

**MNPEF**  
Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS ARARANGUÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DA FÍSICA

TATIANE PACHECO ZANETTE

**O ENSINO DE FÍSICA DE PARTÍCULAS  
POR MEIO DA VIDA E OBRA DO FÍSICO BRASILEIRO CÉSAR LATTES**

ARARANGUÁ  
2021

Tatiane Pacheco Zanette

**O ENSINO DE FÍSICA DE PARTÍCULAS  
POR MEIO DA VIDA E OBRA DO FÍSICO BRASILEIRO CÉSAR LATTES**

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

Orientador: Prof. Dr. Felipe Damasio.

Araranguá  
2021

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

Zanette, Tatiane Pacheco

O ensino de física de partículas por meio da vida e obra do físico brasileiro César Lattes / Tatiane Pacheco Zanette ; orientador, Felipe Damasio, 2021.  
128 p.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Araranguá, 2021.

Inclui referências.

1. Ensino de Física. 2. Física. 3. Ensino de Física. 4. Física de partículas. 5. César Lattes. I. Damasio, Felipe. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós Graduação em Ensino de Física. III. Título.

O ensino de física de partículas por meio da vida e obra do físico brasileiro César Lattes

Tatiane Pacheco Zanette

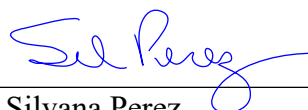
Orientador:  
Felipe Damasio

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

Aprovada por:

---

Prof. Dr. Giuliano Arns Rampinelli  
Universidade Federal de Santa Catarina



---

Prof. Dra. Silvana Perez  
Universidade Federal do Pará



---

Prof. Dra. Aline Cristiane Pan  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Araranguá  
Agosto de 2021

Dedico esta dissertação ao meu filho amado,  
Angelo, e ao meu orientador, Prof. Dr.  
Felipe Damasio.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conferir determinação e saúde para concluir o Mestrado.

Ao meu filho querido, Angelo, que mesmo tão jovem sempre me apoiou, compreendeu e incentivou.

À minha mãe, pelo apoio, carinho, compreensão e ajuda, pois sem ela para cuidar do Angelo, eu não poderia sequer ter iniciado o Mestrado.

Ao meu pai, que sempre me incentivou a estudar, pois como ele mesmo fala, “o conhecimento é nosso maior tesouro”.

Ao meu orientador, Dr. Felipe Damasio, pela generosidade em compartilhar sua sabedoria, experiência e conhecimento; e por me orientar e colaborar em cada etapa desta dissertação.

Aos professores do Mestrado do MNPEF, pela dedicação e contribuição na minha formação.

Aos meus colegas de curso, pelas amizades construídas, experiências vividas e emoções compartilhadas.

Ao programa de Mestrado Nacional Profissional no Ensino de Física, pela oportunidade de aprofundar os meus conhecimentos.

À CAPES pelo apoio financeiro.

Enfim, a todos que, de alguma maneira, contribuíram para a conclusão dessa etapa.

Muito obrigada!

## RESUMO

Trabalho que descreve uma proposta pedagógica na disciplina de Física, que tem por objetivo o ensino de física de partículas no terceiro ano do Ensino Médio, por meio da discussão sobre a física com base na vida e obra de César Lattes. Procurou-se problematizar a imagem, normalmente generalizada no ensino de ciências, que retrata os cientistas como homens extremamente inteligentes, de países ricos, vistos quase como divindades impossíveis de serem alcançadas. Os marcos teórico-educacionais, metodológicos e epistemológicos adotados foram os da Teoria de Aprendizagem Significativa Crítica, nas Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) e na Epistemologia de Paul Feyerabend. O produto educacional produzido consiste em um site onde se encontram os materiais elaborados para o projeto, cuja execução em sala de aula foi analisada. A análise demonstrou evidências do aumento da predisposição do aluno em aprender, a evolução conceitual relativa aos conceitos abordados, o caráter potencialmente significativo do material desenvolvido e o potencial do uso da vida e obra de cientistas brasileiros para contextualizar a Física no Ensino Médio.

**Palavras-chave:** Ensino de Física. Física de partículas. César Lattes.

## ABSTRACT

This work describes a pedagogical proposal in the discipline of Physics, which aims to teach particle physics, in the third year of high school, through the discussion of, about and for physics through the life and work of César Lattes. An attempt was made to problematize the image that is normally widespread in science education, which portrays scientists as extremely intelligent men, from rich countries, seen almost as impossible divinities to reach. The theoretical-educational, methodological and epistemological frameworks adopted were the Critical Meaningful Learning Theory, in the Potentially Significant Teaching Units (UEPS) and in the Epistemology of Paul Feyerabend. The educational product produced consists of a website where the materials prepared for this project can be found, whose execution in the classroom was analyzed. Consequently, the analysis showed evidence of the increased predisposition to learn, the conceptual evolution related to the concepts covered, the potentially significant character of the material developed and the potential of using the life and work of Brazilian scientists to contextualize Physics in high school.

**Keywords:** Physics education. Particle Physics. César Lattes.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Periódicos pesquisados e os indicadores estabelecidos..... | 16 |
| Figura 1 - Câmara de Wilson.....                                      | 38 |
| Figura 2 - Modelo padrão .....  | 41 |
| Quadro 1 - Cronograma de implementação da UEPS .....                  | 46 |
| Figura 3 - A representação de átomo que os alunos fizeram.....        | 48 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|              |  |
|--------------|--|
| <b>FFCL</b>  | Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras      |
| <b>FMC</b>   | Física Moderna e Contemporânea                 |
| <b>MNPEF</b> | Mestrado Profissional de Ensino de Física      |
| <b>NASA</b>  | National Aeronautics and Space Administration  |
| <b>UEPS</b>  | Unidade de Ensino Potencialmente Significativa |
| <b>UFSC</b>  | Universidade Federal de Santa Catarina         |
| <b>USP</b>   | Universidade de São Paulo                      |

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>CAPÍTULO 1</b> .....                                | <b>12</b> |
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....                              | <b>12</b> |
| 1.1 OBJETIVOS .....                                    | 15        |
| 1.1.1 Objetivo geral .....                             | 15        |
| 1.1.2 Objetivos específicos .....                      | 15        |
| <br>   |           |
| <b>CAPÍTULO 2</b> .....                                | <b>16</b> |
| <b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....                   | <b>16</b> |
| 2.1 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA CRÍTICA .....           | 17        |
| 2.2 HISTÓRIA DA CIÊNCIA .....                          | 18        |
| 2.3 FÍSICA DE PARTÍCULAS .....                         | 20        |
| <br>   |           |
| <b>CAPÍTULO 3</b> .....                                | <b>21</b> |
| <b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....                   | <b>21</b> |
| 3.1 MARCO TEÓRICO, EPISTEMOLÓGICO E METODOLÓGICO ..... | 21        |
| 3.2 CÉSAR LATTES: O FÍSICO BRASILEIRO.....             | 27        |
| <br>   |           |
| <b>CAPÍTULO 4</b> .....                                | <b>32</b> |
| <b>4 FÍSICA DE PARTÍCULAS</b> .....                    | <b>32</b> |
| 4.1 A ABORDAGEM HISTÓRIA DA FÍSICA DE PARTÍCULAS ..... | 32        |
| 4.2 A FÍSICA DE PARTÍCULAS .....                       | 34        |
| <br>   |           |
| <b>CAPÍTULO 5</b> .....                                | <b>42</b> |
| <b>5 METODOLOGIA</b> .....                             | <b>42</b> |
| 5.1 ESCOLHA DO TEMA ESPECÍFICO QUE SERÁ ABORDADO ..... | 42        |
| 5.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....                        | 42        |
| 5.3 APROPRIAÇÃO DO TEMA .....                          | 43        |
| 5.4 DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO EDUCACIONAL .....       | 45        |
| 5.5 IMPLEMENTAÇÃO DA UEPS .....                        | 46        |
| <br>   |           |
| <b>CAPÍTULO 6</b> .....                                | <b>53</b> |
| <b>6 ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....                  | <b>53</b> |

|  |  |           |
|--|--|-----------|
| 6.1  | ANÁLISE DE CONCEPÇÕES PRÉVIAS .....            | 53        |
| 6.2  | ANÁLISE DO DIÁRIO DE BORDO .....               | 55        |
| 6.3  | ANÁLISE DA AVALIAÇÃO SOMATIVA INDIVIDUAL ..... | 56        |
| 6.4  | ANÁLISE DOS MAPAS CONCEITUAIS.....             | 57        |
| 6.5  | ANÁLISE DA AVALIAÇÃO DA UEPS .....             | 58        |
| 6.6  | ANÁLISE DAS VARIÁVEIS DE INVESTIGAÇÃO.....     | 59        |
| <b>CAPÍTULO 7.....</b>                       |  | <b>61</b> |
| <b>7</b>                                     | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>               | <b>61</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>                      |  | <b>65</b> |
| <b>Apêndice A – Produto educacional.....</b> |  | <b>69</b> |

# Capítulo 1

## 1 INTRODUÇÃO

Em 1969, Postman e Weingartner já demonstravam preocupação com os conceitos que a escola ensinava, pois ela deveria preparar o aluno para viver neste mundo caracterizado pelas mudanças cada vez mais rápidas em todos os sentidos: valores, conceitos, tecnologias. No entanto, a escola continuava a ensinar conceitos fora de foco, tais como: o conceito de verdade absoluta, fixa, imutável; o conceito de certeza; o conceito de entidade isolada; o conceito de estados e coisas fixos; o conceito de causalidade simples, única, mecânica; o conceito de que diferenças existem somente em formas paralelas e opostas; e o conceito de que o conhecimento é transmitido. Como consequência de tal educação, teríamos cidadãos passivos, dogmáticos, autoritários, intolerantes, conservadores e inflexíveis, pois para manterem os conceitos que aprenderam na escola, nessa fantasia de certeza, eles seriam resistentes a qualquer mudança. Seria improvável imaginar uma educação menos confiável para preparar os alunos para um futuro totalmente em transformação do que aquela que oferecesse um ensino embasado em tais conceitos (MOREIRA, 2005).

Considerando que estamos falando da época em que as transformações rápidas eram o início das viagens espaciais e a energia nuclear, o perfil que se espera é totalmente o oposto, ou seja, uma pessoa capaz de lidar com relatividade, probabilidade, incerteza, graus de diferença e incongruência. Esperava-se que tais conceitos fossem promovidos pela educação, visando formar pessoas flexíveis, criativas, inquisitivas, tolerantes, inovadoras e liberais, capazes de encarar as tão temidas mudanças (MOREIRA, 2005).

Na atualidade, a escola continua a ensinar conceitos cada vez mais fora de foco. O mundo está em constante transformação, mas a educação ficou estagnada no tempo. O modelo de escola que temos ainda promove uma educação em que os professores ensinam conceitos que julgam que os alunos devem saber. Estes alunos decoram e reproduzem em avaliações o que aprenderam, e depois esquecem, ou seja, torna-se uma aprendizagem mecânica que não os prepara para os desafios diários da vida em sociedade (MOREIRA, 2005). Mas que influência isso pode ter no ensino de física?

Segundo Cavalcanti e Ostermann (2001), o ensino de física nas escolas, principalmente naquelas da rede pública, vem se deteriorando ao longo de décadas, pois os conceitos são ensinados fora do contexto em que foram descobertos, os professores se

prendem ao livro didático, a física é apresentada para o aluno como uma ciência pronta e acabada. A física se tornaria mais interessante para os alunos aprenderem se apresentasse assuntos que eles leem nas revistas, artigos, jornais etc. A Física Moderna e Contemporânea (FMC) torna-se instigante para os alunos, pois mostra cientistas falando sobre seus experimentos e sobre as expectativas para o futuro, em vez de estudar trabalhos de cientistas que viveram há centenas de anos. Mas então por que os professores não adotam essa abordagem nas salas de aulas?

