículas virtuais e podem, ou não, serem portadoras de massa, como explica M. A. Moreira (MOREIRA, 2009):

As partículas mediadoras podem não ter massa, mas têm energia,⁷ ou seja, são pulsos de energia. Por isso são chamadas de virtuais. Dos quatro tipos de partículas mediadoras,⁸ as do tipo W e Z têm massa, mas é comum chamá-las todas de partículas virtuais. Poder-se-ia, então, dizer que as partículas de matéria ou partículas reais⁹ (léptons, quarks e hádrons) interagem trocando partículas virtuais (fótons, glúons, W e Z , e grávitons). (MOREIRA, 2009, p. 1306-2).

As partículas elementares possuem suas antipartículas, desta forma, a descrição apresentada, apenas mostra uma parte do Modelo Padrão e aponta, de forma simplificada que a Gravitação está perfeitamente integrada ao modelo, o que seria um equívoco, como aponta M. A. Moreira (MOREIRA, 2009). No entanto, serve como elemento introdutório para a compreensão das interações e partículas integrantes.

3 METODOLOGIA DE PESQUISA E ENSINO

3.1 Tipos de análises e suas aplicações em pesquisas educacionais

Do ponto de vista metodológico os estudos sobre Educação apresentam os mais variados percursos e abordagens. Uma das mais complexas decisões para a realização de um projeto de pesquisa neste campo consiste na escolha entre métodos quantitativos, qualitativos ou mistos. No presente trabalho adota-se uma investigação mista, uma vez que são apresentadas algumas análises quantitativas.

O aprendizado pode ser verificado pelas características cognitivas e socioemocionais, nas quais predominam a abordagem qualitativa, uma vez que possibilita a abordagem mais próxima da situação escolar, como apontam F. M. T. dos Santos e I. M. Greca (SANTOS; GRECA, 2013):

Os estudos quantitativos, que usavam a estatística inferencial, foram sendo substituídos por estudos qualitativos, caracterizando, como vantagem da abordagem qualitativa, o fato de ela facilitar a compreensão de uma dada situação educacional em vez da simples manipulação de variáveis. (SANTOS; GRECA, 2013, p. 16).

As pesquisas sobre Ensino de Ciências na América Latina e no mundo possuem intensas convergências metodológicas. Destaca-se o uso de métodos qualitativos nas investigações sobre Educação na década de 2000 com um percentual acima de 70 %. Essas taxas possuem referências em importantes periódicos sobre o tema, como “a revista *Enseñanza de las Ciencias*, a revista *Investigações em Ensino de Ciências (IENCI)* e a revista *Ciência & Educação*, no período 2000-2009”, como apontam F. M. T. dos Santos e I. M. Greca (SANTOS e GRECA, 2013, p. 17). Parte significativa dos pesquisadores em ensino de Ciências possuem uma formação inicial em Ciência dura. Por este motivo, ao se depararem com a pesquisa em Ensino de Ciências, percebem as múltiplas faces desse campo de conhecimento, encontrando melhor aderência metodológica em análises qualitativas, como destacado por F. M. T. dos Santos e I. M. Greca (SANTOS; GRECA, 2013, p. 17). O mesmo estudo aponta para a importância do método quantitativo em alguns casos e a sua necessidade em determinados trabalhos, desta forma, para a análise e inferência em estudos em sala de aula recomenda-se fortemente o método qualitativo.

É importante destacar que entre as muitas possibilidades para o uso de abordagem qualitativa deve-se considerar que “todas partilham, até certo ponto, o objectivo de

compreender os sujeitos com base nos seus pontos de vista”, como apontam R. Bogdan e S. Biklen (BOGDAN; BIKLEN, 1994, p. 54). Pode-se compreender que:

Para todos os efeitos, o investigador faz interpretações, devendo possuir um esquema conceptual para as fazer. Os investigadores qualitativos pensam que o facto de abordarem as pessoas com o fito de compreenderem o seu ponto de vista ainda que não constitua algo de perfeito é o que menos distorce a experiência dos sujeitos. (BOGDAN; BIKLEN, 1994, p. 54).

A análise qualitativa adotada pretende compreender os processos de aprendizagem através das interações entre os estudantes e a unidade de ensino. Levou-se em consideração as transformações que a própria unidade de ensino sofreu ao longo do processo.

A etapa final da proposta considerou a forma pela qual a investigação em ciências dá-se com o uso de um experimento de baixo custo no ensino médio. Por isso a montagem parcial foi feita pelos próprios estudantes. Esses procedimentos foram adotados para que a vivência experimental pudesse ser inserida de forma gradual e autônoma. Deve-se lembrar que os tópicos tratados mostraram-se novidade para a grande maioria dos envolvidos.

Existem muitas formas para denominar e diferenciar as pesquisas e métodos em Educação, inclusive sobre o uso do termo educação, que vai desde o significado mais amplo ao mais específico “por exemplo, com distinguir educação em geral - fato social que permeia a sociedade como um todo e seus vários instituídos - de educação escolar – aquela que a escola provê”, como aponta B. A. Gatti (GATTI, 2012, p. 15). Ainda destaca-se a multiplicidade de formas e práticas para a efetividade das pesquisas, evidenciado também pelos estudos de B. A. Gatti:

As concepções destacadas se entrelaçam com várias formas e caminhos possíveis para colher e trabalhar dados em investigações das situações de ensino e de aprendizagem escolar ou a processos formativos de diferentes naturezas e níveis (por exemplo, a formação básica de professores ou a continuada, a formação de técnicos ou especialistas, a formação dos jovens etc); ou, ainda, a processos de gestão. Elas subjazem a diferentes formas no desenvolvimento das pesquisas. (GATTI, 2012, p. 23).

Por este motivo adotou-se a vertente que busca analisar as visões e concepções construídas por aqueles que aprendem, pois é de interesse a compreensão acerca dos saberes, não somente os conteúdos específicos, como destaca B. A. Gatti (GATTI, 2012):

O foco são os processos de aprendizagem das crianças ou jovens, gerando o que se poderia caracterizar como abordagem cognitivista, em que os sujeitos aprendentes são o foco, não o que há para aprender ou o que se considera desejável que aprendam em determinada sociedade, por razões históricas. Não há um olhar sobre o valor dos conteúdos dos saberes em situações sociais determinadas. (GATTI, 2012, p. 24).

Embora os conteúdos específicos sejam fundamentais não constituem o principal objeto do estudo, mas sim, a forma como as(os) estudantes se relacionam com o desenvolvimento e a aplicação da proposta.

O desenvolvimento metodológico se dá por dois tópicos estruturantes:

- Construção da sequência didática e Aplicação em sala de aula;
- Avaliação do projeto de Unidade de Ensino e redesenho.

3.2 Construção da sequência didática e Aplicação em sala de aula

A construção da sequência deu-se inicialmente pela caracterização da população do estudo, pelo desenvolvimento dos questionários e pela divisão dos encontros pedagógicos.

A população que caracteriza o objeto de estudo foi composta por dois grupos de estudantes do ensino médio, subdivididos entre estudantes do primeiro ano e estudantes que foram para o último ano do ensino médio, e o segundo grupo, formado por estudantes que já terminaram o ensino médio e frequentavam um curso pré-vestibular.

A escolha dos grupos neste formato é justificada pelo fato de que as impressões sobre a Física evoluem com a experiência educacional. Sendo a concepção freireana uma das referências teóricas estruturantes para esta investigação, as construções conceituais devem das realidades dos sujeitos envolvido, coerentes com o trabalho de P. Freire (FREIRE, 1996):

Uma das tarefas mais importantes da prática educativo-crítica é propiciar as condições em que os educandos em suas relações uns com os outros e todos com o professor ou a professora ensaiam a experiência profunda de assumir-se. Assumir-se como ser social e histórico, como ser pensante, comunicante, transformador, criador, realizador de sonhos, capaz de ter raiva porque capaz de amar. Assumir-se como sujeito porque capaz de reconhecer-se como objeto. A assunção de nós mesmos não significa a exclusão dos outros. É a “outredade” do “não eu”, ou do *tu*, que me faz assumir a radicalidade de meu *eu*. (FREIRE, 1996, p. 41).

A unidade de ensino foi estruturada em formato de minicurso sobre partículas elementares, para todas as séries do ensino médio.

A participação dos estudantes ocorreu de maneira voluntária e não seriada, ou seja, dispôs-se de voluntariedade em responder os questionários e a as análises de respostas não foram separadas por série. A estrutura básica foi composta por atividades diversificadas, como formulários e discussões, apresentação de vídeos. Outras de caráter mais teórico, como a apresentação de tabelas e mapas conceituais. O intuito dessas atividades foi verificar os saberes e percepções acerca dos temas propostos.

Foi feita a montagem e a apresentação de experimento de baixo custo para que pudesse elucidar os conceitos discutidos. A escolha de materiais de baixo custo teve como principal objetivo proporcionar o acesso à fácil reprodução em ambiente não formal de educação, inclusive, nas próprias residências, caso a(o) estudante desejasse.

Para a validação da proposta adotou-se uma avaliação processual. Este tipo de abordagem permite correções e aprimoramentos em todas as etapas. Esta escolha justifica-se pela concepção de redesenho, ou seja, considera que a proposta não se encerra em uma única oportunidade. A unidade de ensino deve ser repensada, considerando-se erros, acertos e suas correções durante a aplicação, como apontam as ideias de F. B. Kneubil e M. Pietrocola (KNEUBIL; PIETROCOLA, 2017):

A pesquisa baseada em design gerencia o processo como um todo, desde a ideia da inovação/criação até sua efetiva implementação em um ambiente real. Além disso, é essencial que haja uma análise do processo inteiro e não apenas do produto final, pois os resultados tirados dessa análise deverão ser incorporados na própria metodologia visando seu aprimoramento. (KNEUBIL; PIETROCOLA, 2017, p. 3).

Para a introdução desta proposta foram desenvolvidos e aplicados questionários iniciais. Este procedimento permitiu o mapeamento conceitual e epistemológico sobre as concepções prévias gerais que os estudantes possuíam sobre estrutura da matéria, ficção científica e os interesses pelas ciências de formas mais amplas. A aplicação foi feita em uma turma de controle que não participou da unidade de ensino.

O questionário inicial que foi aplicado na unidade de ensino foi fruto da análise do questionário prévio apresentado ao grupo de controle. Este procedimento permitiu a seleção de tópicos mais objetivos que tornaram a análise mais consistente, como apontam os estudos de N. T. Massoni e M. A. Moreira (MASSONI; MOREIRA, 2017):

Deve-se pré-testar o questionário antes de sua utilização definitiva, aplicando - o em uma amostra. A análise dos dados assim obtidos permitirá reformular o questionário, conservando, ampliando ou eliminando itens, explicitando melhor alguns e melhorando ou modificando a redação de outros. Além disso, a pré-testagem servirá também para verificar se o questionário tem fidedignidade (sendo aplicado nas mesmas condições deve dar os mesmos resultados), validade (os dados recolhidos são úteis para a finalidade do questionário) e operatividade (o vocabulário acessível tem significado claro). (MASSONI; MOREIRA, 2017, p. 112).

É fundamental que ocorra o envolvimento das(os) estudantes com o processo educativo. A aplicação de um questionário inicial antecipa os conteúdos a serem discutidos e delimita o grau de complexidade com que os tópicos serão apresentados. Relacionar os tópicos com essas realidades é respeitar os saberes, "...mas também, como há mais de trinta anos venho sugerindo, discutir com os alunos a razão de ser de alguns desses saberes em relação com o ensino dos conteúdos.", como aponta P. Freire (FREIRE, 1996, p. 30).

Outro ponto importante consiste em fomentar o interesse pelas ciências, especificamente as ciências da natureza. Pretende-se viabilizar esse interesse através das relações com o espaço e com as pessoas, pois “A interação social é o veículo fundamental para a transmissão dinâmica (de inter para intrapessoal) do conhecimento social, histórica e culturalmente construído”, como aponta M. A. Moreira (MOREIRA, 2011, p. 92).

Dado que as ciências são socialmente construídas entende-se que as atividades devam ser vivenciadas, com o intuito de aproximar-se da forma como a ciência se faz, com seus erros e equívocos, como destacado por Forato *et al.* (FORATO *et al.*, 2011).

A organização escolar atual parece não conseguir escapar de metodologias e práticas que, em grande maioria, se mostram distantes da essência das ciências naturais e de um ensino que apresente significado para envolver discentes e docentes, ou seja, há uma crise estrutural no ensino de forma generalizada, principalmente por apresentar as características de uma educação bancária. Essa estrutura é percebida não somente no aspecto epistemológico, mas também na apropriação integral dos meios educacionais de forma equivocada e inconsistente, como apresenta P. Freire (FREIRE, 1996):

Se, na experiência de minha formação, que deve ser permanente, começo por aceitar que o formador é o sujeito em relação a quem me considero o objeto, que ele é o sujeito que me forma e eu, o objeto por ele formado, me considero como um paciente que recebe os conhecimentos – conteúdos – acumulados pelo sujeito que sabe e que são a mim transferidos. Nesta forma de compreender e de viver o processo formador, eu, objeto agora, terei a possibilidade, amanhã, de me tornar o falso sujeito da “formação” do futuro objeto de meu formador. (FREIRE, 1996, p. 23.).

Nesse contexto ao adotar-se diferentes espaços e ciclos educacionais percebe-se que os significados se dão mais intensamente pela interação social que é construída ao redor da proposta, no caso da UEPS, do que pelo conteúdo específico. Por este motivo é tão importante a vivência investigativa, ela fomenta o interesse e conseqüentemente o aprofundamento nos temas propostos.

Para isso o trabalho foi referenciado na concepção de Natureza da Ciência (NDC) apresentado por Forato *et al.* (FORATO *et al.*, 2011):

Conhecer sobre as ciências e não apenas os conteúdos científicos, mas também alguns de seus pressupostos e limites de validade, permite criticar o dogmatismo geralmente presente no ensino de ciências, além de promover o pensamento reflexivo e crítico. (FORATO *et al.*, 2011, p. 32).

A UEPS foi dividida em encontros pedagógicos. Esta divisão permitiu a análise por processo, o que favoreceu a avaliação para o redesenho. Essencialmente foi considerada a forma como os estudantes se relacionaram com a atividade, uma vez que, essas apropriações não podem ser mensuradas por avaliações tradicionais apenas, ou seja, a percepção

da apropriação conceitual é percebida nos detalhes da aplicação, no envolvimento e no desenvolvimento, conforme aponta M. A. Moreira (MOREIRA, 2011):

A avaliação da aprendizagem significativa implica outro enfoque, porque o que se deve avaliar é compreensão, capacitação de significados, capacidade de transferência do conhecimento a situações não conhecidas, não rotineiras. (MOREIRA, 2011, p. 51).

3.2.1 Os encontros pedagógicos

A sequência foi idealizada para um período de quatro a oito horas-aulas que foram divididas em encontros pedagógicos que podem, ou não, coincidir com o intervalo de tempo de uma hora-aula.

É fundamental destacar que os encontros pedagógicos podem ser feitos de maneira virtual. Isto foi feito com a aplicação de aulas invertidas, nas quais as pesquisas foram realizadas previamente pelos estudantes em ambientes virtuais, como vídeos, infográficos ou sites específicos. Esta proposta converge com a segunda condição para que o aprendizado seja significativo, no qual “o aprendiz deve apresentar predisposição para aprender.”, como apontado por M. A. Moreira (MOREIRA, 2011, p. 24). A sala de aula invertida pode ser aplicada nestes encontros como elemento para mensurar o grau de envolvimento dos estudantes e com isso balizar o desenrolar da unidade de ensino.

3.2.2 Pré-questionário - levantamento de subsunçores

Como citado anteriormente, a população estudada no presente trabalho foi composta por alunos do Ensino Médio e estudantes pré-universitários de um cursinho popular da cidade de São Paulo. Neste último grupo acreditava-se já existir algum contato com modelos atômicos mais discutidos no ensino médio.

Como introdução ao assunto aplicou-se um questionário prévio sobre o tema e na sequência as(os) estudantes foram informados sobre o que iriam aprender. É essencial que saibam o tema, para que possam, caso queiram, investigar previamente o assunto. Esta prática fomenta a autonomia proposta nas ideias de P. Freire (FREIRE, 1996):

Se há uma prática exemplar como negação da experiência formadora é a que dificulta ou inibe a curiosidade do educando e, em consequência, a do educador. É que o educador que, entregue a procedimentos autoritários ou paternalistas que impedem ou dificultam o exercício da curiosidade do educando, termina por igualmente tolher sua própria curiosidade. Nenhuma curiosidade se sustenta eticamente no exercício da negação da outra curiosidade. A curiosidade dos pais que só se experimenta no sentido de saber *como* e *onde* anda a curiosidade dos filhos se burocratiza e fenece. (FREIRE, 1996, p. 85).

Durante o levantamento das concepções prévias deu-se também a apresentação do assunto que seria discutido, no caso, Partículas Elementares. Apresentou-se algumas questões históricas e possíveis referências, como as questões que nos acompanham desde os primórdios da existência humana e uma linha evolutiva dos modelos atômicos até o aceito atualmente.

Este primeiro momento deve ser presencial e ocupa uma aula na escola. Nos últimos minutos da aula foram anotadas as impressões e concepções sobre a matéria em forma de respostas abertas ou pelo questionário inicial.

No questionário é imprescindível a existência de espaços para respostas abertas ou livres, pois “As perguntas de forma aberta, permitem a utilização das próprias palavras do respondente no preenchimento da questão.”, como apontam os estudos de N. T. Massoni e M. A. Moreira:

Estas perguntas, na medida em que propiciam maior flexibilidade de resposta, podem favorecer a exploração mais a fundo do tema, mas podem também, pela falta de parâmetros, deixar de enfatizar pontos significativos. (MOREIRA; MASSONI, 2017, p. 113).

Um dos objetivos da aplicação de respostas abertas, foi o levantamento de posturas e ideias que pudessem embasar um questionário futuro, que pudesse ser mais pontual. Este procedimento justifica-se pelo fato de que a criação de um questionário deve seguir mais próxima possível de seus objetivos. Por isso, algumas posturas devem ser adotadas para a elaboração de um bom questionário, entre elas, a adoção de perguntas simples e diretas, e a preservação do anonimato dos entrevistados. Esta orientação seguiu-se pelo restante do trabalho, incluindo os questionários restantes, respeitando a possibilidade dos estudantes não responderem, como proposto no trabalho de N. T. Massoni e M. A. Moreira (MASSONI; MOREIRA, 2017):

A garantia de anonimato, assegurada aos respondentes, deve ser cuidadosamente mantida nas questões apresentadas. Ou seja, não deve ser incluídos itens que deem pistas sobre quem os está respondendo. (MASSONI; MOREIRA, 2017, p. 112).

O questionário inicial foi feito de forma anônima com dois grupos de controle totalizando 63 entrevistadas(os). Estes estudantes não participaram da aplicação final do Produto Educacional. Este primeiro grupo de controle foi composto por:

- Uma turma de terceiro ano do ensino médio com 21 integrantes.;
- Uma turma de curso pré-vestibular no ano de 2018 com 42 integrantes.

Muitas das impressões foram divididas em subgrupos com o intuito em construir-se um questionário que seria chamado de *questionário 1*, este sim, foi aplicado nos grupos de estudo. Os detalhes deste questionário prévio, bem como a análise que permitiu a construção de um questionário mais sucinto, para a aplicação nas turmas em que o trabalho foi efetivamente realizado, encontram-se na Análise do Pré-Questionário Inicial.

Este conjunto de análises permitiu a reformulação de algumas questões para que pudessem ser apresentadas em caráter de múltipla escolha, em outras para que pudessem apresentar respostas de caráter auto-excludentes e, por fim, na manutenção de algumas questões, mesmo em caráter aberto, como aponta M. A. Moreira (MOREIRA, 2017):

As perguntas de forma aberta, permitem a utilização das próprias palavras do respondente no preenchimento da questão. Podem incluir perguntas do tipo: “Do que mais você gostou nesta aula?” ...Estas perguntas, na medida em que propiciam maior flexibilidade de resposta, podem favorecer a exploração mais a fundo do tema. . . (MOREIRA, 2017, p. 113).

3.2.3 Aplicação de questionário prévio

A Aplicação do *Questionário 1* (Inicial), ou questionário de concepções prévias, disponível no *Apêndice B*, deu-se em um momento pedagógico no qual as(os) estudantes sabiam previamente o que os esperava, pois foram avisados que daríamos início a um novo conteúdo e que o mesmo seria sobre algum tópico de FMC.

Este momento poderia ser feito em sala de aula ou em ambiente virtual no qual as(os) estudantes realizam em espaço diferente da escola, em casa ou espaços com acesso à internet. No presente trabalho foram feitas as duas abordagens.

A aplicação virtual trouxe muitas vantagens, entre elas destaca-se a tabulação das respostas, a facilidade em organizar-se o tratamento estatístico e a criação de representações gráficas. Também há a economia no uso de papel. No entanto, de acordo com as realidades educacionais da escola pode-se aplicar material impresso, como foi feito em um dos espaços educacionais, no qual o professor optou pelo questionário impresso.

3.2.4 Apresentação dos modelos atômicos mais conhecidos

A construção da base necessária para que a discussão sobre a Física de partículas pudesse ser inserida efetivamente foi antecedida pelos organizadores prévios. Este procedimento deu-se pelo contato com os modelos atômicos mais conhecidos e a percepção das manifestações do mundo microscópico.

O conceito de inversão de aula foi adotado neste momento. Uma sequência de vídeos (YouTube) e material disponível no site do Perimeter Institute (Canadá) cumpriram esta necessidade.

As(os) estudantes assistiram aos vídeos nos espaços escolares (colégios ou cursinho), mas os links foram disponibilizados, para que pudessem rever. Abaixo está a sequência dos links e seus descritivos:

- Vídeo 1: Tudo se Transforma, História da Química, História dos Modelos Atômicos, (TUDO, 2012a).
- Vídeo 2: Tudo se Transforma, Estrutura Atômica, Exergando¹ o Invisível, (TUDO, 2012b).
- Infográfico: The History of the Atom – Theories and Models, (COMPOUND, 2016).

Assim as(os) estudantes retomaram os conceitos prévios que provavelmente foram tratados em aulas de Química sobre os modelos atômicos e as manifestações macroscópicas que podem ser percebidas pautadas nesses modelos.

A estrutura atômica não é vista diretamente, mas apresenta algumas manifestações visíveis. Dois vídeos, citados acima, da Coordenação Central de Educação a Distância (CCEAD-PUC-RJ), da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, foram apresentados para a consolidação deste momento, bem como a apresentação de uma linha do tempo resumida, sobre a evolução dos modelos atômicos com suas falhas e incoerências, vistos em (TUDO, 2012a) e (TUDO, 2012b). Para o término desta etapa as (os) estudantes apresentaram um pequeno resumo, em forma de debate, sobre suas impressões, ou reforços, sobre as concepções prévias acerca da estrutura da matéria até o presente momento.

Após o momento para apresentação dos modelos anteriores, introduziu-se algumas ideias sobre a Física de partículas, considerando uma das características fundamentais, a carga elétrica.

Foram apresentadas as interações elétricas e gravitacionais e suas consequências. Uma apresentação de vídeo-aula, sobre o processo de eletrização por indução, foi o meio pelo qual a sala de aula invertida se concretizou. O portal de videoaulas da Universidade de São Paulo (e-Aulas da USP), foi a referência adotada. Abaixo o descritivo do vídeo:

- Vídeo 3: Eletromagnetismo - Tema 1 - Carga elétrica e Spin - Experimento 5: Eletrização por contato, (ELETROMAGNETISMO, 2018).

Toda a organização proposta teve como objetivo o fomento de situações problema. A pergunta que desencadeou o restante da atividade foi:

¹ No título original está escrito *Exergando* ao invés de *Enxergando*.

Por que os prótons permanecem estáveis no núcleo, se são portadores de carga elétrica positiva?

A pergunta pretende desencadear o debate acerca dos modelos conhecidos, principalmente pelos conceitos prévios sobre a interação elétrica entre portadores de cargas elétricas de mesmo sinal.

Para consolidar esta prática apresentou-se uma atividade diversificada na qual as(os) estudantes criaram modelos que pudessem explicar este fato. Apontou-se que determinado modelo começa a se tornar frágil quando questões deste tipo são não possuem respostas consistentes.

É o momento no qual se evidencia que as Ciências são atividades humanas e passíveis de falhas experimentais e epistemológicas.

Na sequência apresentou-se o vídeo que é integrante do material do Perimeter Institute (Canadá) no qual é feita uma apresentação bastante acessível do Modelo Padrão. O vídeo do Fermilab sobre o experimento com raios cósmicos em câmara de nuvens foi apresentado logo após (descritivo abaixo):

- Vídeo 4: How to Reveal Subatomic Particles at Home | NOVA, (HOW, 2015).

O final deste momento foi a ponte para a construção do experimento.