A Física Moderna é vista como conceitualmente abstrata e difícil; e a falta de material didático na área e de clareza sobre as metodologias a serem adotadas pelos professores também dificultam a introdução da FMC no currículo do Ensino Médio, pois de nada adiantaria introduzir os conceitos da Física Moderna da mesma maneira descontextualizada que os conceitos da Física Clássica vêm sendo abordados pela escola (MOREIRA; OSTERMANN, 2000).

Tratando-se da física de partículas, os obstáculos são ainda maiores, pois o material para elaboração de atividades tem um alto grau de sofisticação e custo, o que torna o estudo ainda mais difícil, considerando a realidade das escolas públicas brasileiras, que, em sua maioria, mal conseguem suprir as necessidades cotidianas (PIETROCOLA; SIQUEIRA, 2007).

Diante de todas as dificuldades encontradas, o que justificaria estudar a física de partículas?

De acordo com Pietrocola e Siqueira (2007), a física de partículas traz uma atualização do saber que já se encontra em sala de aula, porém com uma nova visão da natureza. O modelo de átomo conhecido até então pelos alunos, o de prótons, elétrons e nêutrons, frequentemente é apresentado como um modelo planetário, agora passa a ser visto por outro ângulo, com a descoberta de outras partículas.

Segundo Miller *et al.* [2018], que realizaram um estudo em mais de cinco décadas tendo como base a análise de desenhos de crianças, o estereótipo do cientista aparece para elas como homem branco, usando jaleco, normalmente representado em laboratórios, fazendo referência aos cientistas como homens extremamente inteligentes. O estudo afirma ainda que esse estereótipo afasta os jovens da ciência, em especial as mulheres, por tais indivíduos não se considerarem extremamente inteligentes, e destaca ainda que a desconstrução dessa imagem se faz por meio da divulgação dos cientistas, de modo a mostrar que são pessoas comuns que apenas escolheram o ramo da ciência.

Então como colaborar com o ensino da física de partículas no Ensino Médio?  
Quais metodologias poderiam contribuir?

Diante de tais questionamentos, o problema em aberto que esta pesquisa se propôs a investigar, e também produzir um produto educacional relacionado, é: **como tornar o ensino de física de partículas mais interessante para os alunos do Ensino Médio e desconstruir o estereótipo que se tem do cientista?**

A hipótese que orientará a procura pelas possíveis respostas é abordar as contribuições do brasileiro César Lattes para a construção da física de partículas por meio dos princípios da Aprendizagem Significativa Crítica, organizados dentro de um Unidade de Ensino Potencialmente Significativa. Com essa abordagem, pode-se desconstruir a versão de que ciência é uma construção dos grandes países desenvolvidos, além de aproximar o estudante brasileiro do empreendimento científica, abrindo a possibilidade de despertar a predisposição em aprender, condição necessária preconizada por Ausubel para construção de aprendizagem significativa.

Como elaborar uma UEPS de física de partículas então?

Postman sugere que cada matéria seja ensinada segundo seu desenvolvimento histórico e que cada professor seja também um professor de história. Feyerabend utiliza a história da ciência como um forte ponto de ataque para o racionalismo (DAMASIO; PEDUZZI, 2015b).

Qual abordagem histórica da física de partículas poderia despertar o interesse dos alunos brasileiros do Ensino Médio da rede pública de ensino?

César Lattes, físico brasileiro não muito conhecido popularmente, deu grandes contribuições para a física de partículas. No entanto, ele pertence a uma nova galeria, a dos Nobéis Injustiçados, grupo do qual fazem parte famosos na Física, como Ludwig Edward Boltzmann, Lord Kelvin, Paul Langevin, Arnold Sommerfeld, Ernst Pascual Jordan, dentre muitos outros (BASSALO, 1990)

Diante do exposto, pretende-se elaborar uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativo, apresentando a construção histórica da física de partículas, pretendendo evidenciar como ela é uma construção humana e cheia de percalços, que não constrói certezas e verdades absolutas. Além disso, busca-se debater sobre a vida e obra do brasileiro César Lattes, tentando desconstruir a ideia de que os cientistas bem-sucedidos se encontram em países de primeiro mundo; e como questões políticas, sociais e econômicas estão presentes na ciência, principalmente no caso do prêmio Nobel.

Para tanto, o trabalho proposto é constituído de uma pesquisa bibliográfica e qualitativa com ênfase no conteúdo de física de partículas, abordado por meio da história das ciências e da vida e obra de César Lattes. O trabalho está dividido nas seguintes seções: a) revisão bibliográfica contendo um levantamento teórico de artigos que trazem como proposta o ensino da história das ciências, física de partículas e aprendizagem significativa crítica; b) fundamentação teórica sobre física de partículas, teoria de aprendizagem significativa crítica, história da ciência e a sua contribuição para física de partículas; c) metodologia e análises de resultados; e d) considerações finais.

A proposta descrita foi realizada na Escola de Educação Básica Antônio Guglielmi Sobrinho, na turma do terceiro ano do Ensino Médio. A análise e avaliação dos resultados, após a aplicação da proposta metodológica, servirão para uma reflexão, que tem por objetivo buscar respostas e soluções para a questão norteadora e em um produto educacional, um site, onde professores interessados em realizar tal abordagem terão à disposição a UEPS, os slides, textos e demais materiais necessários para levar para sala de aula a proposta.

## 1.1 OBJETIVOS

O presente estudo possui um objetivo geral e alguns específicos, conforme descrito nas subseções a seguir.

### 1.1.1 Objetivo geral

Construir uma sequência didática que proporcione a inserção da história da Física em sala de aula, de modo a poder contextualizar a Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, tendo em vista a perspectiva de ensino subversivo.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- a) Determinar a abordagem da física de partículas selecionando o tema específico;
- b) Realizar uma revisão bibliográfica para subsidiar a execução do projeto;
- c) Desenvolver o produto educacional e realizar a implementação da UEPS, o que resultará na apresentação de uma UEPS;
- d) Aplicar a UEPS em sala de aula;
- e) Avaliar e refletir o projeto em suas perspectivas futuras.



## Capítulo 2

### 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão que será exposta tem por finalidade reconhecer trabalhos com três abordagens. A primeira refere-se à aprendizagem significativa crítica e à elaboração de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas, limitando esse estudo à Física. A segunda diz respeito à história da ciência com enfoque na vida e obra do brasileiro César Lattes e suas contribuições para a física brasileira. A terceira refere-se ao conhecimento científico da física de partículas.

Os indicadores que orientaram a revisão foram limitados aos periódicos listados com Qualis/Capes A e B na área de ensino de ciências e física. Foram eles: Revista Brasileira de Ensino de Física; Revista Ensaio, Ciências & Educação, Investigação em Ensino de Ciências; Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia; Caderno Brasileiro de Ensino de Física; Experiências em Ensino de Ciências; Física na Escola; e Aprendizagem Significativa em Revista, restringindo a consulta aos últimos 10 anos. Destaca-se ainda que não serão citados todos os trabalhos publicados que tratam desses temas, apenas aqueles que colaboraram com a produção da pesquisa. Foram selecionados os artigos a partir de seus títulos, resumos e palavras-chave. A Tabela 1 descreve os periódicos pesquisados e os indicadores estabelecidos.

Tabela 1 - Periódicos pesquisados e os indicadores estabelecidos

| Periódico    | 1°       | 2°       | 3°       |
|--------------|----------|----------|----------|
| RBEF         | 0        | 1        | 2        |
| ENSAIO       | 0        | 0        | 0        |
| C&E          | 0        | 0        | 0        |
| IEC          | 2        | 1        | 0        |
| RECT         | 0        | 0        | 0        |
| CBEF         | 1        | 0        | 1        |
| EEC          | 1        | 0        | 0        |
| FEASR        | 0        | 0        | 0        |
| <b>Total</b> | <b>4</b> | <b>2</b> | <b>3</b> |

Fonte: elaborada pela autora (2021).

## 2.1 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA CRÍTICA

Os fatores que justificam a escolha dos marcos teóricos e metodológicos desta pesquisa são os expostos a seguir.

Segundo Damasio e Peduzzi (2015a), a escola, como se apresenta hoje, não necessita de grandes mudanças para que se desenvolva uma aprendizagem significativa crítica, em que o sujeito possa fazer parte de uma sociedade e não se subjugar a ela. A visão relativista de ciência, defendida por Feyerabend, contribui para uma aprendizagem significativa crítica, pois permite ao estudante uma abordagem de vários pontos de vista. O aluno é oportunizado a conhecer, além dos conceitos físicos, o momento histórico em que a descoberta foi feita, como a sociedade pensava naquele momento e os fatos relevantes que estavam acontecendo, inclusive na vida do cientista.

De acordo com Damasio e Peduzzi (2015a), a aprendizagem significativa crítica prepara os cidadãos para serem críticos, para viverem na atualidade, onde tudo está em constante transformação; e trabalha a ideia de que formar pessoas que simplesmente seguem os modelos pré-determinados sem questioná-los, em uma educação tradicional, não atende às necessidades da vida na sociedade em que vivemos. A aprendizagem significativa crítica tem sua centralidade no aluno, nas perguntas e também na linguagem. Diferentes percepções levarão a diferentes aprendizagens. Compreender que o conhecimento se desenvolve por meio da linguagem, nos leva a entender que diferentes linguagens possibilitam novas oportunidades de compreensão do conhecimento. A abordagem dos conceitos, aqui descrita, para uma aprendizagem significativa crítica, auxilia-nos a desenvolvermos um material didático que propicie ao aluno essa percepção dos conceitos de vários pontos de vista.

Damasio e Peduzzi (2015b) apresentam as distorções que são feitas ao se falar nas ideias defendidas pelo epistemólogo e a contribuição da sua visão relativista do conhecimento científico. A compreensão de que o conhecimento científico não é mais importante do que os outros, não significa desvalorizá-lo, mas sim compreender as diferentes visões de mundo e sociedade. A relatividade defendida por Feyerabend consiste em considerar o contexto histórico em que os fatos ocorreram. Mostrar que o conhecimento científico é uma construção humana, e que, como tal, imperfeita e sujeita a erros e mudanças. Mudanças de ideias e visões sobre o que se considera verdadeiro e válido, como se pode observar ao longo da evolução da história da ciência, na Mecânica

Quântica e em muitos outros momentos importantes da ciência ao longo da história. Tal relatividade é a que buscamos abordar no presente trabalho.

Damasio e Peduzzi (2017) esclarecem a importância de o professor mudar a sua visão, enquanto profissional, de que ele é detentor do conhecimento e que em sala de aula o seu papel é transmitir esse conhecimento, pois, para desenvolver uma aprendizagem significativa crítica, o seu papel em sala é auxiliar o aluno a construir o conhecimento. Desse modo, ele contribuirá para a construção de uma sociedade crítica, onde o cidadão faça parte dela e, ao mesmo tempo, não se subjugue a ela. Essa compreensão do papel do professor contribui para a abordagem que adotamos em sala de aula durante a aplicação da UEPS.

Damasio e Rodrigues (2018) salientam que uma educação que busca formar cidadãos críticos precisa levar em consideração nas aulas de ciências essa relatividade da realidade em relação às mudanças culturais. Sendo assim, faz-se necessário vencer essa barreira de conceitos fora de foco. A aprendizagem significativa crítica é formada por ideias facilitadoras para construção dessa educação nas escolas, sem que sejam necessárias grandes mudanças em como ela se apresenta hoje. Todas as transformações da sociedade, além das dificuldades e necessidades de mudanças na educação, apresentadas nos artigos selecionados, colaboraram para compreendermos qual abordagem gostaríamos de utilizar e a clareza sobre como utilizar isso no presente trabalho.