3.2.5 A câmara de nuvens

A construção do experimento é o momento mais aguardado pelas(os) estudantes. Deve-se lembrar que é fundamental que as(os) estudantes possam se antecipar ao que será tratado, de forma coerente com o que é apresentado por P. Freire, “O respeito à autonomia e à dignidade de cada um é um imperativo ético e não um favor que podemos ou não conceder uns aos outros” (FREIRE, 1996, p. 59). A descentralização do processo fomenta a autonomia. Este, entre outros, foi objetivo do presente trabalho. Como apontam estudos de L. S. Almeida (ALMEIDA, 2002):

Por isso mesmo, podemos antecipar que aprendizagens mais profundas ou significativas se conseguem por meio de métodos de ensino-aprendizagem que possibilitem e reforcem a iniciativa do aluno, o seu sentido de descoberta e uma construção de conhecimento a partir da análise e resolução de problemas concretos. (ALMEIDA, 2002, p. 158).

A apresentação do vídeo do Fermilab sobre Raios Cósmicos teve a pretensão de fomentar a curiosidade. Esta curiosidade foi incentivada através da solicitação de pesquisa sobre o tema em formato de vídeos no próprio YouTube.

A construção parcial do experimento foi feita pelo professor. A montagem final, acréscimos dos componentes, como o álcool isopropílico, vedação, depósito do gelo seco e iluminação da câmara foi feita pelas(os) estudantes sob supervisão do professor.

Neste momento percebe-se o alto grau de envolvimento e interação social. A troca de ideias, a montagem do experimento, a especulação acerca dos resultados, tudo indica a forte relação com a atividade.

3.2.6 Fechamento e debate - Questionário de retorno

Toda atividade educacional carece de um fechamento. Normalmente é chamado de avaliação. A avaliação foi feita de forma qualitativa, em forma de respostas abertas em um questionário de retorno e um debate sobre as impressões e problematizações sobre Física de partículas, constituição da matéria, e modelos científicos.

As perguntas que deram início ao debate foram:

- Foram vistas partículas ou suas manifestações?
- Quais são as forças existentes na natureza? Além da gravitacional e da eletromagnética.
- Errar é parte integrante do ato de investigar?
- Quais são os cientistas brasileiros mais conhecidos por esta geração?
- Qual a visão que possuem da Ciência brasileira?

Esse conjunto de respostas apresentadas, bem como, as impressões e manifestações apontadas pelas(os) estudantes, compuseram a análise qualitativa sobre a efetividade da proposta. Após este momento encerrou-se a atividade com uma apresentação do modelo padrão aceito atualmente e as(os) estudantes tiveram contato formalmente com os grupos de partículas elementares.

3.2.7 Avaliação da Unidade de Ensino e Redesenho

A avaliação proposta para a Unidade de Ensino está fundamentada nos trabalhos que apresentam as bases em uma metodologia intervencionista que pretende aliar a pesquisa com a prática, conforme aponta os estudos de F. B. Kneubil e M. Pietrocola (KNEUBIL; PIETROCOLA, 2017).

Nesta concepção fez-se necessária a evolução crítica do presente trabalho, tendo em vista que um dos objetivos foi a produção de um material instrucional que pudesse ser

aplicado por outros professores, ou seja, um Produto Educacional. Desta forma, justifica-se a adoção do processo avaliativo qualitativo e dinâmico, pois, como citado anteriormente, uma UEPS só se consolida ao término, já que somente neste momento será possível uma verificação do caráter significativo da proposta.

Na elaboração da UEPS as concepções discentes foram fundamentais em dois aspectos: levantamento das concepções prévias e temas com maior possibilidade de inserção. A participação discente é fundamental para o sucesso da Unidade de Ensino e proporciona elementos para o redesenho da mesma, de acordo com F. B. Kneubil e M. Pietrocola (KNEUBIL; PIETROCOLA, 2017):

A pesquisa baseada em design gerencia o processo como um todo, desde a ideia da inovação/criação até sua efetiva implementação em um ambiente real. Além disso, é essencial que haja uma análise do processo inteiro e não apenas do produto final, pois os resultados tirados dessa análise deverão ser incorporados na própria metodologia visando seu aprimoramento. (KNEUBIL; PIETROCOLA, 2017, p. 3).

A estratégia de ação neste caso deu-se pela apresentação de um tema potencialmente significativo e a preparação de organizadores prévios que pudessem servir como facilitadores para a aprendizagem de Física de Partículas no ensino médio. Desta forma, a primeira avaliação da proposta deu-se pela receptividade e a forma como o corpo discente recebeu a proposta.

Neste contexto para a aplicação do Produto Educacional do presente trabalho, a pesquisa baseada em design consolida-se ao ser aplicada por outra(o) professor(a). Com isso, como apontam F. B. Kneubil e M. Pietrocola (KNEUBIL; PIETROCOLA, 2017):

A pesquisa baseada em design gerencia o processo como um todo, desde a ideia da inovação/criação até sua efetiva implementação em um ambiente real. Além disso, é essencial que haja uma análise do processo inteiro e não apenas do produto final, pois os resultados tirados dessa análise deverão ser incorporados na própria metodologia visando seu aprimoramento. (KNEUBIL; PIETROCOLA, 2017, p. 3).

As apropriações conceituais e epistemológicas são incorporados pela(o) educador(a) devida a constante transformação da unidade de ensino, como apontam F. B. Kneubil e M. Pietrocola (KNEUBIL; PIETROCOLA, 2017):

Sendo uma teoria sobre a metodologia, a pesquisa baseada em design pressupõe uma análise sobre o processo tanto quanto sobre o produto. Isso significa que usando a DBR para se desenvolver algum produto, aprende-se sobre o processo e produz-se, assim, conhecimento. A análise sobre o processo e sobre a implementação deve gerar conhecimentos que serão usados num design posterior. (KNEUBIL; PIETROCOLA, 2017, p. 4).

Com isso testou-se o Produto Educacional em outro ambiente educacional, no caso, uma turma do ensino médio, em outra escola, por outro professor.

É importante destacar que o processo avaliativo da construção do presente trabalho se deu ao longo de sua composição e o mesmo procedimento foi aplicado ao Produto Educacional. No entanto, a avaliação da prática em sala de aula, ou seja, uma avaliação para as(os) estudantes envolvidas(os) deu-se pelo debate de ideias e apresentação das concepções após a atividade. O Redesenho e/ou adaptação do Produto fornecerá apontamentos relevantes para a próxima aplicação, e tem como fundamentos os elementos conclusivos presentes no capítulo de resultados do atual trabalho.

Uma parte da pesquisa ocorreu em uma turma experimental, extra classe, no Colégio Humboldt (Rede de ensino Privada), na cidade de São Paulo, na Escola Estadual Leda Guimarães Natal, da rede pública de ensino do Estado de São Paulo e no Cursinho da Poli (Curso Pré-vestibular de caráter popular) totalizando 120 estudantes entre 2018 e 2019.

Os questionários (Questionário 1 e Questionário de Retorno) foram respondidos anonimamente, e de forma voluntária, por estudantes dos três espaços educacionais, totalizando 47 (quarenta e sete estudantes). Para preservar o anonimato foram entregues questionários impressos àqueles que optaram por respondê-los.

O primeiro questionário (Questionário 1) teve formato de múltipla escolha com um espaço final para exposição de impressões. Este formato permite a tabulação e divisão em grupos de respostas, o que facilita a interpretação dos resultados, uma vez que houve uma pré-testagem. O último questionário (Questionário de Retorno) teve formato dissertativo livre. O principal intuito deu-se pela necessidade de coletar nas próprias respostas os caminhos investigativos, como proposto por N. T. Massoni e M. A. Moreira (MASSONI; MOREIRA, 2017):

Essas perguntas, na medida em que propiciam maior flexibilidade de resposta, podem favorecer a exploração mais a fundo do tema, mas podem também, pela falta de parâmetros, deixar de enfocar pontos significativos. Por outro lado, e justamente em função de sua abertura, a tabulação de respostas torna-se complexa e conseqüentemente demorada e, pelo fato de as perguntas implicarem maior esforço de parte de quem responde podem levá-lo a não responder. (MASSONI; MOREIRA, 2017, p. 113).

A escolha por este tipo de resposta ancora-se na discussão entre qualitativo e quantitativo, na qual, apresenta no método qualitativo a possibilidade de melhor inferência em espaços amostrais pequenos, como apontam F. M. T. dos Santos e I. M. Greca (SANTOS; GRECA, 2013):

A pesquisa qualitativa parece ser o tipo de estudo mais apropriado para tentar dar sentido ao fenômeno educacional, em termos dos significados

que as pessoas aportam sobre ele. Por outro lado, a pesquisa qualitativa é um campo inerentemente político, formado por múltiplas posições éticas e políticas, o que permite olhar para seus objetos de estudo com um foco multiparadigmático e possibilita um tratamento dos problemas que vai além do diagnóstico. (SANTO; GRECA, 2013, p. 17).

Os procedimentos descritos permitiram a fundamentação das avaliações e aplicação em sala de aula. O caráter qualitativo apresenta impressões mais próximas da realidade educacional, o que permitiu um olhar mais apurado sobre as respostas. Os resultados e impressões apresentados puderam ser descritos com maior precisão, assim como os conceitos investigados, que foram separados em grupos de análises.

4 ANÁLISES DOS RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

4.1 Análise do Pré-Questionário Inicial

Neste capítulo serão apresentadas as concepções e percepções discentes sobre a Física, suas aplicações, personagens e como os(as) estudantes encontram conexões entre suas realidades e significados para se estudar Física.

É pertinente adotar posturas investigativas, ou seja, entender a Ciência como representação, ao invés de vê-la como a explicação final para determinados fenômenos.

Este levantamento prévio foi realizado com ferramentas digitais, nas quais os estudantes apresentaram suas respostas de maneira anônima e voluntária. Este procedimento teve como principais objetivos realizar uma varredura que permitisse a divisão em grupos de interesses, bem como, realizar recortes sobre o tema específico a ser tratado, no caso, o ensino de Física de partículas no Ensino Médio.

O questionário prévio foi composto por dezoito questões e um espaço de caráter livre. Foi aplicado por internet (com uso da ferramenta *Google Formulários*). Abaixo está a análise das respostas.

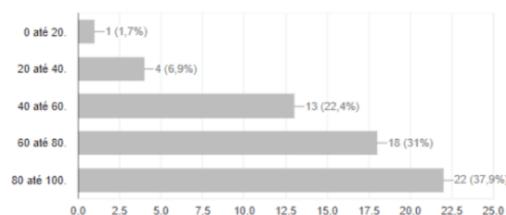
O processo de ensino-aprendizagem se justifica, entre outros, pela percepção dos interesses e significados que os (as) estudantes atribuem a ele.

Em nosso primeiro contato com os grupos em questão ficou evidente a aceitação sobre os prováveis temas, uma vez que houve um percentual de desinteresse pelas ciências inferior a 10 %, o que evidenciou a indisposição perante o interesse por Ciência, no sentido amplo do termo.

4.2 Análise das questões do pré-questionário

1. A figura (30) aponta a análise da questão: *De 0 a 100, qual o seu interesse pela ciência?*

Figura 9 – Percentuais de interesses por Ciência?



2. *Você se interessa por programas, documentários, revistas ou livros sobre ciência? Cite os nomes dos que você se lembra. Estamos considerando aqui não-ficção.*

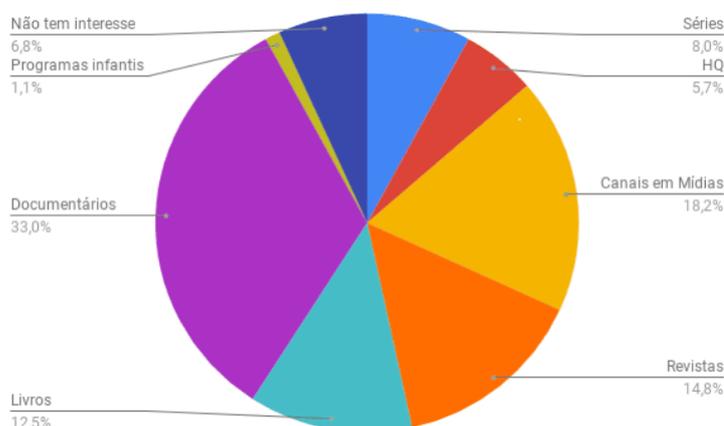
A análise deste item evidencia o avanço de outras fontes de informação, por exemplo as mídias sociais como o *YouTube*, em detrimento dos usos tradicionais como os livros e as revistas. Do grupo em estudo aproximadamente 18 % faz uso, não exclusivo, das mídias sociais, este grupo ainda é precedido pelos documentários, o que de certa forma ainda valida as informações de cunho acadêmico.

O levantamento aberto desse item permitiu a construção da tabela (9) e gráfico representado pela figura (31).

Tabela 9 – Tipo de entretenimento de interesse.

| | |
|---------------------------------|----|
| <i>Séries</i> | 7 |
| <i>HQ</i> | 5 |
| <i>Canais em Mídias Sociais</i> | 16 |
| <i>Biografias</i> | 0 |
| <i>Revistas</i> | 13 |
| <i>Livros</i> | 11 |
| <i>Documentários</i> | 29 |
| <i>Programas infantis</i> | 1 |
| <i>Não tem interesse</i> | 6 |
| <i>Total</i> | 88 |

Figura 10 – Meios de interesse por Ciência?



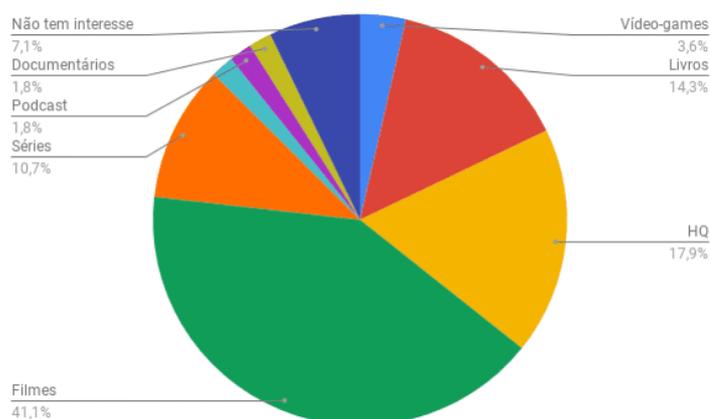
3. *Você se interessa por ficção científica? Cite livros ou filmes que você considera pertencerem a este gênero.*

A análise semelhante considerando obras de ficção científica apresenta enorme riqueza em diversidade, o que justificaria uma inserção por esta via, discutindo, por exemplo as ciências nessas obras, em nosso caso, a Física. Esta análise teve como alguns resultados a construção da tabela (10) e do gráfico representado pela figura (32).

Tabela 10 – Tipo de divulgação científica de interesse.

| | |
|---------------------------|----|
| <i>Video-games</i> | 2 |
| <i>Livros</i> | 8 |
| <i>HQ</i> | 10 |
| <i>Filmes</i> | 23 |
| <i>Séries</i> | 6 |

Figura 11 – Tipo de divulgação científica de interesse.



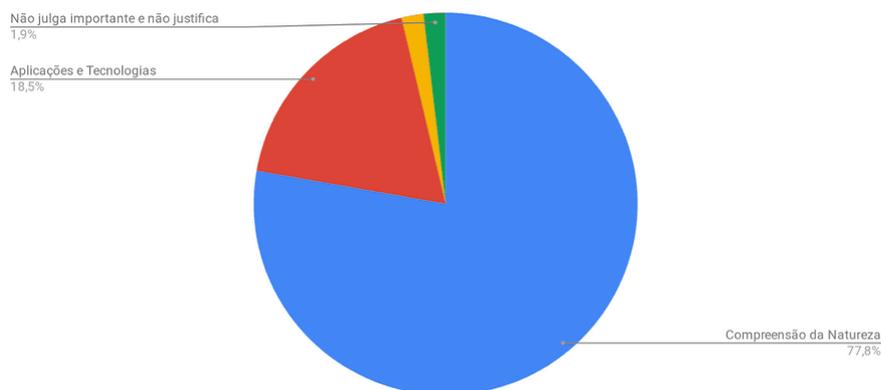
4. *Qual a importância de se estudar física?*

A análise das resposta para esta questão permitiu a divisão em dois grandes grupos o que evidencia experiências diferentes para o aprendizado de ciências, o primeiro de caráter mais geral que visa a investigação como a uma prática humana e a segunda de caráter utilitário, na qual, a aprendizagem da Física tem característica utilitarista, no qual se evidencia a oposição entre essas vertentes, como já foi discutido em trabalhos como os de J. R. N. Chiappin e A. C. Leister (CHIAPPIN; LEISTER, 2011). Pelo tratamento dos dados é percebida a polarização dessas vertentes, pela tabela (11) e pelo gráfico representado pela figura (33).

Tabela 11 – A importância em estudar Física.

| | |
|---|----|
| <i>Compreensão da Natureza</i> | 42 |
| <i>Aplicações e Tecnologias</i> | 10 |
| <i>Julga importante e não justifica</i> | 1 |
| <i>Não julga importante e não justifica</i> | 1 |
| <i>Total</i> | 54 |

Figura 12 – Percentuais de importância para o estudo da Física?



Embora seja percebida a oposição entre percepções prevalece o interesse pela Física para a compreensão da Natureza, como será apresentado estes dados fundamentam as escolhas pedagógicas.

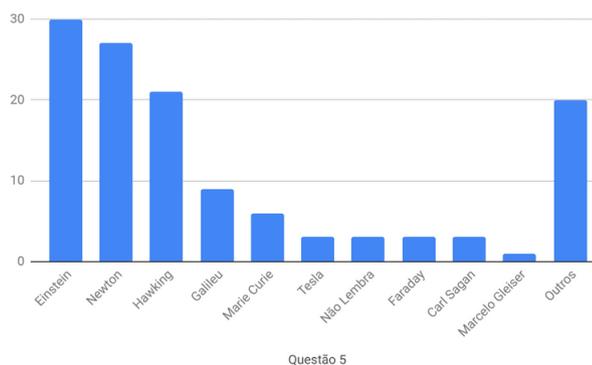
5. *Cite até cinco nomes de físicos que tenha ouvido falar.*

A tabela (11) e o gráfico destacado na figura (34) indicam que o cientista brasileiro mais conhecido é o Professor Marcelo Gleiser.

Tabela 12 – Nomes de físicos que já tenha ouvido falar.

| | |
|------------------------|----|
| <i>Einstein</i> | 30 |
| <i>Newton</i> | 27 |
| <i>Hawking</i> | 21 |
| <i>Galileu</i> | 9 |
| <i>Marie Curie</i> | 6 |
| <i>Tesla</i> | 3 |
| <i>Não Lembra</i> | 3 |
| <i>Faraday</i> | 3 |
| <i>Carl Sagan</i> | 3 |
| <i>Marcelo Gleiser</i> | 1 |
| <i>Outros</i> | 20 |

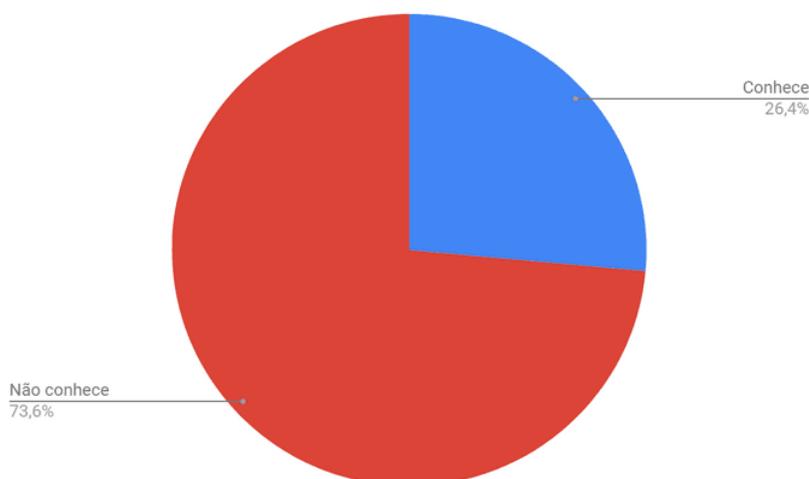
Figura 13 – Nomes de físicos que já tenha ouvido falar.



6. *Existem físicos brasileiros famosos? Cite o (os) nome (s)*

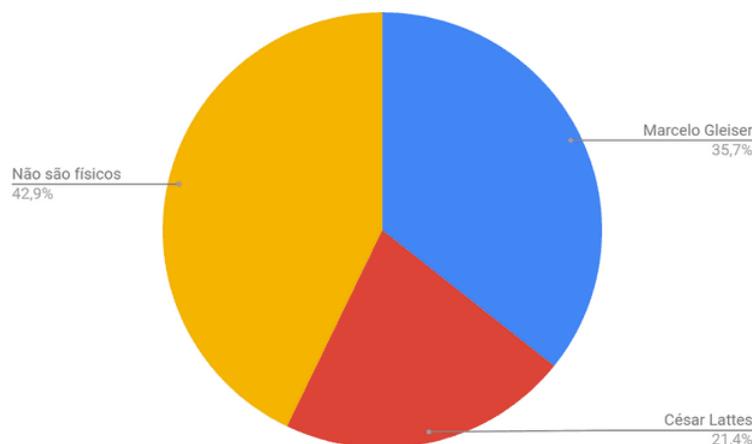
Este levantamento prévio permite a interpretação acerca da importância da ciência na sociedade em que estão inseridos. As figuras (35) e (36) evidenciam o desconhecimento sobre cientistas brasileiros e a forma como nossa sociedade valoriza as Ciências.

Figura 14 – Físicos brasileiros conhecidos.



Acerca das(os) estudantes que responderam (Sim), 26,4 %, entre os nomes citados, 14 ao total, a maioria não são físicos.

Figura 15 – Físicos brasileiros mais conhecidos.

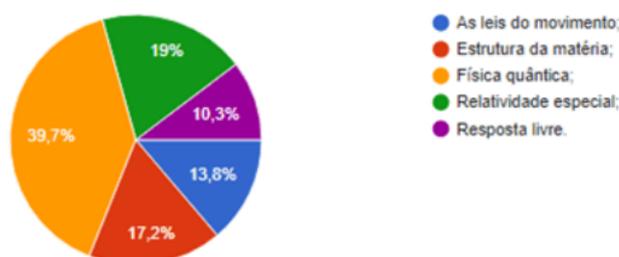


7. *Que tipo de conteúdo você gostaria de aprender nas aulas de Física na escola.*

Quando questionados acerca dos assuntos que gostariam de estudar, os estudantes destacaram cinco grupos, apresentados na figura (37).

Figura 16 – Tipo de conteúdo que gostaria de aprender.

58 respostas



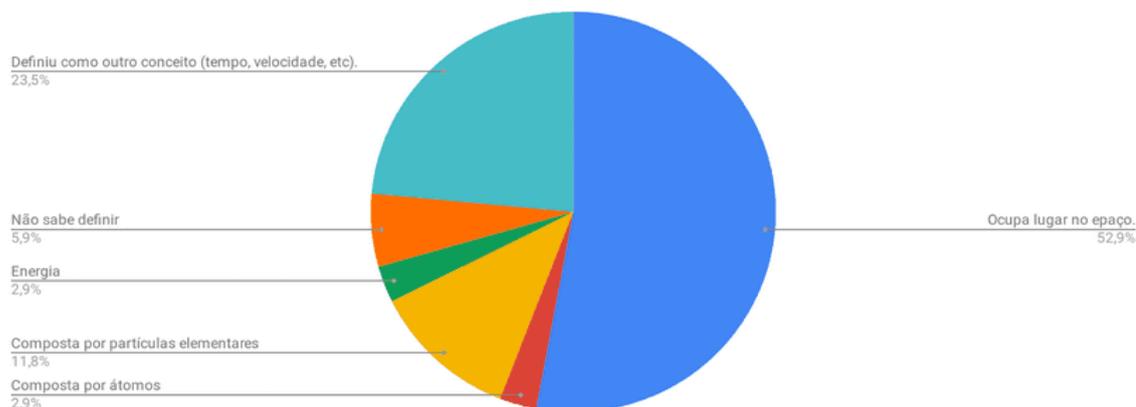
8. *O que é matéria?*

Aqui o método adotado classifica em grupos por semelhanças de respostas.

Chama a atenção os grupos de respostas apresentadas. Por exemplo, dois (ou duas) estudantes destacaram definições, ou representações, muito interessantes. A primeira representa a matéria como o oposto do vácuo, e a segunda representa a matéria como algo impossível de ser definida. Estas respostas evidenciam uma atitude investigativa, uma vez que, por ausência de respostas bem definidas se apoiam em conceitos que podem de alguma forma negar respostas pautadas em afirmações infundadas. O gráfico abaixo indica o grupo de resposta dadas por semelhanças conceituais. É fundamental perceber o quanto essas respostas estão fundamentadas por conceitos apresentados em livros didáticos de Química, isto implica diretamente na forma

como os conceitos acerca da composição da matéria são edificados. Em muitos casos esses conceitos serão levados adiante sem um contraste mais interessante sobre o tema, o que prejudica, por exemplo, as futuras decisões nas vidas adultas, consequentemente nas decisões das sociedades em que estarão inseridas (os). A figura (38) permite a percepção dessas impressões e valida essas análises.

Figura 17 – Percentual de percepção acerca da matéria.