Assim sendo, a principal colaboração que os artigos aqui citados nos trouxeram foi a compreensão da metodologia que se pretende utilizar para elaborar o material que colabore com nossos objetivos neste projeto.

## 2.2 HISTÓRIA DA CIÊNCIA

De acordo com Vital e Guerra (2016), a história da ciência pode ser utilizada como um recurso facilitador no ensino de física, pois permite acesso à informação, o que leva à reflexão sobre os procedimentos, desafios e as limitações da ciência. Existe a necessidade da clareza de que não se trata da inserção de uma nova disciplina de história da ciência, mas sim de sua aplicação como prática metodológica. O artigo corrobora para a escolha de uma abordagem histórica da física de partículas, ao mesmo tempo em que permite compreender como utilizar tal abordagem, quais seus desafios e por que utilizar.

Entre as dificuldades encontradas pelos professores que optam por utilizar a história da ciência, destaca-se a falta de textos adequados. Os textos produzidos por historiadores apresentam a preocupação com os fatos da sociedade naquele determinado momento e não com a produção científica, já os textos científicos, por outro lado, não revelam o contexto em que aquela descoberta científica ocorreu (VITAL; GUERRA, 2016). Os autores ressaltam ainda a importância de o professor exercitar o seu papel de autor do seu material didático, e essa produção de textos didáticos permite a possibilidade de observar o momento histórico do acontecimento, a abordagem do conhecimento científico adequada e a possibilidade de expor vários pontos de vista desse acontecimento. Destacou-se também a preocupação com as fontes a serem utilizadas pelo docente, a fim de que não aconteçam distorções dos fatos. Logo, percebe-se a necessidade de produzirmos o próprio material para UEPS.

Vieira e Videira (2011) destacam que as descobertas de Lattes com seu estudo de raios cósmicos na produção natural do méson pi e, em seguida, na sua produção artificial, com o auxílio do maior acelerador de partículas da época, foram de grande importância para utilização da técnica por mais de 50 anos no país, tornando o Brasil o país que talvez tenha usado a técnica das emulsões nucleares por mais tempo contínuo no mundo. Em seu retorno ao Brasil, em 1949, Lattes trouxe emulsões expostas ao acelerador de partículas americano, e foi a partir delas que se criou a Divisão de Emulsões Nucleares no Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas. Ainda Segundo Vieira e Videira (2011), o prestígio de Lattes dividiu os físicos brasileiros em dois grupos: os que defendiam um desenvolvimento grandioso da física nuclear no Brasil, com produção de energia por meio da fissão nuclear, a construção de grandiosos aceleradores de partículas e o país fazendo parte do grupo seleto de países desenvolvidos; e o grupo daqueles que, mesmo empolgados com as descobertas, eram mais realistas em relação às fraquezas e carências do Brasil, estando cientes de que nosso país não teria recursos para construir um acelerador. Tal visão colabora para uma abordagem histórica que descreve os fatos e como eles afetaram a sociedade naquele momento.

Logo, as colaborações que os artigos aqui citados nos trouxeram foram o entendimento da abordagem do ensino de física através da história e a necessidade de elaborar o próprio material que utilizaremos, tendo em vista a falta de um material que contemple nossos objetivos neste projeto.

## 2.3 FÍSICA DE PARTÍCULAS

Videira e Francisquini (2018) salientam a importância de a física de partículas ser inserida na educação básica, mostrando, desse modo, a ciência como uma construção humana inacabada, sujeita a transformações e novas descobertas, além de levar para a sala de aula um conhecimento aos alunos sobre algo que eles já veem nos noticiários, revistas e no cotidiano, oportunizando uma abordagem crítica ao ensino de física. Esta visão relativista da física de partículas ajudou na elaboração do presente trabalho.

De acordo com Souza *et al.* (2019), o estudo das partículas elementares se justifica pela sua importância no cotidiano na tecnologia que nos rodeia, como na ressonância eletromagnética nuclear. Os autores destacam ainda que, por meio da descrição de quatro interações básicas incumbidas pelo comportamento dos sistemas físicos da escala subatômica à escala astronômica, podemos compreender a natureza. São elas: gravitacional, eletromagnética, nuclear forte e nuclear fraca. A abordagem dos conceitos, ressaltando suas contribuições para nossa vida cotidiana, auxilia na percepção que queremos apresentar em sala de aula.

O modelo de Rutherford foi uma das primeiras descrições modernas do átomo, visto não mais como algo indivisível, mas composto por partículas ditas fundamentais. Porém, o grande passo para o crescimento da física de partículas se deu com a comprovação da existência do méson pi ou pión, como é conhecido (VIDEIRA; FRANCISQUINI, 2018). Os raios cósmicos foram observados por Victor Hess por meio de experimentos com balões, onde ele observou que a radiação, que até então se acreditava ser proveniente do solo, era mais intensa conforme aumentava a altitude. Logo, ele concluiu que a radiação seria proveniente de fora da atmosfera do planeta (OLIVEIRA *et al.*, 2014). Segundo Oliveira *et al.* (2014), a interação dos raios cósmicos com constituintes atmosféricos foi objeto de pesquisa que levou à descoberta de novas partículas subatômicas. Citando ainda o exemplo do pión, descoberto pela equipe do físico brasileiro César Lattes. Tais artigos auxiliaram na produção dos textos trabalhados em sala de aula.

No entanto, a principal colaboração que os artigos aqui citados nos trouxe foi a compreensão da necessidade de elaborarmos o nosso próprio material para utilização, tendo em vista a falta de material que contemple nossos objetivos neste projeto.

## Capítulo 3

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Tratando-se de uma pesquisa de ensino em ciências, o conteúdo específico das ciências sempre deve estar presente. Um ponto frágil de muitos estudos é que os autores postergam o conteúdo científico a um nível bem inferior em suas pesquisas. Mesmo que a pesquisa necessite da contribuição de outras áreas é importante que não se deixe de lado o conhecimento científico propriamente dito (MOREIRA, 2004).

A pesquisa em ensino de ciências é considerada um campo consolidado, mas que apresenta algumas fragilidades. Entre elas, podemos citar os trabalhos sem referencial teórico, filosófico e metodológico adequado e coerente; mas principalmente a existência de um grande número de estudos sem marco teórico ou com um suporte inadequado (DAMÁSIO; PEDUZZI, 2017). Para evitar tais incoerências aconteçam nesta pesquisa, sua fundamentação será embasada em referenciais metodológicos, teórico-epistemológicos e teórico-educacionais complementares e coerentes entre si. A saber: Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica (teórica educacional); a filosofia da ciência, de Paul Feyerabend (epistemológica); e as Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (metodológica).

#### 3.1 MARCO TEÓRICO, EPISTEMOLÓGICO E METODOLÓGICO

A escolha dos marcos teóricos desta pesquisa é justificada pela busca por soluções de problemas citados em estudos, como o de Moreira (2005), que relata que a escola continua a ensinar conceitos cada vez mais fora de foco. O mundo está em constante transformação, mas a educação ficou estagnada no tempo. O modelo de escola que temos ainda promove uma educação em que os professores ensinam conceitos que julgam que os alunos devam saber, algo que os alunos decoram e reproduzem em avaliações e depois esquecem, ou seja, é uma aprendizagem mecânica que não os prepara para os desafios diários da vida em sociedade.

A aprendizagem significativa crítica obteria melhores resultados na formação de cidadãos capazes de opinarem, contestarem e participarem das decisões de qualquer área da sociedade. Nesse modelo, o aluno será ensinado a fazer perguntas e não a dar respostas,

pois depois de aprender a aprender, ninguém o impedirá de aprender o que quiser (DAMÁSIO; PEDUZZI, 2015a).

Diferentemente da aprendizagem mecânica, em que o aluno é condicionado a verdades absolutas, a uma única resposta certa, a aprendizagem significativa crítica busca uma educação baseada em incertezas, em verdades relativas, em um aluno que pensa, analisa e constrói conhecimento (MOREIRA, 2005).

Conforme Damásio e Peduzzi (2015a), a arte de fazer perguntas não é ensinada na escola, ao contrário, é desencorajada. É preciso formar aprendizes que confiam em seu raciocínio, que entendem que as respostas são relativas e que tudo depende do sistema em que está se atuando, o que é certo para um sistema poderá não ser em outro.

Parafraseando Moreira, aprendizagem significativa crítica é aquela perspectiva que permite ao sujeito fazer parte de sua cultura e, ao mesmo tempo, estar fora dela. Ao mesmo tempo em que participa de um grupo, o sujeito consegue analisar e fazer suas críticas e julgar o que realmente considera importante e correto para tal situação e o que não pode ser considerado válido para a mesma situação.

Segundo Damásio e Peduzzi (2015a), quando falamos em aprendizagem significativa crítica precisamos compreender que não se trata de uma proposta didática, mas da sugestão de uma série de princípios facilitadores para se construir este tipo de aprendizagem.

Para desenvolvermos uma aprendizagem significativa crítica temos que compreender que precisamos de três eixos básicos: o teórico educacional, o epistemológico e o metodológico (MOREIRA, 2005).

Segundo Moreira (2005), a aprendizagem significativa é duradoura exatamente porque o aluno se apropria, dá significado ao que está aprendendo. Mas para que a aprendizagem seja significativa crítica, o aluno tem que ser capaz de questionar sobre o que está aprendendo, duvidar, opinar. O sujeito é capaz de fazer parte de uma cultura e, ao mesmo tempo, estar fora dela.

De acordo com Damásio e Peduzzi (2015a), devemos ensinar o aluno a fazer perguntas e não a dar respostas, porque se ele aprender a aprender nada o impedirá de aprender o que quiser.

Moreira (2005) propõem alguns princípios, estratégias facilitadoras, para aprendizagem significativa crítica: princípio do conhecimento prévio; princípio da interação social e do questionamento; princípio da não centralidade do livro de texto; princípio do aprendiz como preceptor/representador; princípio do conhecimento como

linguagem; princípio da consciência semântica; princípio da aprendizagem pelo erro; princípio da desaprendizagem; princípio da incerteza do conhecimento; princípio da não utilização do quadro-de-giz; e princípio do abandono da narrativa.

Moreira (2005) explica que o conhecimento prévio se trata de um conhecimento coerente para qualquer teoria construtivista de aprendizagem tendo em vista que se refere ao sentido de compreender e absorver significados socialmente construídos e aceitos de maneira crítica, e que para aprendê-lo significativamente é importante considerar o conhecimento prévio do sujeito.

Quando se refere ao princípio da interação social e do questionamento, Moreira (2006) defende uma educação baseada na troca de conhecimento por meio da socialização dos conceitos entre professor e aluno, para que a aprendizagem tenha significado. É preciso uma aprendizagem voltada para perguntas e não para as respostas, pois, segundo o autor, o conhecimento se desenvolve por meio de perguntas para as quais se buscam as respostas. Ele ressalta ainda que quando um aluno aprende a aprender, ninguém mais limitará sua aprendizagem, e ele estará livre para aprender o que quiser.

O princípio da não centralidade do livro de texto defende a ideia de que tanto professores como alunos têm que trabalhar com outras fontes de conhecimento, pois ao trabalhar apenas com uma fonte, no caso o livro, transmite-se a ideia equivocada de que tudo que está ali escrito é a única verdade sobre tal assunto (MOREIRA, 2017).