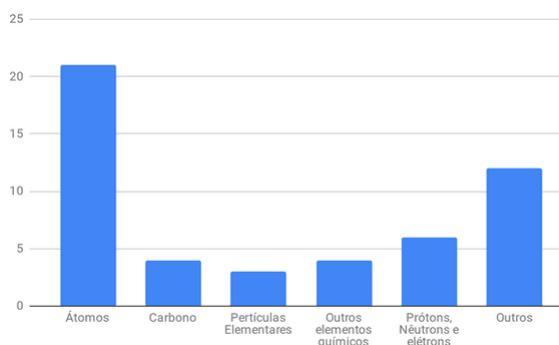


Esta questão, como sugere o gráfico, é uma das justificativas para o ensino de FMC, principalmente sobre partículas elementares.

9. *Quais são os constituintes mais básicos da matéria que nos cerca e de que somos feitos?*

As respostas apresentadas pelo grupo de estudantes evidenciam o quanto os conceitos prévios oriundos de aulas de Química são intensamente absorvidos formando visões de mundo pautadas em modelos que não são mais adotados, como visto na figura (39).

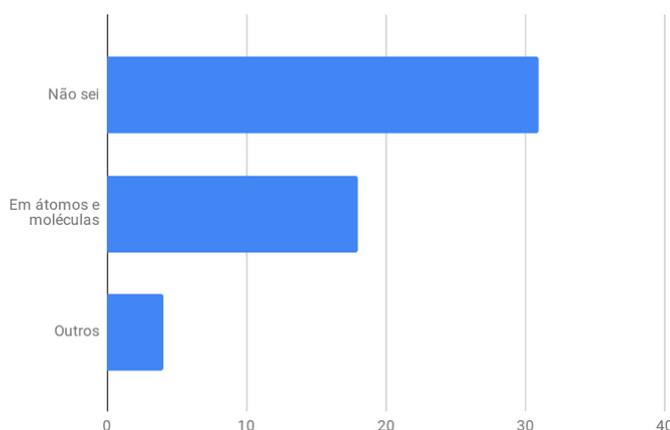
Figura 18 – Concepções sobre os constituintes da matéria.



10. *Como a matéria se organiza? Como é possível observar os constituintes da matéria?*

Entre as muitas questões propostas inicialmente esta é uma das que não trouxeram reflexões significativas ou contribuições para a construção de um novo questionário. Em princípio a formulação deste questionário teve como principal finalidade a análise e formulação de questionário posterior, esse sim, considerando questões mais adequadas e alinhadas ao presente trabalho. As informações apresentadas na figura (40) mostram o quanto evasiva e imprecisa foi a questão.

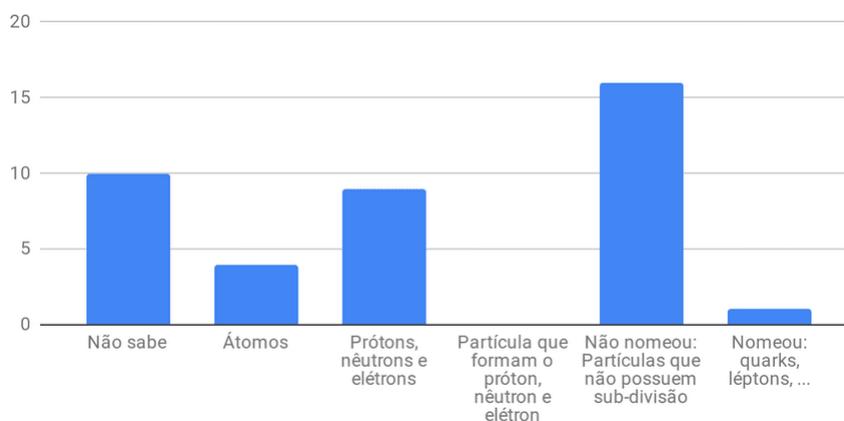
Figura 19 – Conhecimento sobre os métodos de observação e organização da matéria.



11. *O que são partículas elementares?*

Esta questão apresentou papel fundamental para a composição do *questionário 1*, que foi aplicado efetivamente nas turmas em estudo. Aqui foi possível perceber, por exemplo que não há clareza sobre o que são partículas elementares, embora o termo sugira algo que é fundamental não são apresentados maiores detalhes. Poucos estudantes nomearam partículas que efetivamente são aceitas hoje como elementares, como visto na figura (41).

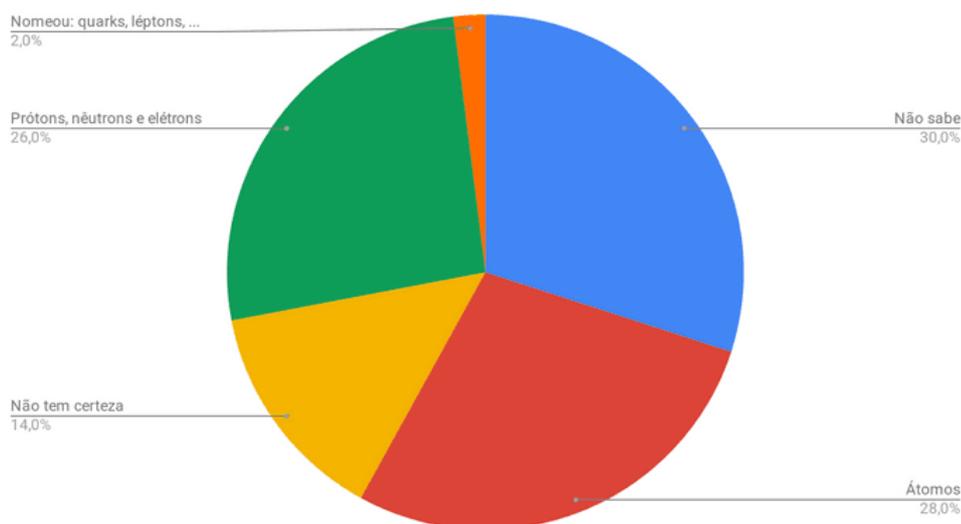
Figura 20 – Percentual de conhecimento sobre partículas elementares?



12. *Quais são as partículas elementares que você conhece?*

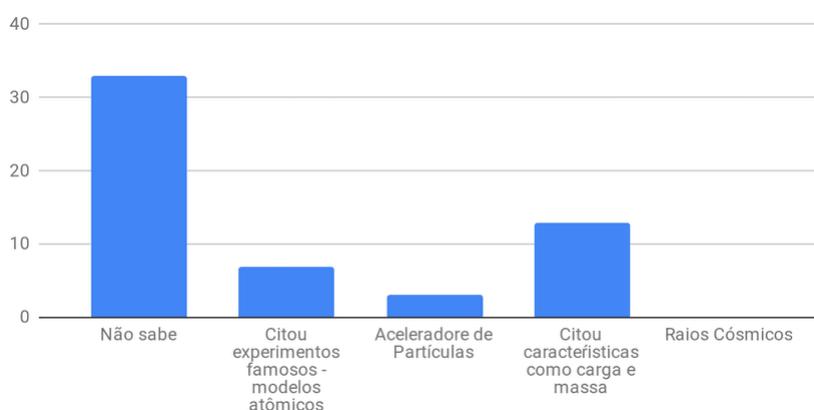
Com o intuito em compreender melhor o que entendem esta questão solicita o nome de algumas partículas que as (os) estudantes entendem por elementares. No grupo de controle apenas 2 % das (os) estudantes nomeou corretamente alguma partícula elementar, em geral falaram de quarks ou bóson de Higgs, conforme a figura (42).

Figura 21 – Quais são as partículas elementares que você conhece?

13. *Como identificar uma partícula elementar?*

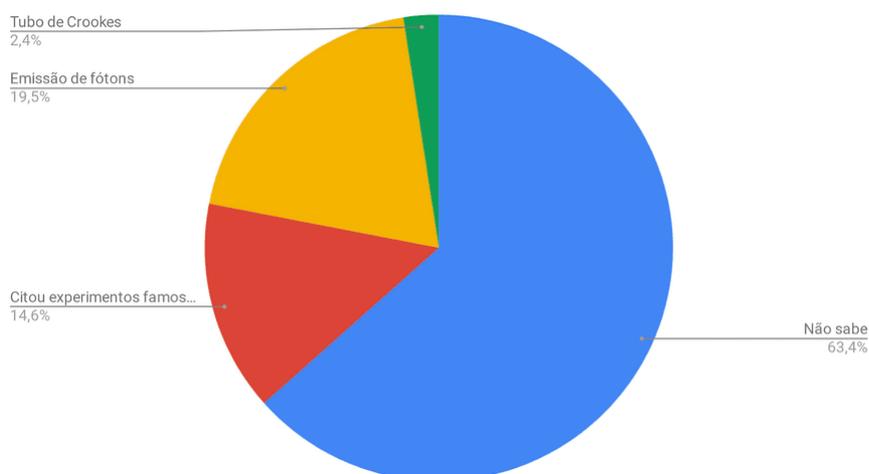
A compreensão sobre como identificar uma partícula elementar foi apresentada como questão aberta. A principal finalidade desta questão foi realizar um levantamento sobre o que conhecem, assim, não foi diferenciado método de detecção das características a serem consideradas. A figura (43) permite a percepção dessa análise.

Figura 22 – Percentual sobre métodos de identificação de partículas elementares.

14. *Você conhece alguma manifestação de partículas elementares?*

Aqui o objetivo principal foi realizar um levantamento sobre o que entendem por manifestação. Aproximadamente 20 % entendem a emissão de fótons como uma manifestação, de alguma forma, das partículas elementares. Houve um percentual muito pequeno que citou uma manifestação por meio de um experimento (Tubos de Crookes), mas, na grande maioria, não há concepção prévia sobre o que seria uma manifestação de uma partícula elementar, como visto na figura (44).

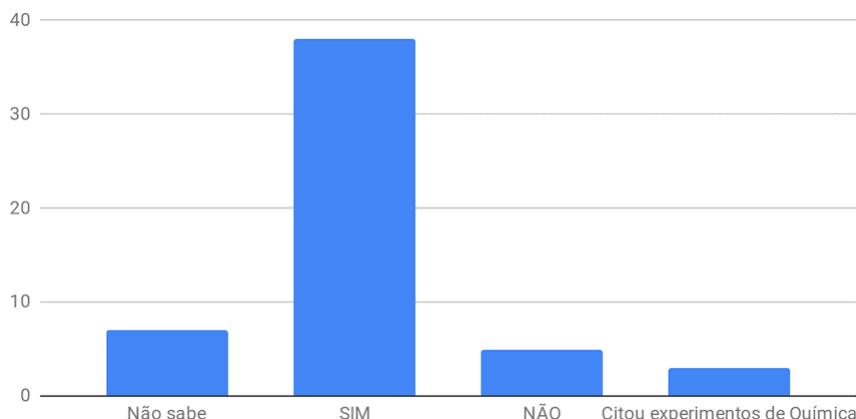
Figura 23 – Divisão sobre as manifestações de partículas elementares.



15. *É possível investigar a estrutura da matéria na escola?*

Esta foi pensada de maneira aberta, assim como as outras, para que as (os) estudantes pudessem apresentar as respostas que julgassem significativas. De maneira geral esperava-se apenas respostas do tipo (sim) ou (não), no entanto, mesmo que não solicitadas, surgiram outros grupos, como (depende) ou as respostas que fazem alusão ao que já estudaram em Química, o que aponta uma tendência, pré-definida, para os modelos que são frequentemente estudados em aulas de Química. A grande maioria entende que sim, mas não sabem como. A figura (45) deixa evidente essa impressão.

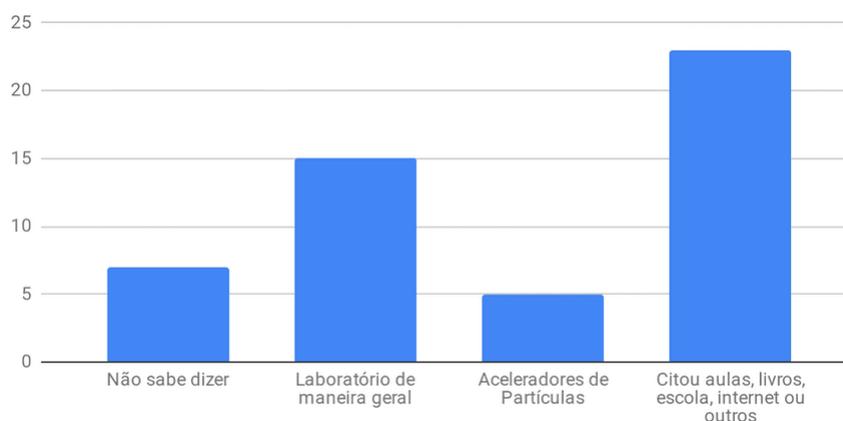
Figura 24 – Concepção prévia acerca da possibilidade de investigação da estrutura da matéria na escola.



16. *Onde podemos estudar as partículas elementares?*

A preocupação nesta questão deu-se pela compreensão sobre a investigação da área de Partículas Elementares. Não houve nenhuma citação sobre Raios Cósmicos. Mas ficou evidente que as (os) estudantes conhecem, ou já viram algo sobre, Aceleradores de Partículas. Na próxima questão fez-se uma tentativa de aprofundamento sobre o que se conhece sobre aceleradores de partículas. A figura (46) permite perceber a baixa incidência de FMC nos ambientes escolares estudados.

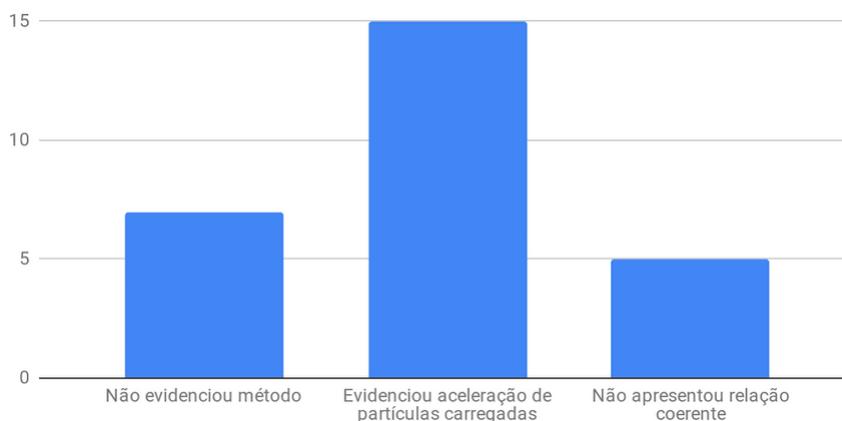
Figura 25 – Respostas sobre os meios para investigar as partículas elementares.



17. *O que são aceleradores de partículas?*

Esta questão forneceu muitas respostas abertas. De maneira geral foram descritos processos de aceleração de partículas, não evidenciando o métodos. Assim o método adotado para a análise das respostas consistiu em separar-se em três grupos, conforme a figura (47).

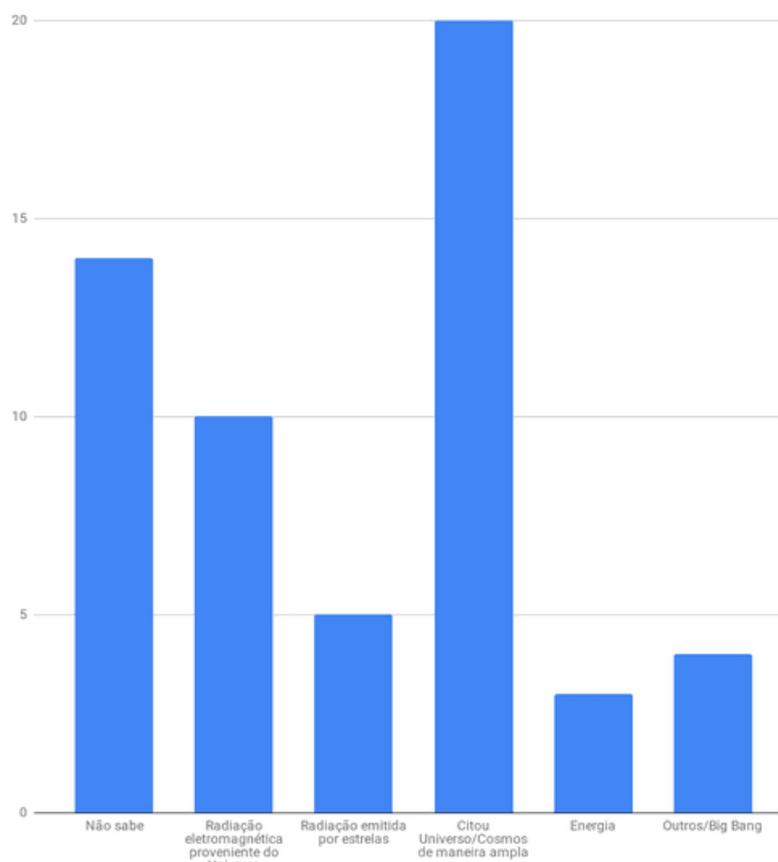
Figura 26 – Percepção sobre o que são aceleradores de partículas.



18. *O que você entende por radiação cósmica?*

A questão pretende uma aproximação sobre a compreensão acerca dos raios cósmicos. As respostas foram dadas a uma questão aberta. Foram divididas em seis grupos com o intuito de facilitar a análise quantitativa. Percebe-se que o tema (Raios Cósmicos) de fato não compõe o repertório de conceitos que são tratados no ensino médio. Conclui-se isso pelo fato de não haver uma correlação que vá além das concepções do termo cósmico e da concepção que possuem sobre o termo raios. Desta forma, embora seja necessária uma investigação mais apurada, o presente questionário cumpre sua função metodológica e serve como ponto de partida para a construção de questionário inicial para que seja efetivamente aplicado em sala de aula, com o advento da aplicação da Unidade de Ensino que compõe o Produto Educacional com seu material instrucional. A figura (48) ilustra essa análise.

Figura 27 – Grupo de respostas sobre os estudantes entendem por radiação cósmica.



As questões apresentadas neste questionário prévio tiveram como principal finalidade permitir uma aproximação sobre as impressões sobre os tópicos necessários para a composição da pesquisa que compõe a dissertação de Mestrado. Nos comentários livres foram apresentados agradecimentos e gestos de carinho pela forma como as aulas são ministradas, com o cuidado com as concepções prévias e pela adoção de uma atitude descentralizadora, o que evidencia, que mesmo quando não informados sobre tais mudanças metodológicas o corpo discente percebe a mudança na postura docente, principalmente, como é também o objeto de estudo do presente trabalho, colocar-se as (os) estudantes em posição mais ativa, na verdade, como protagonistas de suas próprias experiências educacionais.

4.3 Indicativos iniciais sobre a Unidade de Ensino

A aplicação efetiva da sequência didática como visto no capítulo metodológico deu-se em três grupos de estudos:

- estudantes do primeiro ano do ensino médio (primeiro ambiente educacional);

- do início do último ano do ensino médio (segundo ambiente educacional);
- estudantes que já terminaram o ensino médio (terceiro ambiente educacional) e que no momento da aplicação do trabalho frequentavam um curso pré-vestibular.

O anonimato e a voluntariedade dos estudantes foram adotados, como indicado no estudos de N. T. Massoni e M. A. Moreira (MASSONI; MOREIRA, 2017, p. 112). Além disso, a análise qualitativa mostrou-se apropriada, uma vez que efetivamente aproxima-se do objeto de estudo, reafirmando que os cuidados com a elaboração do questionário prévio permite uma trajetória mais consistente para toda a unidade de ensino. Este procedimento norteou o desenvolvimento do trabalho e converge com os estudos de A. C. W. Ludwig (LUDWIG, 2003):

Para se conseguir a cooperação do respondente é necessário fazê-lo perceber o valor do estudo através de uma explicação convincente, incluir itens de aquecimento, que são aqueles situados logo no início e que possuem pouco valor para a pesquisa e inserir itens de expressão emocional, ou seja questões em que o respondente possa fazer críticas, julgamentos e comentários que achar convenientes. É importante, também, optar pelos questionários de pouca extensão, haja vista a resistência das pessoas em preenchê-los. (LUDWIG, 2003, p. 18).

Também destaca-se a importância das análises pautadas nos enfoques da NDC, considerando a apropriação conceitual e aumento do interesse por ciências de maneira geral, como apontam os estudos de Forato *et al.* (FORATO *et al.*, 2011):

No âmbito de tal perspectiva, destaca-se a importância de se aprender sobre o que caracteriza a ciência como um empreendimento humano, e defende-se a história da ciência como uma estratégia pedagógica adequada para discutir certas características da natureza da ciência (NDC). (FORATO *et al.*, 2011, p. 29).

Ao contrário do que pode parecer a adoção da análise qualitativa não apresenta o que alguns autores chamam de subjetividade. Suas ferramentas são extremamente poderosas exatamente por ser mais próxima possível do objeto de estudo. Como apontam os estudos de M. M. Simionato e T. T. Soares (SIMIONATO; SOARES, 2014):

Estudos recentes têm mostrado que, em Educação, não se justifica mais desenvolver pesquisas quantitativas com a finalidade de mensurar e quantificar apenas, mas exige-se do pesquisador uma função maior e mais específica, que é dar tratamento qualitativo aos dados garimpados ao longo do estudo investigativo. Essa abordagem qualitativa não se reduz ao simples fato de colecionar dados sejam eles descritivos ou não. É preciso inseri-los e adequá-los às perguntas iniciais de pesquisa e aos objetivos propostos, inicialmente, no projeto de pesquisa. (SIMIONATO; SOARES, 2014, p. 13).

Por este motivo entende-se que não basta apenas as análises de questionários, mas também, em mesmo grau de importância, a percepção dos desenvolvimentos durante as aplicações. Nesse aspecto destaca-se as mudanças atitudinais, entre elas, o envolvimento e a curiosidade.

Nesse sentido as análises ancoram-se em ideias estruturantes presentes nos trabalhos de J. I. Pozo e M. A. G. Crespo (POZO; CRESPO, 2009):

Dos três tipos de conteúdo que, segundo temos visto, devem articular o currículo de ciências para atingir as metas da educação científica, as atitudes são, possivelmente, o mais difícil de abordar para muitos professores, acostumados e preparados para ensinar aos alunos as leis da dinâmica, como se ajusta uma equação química ou quais são as partes da célula, mas menos preparados e dispostos para ensinar seus alunos a comportarem-se durante a aula, a cooperar e ajudar seus colegas ou, inclusive, a descobrir o interesse pela ciência como forma de conhecer o mundo que nos rodeia. (POZO; CRESPO, 2009, p. 29).

Como já apontado, entre os objetivos do presente trabalho pretendia-se fomentar através de uma sequência de ensino a aproximação discente do ato de fazer ciência e sua apropriação conceitual. O uso da câmara de nuvens para a visualização das interações entre as partículas e a nuvem no interior do experimento potencializou esses dois objetivos. Os avanços foram percebidos essencialmente pelas mudanças atitudinais apresentadas durante toda a unidade, mas principalmente no momento experimental. Consequentemente percebe-se a importância da inserção de práticas diferentes daquelas que normalmente são praticadas nas rotinas escolares.

Os desenvolvimentos atitudinais foram avaliados durante todo o processo e a percepção dos professores aplicadores do Produto Educacional foram fundamentais. Embora essas percepções sejam de grande importância deve-se evitar o superdimensionamento das mesmas. A dimensão atitudinal tem duas faces, uma vista pelos professores, outra vista pelos estudantes. Como apontam J. I. Pozo e M. A. G. Crespo (POZO; CRESPO, 2009):

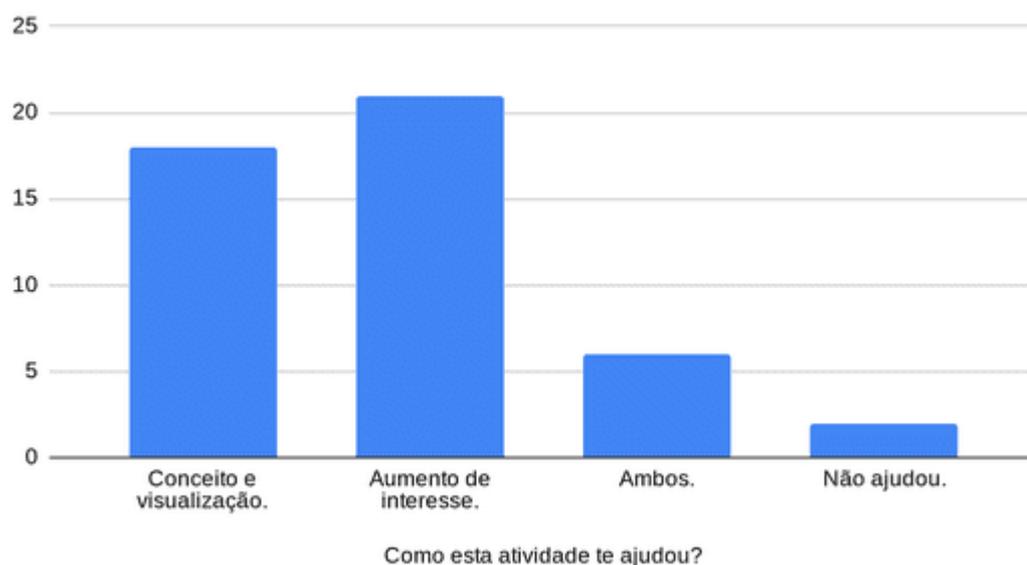
Que os alunos não sejam capazes de fazer cálculos estequiométricos depois de estarem trabalhando nisso durante semanas é frustrante, mas que nem sequer tentem fazê-los e que fiquem fazendo piadas ou lançando papéis enquanto se explica como devem fazer é arrasador. (POZO; CRESPO, 2009, p. 30).