Moreira (2005) esclarece que no princípio do aprendiz como preceptor/representador o aluno aprende segundo sua percepção prévia dos conceitos. Sendo assim, ensinar respostas, certezas, é algo que se torna inútil. Se o aluno aprende a partir de sua percepção, teremos em uma mesma turma várias percepções diferentes, e considerando que o professor também ensina segundo as suas percepções, surge a necessidade de uma aproximação das percepções do professor e dos alunos. Dessa maneira, a aprendizagem acontece da interação entre o conhecimento prévio e o novo.

O princípio do conhecimento como linguagem implica que tudo que percebemos esteja relacionado com a linguagem que a representa, logo, quanto mais vasto o conhecimento de linguagens diferentes, maior será o campo de aprendizagem. No conhecimento de ciências, por exemplo, para aprendê-lo é necessário conhecer a linguagem que o representa (MOREIRA, 2003).

Segundo Moreira (2005), o princípio da consciência semântica elucidada que, para que haja uma aprendizagem significativa crítica, são necessárias várias conscientizações. Primeiramente, o significado está nas pessoas e não nas palavras em si mesmas, ou seja,



a pessoa dá significado às palavras segundo a sua experiência, seu conhecimento prévio. Também é preciso compreender que a palavra representa as coisas, ela não é a coisa em si; além de ser necessário compreender que o mundo está em constante mudança, logo, o significado atribuído às palavras também pode sofrer mudanças ao longo dos anos. É preciso também compreender que o princípio da aprendizagem pelo erro não significa a valorização do erro, mas esclarecer que o erro faz parte da evolução humana, e que ao longo da história a evolução da ciência, por exemplo, aconteceu corrigindo os erros. Outro ponto importante é compreender que, ao longo da história, as mudanças ocorreram em busca do acerto e que o que hoje consideramos certo no futuro pode-se descobrir que na verdade estava errado ou incompleto (MOREIRA, 2011).

Moreira (2005) explica que o princípio da desaprendizagem reporta-se ao conhecimento prévio e sua relação com o novo conhecimento. A aprendizagem ocorre na interação do conhecimento prévio com o novo e com a acomodação do novo conhecimento, porém, se o conhecimento prévio intervir na aprendizagem do novo, é necessário que o aluno desaprenda para poder aprender o novo. Isso refere-se ainda ao fato de vivermos em uma sociedade com mudanças rápidas, onde temos que saber selecionar quais conhecimentos serão úteis para futuras demandas e quais não serão.

O princípio da incerteza do conhecimento é um resumo dos anteriores, principalmente em relação à linguagem, pois o conhecimento é uma construção humana. O conhecimento se desenvolveu respondendo perguntas, construindo definições e com as metáforas que utilizamos, mas não esquecendo que as verdades não são absolutas, que o que consideramos certo hoje, amanhã pode não ser, entretanto, não significa dizer que qualquer conhecimento é válido, o que se deve buscar é apenas demonstrar que o conhecimento muda com o tempo (MOREIRA, 2011).

De acordo com Moreira (2006), o princípio da não utilização do quadro de giz elucida a referência a utilizar novas metodologias, em vez de utilizar sempre aulas expositivas. Deixar de utilizar o quadro de giz não significa o substituir por outras tecnologias e continuar com uma aula em que o aluno seja apenas um espectador, significa apresentar aulas para que o aluno participe ativamente.

Moreira (2005) esclarece que o princípio do abandono da narrativa complementa os princípios do abandono do livro didático e do abandono do quadro de giz, ou seja, a aula centrada no aluno e o professor como mediador. Em vez de o professor falar a aula toda e o aluno ficar somente ouvindo, é preciso que sejam aulas em que o aluno é estimulado a expressar sua opinião.

Após compreender a importância dessa aprendizagem significativa crítica que foi descrita, faz-se necessário entender como a epistemologia de Feyerabend contribuiu para essa educação. Nesse sentido, concorda-se com Damasio e Peduzzi (2017), que afirmam que a escola deveria servir como o principal meio para os jovens desenvolverem um senso crítico, social, político e cultural. Teríamos, assim, um instrumento subversivo que permitiria a uma pessoa fazer parte de uma cultura e estar fora dela ao mesmo tempo.

Segundo Damasio e Peduzzi (2015b), a epistemologia de Feyerabend sugere uma educação para uma sociedade livre, onde os estudantes discutem e analisam de várias perspectivas e a opção por um padrão é uma escolha consciente e não uma imposição de um único método verdadeiro. É preciso um estudo relativo, onde o indivíduo faz a melhor escolha para o seu futuro, em vez de uma educação tradicional onde se decide sobre as soluções de problemas que não conhecemos e de vidas que não compartilhamos.

Paul Feyerabend entende que a ciência é anárquica, no sentido de que não há uma só regra, embora coerente e bem fundada na epistemologia, que deixe de ser violada em algum momento. Para o progresso, essas violações são necessárias. Na história da física os grandes saltos que se pôde verificar somente aconteceram porque alguém decidiu transgredir regras metodológicas (MOREIRA; MASSONI, 2015).

Definindo-se como um anarquista epistemológico, Paul Feyerabend, em vez de renunciar a toda e qualquer forma de procedimento metodológico, aceita uma iniciativa contra as diferentes tentativas de se começar um conjunto de normas que se pretenda universalmente válido e cujo efeito imediato seja a distinção entre aquilo que se define como “ciência”, “científico”, e aquilo que é “não-ciência”, “não científico”. Com isso, o epistemólogo se coloca contra a instituição de um procedimento metodológico fixo, único e restrito, com regras que se pretendam utilizáveis em toda e qualquer situação, capaz de validar incondicionalmente o fazer científico, colocando-o como horizonte final para qualquer campo em que se pretenda gerar conhecimento (SIQUEIRA-BATISTA, 2005).

Segundo Damasio e Peduzzi (2015b), para justificar o anarquismo epistemológico, Feyerabend alega que a ideia de um método com princípios fixos, imutáveis e obrigatórios não é coincidente com os resultados de uma pesquisa histórica. Observando a história, constata-se que não há uma única regra, mesmo que fortemente fundamentada na epistemologia, que não seja desrespeitada. E ainda, tais desrespeitos são necessários aos avanços da ciência.

Damasio e Peduzzi (2015b) relatam que Feyerabend utiliza a história da ciência como um forte ponto de ataque para o racionalismo e Postman sugere que todas as

disciplinas sejam ensinadas com sua história, para que um ensino seja subversivo. Por consequência, formam-se indivíduos que compreendem que o conhecimento é um estágio de desenvolvimento humano, com passado, presente e futuro. Considerando ainda as dificuldades da proposta, a falta de materiais instrucionais e a formação adequada de professores.

Segundo o relativismo de Feyerabend, não há um padrão de racionalidade único, universal e não-histórico com o qual se possa avaliar que uma teoria seja melhor do que outra. Em relação a teorias científicas, a classificação entre melhor ou pior dependerá de cada indivíduo, de cada comunidade. Logo, o progresso científico e os critérios de julgamento de uma teoria dependerão dos indivíduos e/ou grupos que aderem a eles (DAMASIO; PEDUZZI, 2015b).

Segundo Moreira e Massoni (2015), contrarregra é o processo que leva o indivíduo a introduzir hipóteses incompatíveis com as teorias bem-aceitas e critica o que ele denomina de “condição de coerência”, que exige que hipóteses novas se ajustem às teorias já assentadas, não porque as antigas sejam melhor fundamentadas na observação ou porque sejam mais elegantes, mas apenas por serem mais antigas e familiares.

Percebe-se porque para Feyerabend as teorias modernas bem estruturadas matematicamente e com êxito são consideradas um verdadeiro milagre. Elas foram desenvolvidas ocultando as suas dificuldades por meio de hipóteses. Na história da ciência, nenhuma teoria passa pelo teste, pois a exigência metodológica é de que uma teoria deva ser coerente com a experiência, caso contrário, ela é rejeitada. Assim sendo, a ciência que se conhece hoje, somente pode ser compreendida aceitando-se as contrarregras (DAMÁSIO; PEDUZZI, 2015b). Mas por que as Unidades de Ensino Potencialmente Significativas são complementares com os marcos educacional e epistemológico?

As Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) são sequências de ensino fundamentadas teoricamente, não mecânicas, voltadas para uma aprendizagem significativa. As UEPS seguem os seguintes aspectos sequenciais: definir o tópico, criar situações, propor situações-problema, apresentar o conhecimento a ser ensinado/aprendido, retomar os aspectos mais gerais e a realizar avaliações ao longo do processo (MOREIRA, 2006).

Os marcos teórico, epistemológico e metodológico se mostram complementares, conforme Damasio e Peduzzi (2015a), pois eles propõem formar cidadãos que

compreendam que os diferentes pontos de vista são igualmente proveitosos, e é importante que se saiba fazer parte de um grupo sem se subjugar.

Por pretendermos apresentar nesta pesquisa uma abordagem de ciência como uma construção histórica, plural, complexa, provisória, feita por sujeitos das mais diversas origens étnicas e sociais, a abordagem escolhida se justificou.

### 3.2 CÉSAR LATTES: O FÍSICO BRASILEIRO

Nascido em 11 de julho de 1924, em Curitiba, Paraná. Filho de Carolina e Giuseppe, ambos imigrantes italianos, Césare Mansueto Giulio Lattes iniciou seus estudos, o então Curso Primário, no Instituto Menegati, na cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, no ano de 1929. Em 1930 estudou em uma Escola Pública de Torino, na Itália. Contudo, concluiu esse Curso na Escola Americana, em Curitiba, em 1933. Já o Ginásio ele cursou no Instituto Médio Dante Alighieri, em São Paulo, de 1934 a 1938. Foi graduado Bacharel em Física pela Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo (USP), no ano de 1943 (BASSALO, 1990).

Conhecido mundialmente apenas como César Lattes, a ironia era uma característica da sua personalidade, fato que ajuda a compreender os motivos que o levaram à escolha da profissão. Além de escolha em ser professor pois teria três meses de férias. A opção pela disciplina de Física explica-se pelo fato de Lattes ter facilidade com ela e não precisar estudar muito (CARUSO, 2015).

Outros fatores também contribuíram para sua opção pela disciplina de Física, entre eles está a influência de seu professor, Luís Borello, que lecionava a disciplina de Ciências Físicas e Matemática no Instituto Dante Alighieri. Por ironia do destino, seu pai conheceu Gleb Vassielievich Wataghin e falou sobre seu filho. Lattes, ao conversar com o físico ucraniano, ficou sabendo que era possível não fazer o pré-vestibular, e cursando um ano a menos do Ensino Médio, ele concluiu a faculdade de física aos 19 anos (CARUSO, 2015).

Na sua graduação na FFCL, ele foi aluno de Marcelo Damy de Souza Santos, em Física Geral e Experimental; de Abraão de Moraes, em Física-Matemática; de Giacomino Albanese, em Geometria Projetiva; e de Wataghin e Giuseppe P.S. Occhialini, em disciplinas profissionais do Curso de Física. As aulas de Wataghin e Occhialini eram baseadas em seminários sobre temas publicados em revistas especializadas em física, fato que foi possível graças à excelente biblioteca que Wataghin organizou e manteve sempre

atualizada, na FFCL. Enquanto as aulas dos outros três professores eram mais tradicionais, isto é, no sentido de serem nelas estudados assuntos de Física já consagrados nos livros textos (BASSALO, 1990).

Lattes aprendeu bastante sobre a leitura de filmes de raios-X nas aulas ministradas por Occhialini, no seu terceiro ano de curso, fato que se explica pela maneira curiosa que as aulas eram ministradas. Tendo Lattes como seu único aluno, as aulas consistiam em fazer seu aluno destrinchar os filmes de raios-X que revelava (BASSALO, 1990).