Mesmo não sendo exatamente assim na grande maioria das aulas regulares, no sentido de que as(os) estudantes apresentem o comportamento descrito pelos autores, a apatia em relação aos novos temas, por si, já é elemento que impossibilita atingir-se os objetivos. Aqui destaca-se o elemento motivacional, no sentido restrito do termo. Ou seja, o que pode motivar a(o) estudante a se envolver mais intensamente com as atividades? Como as propostas apresentadas podem ser mais atrativas para as(os) estudantes? Não

há uma resposta para as perguntas, mas há indícios de que atividades e temas que fogem ao que estão acostumados podem ser os primeiros caminhos.

Uma evidência dessas ideias foi percebida pela análise da questão (9) do *Questionário de Retorno*, veja seção (3.2.6), na qual as (os) estudantes responderam acerca da importância da atividade. As respostas, como propostas pelo questionário, são de caráter aberto. Entre a extensa gama de respostas efetivou-se a divisão em quatro grupos de importância, como visto na figura (9):

Figura 28 – Número de respostas obtido para quatro grupos gerais de importância segundo o que está explicado no texto.



Chama a atenção o fato da atividade ser voluntária e de resposta anônima. É importante perceber que há um grupo de dois estudantes que apontam para a não importância/relevância. No entanto, a grande maioria indica o *Aumento do interesse* como a principal relação com a prática, o que corrobora com o trabalho de J. I. Pozo e M. A. G. Crespo (POZO; CRESPO, 2009):

Contudo, além de ajudar o aluno a interpretar melhor seus sucessos e fracassos, um professor pode incentivar a motivação de seus alunos também de uma forma mais simples e direta, tornando mais provável o êxito ao adequar as tarefas às verdadeiras capacidades e disposições de seus alunos. Por mais ajuda que receba e por mais que valorize o êxito na tarefa, é pouco provável que o leitor se sinta motivado a quebrar o recorde do momento em bicicleta. Mas talvez sinta, isso sim, que está suficientemente motivado para participar de uma corrida popular. (POZO; CRESPO, 2009, p. 45).

Este indicativo converge com as impressões subjetivas apresentadas pelos discen-

tes. Em todas as etapas das aplicações o envolvimento das(os) estudantes foi acima do esperado, quando comparado com as outras formas de atividades. Em três situações e ambientes educacionais diferentes percebeu-se aumento no grau de envolvimento. Tanto na aplicação dos questionários, quanto na aplicação dos experimentos. Na figura (10), (11) e (12) os estudantes respondem o *Questionário 1*, veja a seção (3.2.2).

Figura 29 – Primeiro grupo de estudantes respondem aos questionários 1.



Figura 30 – Segundo grupo de estudantes respondem aos questionários 1.



Figura 31 – Terceiro grupo de estudantes respondem aos questionários 1.



As figuras (13), (14) e (15) destacam a interação dos diferentes grupos de estudantes durante as montagens dos experimentos.

Figura 32 – Primeiro grupo de estudantes durante a montagem do experimento.



Figura 33 – Segundo grupo de estudantes durante a montagem do experimento.



Figura 34 – Terceiro grupo de estudantes durante a montagem do experimento.



4.4 A predisposição para o ensino por experimentos

Outro elemento que reforça o grau de envolvimento são as respostas abertas sobre a importância do experimento em si. Abaixo estão relatos que apontam algumas impressões dos estudantes sobre a importância da Metodologia de ensino, das apropriações conceituais, do enfoque motivacional e do processo educacional. A percepção dessas mudanças é feita pelo docente em seu cotidiano, na construção e orientação das atividades. Em princípio parece faltar elementos para esta análise, no entanto, como aponta A. M. P. Carvalho (CARVALHO, et al, 2017):

Esse processo exige uma mudança de postura do professor em relação às formas de avaliar a aprendizagem dos alunos. É importante que sempre esteja atento à sua turma, às ações e aos resultados por ela realizados e alcançados. A observação e os registros do professor sobre os alunos são instrumento de avaliação essencial para acompanhar o desempenho dos estudantes. (CARVALHO, et al, 2017, p. 18).

Algumas evidências dessas transformações podem ser percebidas pelos depoimentos, anônimos, sobre as atividades. Parte desses relatos é apresentada nas figuras (16), (17), (18) e (19).

Figura 35 – Alguns relatos que apresentaram impressões sobre a metodologia.

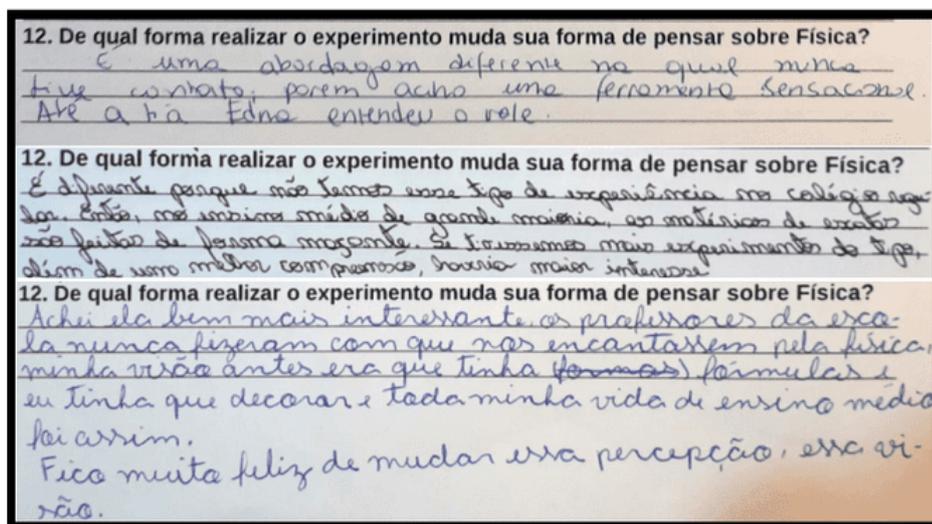


Figura 36 – Alguns relatos sobre relação teoria x experimento.

12. De qual forma realizar o experimento muda sua forma de pensar sobre Física?
 Me faz entender aquilo que vejo no modo teórico

12. De qual forma realizar o experimento muda sua forma de pensar sobre Física?
 Ajuda para melhorar a ideia daquilo aprendido na teoria.

Figura 37 – Alguns relatos que apontam aumento no grau de interesse.

12. De qual forma realizar o experimento muda sua forma de pensar sobre Física?
 Muda o meu pensamento de que física é muito complicada e me faz ter mais interesse em estudar mais.

Obs. Eu sempre fui uma pessoa que sente muita dificuldade na sua matéria. Desde a primeira aula você me mostrou que a física é incrível. Além disso, a sua didática é impecável e se torna uma das minhas motivações para ser professora. ^{Muito obrigada!}

12. De qual forma realizar o experimento muda sua forma de pensar sobre Física?
 Basicamente eu achava física algo chato, experimentalmente me atrai mais, ser só o teor da teoria do papel e se tornar real diante dos meus olhos me atrai mais.

Figura 38 – Relato: não houve mudança na forma como se aprende Física.

12. De qual forma realizar o experimento muda sua forma de pensar sobre Física?
 Acho que não mudou, ainda acho física uma ciência fantástica e misteriosa, que eu quero aprender mais.

A dimensão atitudinal aponta que a sequência proporcionou mecanismos consistentes para a aquisição de novos conceitos. Percebe-se a dimensão potencialmente significativa do material pelo o que ela já representa, ao menos para o grupo de estudo em questão, tanto pela alta taxa de empatia e envolvimento dos estudantes, quanto pela forma com que os conteúdos foram apresentados. Esta percepção converge com as ideias apresentadas por J. I. Pozo e M. A. G. Crespo (POZO; CRESPO, 2009):

De fato, com a mudança de atitudes ocorre o mesmo que com outros aprendizados. Durante muito tempo se acreditou que bastava expor um modelo (fosse conduta ou teórico) e persuadir ou convencer o aluno de suas virtudes. A ideia de que expor o aluno ao conhecimento ou à conduta correta era suficiente para que ele assimilasse ou reproduzisse foi contestada pela pesquisa recente, que mostra o importante papel do

conflito, tanto na mudança conceitual (como veremos mais adiante, no Capítulo 4) como a própria mudança de atitude. (POZO; CRESPO, 2009. p. 35).

4.4.1 A apropriação conceitual e a Natureza da Ciência

Entre as muitas características que uma proposta de ensino que pretende ser significativa deve ter, o cuidado com o levantamento das concepções prévias deve figurar entre os pontos estruturantes.

Desta forma, o início deste trabalho fundamentou-se pelo levantamento das dessas concepções em convergência com as ideias de Paulo Freire e David Ausubel.

Por volta da década de 70 muitos autores realizaram grandes esforços para entenderem as concepções científicas apresentadas pelos estudantes, especificamente os conceitos científicos aprendidos na escola. Esses estudos indicaram que as percepções e ideias das(os) estudantes possuem fortes influências dos contextos em que estão inseridos, evidenciando algumas resistências às mudanças, como aponta E. F. Mortimer (MORTIMER, 1996, p. 31):

O perfil epistemológico, em cada conceito, difere de um indivíduo para outro. Ele é fortemente influenciado pelas diferentes experiências que cada pessoa tem, pelas suas raízes culturais diferentes. (MORTIMER, 1996, p. 31).

Essas ideias indicam que cada indivíduo possui um histórico de sentidos e percepções que são fundamentais para a formação daquilo que será chamado de perfil conceitual. No caso das Ciências da naturais esse perfil é inicialmente permeado pelo empirismo, transformando-se pelo contato, tanto com novas experiências, quanto com novas ferramentas epistemológicas. Nessas transformações ocorrem o aumento de complexidade do perfil e sua aproximação à racionalidade, como apontam os estudos de E. F. Mortimer (MORTIMER, 1996):

A noção de perfil conceitual é, portanto, dependente do contexto, uma vez que é fortemente influenciado pelas experiências distintas de cada indivíduo; e dependente do conteúdo, já que para cada conceito em particular tem-se um perfil diferente. As categorias que caracterizam o perfil são fortemente ligadas ao contexto escolar na qual podem ser aplicadas e às perguntas que foram usadas para se ter acesso às ideias dos estudantes. (MORTIMER, 1996, p. 34).

Nesse contexto de investigação docente a inserção do conceito de perfil conceitual mostra-se extremamente frutífera, fornece melhor compreensão sobre as concepções prévias, incluindo de forma consistente aquilo que as(os) estudantes já possuem, como indica E. F. Mortimer (MORTIMER, 1996):

A noção de perfil conceitual nos fornece elementos para entender a permanência das idéias prévias entre estudantes que passaram por um processo de ensino de noções científicas. Ao mesmo tempo, muda-se a expectativa em relação ao destino dessas idéias, já que se reconhece que elas podem permanecer e conviver com as idéias científicas, cada qual sendo usada em contextos apropriados.(MORTIMER, 1996, p. 34).

A mudança conceitual é algo extremamente complexa para que apresente mudanças significativas e persistentes, inclusive, em especialistas, como apontam os estudos de J. I. Pozo e M. A. G. Crespo (POZO; CRESPO, 2009, p. 78).

Por este motivo muitas perguntas surgem ao se preparar uma sequência didática. Uma delas é: como ensinar Ciências? Os dados coletados são de grande importância para qualquer experimento, no entanto, fomentar a criticidade através das análises mostra-se mais efetivo, com aponta estudo de J. I. Pozo e M. A. G. Crespo (POZO; CRESPO, 2009):

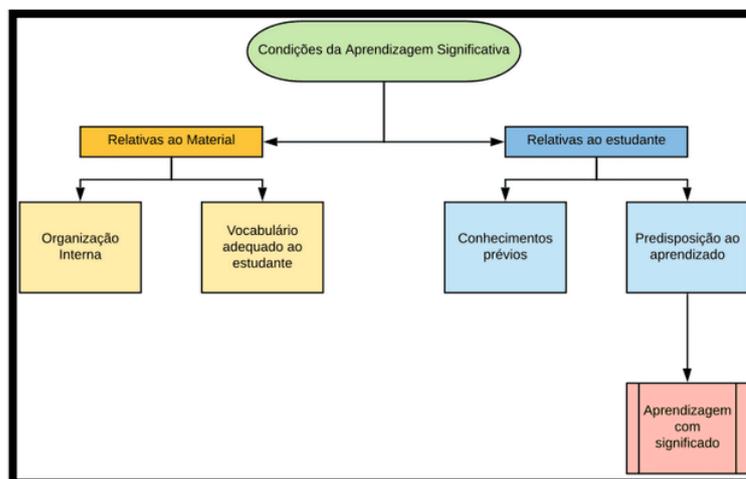
...acreditamos que é preciso situar a educação científica no contexto de uma sociedade em que sobra informação e faltam marcos conceituais para interpretá-la, de modo que a transmissão de dados não deveria constituir um fim principal da educação científica, que deveria estar dirigida, na verdade, a dar sentido ao mundo que nos rodeia, a compreender as leis e os que o regem. (POZO e CRESPO, 2009, p. 80).

Com base nessa referência alguns procedimentos foram propostos com o intuito de consolidar o aprendizado conceitual, coerente com os estudos de J. I. Pozo e M. A. G. Crespo (POZO; CRESPO, 2009, p. 82):

- Evitar perguntas e tarefas reprodutivas, ou seja, evitar que a resposta “correta” apareça como literalmente incluída;
- Buscar atividades em que os estudantes possam apresentar ideias mais gerais sobre o tema, com aplicação em outros campos;
- Avaliar as concepções prévias para trabalhar a partir delas;
- Valorizar as ideias pessoais dos estudantes para que possam explicar com suas próprias palavras;
- Valorizar as conceituações e interpretações, mesmo que essas se afastem das ideias aceitas;
- Utilizar técnicas “indiretas” que evitem, ou valorizem, a repetição literal das respostas esperadas.

Baseado neste quadro de referências tem-se o seguinte mapa conceitual, visto na figura (20), como sugerido por J. I. Pozo e M. A. G. Crespo (POZO; CRESPO, 2009, p. 85):

Figura 39 – Condições para a Aprendizagem Significativa.



Fonte: Adaptado de Pozo e Crespo (2009, p. 85).

As mudanças conceituais são extremamente difíceis de ocorrer de forma plena e pautadas unicamente na aquisição de novos conceitos, como apontam J. I. Pozo e Crespo (POZO; CRESPO, 2009).

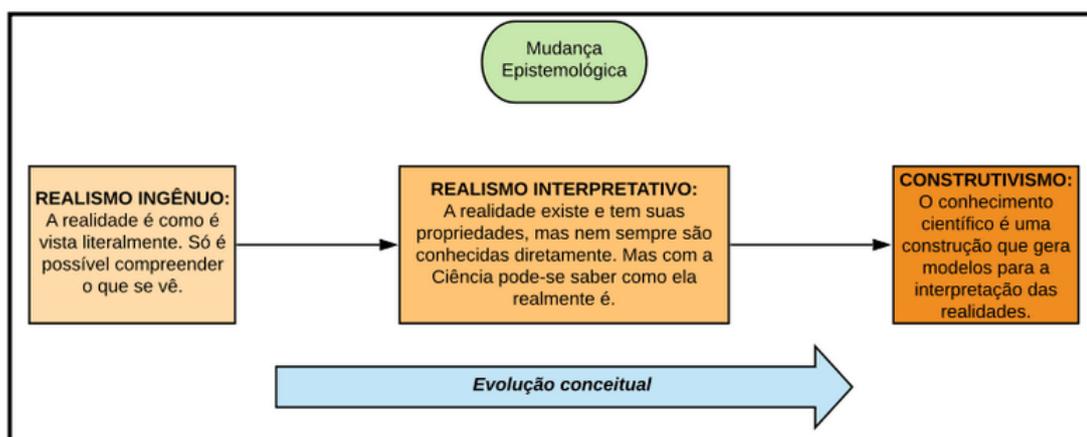
Também deve-se considerar a ressignificação, ou seja, as pequenas mudanças, podem indicar uma diferenciação progressiva, como apontado por M. A. Moreira (MOREIRA, 2011):

A diferenciação progressiva é o processo de atribuição de novos significados a um dado subsunçor (um conceito ou uma proposição, por exemplo) resultante da sucessiva utilização desse subsunçor para dar significado a novos conhecimentos. (MOREIRA, 2011, p. 20).

A interpretação de alguns resultados fundamenta-se a partir de concepções prévias (nem sempre ancoradas em embasamentos científicos) e por isso pode-se verificar a evolução epistemológica presente nos grupos de estudantes, como aponta os estudos de J. I. Pozo e M. A. G. Crespo (POZO; CRESPO, 2009).

De maneira qualitativa apresenta-se uma forma como dá-se a aprendizagem das Ciências. Os princípios epistemológicos podem ser apresentados pela figura (21), considerando a análise proposta por J. I. Pozo e M. A. G. Crespo (POZO; CRESPO, 2009, p. 111):

Figura 40 – Condições para a Aprendizagem Significativa.



Fonte: Adaptado de Pozo e Crespo (2009, p. 85).

Como proposto pela análise qualitativa, na qual as respostas abertas permitem a aproximação das realidades educacionais, tem-se um panorama sobre como se estrutura as Ciências para as(os) estudantes, antes e depois da aplicação da sequência didática.

Ao analisar-se o *Questionário 1*, a noção de Ciência nos grupos estudados apresentou-se com uma tendência ao Realismo Interpretativo, no qual há a interpretação de que a relação causal daquilo que pode ser visualizado é uma amostra em outra escala de outras realidades, com isso podem ser realizadas interpretações equivocadas, como propõem J. I. Pozo e M. A. G. Crespo (POZO; CRESPO, 2009).

Após a aplicação da unidade de ensino, no Questionário de Retorno, percebeu-se impressões mais próximas ao que se entende como Construtivismo, ou seja, o conhecimento científico como uma construção humana, portanto, uma aproximação da realidade, evidenciando a construção dos modelos para a interpretação das realidades, de acordo com o trabalho de J. I. Pozo e M. A. G. Crespo (POZO; CRESPO, 2009). As figura (22) e (23) apresentam, respectivamente, o número de respostas em grupos de concepções prévias e concepções apresentadas após a atividade acerca de características das Ciências.

Figura 41 – Incidência de concepções prévias sobre Ciências.



Figura 42 – Impressões sobre Ciências após a aplicação da atividade.



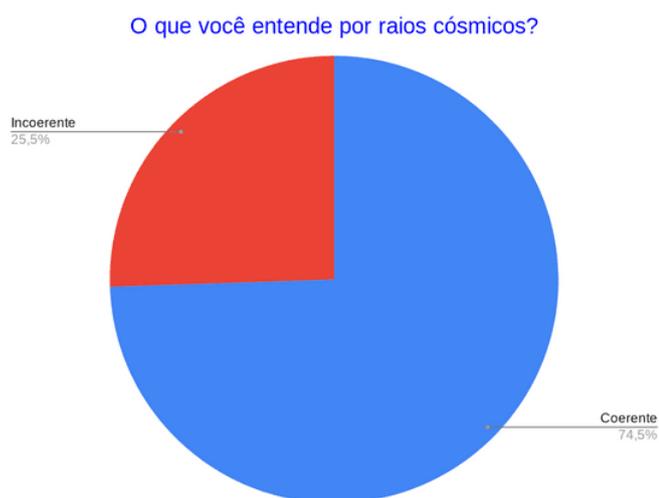
Sobre o conteúdo específico de partículas elementares, também percebeu-se melhorias na apropriação conceitual. O uso de vídeos e o experimento físico no qual foram visualizadas as manifestações das interações partículas/nuvens foram essenciais para a aproximação dos novos temas. Sobre o conceito de Raios cósmicos, por exemplo, houve significativo aumento de aquisição conceitual, como visto nas figuras 24 e 25.

Figura 43 – Concepções prévias sobre Raios Cósmicos.



Como esperado para um tema novo, especificamente para um tópico de FMC, a grande maioria dos estudantes não possuía nenhuma concepção prévia sobre o conceito de Raios Cósmicos. A interpretação das respostas apresentadas permitiu a divisão em dois grupos: o primeiro, que apresentou respostas coerente com a concepção adequada, e o segundo, que não apresentou resposta coerente com a visão adequada.

Figura 44 – Concepções prévias sobre Raios Cósmicos.

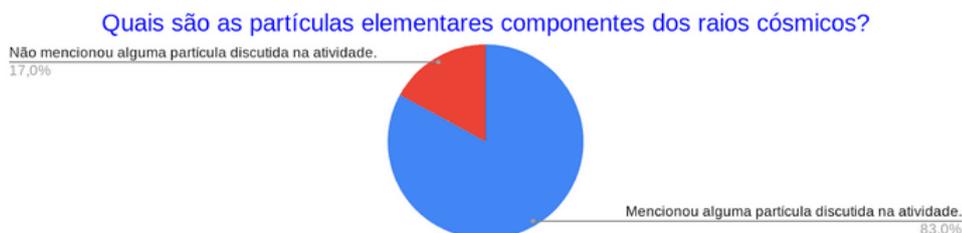


Após a aplicação da atividade, aproximadamente 75 % das(os) estudantes apresentaram conceitos adequados ao conceito aceito para os Raios Cósmicos, o que evidencia a potencialidade da sequência didática para a apropriação conceitual sobre o tema.

Sobre as partículas discutidas durante a atividade 83 % dos estudantes menci-

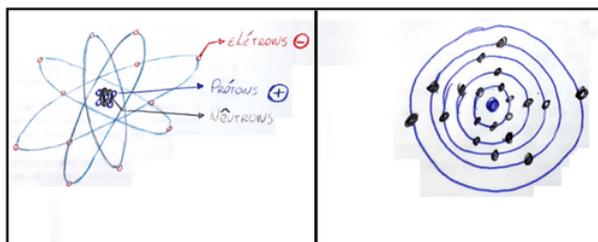
onaram corretamente, ao menos, uma das partículas discutidas, sendo que os múons e pósitrons foram os mais mencionados, ou seja, há forte evidencia da apropriação sobre o novo modelo, como visto em J. I. Pozo e M. A. G. Crespo (POZO; CRESPO, 2009). É importante destacar que os novos modelos apresentaram forte ancoragem nos modelos prévios, principalmente os modelos de Rutherford e Bohr, como visto na figura (26).

Figura 45 – Apropriação sobre as Partículas elementares.



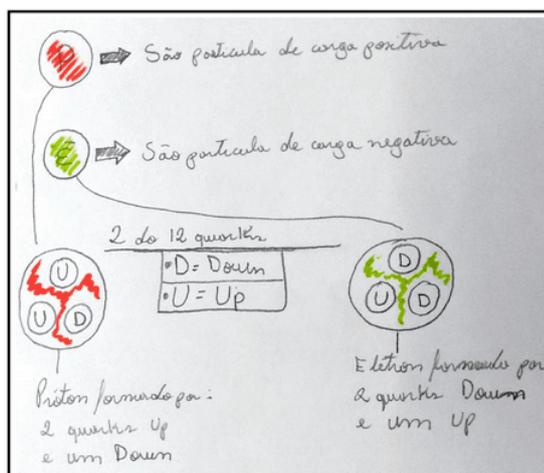
Esta relação de ancoragem com os modelos mencionados pode ser destacada pela impressão das representações gráficas apresentadas por alguns estudantes, como destacado nas figura (27) e (28).

Figura 46 – Apropriação sobre as Partículas elementares.



Mesmo com alguns equívocos conceituais percebeu-se a apropriação de novos conceitos. Após o término da atividade alguns estudantes apresentaram os modelos mais próximos dos modelos aceitos para as partículas elementares. Uma interpretação possível é dada pelo conceito de ressignificação apresentado por M. A. Moreira (MOREIRA, 2011).

Figura 47 – Apropriação sobre as Partículas elementares.



4.4.2 Considerações finais

Entre as motivações iniciais que o presente trabalho apresentou destacaram-se as apropriações conceituais e as mudanças atitudinais sobre as posturais científicas das(os) estudantes. No entanto, percebe-se que o percurso para a consolidação da unidade de ensino foi, de fato, o que transformou as realidades dos educandos e educadores. A essência científica foi vivenciada como uma atividade humana, ou seja, socialmente construída. O caminho escolhido para isso foi embasado naquilo que é chamado de Natureza da Ciência na sala de aula, como apontam os estudos de Forato *et al.* (FORATO *et al.*, 2011).

O experimento de baixo custo foi fundamental para apropriação conceitual. Tanto a construção do experimento quanto a percepção das partículas no interior da câmara cumpriram o papel esperado: a apropriação da postura científica por parte das(os) estudantes.

Outro ponto de grande importância deu-se pela análise sobre o conhecimento da história da Física no Brasil, particularmente sobre os trabalhos e avanços científicos realizados pelo Professor César Lattes. A análise sobre o conhecimento desses avanços e conquistas permitiu a comparação com outros tópicos de percepção pela sociedade. O que coloca o conhecimento sobre a história de Física no país no mesmo grupo de percepção científica que os “temas de medicina e saúde, meio ambiente e ciência e tecnologia como um índice único que engloba essas áreas”, ou seja, pela normalização por índices de percepção, como aponta o estudo denominado Manual de Antigua, realizado pela Red Iberoamericana de Indicadores de Ciencia y Tecnología (RED, 2015, p. 80, tradução nossa). De maneira geral apresenta-se baixo envolvimento com os trabalhos científicos, mesmo compreendendo que estes são essenciais para o desenvolvimento das sociedades.

A análise desses estudos convergem com a percepção inicial do presente trabalho:

as(os) estudantes destacaram as Ciências como área de grande importância, mesmo não destacando especificamente os temas ou cientistas. Esta dimensão é percebida na análise do questionário prévio, no qual questiona-se sobre o conhecimento acerca de cientistas brasileiros. O levantamento apontou baixo índice de conhecimento sobre o nome do Professor César Lattes, e o cientista brasileiro mais conhecido apontado pelos estudantes foi o Professor Marcelo Gleiser.

Sobre os conceitos específicos percebeu-se importantes mudanças conceituais sobre a estrutura atômica e seus componentes. Algumas partículas elementares foram intensamente discutidas, como os múons. A curiosidade sobre outras, como os quarks, impulsionaram o trabalho. Nesse aspecto foram percebidas mudanças epistemológicas acerca dos modelos atômicos. É importante lembrar que a grande maioria das(os) estudantes tinham como modelo para a estrutura da matéria os modelos atômicos de Rutherford e Bohr.

Também constatou-se que a apresentação de um novo tema se mostra mais efetiva pela complementação de formas, ou seja, vídeos, debates e o experimento físico. Proporcionar diferentes caminhos contemplou a aproximação do grupo. Estes procedimentos facilitaram a aprendizagem de novas ideias convergindo com conceitos de diferenciação progressiva e reconciliação integradoras, vistos nos estudos de M. A. Moreira (MOREIRA, 2011).

A situação problema apresentada ancorou-se na compreensão do modelo atômico em que os prótons e nêutrons ocupam o núcleo, mas que não explicava-se adequadamente os motivos para que isso ocorra, uma vez que são portadores de cargas elétricas positivas, e, portanto, existem forças repulsivas que apontam para uma possível instabilidade. Essa proposta despertou a curiosidade e aumentou o grau de envolvimento, o que convergiu com as propostas apresentadas por Brockington *et al.* (BROCKINGTON *et al.*, 2017), principalmente no que diz respeito às mudanças de visão de mundo:

Esses termos (conceitos) antes só eram ouvidos em filmes ou livros de ficção científica. Compreender minimamente esses termos pode levar a uma mudança na visão de mundo, rompendo com o senso comum, causando estranheza e curiosidade no estudante, estimulando a vontade de entender mais sobre essas entidades e conceitos que não se encontram no seu dia a dia. (BROCKINGTON *et al.*, 2017, p. 32).

A aprendizagem dos novos conceitos através do envolvimento com a unidade de ensino aponta que o material é potencialmente significativo. Proporcionou o estreitamento entre as concepções prévias e os conceitos novos fomentando empatia e curiosidade. Isto pôde ser percebido pelo reconhecimento por parte das(os) estudantes acerca das metodologias adotadas. Nesse sentido os materiais exerceram papel fundamental. Os vídeos, imagens, animações e os materiais específicos, como os do *Perimeter Institute*, fomentaram discussões que orientaram a prática docente e abriram caminhos para diferentes

enfoques. Além disso evidenciaram as dificuldades para a apresentação de tópicos contemporâneos sem o auxílio desses materiais, o que tornaria as práticas extremamente abstratas. O experimento foi imprescindível.

Uma análise mais ampla sobre a unidade de ensino permitiu perceber outras possíveis abordagens. Assim, a melhoria dos processos e métodos ganha consistência. São essas impressões que permitiram a visão de que uma reestruturação da proposta é possível, indicando os acertos e pontos importantes, excluindo algumas práticas que não se mostraram eficientes, ou, adaptando formas de acordo com as futuras turmas em que o Produto Educacional possa ser aplicado. Por isso a Pesquisa Baseada em Design, ou DBR (design-based research) em inglês, pode ser aplicada, como apontam os estudos de F. B. Kneubil e M. Pietrocola (KNEUBIL; PIETROCOLA, 2017):

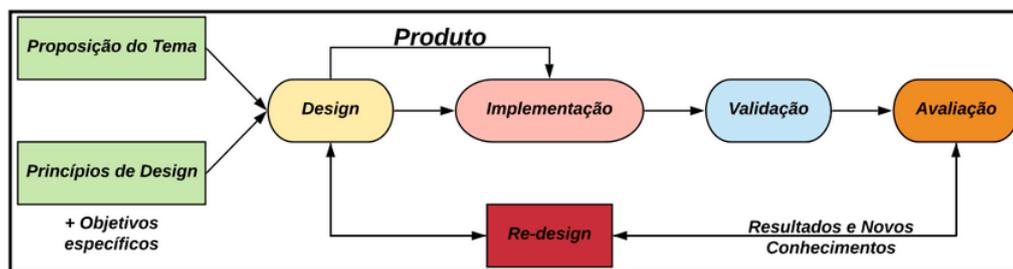
A pesquisa baseada em design gerencia o processo como um todo, desde a ideia da inovação/criação até sua efetiva implementação em um ambiente real. Além disso, é essencial que haja uma análise do processo inteiro e não apenas do produto final, pois os resultados tirados dessa análise deverão ser incorporados na própria metodologia visando seu aprimoramento. (KNEUBIL; PIETROCOLA, 2017, p. 3).

Algumas impressões sobre os resultados evidenciam a existência de outros caminhos. Por exemplo, a realização do experimento com a verificação do número de partículas por intervalo de tempo para a área da câmara. Esta possibilidade chegou a ser cogitada no início do trabalho, mas, por uma escolha metodológica adotou-se o viés demonstrativo. Em uma futura aplicação pretende-se realizar este levantamento.

Outra percepção ocorreu durante a apresentação do Modelo Padrão, que foi brevemente apresentado aos estudantes através dos vídeos e do material do *Perimeter Institute*, mas não realizou-se um maior aprofundamento. Para realizar essa inserção pode ser adotado o trabalho de M. A. Moreira (MOREIRA, 2004). O texto pode ser adotado como atividade complementar, o mesmo pode ser feito com outro artigo, no qual a construção de mapas conceituais como sugere M. A. Moreira (MOREIRA, 2013). Esses recursos complementarizam a aplicação do presente trabalho.

Com isso a avaliação da sequência de ensino e aprendizagem aponta para um próximo estágio do trabalho que será o seu redesenho, como apontam os estudos de F. B. Kneubil e M. Pietrocola (KNEUBIL; PIETROCOLA, 2017). A concepção de redesenho permite o levantamento dos pontos que podem ser reavaliados, adaptados, excluídos ou inseridos. Esta estrutura é representada pela figura (29).

Figura 48 – Esquema de desenvolvimento da Sequência de ensino/aprendizagem.



Fonte: Adaptado de (KNEUBIL; PIETROCOLA, 2017, p. 10).

O desenvolvimento de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas, bem como suas aplicações, configuram grandes desafios para os professores de Ciências de maneira geral. Exige a imersão no universo dos estudantes envolvidos no processo, pesquisas sobre metodologias e materiais potencialmente significativos e muitas correções durante sua aplicação.

Para o Ensino de Física, especificamente da Física Moderna e Contemporânea acrescenta-se a carência de materiais, de experimentos de baixo custo e da formação adequada das professoras e professores.

Mesmo com todos esses obstáculos mostrou-se plenamente palpável o desenvolvimento de atividades e sequências que fomentem esse tipo de abordagem.

A apresentação de experimentos feitos com materiais de baixo custo, ou que percorram trajetórias diferentes, como a análise de vídeos, textos, séries ou palestras disponíveis na internet compõem as alternativas mais próximas das realidades nacionais.

Outro ponto de fundamental importância compõe os resultados deste trabalho e indica a importância da multiplicidade de percursos para que a unidade de ensino se mostre significativa. Mesmo que não ocorra o levantamento quantitativo dos fenômenos físicos discutidos, a mudança epistemológica é perceptível, o que altera significativamente a forma como as(os) estudantes percebem o mundo que os cerca.

De maneira geral entende-se os resultados de forma bastante frutífera, o que contribui para o próximo estágio do trabalho. Pretende-se fazer a mensuração de algumas grandezas, como número de partículas por unidade de área em um intervalo de tempo, ou a determinação da energia para cada partícula específica. Com isso acredita-se ter atingido bons resultados.

Houve mudança epistemológica acerca modelo vigente para a estrutura da matéria, que era dado por uma visão bastante frequente em cursos de Química do Ensino Médio. Houve grande envolvimento com um tema novo norteado por uma situação/problema com

o uso de materiais e metodologias potencialmente significativos. Houve também o uso de um experimento de custo acessível e que pôde apresentar de maneira direta e visual, uma das áreas mais importantes, tanto para a Física, quanto para a história da Física no Brasil, que é a Física de Partículas. Vivências que antes os estudantes acessavam apenas pelos meios de comunicação, mas que são pouco discutidos em ambiente escolar.

Por fim, como visto nos depoimentos de alguns estudantes, realizar o exercício de uma prática escolar, discente e docente, que pôde mostrar novos caminhos, onde as(os) estudantes foram, em grande maioria do processo, protagonistas. Com isso, aproximaram-se da postura científica e vivenciaram uma prática que fomenta a autonomia acadêmica, ao apontar que ensinar exige querer bem aos educandos, como propõe P. Freire:

É esta percepção do homem e da mulher como seres “programados, mas para aprender” e, portanto, para ensinar, para conhecer, para intervir, que me faz entender a prática educativa como um exercício constante em favor da produção e do desenvolvimento da autonomia de educadores e educandos. Como prática estritamente humana jamais pude entender a educação como uma experiência fria, sem alma, em que os sentimentos e as emoções, os desejos, os sonhos devessem ser reprimidos por uma espécie de ditadura reacionista. Nem tampouco jamais compreendi a prática educativa como uma experiência a que faltasse o rigor em que se gera a necessária disciplina intelectual. Estou convencido, porém, de que a rigorosidade, a séria disciplina intelectual, o exercício da curiosidade epistemológica não me fazem necessariamente um ser mal-amado, arrogante, cheio de mim mesmo. Ou, em outras palavras, não é a minha arrogância intelectual a que fala de minha rigorosidade científica. Nem a arrogância é sinal de competência nem a competência é causa arrogância. Não nego a competência, por outro lado, de certos arrogantes, mas lamento neles a ausência de simplicidade que, não diminuindo em nada seu saber, os faria gente melhor. Gente mais gente. (FREIRE, 1996, p. 146).

A percepção final mostra que parece não existir um término, mas sim um recomeço, uma nova oportunidade, nova análise, com novos estudantes e turmas, ou espaços educacionais, para que o recomeço se apresente. Este processo, em si, é o elemento motor de nosso trabalho como educadores, que é perene e necessário.

5 CONCLUSÕES

O desenvolvimento deste trabalho teve como inspiração o anseio das(os) estudantes por conhecer mais sobre as grandes questões da Física Contemporânea. De maneira geral esses tópicos não são contemplados no Ensino Médio, o que contribui para o distanciamento do assunto. Entre as muitas possibilidades escolheu-se o tema partículas elementares e raios cósmicos por possuir conexão direta com a compreensão acerca da estrutura da matéria. Desta forma, compreender os modelos passados e problematizar suas inconsistências formaram os caminhos para a construção de uma unidade de ensino que pudesse fomentar a curiosidade e despertar o interesse para a forma como as Ciências estruturam-se.

O levantamento de concepções prévias sobre os conceitos físicos, modelos atômicos e a importância das Ciências para o exercício da cidadania foram os elementos estruturantes da unidade de ensino. Debates, apresentações de vídeos e o incentivo à pesquisa prévia (sala de aula invertida) foram essenciais para a consolidação do trabalho, no entanto, a inserção do experimento de baixo custo, no qual as(os) estudantes observaram as manifestações de partículas elementares, evidenciou o protagonismo e a maior apropriação conceitual.

Houve o aumento significativo no interesse por Ciências e a conscientização sobre sua importância para a construção de uma sociedade equilibrada e justa. Essas são impressões coletadas durante todo o processo de implementação, o que mostra que os ajustes durante a prática são fundamentais. Esta percepção forneceu elementos para futuras aplicações, inclusive em algumas das turmas que participaram, considerando as devidas mudanças. Entre elas está a determinação do fluxo de partículas no experimento, que permite uma análise quantitativa como o segundo passo da abordagem. Por estes motivos entende-se que a unidade de ensino cumpriu papel importante: apropriação conceitual através de experimento de baixo custo e exercício do protagonismo discente, mas que, como proposto, apresenta possibilidades de redesenho a cada aplicação.

6 BIBLIOGRAFIA

ABDALLA, M. C. B. **O discreto charme da partículas elementares**. São Paulo: Editora Livraria da Física. 2. ed. 2016.

ALMEIDA, L. S. **Facilitar a aprendizagem**: ajudar aos alunos a aprender e a pensar. *Psicologia escolar e educacional*, Campinas, v. 6, n. 2, p. 155-165, dez. 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pee/v6n2/v6n2a06.pdf>>. Acesso em: nov. de 2019.

ALVES, G. A. **O múon**: passado, presente e futuro. In: CARUSO, F.; OGURI V.; SANTORO. A. (Ed). *Partículas Elementares: 100 Anos de Descobertas*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2012. - (Série LISHEP; 3). cap 8, p. 133-138.

ANJOS, J, dos. VIEIRA, C.L. ed.; **Um olhar para o futuro**: desafios da física para o século 21. Rio de Janeiro : Vieira & Lent: FAPERJ, 2008.

ASSIS, J. de P. **César Lattes**: descobrindo a estrutura do universo. São Paulo: Editora Unesp, 2001.

BOGDAN, R.; BIKLEN, S. **Investigação qualitativa em educação**: uma introdução à teoria e aos métodos. Porto: Porto Editora, 1994.

BRASIL. Secretaria de Educação Básica. Ministério da Educação. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio** – Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Brasília, 2006. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_02_internet.pdf>. Acesso em: set. de 2018.

BRASIL. **Portal oficial do Governo Federal**. 2016. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/cidadania-e-justica/2016/10/em-2030-90-da-populacao-brasileira-vivera-em-cidade>> <[shttp://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_02_internet.pdf](http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_02_internet.pdf)>. Acesso em: set. de 2018.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular (BNCC)**, 2017. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=85121-bncc-ensino-medio&category_slug=abril-2018-pdf&Itemid=30192>.

Acesso em: set. de 2018.

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.

CAMILO, J; MATTOS, C. **Educação em ciências e a teoria da atividade cultural-histórica:** Contribuições para a reflexão sobre tensões na prática educativa, In: *Revista Ensaio* | Belo Horizonte. v.16, n.01, p. 211-230, jan-abr 2014. Disponível em: <<https://periodicos.ufmg.br/index.php/ensaio/article/view/10166>>. Acesso em: nov. de 2019.

CARRIL, M.P.; NATÁRIO, E. G.; ZOCCAL, S. I. **Considerações sobre aprendizagem significativa, a partir da visão de Freire e Ausubel** – uma reflexão teórica. In: *e-Mosaicos* - Revista Multidisciplinar de Ensino, Pesquisa, Extensão e Cultura do Instituto de Aplicação Fernando Rodrigues da Silveira (CAp - UERJ); V.6 - N-13 - Dezembro de 2017. Disponível em: <<https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/e-mosaicos/article/view/30818>>. Acesso em: nov. 2019.

CARUSO, F.; OGURI V. **Física Moderna** – Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos, 2 Ed. Campus, Rio de Janeiro, 2016.

CARUSO, F.; OGURI V.; SANTORO. A. (Ed). **Partículas Elementares:** 100 Anos de Descobertas. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2012. - (Série LISHEP; 3).

CARVALHO, A. M. P. (2017) (Org.). **Ensino de Ciências por investigação:** condições para implementação em sala de aula. São Paulo: Cengage Learning, 2017.

CARVALHO, A. M. P; SASSERON, L. H. **Alfabetização científica: uma revisão bibliográfica.** In: *Investigações em Ensino de Ciências* – V16(1), pp. 59-77, 2011. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/246>>. Acesso em: nov. de 2019.

CATALÃO, I. **Socioespacial ou sócio-espacial:** continuando o debate, In: *Revista Formação Online*, n. 18, volume 2, p. 39-62, jul./dez., 2011. Disponível em: <<http://revista.fct.unesp.br/index.php/formacao/article/viewFile/597/1226>>. Acesso em: nov. de 2019.

CBPF. Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas. **Partículas Elementares: A (des)construção da matéria pelo homem.** Rio de Janeiro, RJ, 2005a. Disponível em: <http://www.cbpf.br/~desafios/index_1.php?p=pdf_folders>. Acesso em: nov. de 2018.

CBPF. Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas. **Núcleo Atômico: 100 anos da descoberta do centro da matéria.** Rio de Janeiro, RJ, 2005b. Disponível em: <http://www.cbpf.br/~desafios/media/baixa_res/Folder_Nucleo_Atomico_BaixaRes.pdf>. Acesso em: nov. de 2018.

CHIAPPIN, J. R. N; LEISTER, A. C. **Uma reconstrução racional do programa de pesquisa do racionalismo neoclássico: os subprogramas do convencionalismo / pragmatismo (poincaré) e do realismo estrutural convergente (duhem),** In: Revista Transformação - Revista de Filosofia da Universidade Estadual Paulista - UNESP, Trans/Form/Ação, Marília, v. 34, n. 2, p. 103-134, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-31732011000200007>. Acesso em: nov. de 2019.

CIÊNCIA, C. **César Lattes.** In: Calçada da fama. Outubro de 2019. Disponível em: <<http://www.canalciencia.ibict.br/nossas-informacoes/ciencioteca/personalidades/item/318-cesar-lattes-vida-obra-e-descobertas#>>. Acesso em: nov. de 2019.

COMPOUND Interest. **The History of the Atom – Theories and Models.** 2016. ilustração, color. Disponível em: <<https://i2.wp.com/www.compoundchem.com/wp-content/uploads/2016/10/The-History-of-the-Atom-%E2%80%93-Theories-and-Models.png>>. Acesso em: 16 nov. 2019.

CORRÊA, R. W. **Implementação de uma sequência de ensino e aprendizagem sobre tópicos de astrofísica de partículas para o ensino médio.** 2014. 162p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências. São Paulo, 2014. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/81/81131/tde-30042015-160213/publico/Roger_Willians_Correa.pdf>. Acesso em: nov. de 2019.

DELIZOICOV, D.; GEHLEN, S.T.; MALDANER, O. A. **Momentos pedagógicos e as etapas da situação de estudo: complementaridades e contribuições para a educação em ciências.** In: *Ciência & Educação*, v. 18, n. 1, p. 1-22, 2012. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/ciedu/v18n1/01.pdf>>. Acesso em: 19 de abr. 2020.

DETECTOR portátil para a visualização de radiação e partículas cósmicas. YouTube. 16 de jan. de 2020. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=PKd6cgyVliE>>. Acesso em: 16 de fev. de 2020.

ECO, U. **Como se faz uma tese**. (Tradução – Gilson Cesar Cardoso de Souza). São Paulo: Perspectiva, 16 ed., 2008.

ELETROMAGNETISMO. **Tema 1 - Carga elétrica e Spin** - Experimento 5: Eletrização por contato. Universidade de São Paulo. 2018. e-Aulas-USP. (0min59s) Disponível em: <<https://eaulas.usp.br/portal/video.action;jsessionid=FC3E4B00F35B0781E45B5E74CD57040E?idPlaylist=4989¤tPlaylistIndex=2>>. Acesso em: 16 de nov. 2019.

ENDLER, A. M. F. **Introdução à Física de Partículas**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2010.

FAUTH, A.C.; GROVER, A. C. CONSALTER, D. M. **Medida da vida média do múon**. In: *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 32, n. 4, 4502 (2010). Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v32n4/12.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

FLÓRIO, V. **A origem dos raios cósmicos**. In: *Revista Pesquisa Fapesp*, São Paulo, Edição 260, out. 2017. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/2017/10/25/a-origem-dos-raios-cosmicos/>>. Acesso em: Outubro de 2019.

FORATO, T. C. de M; PIETROCOLA, M; MARTINS, R. de A. **Historiografia e natureza da ciência na sala de aula**. In: *Caderno Brasileiro de Ensino de Física.*, v. 28, n. 1: p. 27-59, abr. 2011. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2011v28n1p27>>. Acesso em: nov. de 2019.

FOUREZ, G. **Crise no ensino de ciências?** In: *Investigações em Ensino de Ciências – V8(2)*, pp. 109-123, 2003. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/542/337>>. Acesso em: nov. de 2019.

FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. São Paulo: Paz e Terra, 1996 (Coleção Leitura).

GATTI, B. A. **A construção metodológica da pesquisa em educação: desafios.** In: *A Revista Brasileira de Política e Administração da Educação, RBPAE*. v. 28, n. 1, p. 13-34, jan/abr. 2012. Disponível em <<https://seer.ufrgs.br/index.php/rbpaee/article/view/36066>>. Acesso em: nov. de 2019.

GUIMARÃES, Y. A. F.; GIORDAN, M. **Elementos para Validação de Sequências Didáticas.** In: *Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências –IX ENPEC* Águas de Lindóia, São Paulo – 10 a 14 de Novembro de 2013. Disponível em: <<http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/ixenpec/atas/resumos/R1076-1.pdf>>. Acesso em: mar. de 2019.

GRIEDER, P.K.F. **Cosmic Rays at Earth: Reseracher’s Reference Manual and Data Book.** Elsevier Science. B.V. Amsterdam, 2001.

GRIFFITHS, D. *Introduction to Elementary Particles.* Wiley-VCH, segunda edição, 2008.

HOW to Reveal Subatomic Particles at Home. NOVA PBS Official. YouTube. 18 de mar. de 2015. (2min13s). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=wN_DMMQEhfQ>. Acesso em: 16 de nov. 2019.

IFUSP. Acervo Histórico do IFUSP. **Carta de Gleb Wataghin ao Embaixador da Bolívia.** 2 de junho de 1947. Disponível em: <<http://acervo.if.usp.br/index.php/carta-de-gleb-wataghin-ao-embaixador-da-bolivia>>. Acesso em: 17 de nov. 2019, 12:33:00.

KNEUBIL, F. B.; PIETROCOLA, M. **A pesquisa baseada em design: visão geral e contribuições para o ensino de Ciências.** In: *Revista Investigações em Ensino de Ciências – V.22 (2)*, pp. 01-16, 2017. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/310/pdf>>. Acesso em: mar. de 2019.

KODAMA, T. **À memória de Yukawa.** In: *Revista Brasileira de Física*, Vol. 12, NP 2, 1982. Disponível em: <<http://sbfisica.org.br/bjp/download/v12/v12a14.pdf>>. Acesso em: jun. de 2019.

LAGANÁ, C. **Estudo de raios cósmicos utilizando uma câmara de nuvens de**

baixo custo. In: *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 33, n. 3, 3302, 2011. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/333302.pdf>>. Acesso em: jun. de 2017.

LOPES, J. L. MARQUES, A. Uma história da Física no Brasil. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2004.

LUDWIG, A. C. W. **A pesquisa em educação.** *Revista Linhas*. Florianópolis. v. 4, n. 2 (2003). Disponível em: <<http://www.periodicos.udesc.br/index.php/linhas/article/view/1215/1029>>. Acesso em: abr. de 2019.

MARCOLIN, N. **Entre as estrelas:** Trabalho de César Lattes, morto aos 80 anos, foi fundamental para detectar o méson pi. In: *Revista Pesquisa Fapesp*, São Paulo, Edição 110, abr. 2005. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/2005/04/01/entre-as-estrelas/>>. Acesso em: fev. de 2019.

MARQUES, A. O pión. In: CARUSO, F.; OGURI V.; SANTORO. A. (Ed). **Partículas Elementares:** 100 Anos de Descobertas. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2012. - (Série LISHEP; 3). cap 9, p. 139-156.

MARTINS, I. **Alfabetização científica:** metáfora e perspectiva para o ensino de Ciências. *I Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*, Curitiba, 2008. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epef/xi/sys/resumos/T0242-1.pdf>>. Acesso em: abr. de 2020.

MASSONI, N. T.; MOREIRA, M. A. **Pesquisa qualitativa em educação em ciências:** projetos, entrevistas, questionários teoria fundamentada, redação científica. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2017.

MORAN, J. M. **Influência dos meios de comunicação no conhecimento.** In: *Revista Ciência da Informação*, Brasília, v. 23, p. 233-238, maio/ago. 1994. Disponível em: <<http://revista.ibict.br/ciinf/article/view/551>>. Acesso em: nov. de 2019.