Occhialini, quando parte do Brasil, ainda deixa mais um legado para Lattes, que contribui para suas escolhas futuras, uma câmera de Wilson quebrada. Câmera essa que Lattes, em conjunto com seus colegas, conseguiu consertar (CARUSO, 2015).

Junto com Andrea Wataghin (1926-1984) e Ugo Camerini (1925-2014), jovens físicos, Lattes passou a estudar os chamados raios cósmicos (a radiação vinda do espaço), com o auxílio de uma câmera de Wilson, também conhecida como câmera de nuvens, detector no qual a trajetória de partículas subatômicas com cargas elétricas é vista na forma de diminutas bolhas de um líquido (VIDEIRA; VIEIRA, 2016).

Por volta de 1945 Lattes recebeu de Occhialini um novo tipo de detector: as emulsões nucleares, assim denominadas as chapas fotográficas especiais que registravam a trajetória das partículas como uma fileira de pequenos grãos de prata metálica que se podia observar com a ajuda de um microscópio. A precisão e nitidez dessas trajetórias o deixaram bastante impressionado (VIDEIRA; VIEIRA, 2016).

Então Lattes solicitou para Occhialini que o leve para trabalhar em Bristol, para onde vai no começo de 1946. Inicia-se então sua incorporação ao grupo de pesquisas do físico britânico Cecil Powell (1903-1969), que se tornaria famoso pela descoberta dos píons (BASSALO, 1990).

Quando chega à Inglaterra, Lattes começa a trabalhar em seu projeto pessoal, empregar as emulsões nucleares para o estudo da radiação cósmica. Aos poucos, junto ao seu jovem colega do laboratório, H. H. Wills, por meio de experimentos, tenta compreender as propriedades do novo detector. Lattes, que já tinha em mente o estudo da radiação cósmica, solicita ao fabricante das emulsões nucleares que adicione a alguns lotes das chapas o elemento químico boro, pois suspeitava que esse incremento possibilitaria a observação indireta de nêutrons criados pelo choque da radiação cósmica contra núcleos atômicos da atmosfera terrestre (VIDEIRA; VIEIRA, 2016).

Occhialini entrou de férias, no outono de 1946, e foi passear nos Pirineus. Por solicitação de Lattes, levou consigo chapas, com e sem boro, que ficaram expostas aos raios cósmicos no observatório francês localizado no Pic du Midi, de Bigorre, nos Pirineus, durante seu período de lazer. Assim que regressa a Bristol, ele e Lattes revelam as chapas e, junto a Powell, eles começam a analisá-las. Logo perceberam que as placas de boro apresentavam mais eventos do que aquelas sem boro, pois elas tinham o PH certo para manter a imagem evidente por mais tempo. Inicia-se então o trabalho de estudos desses eventos. Após alguns dias de análise ao microscópio, Marietta Kurz, encontrou um raro evento interpretado pelo grupo como um duplo-méson, isto é, um traço grosso, e no seu fim emergia um segundo méson com cerca de 600 microns de alcance, todo contido na emulsão. Alguns dias depois, outro méson-duplo foi encontrado, mas dessa vez o segundo méson da dupla não parou na emulsão. Então, ao estudarem a ionização que o provocou, isso possibilitou estimar um alcance também de aproximadamente 600 microns. Esses primeiros resultados foram publicados na Nature (volume 159, número 694, em 1947), num artigo assinado por Lattes, Muirhead, Occhialini e Powell. Também no volume 159 dessa mesma Revista (na página 331), há outro trabalho assinado apenas por Lattes e Occhialini, no qual apresentam o cálculo da direção e energia dos nêutrons oriundos dos raios cósmicos. É importante destacar que para o grupo foi fácil identificar as partículas observadas como mésons e não como prótons, pois o espalhamento era muito largo, devido à variação de densidade de grãos com o alcance (BASSALO, 1990).

Outros grupos vinham desenvolvendo trabalhos semelhantes e, em busca de novos resultados, Lattes foi para Bristol e teve a ideia de expor as emulsões fotográficas em um lugar mais alto do que já haviam exposto. O monte Chacaltaya, na Bolívia, a mais de 5.000 metros de altitude, foi o escolhido. Lattes esperava com isso eliminar muitos eventos indesejáveis, pois a essa altitude a pressão já é igual a 0,5 atmosfera (CARUSO, 2015).

Lattes deixou Londres em um avião brasileiro rumo à América do Sul, trazendo consigo várias chapas de emulsão carregadas de boro. Passou um mês na Bolívia expondo essas placas e, em seguida, retorna à Londres, fazendo antes uma breve escala no Rio de Janeiro. Ainda na Bolívia e no Rio de Janeiro, em uma análise rápida, ele observa a ocorrência de um terceiro méson-duplo, que apresentava o mesmo alcance que o primeiro. Em Bristol, ao mostrar esse terceiro evento, o grupo começa a procurar de imediato novos eventos e acaba por encontrar mais de 30 (BASSALO, 1990).

O grupo de Bristol conseguiu provar a existência de dois mésons: o méson pi, méson, previsto teoricamente por Hideki Yukawa em 1935, responsável pela força forte nuclear; e o méson mi, que na verdade seria um elétron pesado. Os resultados da pesquisa foram publicados na prestigiosa revista inglesa *Nature*, em 1947 e 1948 (VIDEIRA; VIEIRA, 2016).

Em 1948, César Lattes vai para Berkeley, Califórnia, junto com Eugene Gardner (1901-1960), e, utilizando um acelerador de partículas capaz de produzir píons, por meio da técnica de emulsão nuclear, ele conseguiu detectar os primeiros píons em laboratório. Os píons de Berkeley eram produzidos em colisões próton-nêutron e próton-próton. A descoberta teve grande repercussão nos Estados Unidos e no Brasil e deu início a uma nova fase da física de partículas. Os grandes aceleradores de partículas passam a ser considerados importantíssimos para a compreensão das partículas elementares (CARUSO, 2015).

De acordo com Bassalo (1990), apesar do reconhecimento da importância do feito histórico da observação do méson pi nem Lattes, nem seus colegas, Sakata e Occhialini, receberam o Nobel, fazendo parte então dos Nobéis Injustiçados, junto a nomes famosos, como Boltzmann, Kelvin e muitos outros. Ressalta-se que receberam o prêmio, Yukawa, em 1949, por presumir sua existência, e Powell, em 1950, pela comprovação.

Marasciulo (2020) menciona que Lattes não foi honrado com o Nobel devido à política interna do prêmio, que até o ano de 1960 premiava apenas o chefe da equipe que liderava uma descoberta.

De acordo com Vieira e Videira (2016), Lattes foi o físico brasileiro com maior número de indicações a um Nobel: sete vezes. Os autores esclarecem ainda que o físico desconversava quando falavam sobre o assunto, dizendo que o mais importante era a ciência.

Rezende *et al.* (2019) relatam que existe a hipótese de Lattes não ter sido vencedor de um Nobel pelo simples fato de ser brasileiro. Eles comentam ainda que as próprias falas de Lattes em alguns momentos da história levam a essa hipótese.

Lattes recebeu várias propostas para permanecer trabalhando no exterior, mas resolveu retornar e trabalhar no Brasil. Em 1949 fundou o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, com apoio de outros brasileiros dedicados à ciência e a alguns políticos (MARQUES, 2005).

Lattes colaborou com a criação de grupos de pesquisa em Física, foi diretor científico do CBPF, trabalhou na elaboração da criação do Conselho Nacional de Pesquisas, foi membro de seu conselho deliberativo e implantou, em conjunto com o professor Ismael Escobar, o Laboratório de Física Cósmica da Universidade Mayor de San Andrés, na Bolívia (BASSALO, 1990).

Dentre as muitas homenagens que Lattes recebeu, podemos destacar ter dado nome à Plataforma Lattes, em 1999, por meio da CNPq. A plataforma consiste em um sistema de cadastro de pesquisadores e estudantes que contém o currículo e dados de instituições de todo Brasil (REZENDE *et al.*, 2019).

No período que retornou ao Brasil, Lattes foi enaltecido como herói nacional na área da ciência e até hoje é tido como o maior físico que já existiu no país. As pesquisas na área da física nuclear na época eram de interesse não somente de cientistas, mas também da indústria e dos militares nacionalistas, que tinham interesse em explorar a energia nuclear (VIDEIRA; VIEIRA, 2016).

No Brasil, Lattes também encontrou momentos difíceis, como o escândalo do desvio de verbas do projeto do acelerador de partículas em 1954, obra que nunca aconteceu. Projeto que ele era contrário, pois alegava que o país não tinha nem mão de obra qualificada para executar. Quando soube que o tesoureiro desviou a verba, Lattes procurou a imprensa e denunciou, fato que levou a várias críticas até mesmo de amigos. Tal episódio colaborou para o agravamento de seu estado de saúde, uma variação de humor que o acompanhou por toda sua vida desde a infância, naquele momento elevada a uma depressão profunda, tendo decidido sair do país. Lattes regressou ao Brasil em 1957 e continuou seus projetos para fortalecer a educação científica no país (VIDEIRA; VIEIRA, 2017).

Dessa forma, a narrativa que se pretende construir neste trabalho busca mostrar que os cientistas são pessoas comuns, que passam por dificuldades enormes, como todas as demais pessoas. Não são especialmente iluminados e seu reconhecimento não passa somente pelo método acadêmico, pois há muitos jogos de poder dentro da ciência, conforme Feyerabend aponta. E esta narrativa relativista possibilita construir uma abordagem orientada pelos princípios da Aprendizagem Significativa Crítica.



## Capítulo 4

### 4 FÍSICA DE PARTÍCULAS

Neste capítulo trataremos da física de partículas.

#### 4.1 A ABORDAGEM HISTÓRIA DA FÍSICA DE PARTÍCULAS

Segundo Damásio e Peduzzi (2015a), Postman propõe que cada matéria seja ensinada segundo seu desenvolvimento histórico e que cada professor seja também um professor de história. Os autores ressaltam ainda que esta abordagem favorece a observação da ciência como relativista, cheia de percalços. Colaborando, desse modo, com abordagem desta pesquisa.

A ideia de átomo teria sua origem com os gregos Leucipo e Demócrito, na busca da explicação pela constituição da matéria conhecida no universo (CARUSO; OGURI, 1997). Anjos e Natale (2005) explicam que a ideia da matéria formada por corpúsculos foi retomada no século XVII pelo físico e matemático inglês Isaac Newton, ideia que se tornou popular a partir de 1802, quando John Dalton, químico e conterrâneo de Newton, formulou que tudo era feito de átomos. A existência dos átomos se tornou um importante tema de debate na Inglaterra no final do século XIX, por influência desses dois cientistas.

O grande interesse nas pesquisas sobre eletricidade daquela época levou o físico inglês Joseph Thomson concluir, por meio da observação experimental, que os raios catódicos eram partículas subatômicas de carga negativa, os elétrons. Essa fragmentação do átomo levou Thomson a um modelo atômico que ele descreveu como um pudim, cuja massa por ele considerada positiva estava recheada de ameixas, os elétrons. Ernest Rutherford, físico neozelandês, observou, por meio de um experimento em que ele bombardeava folhas de ouro extremamente finas com partículas de carga positivas emitidas por uma fonte radioativa, que algumas partículas não seguiam o resultado esperado. Em vez de seguir seu curso normal, as partículas batiam na chapa e voltavam, o que o levou à conclusão de que o átomo tinha uma massa maior que a dos elétrons espalhados. Os desvios observados só poderiam ser explicados por uma massa concentrada, logo, ele deduziu que existiria um núcleo bem massivo, se comparado com a massa do elétron, e com carga nuclear positiva, ou seja, uma nova partícula, o próton. (ANJOS; NATALE, 2005).

O experimento que levou Rutherford a contrapor-se ao modelo de Thomson foi realizado em 1911, por Ernest Marsden e Hans Geiger (PEDUZZI, 2008).