MOREIRA, M. A. **Partículas e Interações.** In: *Revista Física na Escola*, v. 5, n. 2, 2004. Disponível em: <<http://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/Vol05-Num2/v5n1a033.pdf>>. Acesso em: jun. de 2017.

MOREIRA, M. A. **O Modelo Padrão da Física de Partículas**. In: *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 31, n. 1, 1306 (2009) Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v31n1/v31n1a06.pdf>>. Acesso : nov. de 2019.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa**: a teoria e textos complementares. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

MOREIRA, M. A. **O que é afinal aprendizagem significativa?** In: Aula Inaugural do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais, Instituto de Física, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, MT, 23 de abril de 2010. Aceito para publicação, *Qurriculum, La Laguna, Espanha*, 2012a. Disponível em: <<http://moreira.if.ufrgs.br/oqueefinal.pdf>>. Acesso em: nov. de 2019.

MOREIRA, M. A. **Unidades de ensino potencialmente significativas UEPS**. In: *Textos de apoio ao professor de física* v. 23 , n.2. Porto Alegre, 2012b. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/public/tapf/moreira_v23_n2.pdf>. Acesso em: jun. de 2019.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa em mapas conceituais**. In: *Textos de apoio ao professor de física* v. 24 , n.6. Porto Alegre, 2013. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/public/tapf/v24_n6_moreira_.pdf>. Acesso em: jun. de 2019.

MOREIRA, M. A. **Ensino e aprendizagem significativa**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2017.

MORTIMER, E. F. **Construtivismo, mudança conceitual e Ensino de Ciências**: para onde vamos? In: *Investigações em Ensino de Ciências*. V1(1), pp.20-39, 1996. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/645/436>>. Acesso em: abr. de 2020.

OLIVEIRA, T. E. de; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. **Sala de Aula Invertida (Flipped Classroom)**: Inovando as aulas de física. In: *Física na Escola*, v. 14, n. 2, 2016a. Disponível em: <<http://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/Vol14-Num2/a02.pdf>>. Acesso em: jan. de 2020.

OLIVEIRA, T. E. de; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. **Aprendizagem Baseada em Equipes (Team-Based Learning)**: um método ativo para o Ensino de Física. In: *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 33, n. 3, p.962-986, dez. 2016b. Disponível em: <<https://>

periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2016v33n3p962>. Acesso em: nov. de 2019.

O QUE é átomo - e como sabemos disso?. Stated Clearly. YouTube. 18 de set. de 2018. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=LhveTGblGHY>>. Acesso em: 30 de nov. de 2019.

OS 2.400 anos de pesquisa do átomo. TED-Ed, Theresa Doud. YouTube. 8 de dez. de 2014. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=xazQRcSCRaY>>. Acesso em: 30 de nov. de 2019.

PELIZZARI, A.; KRIEGL, M. L.; BARON, M. P.; FINCK, N. T. L.; DOROCINSKI, S. **I. Teoria da aprendizagem significativa segundo Ausubel**. Rev. PEC, Curitiba, v. 2, n.1, p.37-42, jul.2001-jul.2002. Disponível em: <<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/materiais/0000012381.pdf>>. Acesso em: ago. de 2019.

PEREIRA, A. P.; OSTERMANN, F. **Sobre o ensino de física moderna e contemporânea**: uma revisão da Produção acadêmica recente. In: *Investigações em Ensino de Ciências* – V14(3), pp. 393-420, 2009. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/349>>. Acesso em: nov. de 2019.

PERIMETER Institute. Recursos educacionais, 2019. Recursos educacionais digitais gratuitos do Perimeter Institute para docentes. Disponível em: <<https://resources.perimeterinstitute.ca/>>. Acesso em: nov. de 2019.

Portal de Divulgação Científica e Tecnológica do Instituto Brasileiro de Informação em Ciências e Tecnologia (ibict). Canal da Ciência, 2011. Disponível em: <http://www.canalciencia.ibict.br/notaveis/cesar_lattes.html>. Acesso em: nov. de 2018.

POZO, J. I.; CRESPO, M. A. G. **A aprendizagem e o ensino de ciências**: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

PRAIA, J; GIL-PÉREZ, D; VILCHES, A. **O papel da natureza da ciência Na educação para a cidadania**. In: *Ciência & Educação*, v. 13, n. 2, p. 141-156, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=s1516-73132007000200001&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em: nov. de 2019.

RED. Red Iberoamericana de Indicadores de Ciencia y Tecnología. **Manual de anti-gua**: indicadores de percepção pública de la ciencia y la tecnología. Coordinado por Carmelo Polino. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Red Iberoamericana de Indicadores de Ciencia y Tecnología, 2015. E-Book. ISBN 978-987-20443-3-6. Disponível em: <http://www.ricyt.org/manuales/cat_view/16-manuales>. Acesso em: abr. de 2019.

SALMERON, R.A. Física Nuclear, Raios Cósmicos e as Origens da Física de Partículas Elementares. In: CARUSO, F.; OGURI V.; SANTORO. A. (Ed). **Partículas Elementares**: 100 Anos de Descobertas. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2012. - (Série LISHEP; 3). cap 2, p. 33-57.

SANTOS, F. M. T. dos.; GRECA, I. M. **Metodologias de pesquisa no ensino de ciências na américa latina**: como pesquisamos na década de 2000. In: Revista Ciência & Educação, v. 19, n. 1, p. 15-33, 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v19n1/03.pdf>>. Acesso em: jan. de 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. Dissertação (Mestrado) -Universidade Federal de São Carlos, 2012. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/4437?show=full>>. Acesso em: nov. de 2019.

SILVA, M.; e VALDEMARIN, V.T.; orgs. **Pesquisa em educação**: métodos e modos de fazer [online]. São Paulo: Editora UNESP; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2010. 134 p. ISBN 978-85-7983-129-4. Disponível em: <<http://books.scielo.org/id/8w6rd/pdf/silva-9788579831294.pdf>>. Acesso em jun. de 2019.

SIMIONATO M. M.; SOARES, S. T. **Teoria e metodologia da pesquisa educacional**: ponto de partida para o trabalho de conclusão de curso. Paraná: Unicentro, 2014. Disponível em: <<http://repositorio.unicentro.br:8080/jspui/bitstream/123456789/896/5/TEORIA%20E%20METODOLOGIA%20DA%20PESQUISA%20EDUCACIONAL.pdf>>. Acesso em: jun. de 2019.

SOUZA, M. dos S. **Abordando os Raios Cósmicos no Ensino Médio**: Uma proposta de Sequência de Ensino. Dourados, 2017. 92 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física – Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal da Grande Dourados. Disponível em: <http://www1.fisica.org.br/mnpef/sites/default/files/dissertacao_Marilaine.pdf>. Acesso em: nov. de 2019.

TAVARES, O. A. P. **Edição Comemorativa dos 70 Anos do Méson- π com César Lattes**. In: *Ciência e sociedade*, Rio de Janeiro, v. 5, n. 3, p. 1-42, Outubro de 2018. Disponível em: <<http://revistas.cbpf.br/index.php/CS/article/view/319/215>>. Acesso em: nov. de 2019.

TORRES, J; VASCONCELOS, C. **Natureza da Ciência e Modelos Científicos: Um estudo com futuros professores do ensino básico**. In: *Revista Interações* - No.39,PP.460-471(2015). Disponível em: <<https://revistas.rcaap.pt/interaccoes/article/view/8752>>. Acesso em: abr. de 2019.

TUDO se Transforma. **História da Química, História dos Modelos Atômicos**. CCEAD - PUC-RIO. YouTube. 28 de set. de 2012a. (13min30s). Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=58xkET9F7MY>>. Acesso em: 16 nov. 2019.

TUDO se Transforma. **Estrutura Atômica, Exergando o Invisível**. CCEAD - PUC-RIO. YouTube. 28 de set. de 2012b. (12min02s). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=IlhfUwK0_sE>. Acesso em: 16 nov. 2019.

WHAT are atoms made of?. Stated Clearly. YouTube. 3 de jan. de 2019. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=ooWfzpUIoNM&list=PLInNVsmlBUIY3zESQcbiQhhL6lZ0UbJ7&index=2>>. Acesso em: 30 de nov. de 2019.

WHAT'S the smallest thing in the universe?. TED-Ed, Jonathan Butterworth. YouTube. 15 de nov. de 2018. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ehHoOYqAT_U>. Acesso em: 30 de nov. de 2019.

Apêndices

APÊNDICE A – PRÉ-QUESTIONÁRIO INICIAL

Nos tópicos a seguir são apresentados os questionários, as análises dos questionários alguns gráficos que permearam suas análises e construções. Por fim, está o Produto Educacional que é o resultado desta trajetória.

A.1 Questionário 1 – Concepções prévias

1. De 0 a 100, qual o seu interesse pela ciência?
2. Você se interessa por programas, documentários, revistas ou livros sobre ciência? Cite os nomes dos que você se lembra. Estamos considerando aqui não-ficção.
3. Você se interessa por ficção científica? Cite livros ou filmes que você considera pertencerem a este gênero.
4. Qual a importância de se estudar física?
5. Cite até cinco nomes de físicos que tenha ouvido falar.
6. Existem físicos brasileiros famosos? Cite o (os) nome (s).
7. Que tipo de conteúdo você gostaria de aprender nas aulas de física na escola?
 - a) As leis do movimento;
 - b) Estrutura da matéria;
 - c) Física quântica;
 - d) Relatividade especial;
 - e) Resposta livre.
8. O que é matéria?
9. Quais são os constituintes mais básicos da matéria que nos cerca e de que somos feitos?
10. Como a matéria se organiza? Como é possível observar os constituintes da matéria?
11. O que são partículas elementares?
12. Quais são as partículas elementares que você conhece?

13. Como identificar uma partícula elementar?
14. Você conhece alguma manifestação de partículas elementares?
15. É possível investigar a estrutura da matéria na escola?
16. Onde podemos estudar as partículas elementares?
17. O que são aceleradores de partículas?
18. O que você entende por radiação cósmica?
19. Espaço para comentários livres

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO INICIAL

Este questionário é parte integrante do trabalho de pesquisa que compõe a Dissertação de Mestrado de (VIANA, F. F. R.). Por favor responda com seriedade. Marque apenas uma alternativa.

1. Qual o seu interesse por Ciência?
 - a) Entre 0 e 20 %.
 - b) Entre 20 e 40 %.
 - c) Entre 40 e 60 %.
 - d) Entre 60 e 80 %.
 - e) Entre 80 e 100 %.

2. O que melhor representa, para você, o ato de fazer Ciência?
 - a) É algo restrito aos cientistas.
 - b) É um método que permite a sistematização de fenômenos.
 - c) É uma representação dos fenômenos naturais.
 - d) É uma construção humana que usa modelos para entender padrões.
 - e) É o ponto de vista de um grupo de pessoas.

3. Qual o conteúdo você gostaria de aprender nas aulas de Física na escola?
 - a) As leis do movimento.
 - b) Estrutura da matéria.
 - c) Física Quântica.
 - d) Relatividade especial.
 - e) Outras.

4. Quais são os constituintes mais fundamentais da matéria?
 - a) Átomos.
 - b) Moléculas.
 - c) Prótons, nêutrons e elétrons.
 - d) Carbono e outros elementos químicos.

- e) Partículas mais elementares que as anteriores.
5. Quais são as partículas elementares que você conhece?
- a) Prótons, nêutrons e elétrons.
 - b) Elétrons apenas.
 - c) Elétrons e quarks.
 - d) Os elementos químicos.
 - e) Nenhuma das anteriores.
6. O que é um modelo científico?
- a) É a consequência dos desenvolvimentos científicos.
 - b) É a representação mais atual para o que pensa a ciência acerca de um tema.
 - c) É uma representação dentro de um contexto específico.
 - d) É o fruto de muitos testes e por isso é a melhor representação para determinado tema.
 - e) É o fruto da evolução de modelos que foram superados, por isso, ideias superadas em determinado período não são mais mencionadas.
7. Um dos modelos atômicos mais discutidos no Ensino Médio propõe um núcleo e uma região periférica. Essa estrutura:
- a) É composta por um núcleo massivo homogêneo e sua região periférica constituída por partículas com carga elétrica.
 - b) É composta por um núcleo massivo neutro e sua região periférica constituída por partículas com carga elétrica.
 - c) Em seu núcleo possui partículas com cargas elétricas e em sua região periférica eletricamente neutras.
 - d) Em seu núcleo possui estruturas neutras e estruturas portadoras de cargas elétricas e, na região periférica, partículas com carga elétrica.
 - e) É homogênea e maciça, por isso é chamada átomo.
8. O tipo de interação existentes entre portadores de cargas elétricas nos diz que:
- a) cargas elétricas de mesmo sinal se repelem e cargas elétricas de sinais opostos se atraem.
 - b) cargas elétricas de mesmo sinal se atraem e cargas elétricas de sinais opostos se repelem.

-
- c) cargas elétricas não interagem entre si.
9. Considere que o núcleo de um átomo seja composto por estruturas neutras e estruturas portadoras de cargas elétricas positivas. Crie um modelo que justifique a permanência dessas estruturas no núcleo.
10. Você sabe o que são raios cósmicos? Explique o que você conhece sobre o tema.

APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO DE RETORNO

Este questionário é parte integrante do trabalho de pesquisa que compõe a Dissertação de Mestrado de (VIANA, F. F. R.). Por favor responda com seriedade.

QUESTIONÁRIO DE RETORNO

1. O que você entende por raios cósmicos?
2. Os vídeos indicados ajudaram na compreensão sobre os raios cósmicos?
3. Quais são as partículas elementares componentes dos raios cósmicos?
4. O modelo que você pensou tem relação com o modelo atual?
5. Por que é importante conhecer a estrutura da matéria?
6. Como podemos conhecer mais sobre a estrutura da matéria?
7. O que são aceleradores de partículas?
8. Onde as partículas elementares podem ser percebidas?
9. Como esta atividade te ajudou?
10. A Ciência é constituída por métodos e procedimentos que não são passíveis de erros? Explique.
11. Qual é a sua concepção de Ciência?
12. De qual forma realizar o experimento muda sua forma de pensar sobre Física?

APÊNDICE D – PRODUTO EDUCACIONAL

D.1 INTRODUÇÃO

Prezado(a) professor(a),

É com enorme satisfação e orgulho que este material é apresentado! É o fruto de um trabalho que durou quase três anos. O principal objetivo é proporcionar as condições metodológicas, técnicas e pedagógicas para que esta Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) seja implementada em turmas de Ensino Médio.

O tema desta unidade de ensino trata de tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC), especificamente a Física de Partículas. O escopo teórico apresentado no presente material está ancorado nas ideias de David Ausubel e Paulo Freire e mediadas pelas inserções e estudos do Professor Marco Antonio Moreira sobre aprendizagem significativa e sua implementação em ambiente escolar.

O material é parte integrante da Dissertação de Mestrado em Ensino de Física, no Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do ABC (UFABC) em parceria com a Sociedade Brasileira de Física (SBF) no programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) e oferece as condições para o planejamento e a implementação desta unidade de Ensino. Aborda as condições prévias, os materiais e as metodologias. Também apresenta todos os detalhes para a construção e o bom funcionamento de uma Câmara de Nuvens de baixo custo para a visualização das manifestações de partículas elementares provenientes de Raios Cósmicos. Ao final do texto há o link para o vídeo sobre a montagem e o funcionamento da Câmara de Nuvens.

Pretende-se com isso contribuir para a implementação de temas contemporâneos da Física e de novas metodologias. Espera-se também propor uma livre troca de ideias e práticas educacionais que possam fomentar a autonomia de nossos educandos através da postura científica.

Bom trabalho!

D.2 A SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Existem muitos trabalhos que destacam a importância dos estudos sobre a estrutura da matéria, suas transformações e implicações, seja para a ciência pura, para o

desenvolvimento tecnológico ou filosófico. Um tema com tão grande importância educacional, deve compor quaisquer currículos e figura entre as principais competências específicas, como aponta a nova BNCC (BRASIL, 2017):

Dessa maneira, podem mobilizar estudos referentes a: estrutura da matéria; transformações químicas; leis ponderais; cálculo estequiométrico; princípios da conservação da energia e da quantidade de movimento; ciclo da água; leis da termodinâmica; cinética e equilíbrio químicos; fusão e fissão nucleares; espectro eletromagnético; efeitos biológicos das radiações ionizantes; mutação; poluição; ciclos biogeoquímicos; desmatamento; camada de ozônio e efeito estufa; entre outros. (BRASIL, 2017, p. 540).

Se considerarmos a contemporaneidade dos tópicos, somos frequentemente questionados por nossos estudantes sobre os aceleradores de partículas e suas aplicações. Da mesma maneira, tem-se maior acesso às informações sobre a física de fronteira, o que, por si, constitui elemento motivador para que a juventude se interesse mais por Ciência.

Nem sempre possuem interesse por Física Clássica, mas podem desenvolver o interesse por Física em geral se puderem desfrutar de situações pedagógicas que os aproximem desse ambiente. Temos uma oportunidade de discutir aspectos relacionados à construção do conhecimento, assim como a natureza da Ciência, como aponta Brockington *et al.* (BROCKINGTON *et al.*, 2017):

Eventos como esses são difíceis de acontecer, demorando décadas para surgirem, e, por isso, devem ser explorados ao máximo na sala de aula, contribuindo para a educação científica e a compreensão do caráter humano da Ciência. (BROCKINGTON *et al.*, 2017, p. 29).

A seguir temos uma sequência estrutural para a aplicação do produto educacional. Esta sequência está embasada em sequências de ações para estruturar uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), conforme as propostas de M. A. Moreira (MOREIRA, 2012b).

Lembrando que a aprendizagem que se pretende significativa deve apresentar dois pontos fundamentais:

- O material de aprendizagem deve ser potencialmente significativo;
- A(o) estudante deve ter predisposição para aprender.

São pontos que merecem atenção.

O primeiro não trata de material que seja *pirotécnico*, no sentido caricato do termo, mas sim, de um conjunto de propostas que permita a conexão significativa entre a estrutura cognitiva (subsunçor) e os novos conceitos.

O segundo não trata de motivação, embora esta possa ajudar no processo. Trata da condição real de conexão entre os conceitos atuais e os novos, por isso o levantamento prévio será tão importante.

Caso julgue necessário, de acordo com a turma em que deseja aplicar, serão necessárias modificações sobre a forma como apresentará os tópicos. A sequência foi pensada para conter seis *encontros pedagógicos*. Os encontros pedagógicos podem ser presenciais em sala de aula ou em atividades direcionadas com uso de internet, nas quais as (os) estudantes realizam pesquisas ou interagem com os materiais potencialmente significativos, como vídeos, questionários (on-line ou impressos) e infográficos.

D.2.1 Situação inicial

Deve-se realizar um levantamento, por meio de uma conversa orientada, sobre o que as(os) estudantes entendem por estrutura da matéria. É fundamental que as(os) estudantes possam apresentar seus pontos de vistas, será determinante para que você possa encaminhar o trabalho de forma potencialmente significativa. No *Apêndice (A)* há um modelo de questionário (*pré-questionário inicial*) que pode ser aplicado. Este questionário foi o resultado de um questionário inicial que teve por objetivo levantar outras impressões para a Dissertação de Mestrado, que envolveu também a percepção/envolvimento com ciências. Caso julgue interessante para o seu trabalho comece pela questão três (3) do pré-questionário inicial.

D.2.2 Situação problema

Com os vídeos e infográficos, que serão apresentados, espera-se que as(os) estudantes recordem conceitos básicos, por exemplo, o fato de o elétron ocupar determinadas regiões estáveis nos átomos. É importante apresentar aqui uma noção sobre interações elétricas. Assim as (os) estudantes poderão reforçar o conceito de repulsão elétrica, necessário para a discussão da situação problema. Esses materiais (vídeos e infográfico) serão apresentados em sequência.

Sabe-se que o núcleo atômico é composto por prótons e nêutrons. Também sabemos que cargas elétricas de mesmo sinal se repelem. Por que os prótons, portadores de carga elétrica positiva, permanecem no núcleo?

Apresentar a discussão que evidencia que este modelo possui incoerências com existência apenas das interações que conhecemos (gravitacional e eletromagnética) que por isso deve haver algo mais completo, com melhores respostas. É momento de apresentar o vídeo do Perimeter Institute (Canadá) sobre partículas elementares, conseqüentemente o modelo padrão.

D.2.3 Revisão

Muitas são as formas de realizarmos revisões de conteúdos. De maneira geral ficam as perguntas:

- Revisar para aprender?
- Revisar para que possam ser avaliados?

Neste trabalho escolhemos o primeiro caminho. Todos, enquanto professores, sabemos que o segundo caminho é o mais fácil. O aprendizado, ou pseudo aprendizado, fica vinculado à nota. Justamente por isso, e por nossa humilde experiência enquanto docentes, optamos por uma atividade que se pretende, com extrema sinceridade, ser significativa. Então, partindo de conceitos ancorados nas ideias, principalmente, de David Ausubel e Paulo Freire, entre tantos outros, a nossa revisão de conteúdos será em forma de discussão de impressões e validação do percurso, ou seja, o que as (os) estudantes aprenderam com a totalidade da atividade, sendo o conteúdo específico uma porta para a adoção de uma postura mais investigativa. Isto não descarta nosso levantamento sobre o que se aprende sobre Física de Partículas.

D.2.4 Os encontros pedagógicos

A sequência foi idealizada para um período de quatro a oito horas-aulas. Abaixo está uma sugestão de aplicação considerando *Encontros* pedagógicos que podem, ou não, coincidir com o intervalo de tempo de uma hora-aula.

Este material pode ser lido por momentos, ou seja, de acordo com seu avanço no cronograma de aplicações. Você pode reservar o conjunto de seis momentos, ou, caso trabalhe com um curso extra, em encontros semanais. Abaixo estão os detalhes de cada momento.

D.2.4.1 Encontro 1: Levantamento de subsunções

Considerando que os grupos serão formados por alunos do Ensino Médio e que já tiveram algum contato com modelos atômicos, apresenta-se inicialmente o assunto que será discutido, no caso, Partículas Elementares, de maneira ampla, ou seja, apenas para que saibam qual será o tema trabalhado.

Este primeiro contato deve ser facilitador. Assim, apresentar questões históricas que nos acompanham desde os primórdios da existência humana pode ser um ótimo caminho. Por exemplo: do que somos feitos? Do que tudo é feito? Quais são os constituintes elementares da matéria? Isso encaminhará a discussão inicial. Este primeiro momento deve ser presencial e ocupa uma aula na escola. Nos últimos minutos da aula você pode

colher as impressões e concepções sobre a matéria em forma de respostas abertas ou por representações gráficas.

D.2.4.2 Encontro 2: Aplicação de questionário prévio

Aplica-se o *Questionário 1* presente nos apêndices deste material. Na parte do texto com subtítulo (*Situação inicial*) há uma orientação sobre como o questionário pode ser aplicado. Este momento pode ser feito em sala de aula ou em ambiente virtual no qual as (os) estudantes realizam em espaço diferente da escola. Este momento deve ser coerente com as realidades educacionais de sua escola. Assim, em alguns casos, pode ser mais interessante a impressão do questionário e a aplicação em sala de aula. Neste último caso pode ser interessante uma discussão como fechamento de atividade e apresentação de dúvidas.

D.2.4.3 Encontro 3: Discussão sobre modelos conhecidos

Neste momento apresenta-se a aula sobre os modelos atômicos e como perceber manifestações do mundo microscópico. Neste encontro, que pode ser presencial ou em forma de aula invertida as (os) estudantes retomam os conceitos prévios que provavelmente foram tratados em aulas de Química, sobre os modelos atômicos e as manifestações macroscópicas que podem ser percebidas pautadas nesses modelos. Não vemos a estrutura atômica diretamente. Neste momento você pode usar o material de apoio no qual é apresentado uma evolução histórica até o átomo de Bohr ou, caso opte pela sala de aula invertida a sequência de dois vídeos da Coordenação Central de Educação a Distância (CCEAD-PUC-RJ), da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro e um infográfico que julgue adequado à sua realidade, abaixo fica uma sugestão:

- Vídeo 1: (Tudo se Transforma, História da Química, História dos Modelos Atômicos), (TUDO, 2012a).
- Vídeo 2: (Tudo se Transforma, Estrutura Atômica, Exergando o Invisível), (TUDO, 2012b).

Por fim, é fundamental para este momento, que seja apresentada a linha do tempo com a evolução dos modelos, destacando as falhas de cada modelo. Abaixo uma linha do tempo com os pontos coerentes e com as falhas de cada modelo: Infográfico:

- Infográfico: (The History of the Atom – Theories and Models), (COMPOUND, 2016).

É interessante reservar um pequeno intervalo de tempo para eventuais dúvidas ou questionamentos. É recomendado também que as (os) estudantes produzam um resumo

sobre suas impressões, ou reforços, sobre as concepções sobre a estrutura da matéria até o presente momento.

D.2.4.4 Encontro 4: Apresentação do novo tema: Partículas Elementares.

Neste momento pedagógico temos um espaço para fomentarmos alguns organizadores prévios, no caso, as interações entre portadores de cargas elétricas. Caso disponha de maior número de aulas você poderá aqui apresentar as interações percebidas em nosso cotidiano: gravitacional e eletromagnética. Em seguida faça a apresentação da vídeo-aula sobre o processo de eletrização por indução, ou, caso esteja trabalhando com sala de aula invertida indique o portal de videoaulas da Universidade de São Paulo (e-Aulas da USP). A aula mencionada está no link abaixo:

- Vídeo 3: (Eletromagnetismo - Tema 1 - Carga elétrica e Spin - Experimento 5: Eletrização por contato), (ELETROMAGNETISMO, 2018).

Agora, com esses organizadores prévios você pode apresentar uma situação problema iniciada com a seguinte questão:

- Sabemos que o núcleo atômico é composto por prótons e nêutrons. Também sabemos que cargas elétricas de mesmo sinal se repelem. Por que os prótons, portadores de carga elétrica positiva, permanecem no núcleo?

Neste momento solicite aos estudantes que criem um modelo que possa explicar este fato. Aponte que um determinado modelo começa a se tornar frágil quando questões deste tipo são apresentadas. É um ótimo momento para evidenciar que a ciência é uma atividade humana e passível de falhas experimentais e epistemológicas. Em sequência apresente o vídeo que é integrante do material do Perimeter Institute (Canadá) no qual é feita uma apresentação bastante acessível do Modelo Padrão e indique o vídeo do Fermilab sobre o experimento com raios cósmicos em câmara de nuvens. Esta é a ponte para o próximo momento que é a aula experimental. Também neste momento é possível apresentar um vídeo introdutório sobre o experimento, abaixo fica a sugestão de vídeo:

- Vídeo 4: (How to Reveal Subatomic Particles at Home | NOVA), (HOW, 2015).

Observação: Nos apêndices está o tutorial para acessar o site do Perimeter Institute, realizar o cadastro, baixar os materiais completos com outras possibilidades de aplicações. O site é educacional e gratuito com tradução direta para o português.

D.2.4.5 Encontro 5: A câmara de nuvens

Este momento requer um cuidado extra, pois se trata da prática experimental. É fundamental que você siga os seguintes passos:

- Realmente reserve um tempo antes da aula para deixar todos os detalhes alinhados.
- Reserve um material extra, no caso, gelo seco e o álcool isopropílico.
- A percepção dos traços ao sensibilizarem as nuvens na câmara é bastante sutil. Portanto, diferentemente daquilo que é apresentado na internet a visualização não é instantânea, demora aproximadamente 30 minutos para a percepção adequada dos primeiros traços.
- Organize em seu ambiente escolar uma aula dupla, converse com seus colegas professores e/ou coordenadores a possibilidade de troca de aulas, se possível junte duas turmas, isso lhe trará grandes benefícios para a organização do experimento.
- Realize o experimento com antecedência em sua casa, ou mesmo na escola, caso seja possível. Não se preocupe tanto caso o experimento não funcione adequadamente, mesmo assim será possível um fechamento de conteúdo sobre os erros e acertos, assim como, a discussão sobre o papel do erro na evolução das ciências.
- Por favor, siga os procedimentos sobre a montagem e funcionamento da câmara no apêndice deste trabalho, há também um vídeo disponibilizado no *YouTube* sobre a montagem caso julgue necessário.
- Sempre apresente aos estudantes que o que percebem (traços) são manifestações de partículas elementares, ou seja, que o estudo trata de uma percepção indireta que está pautada em um teoria que aponta a existência das partículas em estudo.
- Bom trabalho e divirta-se! Este é um momento muito bacana! Quero dizer frutífero para a construção do conhecimento!

D.2.4.6 Encontro 6: Fechamento/revisão/debate.

Toda atividade educacional carece de um fechamento. Normalmente é chamado de avaliação. A avaliação pode ser de caráter qualitativo, em forma de produção de textos, resumos teóricos, ou uma avaliação mais formal, quantitativa, ou seja, em caráter de perguntas e respostas. Em nossa aplicação consideramos um questionário final, que teve como principal objetivo verificar a sensibilização e o envolvimento com o tema, já que se tratava da implementação de uma UEPS. Desta forma a verificação de pontos fundamentais considerou:

- A compreensão de que existe um modelo no qual há evidências de partículas elementares, menores e mais numerosas, que as que são geralmente apresentadas nas aulas regulares.
- Existem outras formas de interações físicas além da gravitacional e da eletromagnética, que estão associadas ao núcleo e aos seus componentes mais elementares.
- A compreensão da estrutura da matéria é fundamental para a evolução das ciências.
- Errar é elemento motor das ciências naturais, e condição estruturante para fomentar a argumentação.
- Experimentar é muito importante.
- A baixa divulgação sobre os trabalhos de nossos cientistas serve como desestímulo para que nossos jovens não busquem tanto as carreiras das ciências da natureza, como Física, Química e Biologia.

Por fim, nos apêndices, existe um questionário de fechamento para que você possa verificar se seus objetivos foram alcançados. Esperamos sinceramente que este trabalho contribua para que o Ensino de Física possa ser um pouco mais dinâmico e contemporâneo.

Bom trabalho!

D.3 ORGANIZADORES INICIAIS

Os organizadores iniciais para a completa aplicação do produto são compostos por três partes:

- Breve evolução histórica dos modelos atômicos.
- Material do Perimeter Institute.
- Construção e funcionamento da câmara de nuvens.

Os três tópicos estão descritos em sequência para que possam facilitar a aplicação da atividade, mas podem ser executados na ordem em que você julgar adequada. O tópico intitulado *A Física de Partículas* apresenta apenas um texto introdutório e compõe também o corpo da dissertação de mestrado, sendo, um componente que reúne um conjunto de referências bibliográficas muito mais aprofundadas. Seu principal objetivo é proporcionar alguns referenciais históricos para que as (os) estudantes possam perceber a evolução das ideias científicas, que as ciências são construções humanas, que a Física brasileira,

mesmo com pouco investimento, desempenha papel de destaque no cenário mundial, e, por fim, apresenta os principais tópicos com partículas diretamente relacionadas com este trabalho. O texto também faz uma pequena introdução ao modelo padrão.

O segundo tópico apresenta os materiais do Perimeter Institute do Canadá. Principalmente a página da instituição voltada aos professores de Física do ensino básico. São apresentadas as formas de cadastro e o ambiente para download no qual faremos o uso de um dos materiais, conhecido como: *Além do átomo: remodelando a física de partículas*, do qual faremos uso do vídeo sobre a evolução dos modelos atômicos e estrutura da matéria.

Por fim é apresentada a sequência de montagem e funcionamento da câmara de nuvens. Com o detalhamento da construção das peças, dos materiais utilizados, da sequência de montagem e o princípio de funcionamento.

Portanto, temos aqui uma sugestão de sequência no molde como foi efetivamente aplicada em três ambientes educacionais. Como a autonomia docente é algo que defendemos, ficam aqui nossas impressões, experiências e votos para que a aplicação desse produto seja enriquecedora para todas (os) envolvidos.

Boas aulas!

D.3.1 Breve evolução histórica dos modelos atômicos

É fundamental para a aplicação da atividade uma introdução ao conceito de modelos atômicos, bem como, um breve discussão sobre a importância da Física de partículas para a compreensão da estrutura da matéria. Esta introdução é coerente com propostas recentes para o ensino de Física, nas quais mostram que a construção de visões sobre a História das Ciências são determinante para a compreensão sobre como a Ciência é construída, como visto nos trabalhos de Forato *et al.* (FORATO *et al.*, 2011).

Para fundamentar esta organização prévia, que pressupõe alguns conceitos básicos sobre a estrutura da matéria, indicamos uma sequência de vídeos curtos que apresentam evoluções dos modelos atômicos. Os vídeos devem ser indicados aos estudantes em forma de pesquisa para casa. Não havendo esta possibilidade sugerimos os dois primeiros vídeos sejam apresentados em ambiente escolar.

Abaixo está a sequência de vídeos:

- Vídeo 4: (Os 2.400 anos de pesquisa do átomo.), (OS 2.400, 2014).
- Vídeo 5: (O que é um átomo e como sabemos isso?), (O QUE, 2018).
- Vídeo 6: (What are atoms made of?), (WHAT, 2019).
- Vídeo 7: (What's the smallest thing in the universe?), (WHAT'S, 2018).

A apresentação prévia de modelos e suas evoluções pode ser feita por outras formas, como infográficos ou materiais impressos. Nossa proposta de sensibilização científica pretende aproximar as (os) estudantes desses conceitos, portanto o uso de vídeos para a introdução de conceitos científicos se mostra bastante eficiente para a aproximação entre o conteúdo e o público, conforme aponta J. M. Moran (MORAN, 1994):

Os meios de comunicação, principalmente os áudio-video-gráficos, desenvolvem formas sofisticadas de comunicação sensorial multidimensional, de superposição de linguagens e mensagens, que facilitam a aprendizagem e condicionam outras formas e espaços de comunicação (como o escolar, o familiar, o religioso). (MORAN, 1994, p. 235).

Entendemos que a escolha de outros vídeos para a introdução desses conceitos possa ser feita levando em consideração as diferentes realidades educacionais encontradas em nosso país.

D.3.2 Material do Perimeter Institute

D.3.2.1 O material e seu formato

O Perimeter Institute, com indicado em seu site, é um centro de excelência em pesquisa científica, treinamento e extensão educacional em Física teórica fundamental. Fundado em 1999 em Waterloo, Ontário, Canadá, sua missão é aprimorar nosso entendimento sobre o universo no nível mais fundamental, estimulando os avanços que podem transformar nosso futuro.

Tive a oportunidade de conhecer o Perimeter Institute ao participar no minicurso “Física de Fronteira para a Sala de Aula” ministrado pelo Instituto Sul-Americano para Pesquisa Fundamental (ICTP-SAIFR) em parceria com o Perimeter Institute for Theoretical Physics (Canadá) e o Instituto Serrapilheira. Neste mini curso tive contato com o material didático desenvolvido pelo Perimeter Institute e também com o projeto apresentado em seu site no qual disponibiliza materiais didáticos de que são pouco trabalhados no Ensino Médio, com a expansão do universo, a matéria escura, as análises espectroscópica de estrelas, e, no objeto desta unidade de ensino: a Física de partículas.

O que me chamou minha atenção, e agradecimento, foi a disposição dos institutos, Perimeter Institute e do Instituto de Física Teórica da Unesp (IFT-UNESP) em oferecer estes cursos para professores do Ensino Médio.

No site do programa professores de todo o mundo podem baixar gratuitamente os materiais de interesse. Aqui apresentaremos os procedimentos para que possamos aplicar esta atividade. Caso julgue necessário você pode substituir por um vídeo que julgar mais adequado. O primeiro passo consiste em acessar o site do programa voltado para professores do Ensino Básico:

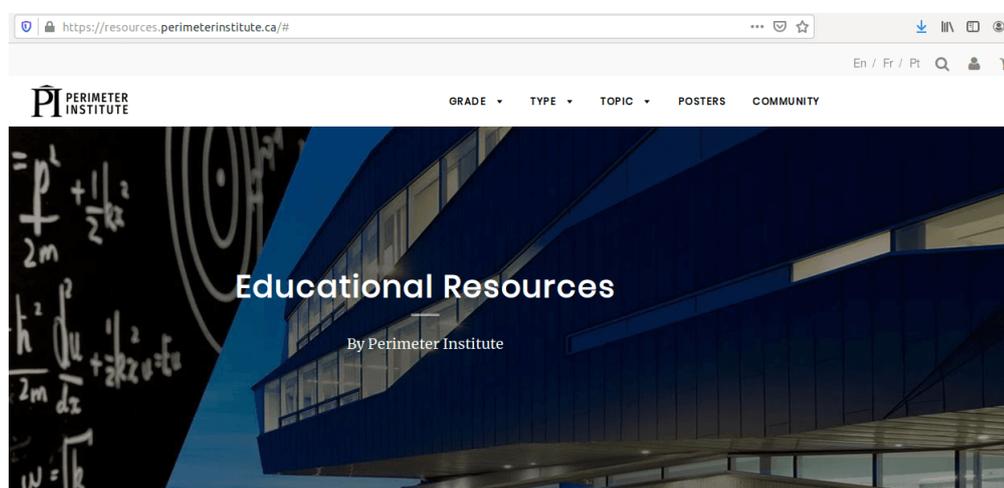
<<https://resources.perimeterinstitute.ca/>>

Escolha o idioma e baixe o material em português “Além do átomo: remodelando a física de partículas”, que já vem legendado.

D.3.2.2 Cadastro no *website* do Perimeter Institute

O primeiro passo consiste em acessar o site do programa voltado para professores do Ensino Básico. A figura (49) ilustra este procedimento.

Figura 49 – Página principal do Perimeter Institute sobre recursos educacionais para o ensino básico e médio.

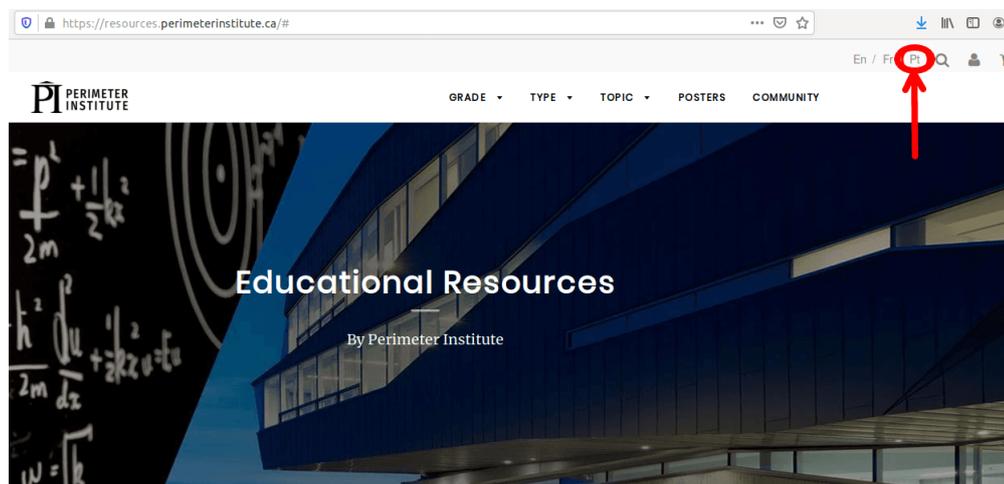


Free Educational Resources for Teachers

Fonte: *print screen* da página (PERIMETER, 2019).

Caso julgue necessário o programa oferece os materiais em três idiomas: Inglês, Francês e Português. Escolha a melhor opção para você. Altere o idioma de acordo com sua preferência (canto superior direito). A figura (50) ilustra este procedimento.

Figura 50 – Página principal do Perimeter Institute em português.

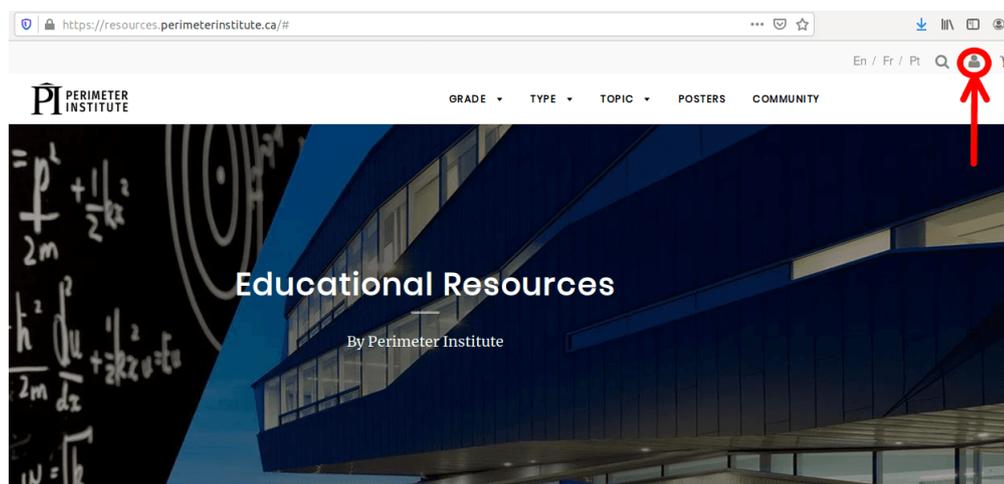


Free Educational Resources for Teachers

Fonte: *print screen* da página (PERIMETER, 2019).

Entre na área de cadastro no canto superior direito e se inscreva para ter acesso aos materiais, conforme a figura (51):

Figura 51 – Página principal do Perimeter Institute: login de usuário ou cadastro.



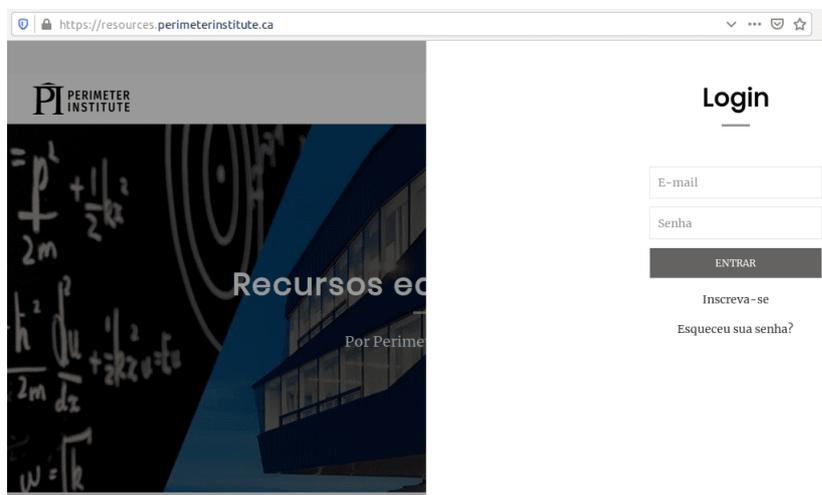
Free Educational Resources for Teachers

Fonte: *print screen* da página (PERIMETER, 2019).

Faça o cadastro com um *e-mail* de sua preferência e crie uma senha segura. Não se assuste. O cadastro lembra uma loja virtual, mas os arquivos são todos gratuitos. Depois

do cadastro escolha o assunto de interesse na aba *TÓPICO*, no nosso caso será Física de Partículas, como visto nas figuras (52), (53) e (54).

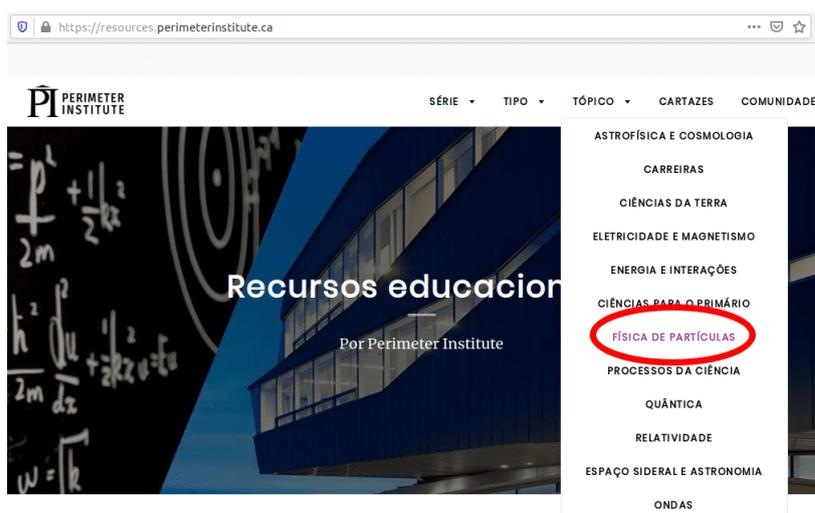
Figura 52 – Perimeter Institute: login de usuário ou cadastro.



Fonte: *print screen* da página (PERIMETER, 2019).

Não se esqueça de confirmar o idioma em que deseja o material. Escolha o idioma e baixe o material em português “*Além do átomo: remodelando a física de partículas*”, *que já vem legendado*.

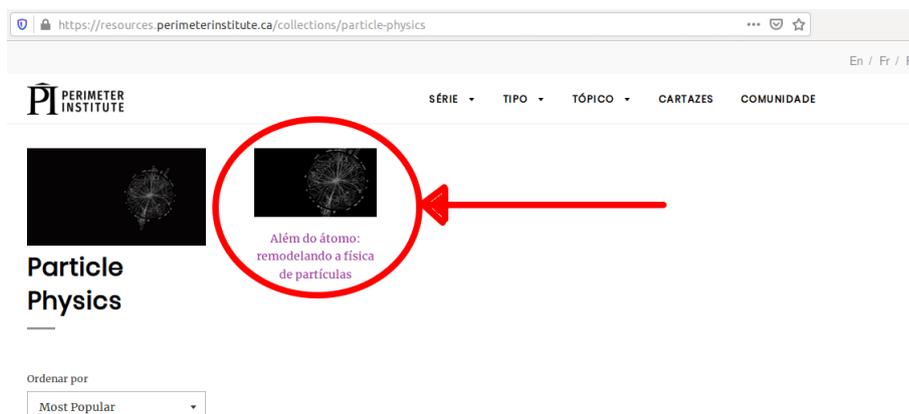
Figura 53 – Escolha do Tópico: “Física de Partículas”.



Recursos educacionais gratuitos para professores e professoras.

Fonte: *print screen* da página (PERIMETER, 2019).

Figura 54 – Escolha do material: “Além do átomo: remodelando a física de partículas”.



Fonte: *print screen* da página (PERIMETER, 2019).

O arquivo total é grande e virá compactado. Nele estará um único vídeo com o nome de arquivo (*07_Remodelling_Particle_Physics1_reduzido*) que será utilizado na aplicação da Unidade de Ensino.

D.3.3 Construção e funcionamento da câmara de nuvens

D.3.3.1 Introdução

Esta é uma das etapas mais delicadas da Unidade de Ensino. Aqui você terá todos os detalhes para a construção da Câmara de Nuvens, seus detalhes para que funcione bem e os procedimentos específicos que não estão claramente disponíveis em materiais na internet.

Por favor, siga com rigor de detalhes os procedimentos para que o funcionamento seja perfeito.

Pode-se afirmar que a câmara de nuvens foi um dos primeiros detectores de partículas elementares. De acordo com a enciclopédia Britânica, a câmara de Wilson (em homenagem ao físico escocês Charles Thomson Rees Wilson) foi desenvolvida entre 1896 e 1912 e consiste em uma câmara na qual se tem vapor supersaturado. No presente trabalho foi utilizado álcool isopropílico (99%). Ao ser atravessado por partículas energéticas o álcool será condensado formando pequenas gotículas nas quais a luz proveniente de uma fonte luminosa (LED do aparelho celular) será refletida, com isso perceberemos um traço característico que evidencia a passagem de alguma partícula, como partículas alfa, beta ou prótons. Neste tipo de câmara o vapor se torna supersaturado devido a baixa temperatura, que é atingida devido ao contato entre a placa metálica e o gelo seco. “A grande distância entre prática e teoria é, muitas vezes, um fator limitante no aprendizado de fí-

sica”, de acordo com C. Laganá (LAGANÁ, 2011, p. 3302 - 1) . Desta forma a construção de experimentos de baixo custo e de simples montagem são fundamentais para a inserção de práticas investigativas no ensino de Ciências.

D.3.3.2 Materiais

Os materiais abaixo apresentados estão listados levando em consideração que não há nenhum desses materiais na escola, e que portanto, serão adquiridos. Alguns materiais são vendidos por partes menores, como a fita veda-frestas que é vendida por comprimento, assim como o gelo seco e o álcool isopropílico. Desta forma, considerando o custo real do experimento, com o uso de materiais já existentes na escola, como a bacia, o custo aproximado será de R\$ 65,00 e R\$ 85,00.

Tabela 13 – Custo aproximado dos materiais.

| Quantidade | Descrição | Valor aprox.(R\$) | Total |
|------------|---|-------------------|------------|
| 1 | Aquário padrão - número 2 | R\$ 30,00 | R\$ 30,00 |
| 6 | Placa de isopor de 20 mm | R\$ 2,00 | R\$ 12,00 |
| 2 | Tecido feltro preto - 2 metros | R\$ 7,00 | R\$ 14,00 |
| 1 | Álcool isopropílico - 1L | R\$ 25,00 | R\$ 25,00 |
| 2 | Gelo seco (kg) | R\$ 10,00 | R\$ 20,00 |
| 1 | Fita veda-fresta | R\$ 16,00 | R\$ 16,00 |
| 1 | Bacia plástica de 14L | R\$ 15,00 | R\$ 15,00 |
| 1 | Seringa de 10 mL | R\$ 1,00 | R\$ 1,00 |
| 1 | Silicone Acético Transparente - Uso Geral 50g | R\$ 6,00 | R\$ 6,00 |
| 1 | Cola branca 100g | R\$ 2,00 | R\$ 2,00 |
| 1 | Chapa de alumínio – sucata | R\$ 3,00 | R\$ 3,00 |
| | | | R\$ 144,00 |

D.3.3.3 Montagem

Para a construção total da Câmara de Nuvens, além dos materiais listados acima, você usará os seguintes instrumentos:

Régua, lápis, serra de arco, lima, lixa de aço número 100.