Muitos foram os modelos atômicos ao longo da história, desde os gregos até o modelo proposto por Rutherford, um dos primeiros da física moderna. Seu famoso experimento levou à dedução do átomo formado por prótons e elétrons (VIDEIRA; FRANCISQUINI, 2018).

Dois modelos atômicos dividiam a atenção dos cientistas no início do século XX. O modelo de Joseph John Thomson, conhecido como J. J. Thomson, que apresenta o átomo como uma esfera sólida de carga positiva igualmente distribuída, cravado de elétrons que pulsavam em seu interior. Em contrapartida, estava o modelo de Hantaro Nagaoka, que descrevia o átomo como um caroço no centro de carga positiva contornado de anéis de elétrons girando com a mesma velocidade angular, próximo à imagem do planeta Saturno (PIETROCOLA; SIQUEIRA, 2010).

Ernest Rutherford, discípulo de Thomson, na busca por resolver os problemas com os modelos atômicos apresentados, iniciou seus experimentos para análise (PIETROCOLA; SIQUEIRA, 2010).

No início do século XX o questionamento sobre a estabilidade do átomo não conseguia ser explicado pela física clássica. Na busca para resolver essa questão, surge a Mecânica Quântica e a ideia de interação forte (OSTERMANN, 1999).

Até então, eram conhecidas as forças eletromagnética e a gravitacional, o que não permitia explicar porque o átomo se mantinha estável. Surgiu então a explicação da existência de outra força da natureza que agiria em nível átomo, a força forte (CARUSO; OGURI, 1997).

Para explicar a estabilidade nuclear, o físico japonês Hideki Yukawa, em 1935, teorizou que deveria acontecer uma interação semelhante à interação eletromagnética, que é medida pela troca de fótons. Em sua teoria, a interação hadrônica ocorre por meio da troca de uma nova partícula, que ele chamou de méson, palavra de origem grega que convenientemente significa “médio”. Ele ainda supôs que os mésons tinham carga ou poderiam ser neutros ( $\pi^-$ ,  $\pi^+$ ,  $\pi^0$ ), o que possibilitaria a troca necessária entre as partículas nucleares (SOUZA *et al.*, 2019).

A partir de 1930, com a detecção de partículas baseada no processo de emulsões fotográficas, tem início uma nova fase, em que várias partículas elementares foram observadas (VIEIRA; VIDEIRA, 2011).

Videira e Francisquini (2018) atribuem a criação da disciplina de física de partículas elementares na comprovação do pión de duas maneiras diferentes, pela natureza, por meio das emulsões nucleares, e artificialmente, no acelerador de partículas. Os autores explicam ainda que o pósitron não conseguiu esse feito por ter sido comprovado apenas para natureza, e ainda questiona o fato de essa comprovação não ser o suficiente para tal. Eles destacam ainda a participação do brasileiro César Lattes nos dois momentos. Logo discutiremos a história e contribuições de César Lattes para a Física, em especial a física brasileira e as dificuldades enfrentadas por ele, pois se pretende narrar na UEPS a história da ciência como Feyerabend sugere, o que possibilita um ambiente em que possa ser construída uma aprendizagem significativa crítica. O que justifica e fortalece a escolha dos referenciais adotados neste trabalho.

## 4.2 A FÍSICA DE PARTÍCULAS

A ideia de átomo teria sua origem com os gregos Leucipo e Demócrito, por volta de 450 a.C. Na busca pela explicação da constituição da matéria conhecida no universo, eles teorizaram que ela seria formada por pequenas partículas que não poderiam ser destruídas. Vem dessa mesma ideia a origem do nome átomo, que em grego significa “indivisível” (CARUSO; OGURI, 1997).

Anjos e Natale (2005) explicam que a ideia da matéria formada por corpúsculos foi retomada quando John Dalton formulou que tudo era feito de átomos.

O físico inglês Joseph Thomson concluiu, por meio da observação experimental, que os raios catódicos eram partículas subatômicas de carga negativa, os elétrons. Essa fragmentação do átomo levou Thomson a um modelo atômico que ele descreveu como um pudim, cuja massa, por ele considerada positiva, estava recheada de ameixas, os elétrons (ANJOS; NATALE, 2005).

O experimento que levou Rutherford a contrapor-se ao modelo de Thomson foi realizado em 1911, por Ernest Marsden e Hans Geiger (PEDUZZI, 2008). Seu famoso experimento levou à dedução do átomo formado por prótons e elétrons (VIDEIRA; FRANCISQUINI, 2018).

Dois modelos atômicos dividiam a atenção dos cientistas no início do século XX. O modelo de Joseph John Thomson, conhecido como J. J. Thomson, que apresenta o átomo como uma esfera sólida de carga positiva igualmente distribuída, cravado de elétrons que pulsavam em seu interior. Em contrapartida, estava o modelo de Hantaro

Nagaoka, que descrevia o átomo como um caroço no centro, de carga positiva, contornado de anéis de elétrons girando com a mesma velocidade angular, próximo à imagem do planeta Saturno (PIETROCOLA; SIQUEIRA, 2010).

Ernest Rutherford, na busca de resolver os problemas com os modelos atômicos apresentados, iniciou seus experimentos para análise. O experimento analisava o espalhamento de partícula  $\alpha$  (alfa) por átomos. Como resultado da observação, ele concluiu que a carga positiva estava concentrada em uma área muito pequena, no núcleo (EISBERD; RESNICK, 1978). Silva *et al.* (1997) explicam que para realizar o experimento ele utilizou um feixe de partículas alfa. Essa partícula, obtida pelo decaimento do Rádio, era equivalente ao núcleo do átomo de Hélio. Para isso, Rutherford supôs que suas dimensões eram extremamente pequenas em relação ao tamanho do átomo. O experimento consistia em bombardear uma lâmina fina de ouro com um feixe de partículas e medir o ângulo. A medida angular do espalhamento dessas partículas apresentava informações importantes sobre o modelo atômico. Ressalta-se que, na época do experimento já era conhecida a existência dos elétrons e o fato de que o átomo era neutro.

De acordo com Eisberd e Resnick (1978), para explicar matematicamente o experimento, Rutherford utiliza uma partícula de carga positiva e submete-a ao potencial de Coulomb criado pelo núcleo. Ele considera que o núcleo é positivo e fixo no centro do átomo, e estabelece ainda que o momento angular é uma constante de movimento. Desse modo, aplicando a formulação Lagrangeana, chega-se à seguinte equação:

$$\frac{d^2u(\theta)}{d\theta^2} + u(\theta) = -\frac{D}{2b^2} \quad (1)$$

Onde:

b = parâmetro de impacto

D = distância de mínima aproximação ao núcleo

$$u(\theta) = \frac{1}{r(\theta)} \quad (2)$$

Resolvendo a equação, temos:

$$\frac{1}{r(\theta)} = A\cos(\theta) + B\sin(\theta) - \frac{D}{2b^2} \quad (3)$$

Onde A e B são constantes a serem definidas pelas situações de contorno. Considerando o ângulo de espalhamento  $\psi + \theta = \pi$ . Logo:

$$\tan\left(\frac{\psi}{2}\right) = \frac{D}{2b} \quad (4)$$

Até então eram conhecidas as forças eletromagnética e a gravitacional, que não conseguiam explicar porque o átomo se mantinha estável. Surge então a explicação da existência de outra força da natureza que agiria em nível átomo, a força forte. Atualmente, já se sabe que ela realmente existe e que sua intensidade é realmente muito forte, cerca de 2000 vezes maior do que a força eletromagnética (CARUSO; OGURI, 1997).

De acordo com Brockington *et al.* (2004), a força forte tem como principal característica seu curto alcance. Ela é muito forte para núcleos, porém isso ocorre em um raio de cerca de  $10^{-15}$  m, para distâncias maiores ela praticamente desaparece. Essa interação diminui bem mais rápido do que a força eletromagnética, que é de  $\frac{1}{r^2}$ , conseqüentemente, se um núcleo for grande, ou seja, com muitos prótons, ele se torna instável.

Para explicar a estabilidade nuclear, o físico japonês Hideki Yukawa teoriza que deveria acontecer uma interação semelhante com a interação eletromagnética, que é medida pela troca de fótons. Em sua teoria, a interação hadrônica ocorre através da troca de uma nova partícula, que ele chamou de “méson”, palavra de origem grega, que convenientemente significa “médio”, e ainda supôs que os mésons têm carga ou podem ser neutros ( $\pi^-, \pi^+, \pi^0$ ), o que possibilitaria a troca necessária entre as partículas nucleares (SOUZA *et al.*, 2019).

Caruso e Oguri (1997) explicam que Yukawa justificou matematicamente o méson por meio da relação de Einstein entre massa (m), energia (E) e momentum (p) de uma partícula livre:

$$E^2 = p^2c^2 + m^2c^4 \quad (5)$$

Sendo  $c$  a velocidade da luz no vácuo e substituindo  $E$  e  $p$  pelos seus operadores, temos:  $E \rightarrow i\hbar$  e  $\vec{p} = i\hbar\vec{\nabla}$

Onde:  $\vec{\nabla} = \frac{\partial}{\partial x}\hat{i} + \frac{\partial}{\partial y}\hat{j} + \frac{\partial}{\partial z}\hat{k}$  e o conjunto vetores unitários é  $\{\hat{i}, \hat{j}, \hat{k}\}$  relacionado aos eixos cartesianos  $x$ ,  $y$  e  $z$ . Logo, a equação de Klein-Gordon é:

$$\left(\vec{\nabla} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2}\right) \psi = \frac{r^2 c^2}{\hbar^2} \psi \quad (6)$$

Se  $m=0$ , a equação se reduz à equação de d'Alembert, que explica a propagação de um fóton sem massa ou de uma onda eletromagnética.

Considerando uma situação de repouso e simetria esférica,  $\psi$  depende exclusivamente da distância ( $r$ ):

$$\nabla^2 \psi(r) = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 \frac{\partial \psi}{\partial r} \right) = \frac{m^2 c^2}{\hbar^2} \psi(r) \quad (7)$$

Levando em conta que a fonte pontual está na origem, onde  $r > 0$ , a resolução é do tipo:

$$\psi(r) = \frac{g}{r} e \left( \frac{-r}{R} \right) \quad (8)$$

Sendo:

$$R = \frac{\hbar}{mc} \quad (9)$$

Representando, desse modo, o alcance da força; e para que seu alcance seja da ordem de  $10^{-3}$  cm, é necessário que o quantum do campo nuclear tenha massa de aproximadamente 140 MeV (CARUSO; OGURI, 1997).

A detecção de partículas, baseada no processo de emulsões fotográficas, dá início uma nova fase, em que várias partículas elementares foram observadas (VIEIRA; VIDEIRA, 2011).

Os chamados raios cósmicos (a radiação vinda do espaço) podem ser estudados com o auxílio de uma câmara de Wilson, também conhecida como “câmara de nuvens”,

um detector no qual a trajetória de partículas subatômicas com cargas elétricas é vista na forma de diminutas bolhas de um líquido (VIDEIRA; VIEIRA, 2016).

A câmara de nuvens era composta por um recipiente fechado onde ar saturado com vapor d'água é resfriado por um sistema de expansão do ar (PINHEIRO, 2015). Na Figura 1 podemos observar uma câmara de Wilson.

Figura 1 - Câmara de Wilson



Fonte: Museu Laboratório Cavendish Cambridge.

Oliveira *et al.* (2014) afirmam que a quantidade de raios cósmicos que penetram os meios interplanetários e interestelares, como nossa heliosfera, é formada por 90% de prótons, 9% de partículas alfa e o restante por núcleos de elementos mais pesados. A dedução da origem dos raios cósmicos é baseada na observação do espectro de energia das partículas. O fluxo diferencial de partículas de raios cósmicos no meio interplanetário é dado por:

$$\frac{dN}{dE} = E^{-\gamma} \quad (10)$$

Onde E representa o espectro energético, N representa o número de partículas e Y representa o índice espectral, que grosseiramente pode ser arredondado para três.

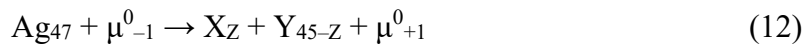
Outro tipo de detector são as emulsões nucleares, assim denominadas as chapas fotográficas especiais que registravam a trajetória das partículas como uma fileira de pequenos grãos de prata metálica que se podia observar com a ajuda de um microscópio. A precisão e nitidez dessas trajetórias impressionam (VIDEIRA; VIEIRA, 2016).

Em 1946 foi encontrado um raro evento interpretado como um duplo-méson, ou seja, um traço grosso e no seu fim emergia um segundo méson, com cerca de 600 microns de alcance, todo contido na emulsão. Alguns dias depois, outro méson-duplo foi encontrado, mas dessa vez o segundo méson da dupla não parou na emulsão. Então, ao estudarem a ionização que o provocou, isso possibilitou estimar um alcance também de aproximadamente 600 microns. É importante destacar que foi fácil identificar as partículas observadas como mésons e não como prótons, pois o espalhamento era muito largo, devido à variação de densidade de grãos com o alcance (BASSALO, 1990).

Lattes *et al.* (1947) representam a interação de um méson primário com um núcleo na emulsão que leva à ejeção de um segundo méson com a mesma massa do primeiro, por meio das equações:

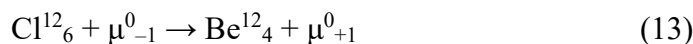


Onde: A representa qualquer núcleo estável presente na emulsão, que envolve uma absorção de energia. Em contrapartida, o méson secundário tem uma energia aproximada de 2 MeV. Um segundo processo é representado pela equação:



Logo X e Y representam 2 núcleos de carga aproximadamente igual.

A equipe representa ainda a interação de um méson primário com um núcleo leve, por meio da seguinte equação:



Onde estimativas da massa do núcleo de berílio levam à conclusão de que a diferença de massa dos dois mésons será da ordem de 60 me.



Silva e Laburú (2019) esclarecem que, desde a observação dos raios cósmicos até os aceleradores de partículas, foi possível observar novas partículas e percebeu-se que os prótons não eram as partículas elementares da matéria. O número de novas partículas observadas aumentava potencialmente.

Moreira (2009) afirma que o modelo padrão classifica como partículas verdadeiramente elementares os léptons e quarks, pois eles não possuem estrutura interna. Logo, o elétron é um exemplo de lépton e prótons e nêutrons são exemplos de hádrons.

Os léptons são partículas sem estruturas internas, logo, são consideradas elementares, também conhecidas como partículas leves. Seu spin é fracionário. Os hádrons são subdivididos em bárions e mésons, e são partículas mais pesadas do que os léptons. Seu spin pode ser fracionário ou inteiro e são formados por partículas ainda menores, chamadas de quarks. Os bósons são partículas mediadoras. Um exemplo de bóson é o glúon, que une os quarks, que por sua vez formam os prótons e os nêutrons no núcleo do átomo (BROCKINGTON *et al.*, 2004).

As partículas foram agrupadas pelas suas características quânticas e de acordo com os quarks que as formavam, assim, Murray Gell-Mann estabeleceu o que chamamos de modelo padrão. Com os quarks surge também um novo tipo de carga, chamada de cor, criada em respeito ao Princípio de Exclusão de Pauli, que seria semelhante às cores vermelho, verde e azul, que associadas dariam neutralidade à matéria. Além da cor, os quarks são divididos em outra propriedade distinta, os sabores. São eles: up (u), charm (c), top (t) que tem carga  $2/3$  e down (d), strange (s) que tem carga  $-1/3$  (SILVA; LABURÚ, 2019).

São seis os léptons: elétron, múon, tau, neutrino do elétron, neutrino do múon e neutrino do tau. Já os quarks, como têm 6 sabores e como cada um pode ter 3 cores, teríamos 18 quarks e 6 léptons, mas como cada partícula tem uma antipartícula, então existem no total 36 quarks e 12 léptons. A antipartícula é caracterizada por ter massa e spin iguais e carga oposta à partícula em discussão (MOREIRA, 2009).

De acordo com Moreira (2007) os hádrons se dividem em bárions e mésons. Os mésons são constituídos por um quark e um antiquark, e os bárions são constituídos por três quarks ou por três antiquarks.

Silva e Laburú (2019) esclarecem que as partículas que possuem números quânticos de spin semi-inteiro e obedecem ao princípio de Pauli são chamadas de

férmions; e de bósons as partículas que não respeitam o princípio de Pauli e têm spins inteiros ou nulos.

De acordo com Moreira (2009), o Modelo Padrão é a melhor teoria para explicar a natureza da matéria até o momento. Porém, é importante ressaltar que não é uma teoria definitiva, como todas as teorias científicas, e com o tempo pode ser modificada, aprimorada, superada. Na Figura 2 podemos observar o modelo padrão.

Figura 2 - Modelo Padrão



Fonte: Cavalcanti e Ostermann (2001).

## Capítulo 5

### 5 METODOLOGIA

A metodologia escolhida, segundo os referenciais adotados, compreendeu as seguintes etapas: a) determinar o tema específico a ser abordado; b) realizar uma revisão bibliográfica para subsidiar a execução do projeto; c) apropriar-se do tema; d) desenvolver o produto educacional, “Implementação da UEPS”, o que resultará na apresentação de uma UEPS; e) aplicar a UEPS em sala de aula; e f) avaliar e refletir sobre o projeto e suas perspectivas futuras. Foram dedicados capítulos desta dissertação para a revisão bibliográfica e avaliação do projeto, ao passo que os demais temas serão abordados nas seções deste capítulo.

#### 5.1 ESCOLHA DO TEMA ESPECÍFICO QUE SERÁ ABORDADO

O primeiro passo é determinar o tema específico que se planeja trabalhar em sala de aula. Assim sendo, optou-se por apresentar a vida e obra de César Lattes, com o objetivo de desenvolver uma proposta didática fundamentada em uma educação sobre e de ciências. Planeja-se questionar os estereótipos que se tem sobre quem constrói as ciências, o cientista, contrapondo essa visão com a apresentação de um cientista brasileiro.

Optou-se ainda por debater o momento histórico em que a física de partículas se desenvolveu, como o contexto sociopolítico influenciou no desenvolvimento da ciência, em especial a ciência desenvolvida no Brasil. Para concluir, pretende-se fazer uma abordagem simultânea de conceitos de física de partículas.

#### 5.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O desenvolvimento desta proposta de ensino se baseou na fundamentação teórica sobre três itens de destaque deste trabalho: i) a primeira refere-se à aprendizagem significativa crítica e elaboração de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas, limitando esse estudo à física; ii) a segunda diz respeito à história da ciência, com enfoque na vida e obra do brasileiro César Lattes e suas contribuições para a física brasileira; e iii) a terceira refere-se ao conhecimento científico da física de partículas. Na primeira etapa,

realizou-se uma pesquisa de revisão bibliográfica nos periódicos de conceitos Qualis/Capes A e B na área do ensino das ciências. Esta pesquisa teve por objetivo fazer um levantamento das dificuldades encontradas no ensino da física referentes à apropriação pelos estudantes dos conceitos relacionados ao estudo da física de partículas. Para isso, foram analisadas questões em aberto nessa área, a fim de elaborar e propor uma nova estratégia metodológica que permita responder à questão central deste trabalho: **como tornar o ensino de física de partículas mais interessante para os alunos do ensino médio e desconstruir o estereótipo que se tem do cientista?**

### 5.3 APROPRIAÇÃO DO TEMA

Para se apropriar do tema, elaborou-se um levantamento teórico, por meio de artigos, dissertações e livros, com o objetivo de dar sustentação a professores que queiram aplicar a proposta deste trabalho em sala de aula. O conteúdo descrito neste trabalho foi dividido em:

#### a) Marcos teórico, epistemológico e metodológico

A proposta metodológica desta dissertação baseia-se na aplicação de uma UEPS de física de partículas, com objetivo de atingir uma aprendizagem significativa crítica. Para tanto, primeiramente foi feito um levantamento sobre os conceitos que descrevem a aprendizagem significativa crítica, pois é importante que o professor tenha clareza que a aprendizagem significativa crítica se mostra mais duradoura, porque o aluno se apropria, dá significado ao que está aprendendo, e a aprendizagem torna-se crítica quando o estudante questiona, duvida, opina sobre o que está aprendendo, de acordo com Moreira (2005). E ainda há a compreensão de que a aprendizagem significativa crítica não se trata de uma proposta didática, mas da sugestão de uma série de princípios facilitadores para se construir esse tipo de aprendizagem (DAMASIO; PEDUZZI, 2015a).

Em seguida, percebendo-se que para tal aprendizagem precisamos de três eixos básicos, a saber, o teórico educacional, o epistemológico e o metodológico, que se completem, foi feito o levantamento sobre os conceitos que explicam a epistemologia de Feyerabend, que segundo Damasio e Peduzzi (2015a), sugere uma educação para uma sociedade livre, onde os estudantes discutem e analisam de várias perspectivas e a opção

por um padrão é uma escolha consciente, e não uma imposição de um único método verdadeiro.

Em um terceiro momento, para compreender porque a UEPS é complementar aos marcos teórico e epistemológicos selecionados, foi feito um levantamento que explica as Unidades de Ensino Potencialmente Significativas que seguem os aspectos sequenciais: definir o tópico; criar situações; propor situações-problema; apresentar o conhecimento a ser ensinado/aprendido; retomar os aspectos mais gerais; avaliar ao longo do processo; e compreender que são sequências de ensino fundamentadas teoricamente, não mecânicas, voltadas para uma aprendizagem significativa, de acordo com Moreira (2006).

### **b) História da física de partículas**

A proposta deste trabalho é utilizar a história da ciência para abordar o estudo da física de partículas. Logo, após concluir o levantamento sobre os marcos teórico, epistemológico e metodológico, o próximo passo foi o levantamento de bibliografias sobre a vida e obra de César Lattes e a história da física de partículas.

A partir do referencial teórico levantado nesta etapa, foi desenvolvida parte da sequência didática proposta no produto educacional deste trabalho: dois textos. O primeiro sobre a vida e obra de César Lattes, destacando suas contribuições para física de partículas, e o segundo sobre a história da física de partículas

### **c) Física de partículas**

Na sequência, foi realizado um estudo da física de partículas, conteúdo que será abordado na UEPS proposta neste trabalho, com ênfase na descoberta do méson pi.

O conteúdo abordado no referencial teórico serviu como base para o desenvolvimento da UEPS e para dar suporte para os professores que queiram aplicar esta proposta em sala de aula.

#### 5.4 DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Durante a etapa da revisão bibliográfica identificamos as necessidades e desafios para trabalhar o tema escolhido, destacando ainda que não encontramos um material pronto que suprisse os objetivos pretendidos pelo projeto, então se optou por elaborar uma proposta de produto educacional, um site que reunisse todo o material desenvolvido durante a pesquisa, a UEPS e todo material necessário para implementar ela, textos, slides, roteiros de experimento, avaliação somativa.

A elaboração da UEPS teve como base a construção histórica do conhecimento científico, conforme a epistemologia de Feyerabend, como uma forma importante de abordagem crítica e contextualizada da física, já apresentada neste trabalho.