É importante dispor de uma mesa na qual você possa dispor o material na ordem indicada e ***não se esqueça de usar óculos de segurança e equipamento de proteção individual.***

O primeiro procedimento será o corte da chapa de alumínio:

A dimensão da chapa devem se idêntica à base do aquário. Este é um dos detalhes da montagem. Existem projetos que sugerem entalhes na placa de alumínio. Este projeto aumenta o custo e não garante a vedação que como foi visto é fator determinante para o bom funcionamento da câmara. Caso você não disponha de uma morsa para prender a placa, peça ajuda a um mecânico nas proximidades da escola, o procedimento é bastante rápido(10 minutos no máximo). Nós prendemos a placa na base de uma mesa com “sar-

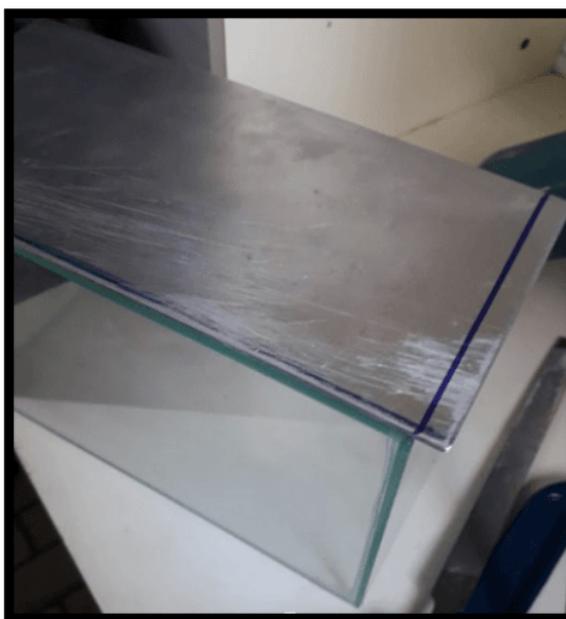
gentos”. Faça o corte com paciência, não tenha pressa neste procedimento. As figuras (55) e (56) indicam o modelo como foram feitos os cortes.

Figura 55 – Corte da placa de alumínio.



Não esqueça de garantir que as dimensões da placa coincidam com a base do aquário. Perceba que consideramos como base a parte aberta do aquário, pois será esta que estará em contato com o gelo seco:

Figura 56 – Corte da placa de alumínio - parte aberta do aquário.



Após este procedimento lixe com cuidado as faces da placa, retire as rebarbas e dê acabamento com um lixa mais fina.

Cole uma fita crepe com espaçamento de (5 mm) da borda para que possa aplicar uma camada de aproximadamente (1 mm) de silicone, como indica a figura (57).

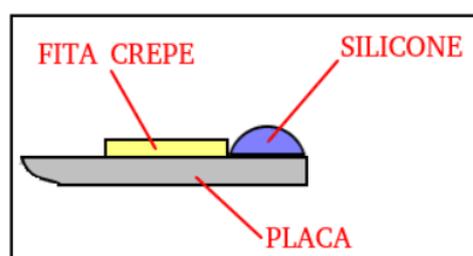
Figura 57 – Colagem de fita crepe para aplicação de silicone.



Este procedimento deve ser feito com cuidado. É ele que garante a vedação.

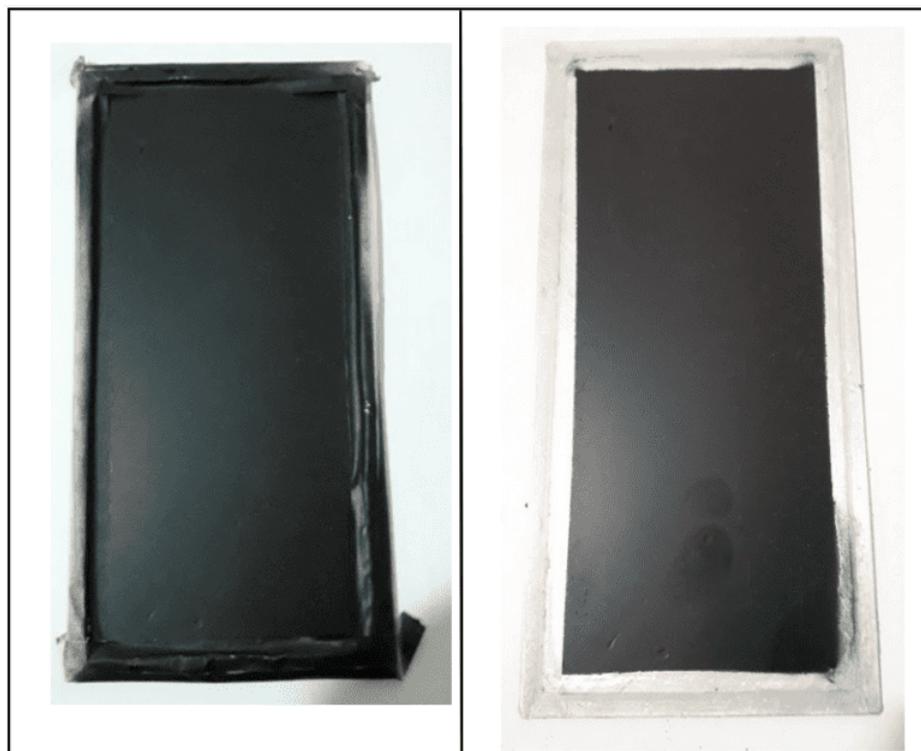
Aplique uma camada de silicone na borda de (5 mm), deixe secar de um dia para o outro. A figura (58) destaca o esquema para a aplicação da camada de silicone.

Figura 58 – Esquema de aplicação de silicone.



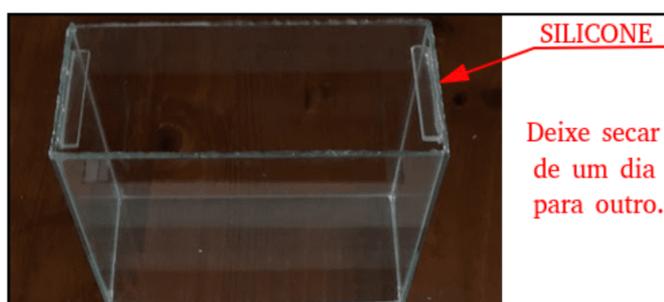
Em seguida pinte com tinta preta, preferencialmente fosca. Coloque uma fita crepe para proteger a camada de silicone, conforme a figura (59).

Figura 59 – Aplicação da tinta preta sobre a placa.



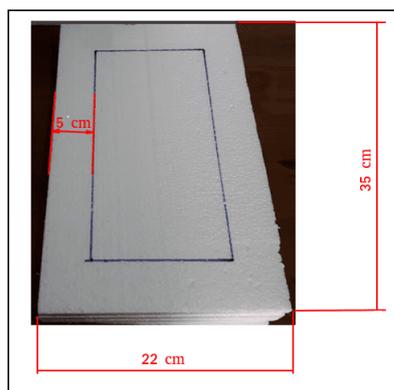
Aplique uma camada de silicone na borda do aquário, este procedimento garante a vedação total do experimento, conforme a figura (60).

Figura 60 – Aplicação de silicone na borda do aquário.



Agora chegou o momento das placas de isopor. Deixe pelo menos 5 *cm* de borda além da dimensão da placa. As dimensões aproximadas para o retângulo que compõe as placas são: (2 *cm* x 22 *cm* x 35 *cm*). Serão necessárias três peças com o furo retangular e três peças sem o furo, conforme a figura (61).

Figura 61 – Estrutura de isopor.



Cole as três peças e verifique se o aquário se encaixa com pouca folga nesta estrutura, conforme a figura (62).

Figura 62 – Três peças de isopor coladas.



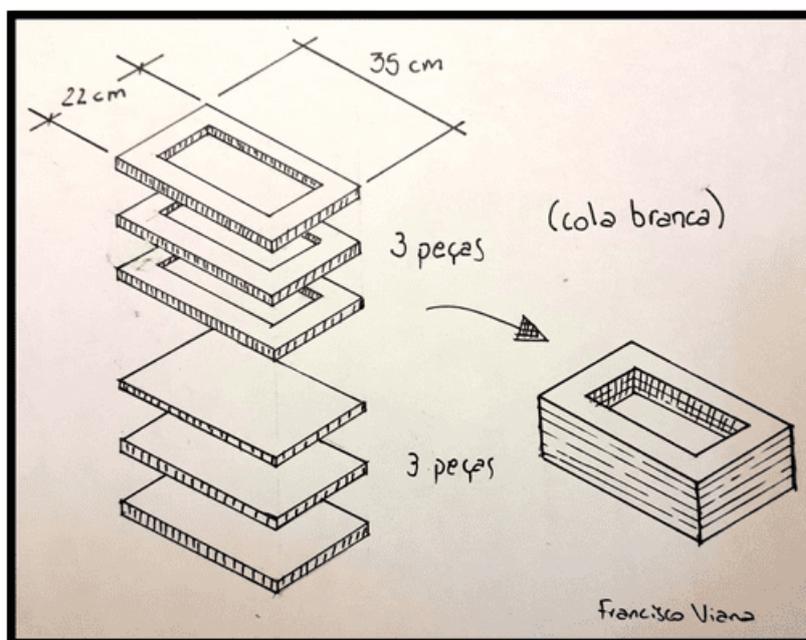
Na figura (63) temos o conjunto composto por: *Aquário + placas vazadas e coladas*(três peças) + *placa de alumínio na dimensão do aquário*.

Figura 63 – Conjunto de isopor antes da montagem.



A colagem das peças deve ser feita com cola branca e demora em torno de três horas. O esquema de montagem está indica na figura (64).

Figura 64 – Esquema de colagem das peças.



Agora, no interior do aquário já é possível colar a fita veda-frestas, conforme a figura (65).

Figura 65 – Esquema de colagem das fitas no interior da câmara.

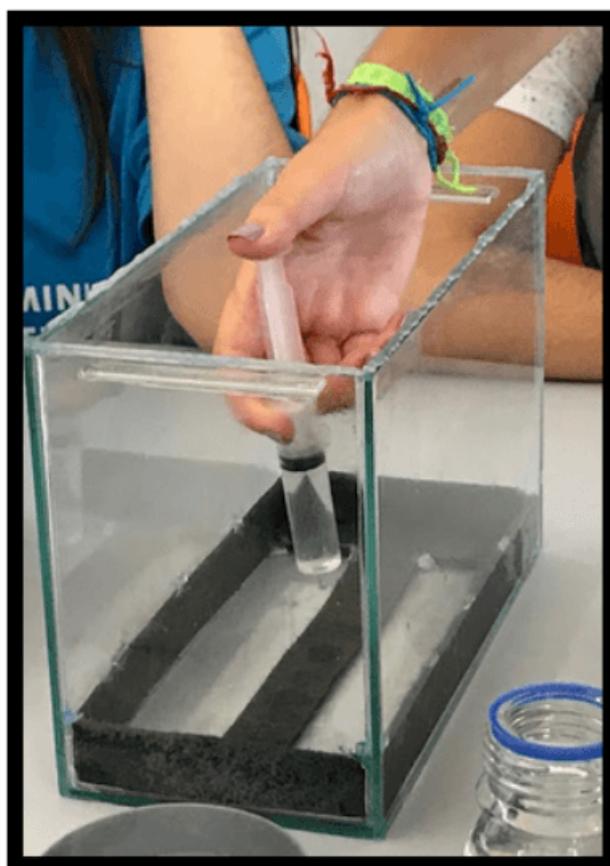


Pronto! Montagem realizada! Se julgar adequado, para intensificar a nuvem cole mais uma tira de *veda-frestas* exatamente no fundo do aquário que será a parte superior do funcionamento.

D.3.3.4 Procedimentos para o bom funcionamento

O bom funcionamento da câmara de nuvens depende de alguns fatores que demandam cuidado na execução e materiais adequados. O primeiro dos fatores para que a câmara funcione bem consiste em usar uma seringa (5 mL) preferencialmente com agulha para que o álcool isopropílico seja depositado de maneira pulverizada sobre o feltro colado no interior da câmara. Este procedimento ajuda a evitar que o isopropanol escorra pelas paredes, o que reduz a eficiência com que o vapor será formado no interior da câmara. A aplicação pode ser visualizada pela figura (66).

Figura 66 – Aplicação de álcool isopropílico.



Outro detalhe de fundamental importância é a vedação. Após a aplicação do álcool isopropílico com a seringa, ainda na posição inicial (com o fundo do aquário para baixo) dá-se início ao isolamento da câmara. A vedação foi feita com fita isolante deve ser feita na sequência indicada na foto. Peça ajuda para alguém para pressionar a placa contra a câmara. Coloque inicialmente duas tiras transversais e inicie o processo de vedação. Não economize fita! Você vai perceber que não vale a pena perder o experimento por conta de um rolo de fita isolante. As figuras (67) e (68) indicam a forma como dá-se o processo de vedação.

Figura 67 – Vedação inicial da câmara.

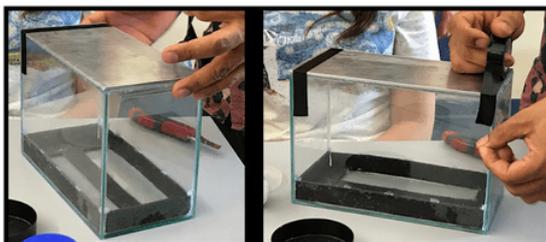
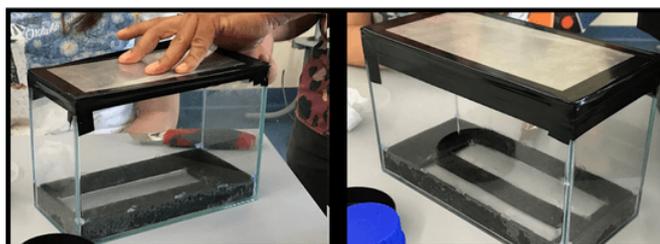


Figura 68 – Vedação final da câmara.



O terceiro detalhe do experimento (que não se encontra nos tutoriais e propostas encontradas na internet) que irá proporcionar um excelente nuvem é a imersão da câmara em um recipiente com água fervente. Reserve uma bacia, ou qualquer outro recipiente, para depositar uma porção de água fervente. Deposite a água e em seguida coloque a câmara com a placa de metal voltada para cima. Deixe a câmara trocar calor por aproximadamente dez minutos. Este procedimento torna mais intenso o processo de vaporização do álcool isopropílico, além de impor maior gradiente de temperatura entre a partes superior e inferior da câmara. As figuras (69) e (70) destacam esse procedimento.

Figura 69 – Inserção da câmara em água quente.

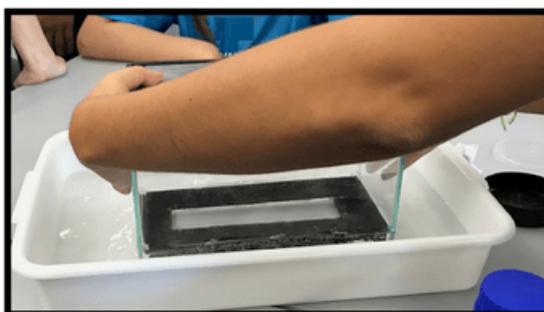


Figura 70 – Câmara em água quente por 10 minutos.



Enquanto espera para o término do procedimento anterior prepare o dispositivo para receber o gelo seco, cubra com apenas uma parte do feltro preto, conforme a figura (71).

Figura 71 – Base com feltro preto para depósito de gelo seco.



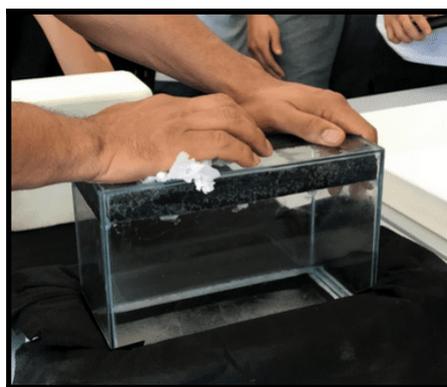
Reserve uma luva de couro, ou um pegador de madeira, para depositar o gelo seco no espaço e em seguida coloque a câmara em contato como o gelo seco. Espalhe bem o gelo seco pelo espaço, conforme a figura (72).

Figura 72 – Base com gelo seco.



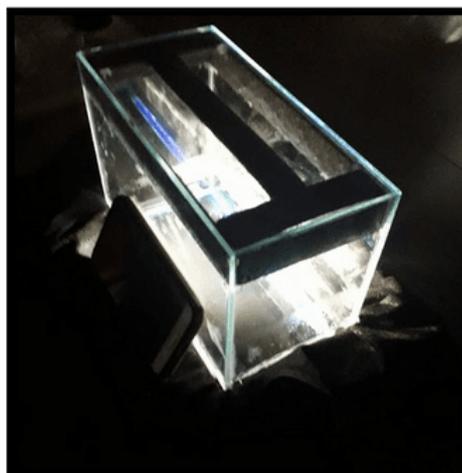
Pressione a câmara contra o gelo seco para intensificar o contato. Por causa da vibração da placa metálica haverá um ruído característico, mantenha pressionada enquanto houver o ruído. Use o pano, ou pedaço de papel, para apoiar, eles servirão como isolante térmicos durante este procedimento, conforme a figura (73).

Figura 73 – Montagem da câmara sobre a base com gelo.



Após este procedimento acenda a lanterna de um aparelho celular e apague as luzes da sala de aula. A base de isopor na qual foi encaixada a câmara servirá de apoio para o aparelho. Certifique-se de que o aparelho fica em posição inclinada para que o cone de luz proveniente de seu LED possa incidir com direção que forma entre 45° e 60° com a vertical, como destacado na figura (74).

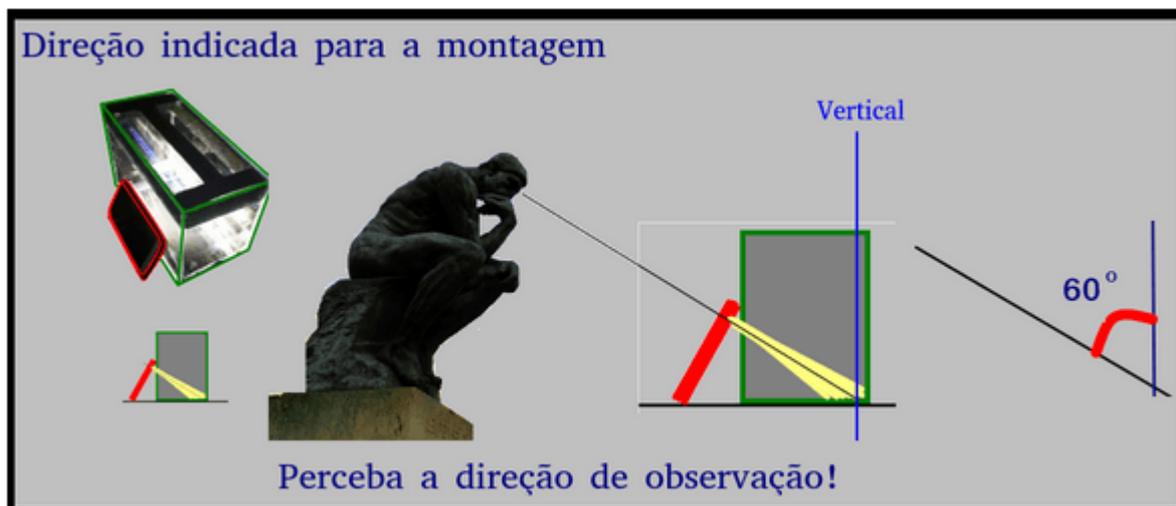
Figura 74 – Posição do feixe de luz sobre a câmara.



Conforme ilustração abaixo a percepção das trajetórias será melhor percebida em duas regiões, pela parte superior da câmara e na posição do observador indicado na figura. Com o uso de outro aparelho celular, em modo zoom, você poderá perceber melhores

detalhes da nuvem e respectivamente das trajetórias pela reflexão da luz proveniente do aparelho em sua lateral. O esquema apresentado na figura (75) elucida este procedimento.

Figura 75 – Esquema de posicionamento do feixe de luz sobre a câmara.



As primeiras trajetórias visíveis devem aparecer entre 10 e 15 minutos. Com já citado, é fundamental que o experimento seja montado com antecedência. Não tenha pressa na montagem. A figura (76) destaca o registro de um dos traços observados durante a aplicação em uma das turmas.

Figura 76 – Primeiros traços deixados por partículas.



D.3.3.5 Vídeo sobre a montagem e o funcionamento da Câmara de Nuvens

O vídeo abaixo¹ apresenta os seguintes tópicos:

Vídeo 8: (Detector portátil para a visualização de radiação e partículas cósmicas.), (DETECTOR, 2020).

- Materiais necessários para a construção da Câmara de Nuvens.

¹ Vídeo disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=PKd6cgyVIIe>>

- Sequência de montagem para o bom funcionamento do experimento.
- Detalhes sobre o posicionamento da fonte de Luz para a melhor visualização dos traços.
- Detalhes sobre o posicionamento de aparelhos para registros dos fenômenos observados.

D.4 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular (BNCC)**, 2017. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=85121-bncc-ensino-medio&category_slug=abril-2018-pdf&Itemid=30192>. Acesso em: set. de 2018.

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.

COMPOUND Interest. **The History of the Atom** – Theories and Models. 2016. ilustração, color. Disponível em: <<https://i2.wp.com/www.compoundchem.com/wp-content/uploads/2016/10/The-History-of-the-Atom-%E2%80%93-Theories-and-Models.png>>. Acesso em: 16 nov. 2019.

DETECTOR portátil para a visualização de radiação e partículas cósmicas. YouTube. 16 de jan. de 2020. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=PKd6cgyVliE>>. Acesso em: 16 de fev. de 2020.

ELETROMAGNETISMO. **Tema 1 - Carga elétrica e Spin** - Experimento 5: Eletrização por contato. Universidade de São Paulo. 2018. e-Aulas-USP. (0min59s) Disponível em: <<https://aulas.usp.br/portal/video.action;jsessionid=FC3E4B00F35B0781E45B5E74CD57040E?idPlaylist=4989¤tPlaylistIndex=2>>. Acesso em: 16 de nov. 2019.

FORATO, T. C. de M; PIETROCOLA, M; MARTINS, R. de A. **Historiografia e natureza da ciência na sala de aula**. In: *Caderno Brasileiro de Ensino de Física.*, v. 28, n. 1: p. 27-59, abr. 2011. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2011v28n1p27>>. Acesso em: nov. de 2019.

HOW to Reveal Subatomic Particles at Home. NOVA PBS Official. YouTube. 18 de mar. de 2015. (2min13s). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=wN_DMMQEhfQ>. Acesso em: 16 de nov. 2019.

LAGANÁ, C. **Estudo de raios cósmicos utilizando uma câmara de nuvens de baixo custo**. In: *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 33, n. 3, 3302, 2011. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/333302.pdf>>. Acesso em: jun. de 2017.

MORAN, J. M. **Influência dos meios de comunicação no conhecimento**. In: *Revista Ciência da Informação*, Brasília, v. 23, p. 233-238, maio/ago. 1994. Disponível em: <<http://revista.ibict.br/ciinf/article/view/551>>. Acesso em: nov. de 2019.

MOREIRA, M. A. **Unidades de ensino potencialmente significativas UEPS**. In: *Textos de apoio ao professor de física* v. 23 , n.2. Porto Alegre, 2012b. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/public/tapf/moreira_v23_n2.pdf>. Acesso em: jun. de 2019.

O QUE é átomo - e como sabemos disso?. Stated Clearly. YouTube. 18 de set. de 2018. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=LhveTGblGHY>>. Acesso em: 30 de nov. de 2019.

OS 2.400 anos de pesquisa do átomo. TED-Ed, Theresa Doud. YouTube. 8 de dez. de 2014. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=xazQRcSCRaY>>. Acesso em: 30 de nov. de 2019.

PERIMETER Institute. Recursos educacionais, 2019. Recursos educacionais digitais gratuitos do Perimeter Institute para docentes. Disponível em: <<https://resources.perimeterinstitute.ca/>>. Acesso em: nov. de 2019.

TUDO se Transforma. **História da Química, História dos Modelos Atômicos**. CCEAD - PUC-RIO. YouTube. 28 de set. de 2012a. (13min30s). Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=58xkET9F7MY>>. Acesso em: 16 nov. 2019.

TUDO se Transforma. **Estrutura Atômica, Exergando o Invisível**. CCEAD - PUC-RIO. YouTube. 28 de set. de 2012b. (12min02s). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=IlhfUwK0_sE>. Acesso em: 16 nov. 2019.

WHAT are atoms made of?. Stated Clearly. YouTube. 3 de jan. de 2019. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=ooWfzpUIoNM&list=PLInNVsmlBUIY3zESQcbiQhhL6lZ0UbJ7&index=2>>. Acesso em: 30 de nov. de 2019.

WHAT'S the smallest thing in the universe?. TED-Ed, Jonathan Butterworth. YouTube. 15 de nov. de 2018. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ehHoOYqAT_U>. Acesso em: 30 de nov. de 2019.