A sequência didática teve como base os princípios e aspectos sequenciais da UEPS estabelecidos por Moreira (2011), utilizando textos, slides, filme e experimentos. O primeiro passo para desenvolver a UEPS foi elaborar estratégias que permitiam aos alunos expressarem seus conhecimentos prévios de e sobre a ciência, sem medo. Com esse objetivo, a UEPS (que se encontra no Apêndice A deste trabalho) propõe a exibição do filme *Anjos e demônios*. Em seguida, aconselha-se uma discussão acerca de pontos que o professor julgue que mereçam ser destacados acerca de e sobre ciências. Destaca-se que não se almeja classificar as respostas dos alunos em certo ou errado, deseja-se apenas socialização dos entendimentos que eles têm sobre as questões que serão abordadas na UEPS. A fim de que esse conhecimento prévio oriente a metodologia que será adotada, objetivando ensinar os novos conceitos relacionando-os com o que os alunos já sabem.

Foram elaborados três textos, sendo que o primeiro aborda a vida e obra de César Lattes, o segundo trata da história da física de partículas e o terceiro aborda os conceitos da física de partículas. Elaborou-se um roteiro do experimento - Câmera de Nuvens. Também foram criadas quatro apresentações de slides para os momentos de exposição dialogada do conteúdo, buscando questões abertas que despertassem nos alunos a reflexão. Para finalizar, foi elaborada uma avaliação somativa individual, a fim de compor a avaliação individual de aprendizagem dos alunos. Os materiais desenvolvidos encontram-se disponíveis no site <https://sites.google.com/view/ensino-de-fisica-de-particulas/in%C3%ADcio>. O material desenvolvido pode ser proveitoso para professores que se interessem em aplicar a proposta a seus alunos e para alunos que queiram aprender mais sobre o tema de forma proativa.

## 5.5 IMPLEMENTAÇÃO DA UEPS

A Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) foi aplicada no início do primeiro semestre de 2021, totalizando 16 aulas, onde o público-alvo foi uma turma de terceiro ano do Ensino Médio, frequentada por 15 alunos, da Escola de Educação Básica Antônio Guglielmi Sobrinho, situada no município de Içara (SC), pertencente à rede estadual de educação. O Quadro 1 descreve o cronograma de implementação da UEPS.

Quadro 1 - Cronograma de Implementação da UEPS

| ENCONTRO              | ATIVIDADE DESENVOLVIDA   | NÚMERO DE AULAS |
|-----------------------|--|-----------------|
| 1º                    | Apresentação do filme <i>Anjos e demônios</i>  | 3               |
| 2º                    | Avaliação dos conhecimentos prévios dos alunos   | 2               |
| 3º                    | Abordagem dos conceitos físicos a partir do filme  | 2               |
| 4º                    | Execução do experimento  | 2               |
| 5º                    | Abordagem das questões de e sobre a física de partículas a partir da vida e obra do César Lattes | 2               |
| 6º                    | Abordagem da história da constituição da matéria e dos conceitos físicos.                        | 2               |
| 7º                    | Avaliação somativa individual e mapas conceituais  | 2               |
| 8º                    | Avaliação da UEPS  | 1               |
| <b>Total de aulas</b> |  | <b>16</b>       |

Fonte: elaborado pela autora (2021).

A sequência didática iniciou-se no dia 25/02/2021, com a apresentação do filme *Anjos e demônios*, que levou 3 aulas. Surpreendentemente, nenhum aluno conhecia o filme e todos se mostraram curiosos e empolgados para assistir. Apesar de ser um filme longo, com mais de duas horas de duração, foi impressionante a concentração e o interesse dos alunos no tempo todo da duração do filme, o que demonstrou que foi uma decisão acertada abordar o tema por este caminho. Ressaltamos ainda que assistir ao filme completo no mesmo dia somente foi possível porque os alunos ainda não tinham professor (a) de português, sendo possível utilizar essa aula.

A aula seguinte foi no dia 04/03/2021, duas aulas, período reservado para discutir com os alunos sobre conceitos de e sobre ciências abordados no filme, para esse

momento, preparamos uma apresentação de slides com questões que norteiam a discussão. Essa apresentação, e os demais materiais referenciados no relato da implementação da UEPS, estão disponíveis no site. Para avaliar seus conhecimentos prévios, ao final desse momento foi solicitado que os alunos elaborassem um mapa conceitual sobre os conceitos abordados.

Nesse momento de discussão, percebe-se que os alunos já ouviram falar do assunto, mas não assimilaram o conhecimento. Foi possível perceber e chegar a esta conclusão por meio das respostas dos alunos. Podemos citar as respostas que os alunos deram quando questionados sobre quais os conceitos físicos foram apresentados no filme. As respostas foram do tipo: “o acelerador de partículas acho que é um, mas não tenho certeza, porque não entendi direito para que ele serve”; “a antimatéria pode ser um, se existir de verdade”; “a ideia de partículas, porém não sei se a partícula que eles falaram no filme existe ou é ficção científica... o acelerador de partículas é um negócio que eles usam para acelerar as partículas, mas não sei que tipo de partículas”. Tivemos respostas sobre outros conceitos físicos percebidos pelos alunos no filme, mas que não estão associados com o estudo que se pretende neste trabalho, por isso não foram aqui citados.

A pergunta seguinte tratava sobre a existência da antimatéria e sobre onde ela era produzida no filme. As respostas foram as seguintes: “no filme, foi produzida num acelerador de partículas, mas não sei se existe”; “acho que é ficção e no filme foi produzida em um acelerador de partículas”; “acho que existe, porque já ouvi o nome antimatéria em séries, como Flash, mas não tenho certeza se foi produzida em um acelerador de partículas”.

Quando indagados sobre a constituição da matéria, todos associaram ao átomo, podemos citar aqui algumas respostas: “a matéria é formada por átomos”; “essa é fácil: átomo”; “ah! Isso nós estudamos em química no primeiro ano, átomo”.

Porém, a ideia de átomo que eles têm é de menor parte da matéria, indivisível, o que gera estranheza, pois, reconhecem o modelo atômico formado por um núcleo, onde ficam os prótons e nêutrons, e pela eletrosfera onde se encontram os elétrons. A conclusão que chegamos por meio das respostas que os estudantes deram, quando questionados sobre qual a menor parte da matéria, é que todos responderam que a menor parte da matéria seria o átomo, apesar de que nem todos expressaram certeza ao afirmarem isto, alguns utilizaram o termo “acho” que é o átomo. Buscamos instigá-los sobre essa questão da menor parte da matéria perguntando se o átomo seria mesmo a menor parte da matéria, o que gerou um debate em sala, com respostas do tipo: “claro que é”; “acho que não,

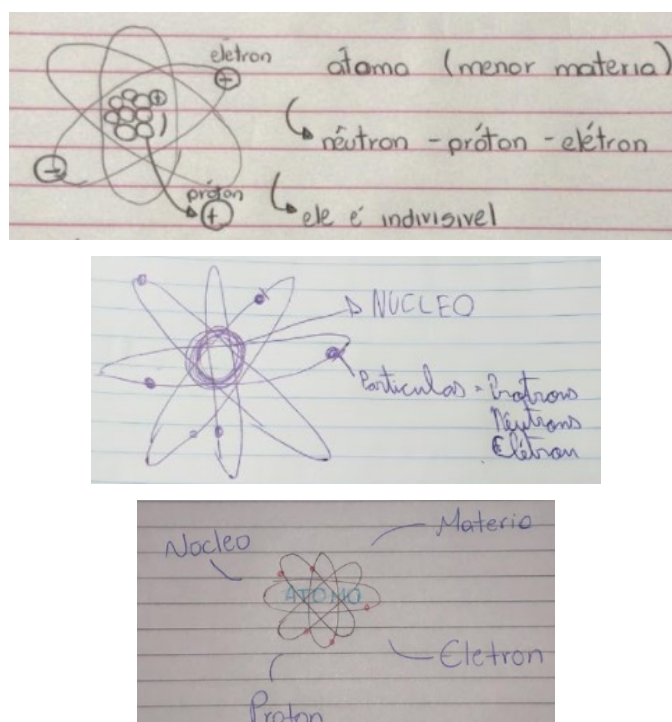


porque a professora está perguntando novamente”; “é sim, pelo menos foi o que eu aprendi”.

A pergunta seguinte gerou ainda mais debate. Questionamos se o átomo é mesmo indivisível, e as respostas foram: “é sim”; “pode não ser, porque tem os prótons, elétrons”; “acho que é, porque os prótons e elétrons ficam dentro do átomo, não quer dizer que o átomo pode ser dividido”; “nós estudamos no primeiro ano que o átomo é a menor parte da matéria, então não dá para dividir”; “acho que dá para dividir sim, porque já ouvi falar em partículas e se fosse o átomo, iam falar átomo e não partícula”.

Na sequência, questionamos como é a estrutura que eles conhecem do átomo e eles buscaram descrever dos seguintes modos: “ele é parecido com o sistema planetário, só que no centro ficam prótons e nêutrons e nos risquinhos em volta ficam os elétrons”; “ele é formado por um núcleo, onde fica a carga positiva, e ao redor há a eletrosfera, que é negativa”; “uma bola no centro cheia de carga positiva e em volta ficam as cargas negativas”. Os alunos resolveram desenhar para mostrar a representação que eles conhecem de átomo, e a Figura 3 apresenta alguns desses desenhos.

Figura 3 - A representação de átomo que os alunos fizeram



Fonte: elaborações dos alunos (2021).

Perguntou-se para os alunos como eles identificariam os prótons, nêutrons e elétrons, se o átomo é a menor parte da matéria, e tivemos respostas do tipo: “são parte

do átomo”; “são partículas, e então o átomo não é a menor parte da matéria, não”; “não sei mais de nada, tudo que achei que sabia a professora está fazendo eu duvidar”; “são partículas... é, são a menor parte da matéria”. Então questionamos se os prótons, nêutrons e elétrons seriam as menores partículas, chamadas de partículas elementares, e tivemos respostas assim: “diante do que conversamos nessa aula e do vimos no filme, acredito que sim”; “eu acho que tem partículas ainda menores, porque no filme fala da antimatéria”; “eu ainda acho que é o átomo e que no filme era tudo ficção”; “eu acredito que são sim as menores, porque nunca ouvimos falar de outras partículas”.

Em seguida, questionamos sobre quem trabalha nessa área onde essas pesquisas acontecem e sobre a participação de brasileiros, e as respostas dos alunos foram semelhantes. Podemos citar algumas aqui: “são cientistas americanos e europeus que provavelmente trabalham em laboratórios equipados com aceleradores de partículas, pelo que vimos no filme, mas acredito que não temos brasileiros que trabalhem com isso, porque é algo bem complicado, e no Brasil nunca ouvi dizer que tem acelerador de partículas”; “acho que esse tipo de pesquisa deve acontecer em lugares como a NASA e talvez algum brasileiro trabalhe com isso, mas como ajudante”; “não faço ideia de como chama a parte da física que estuda essas partículas, mas as pesquisas acontecem, lógico, em aceleradores de partículas, e não deve ter brasileiros trabalhando com isso não, porque parece algo tão sofisticado”.

O estudo da física de partículas é algo novo para eles, como podemos perceber pelas suas falas. As respostas dos alunos e os mapas conceituais por eles elaborados permitiram planejar as discussões das próximas aulas, conforme sugere a Teoria de Aprendizagem Significativa Crítica, privilegiando a abordagem das concepções prévias dos alunos.

O terceiro encontro aconteceu no dia 11/03/2021, em duas aulas, e essa etapa da sequência didática se destinou: à abordagem dos conceitos de partículas, da estrutura atômica; à compreensão de funcionamento e à função de um acelerador de partículas; à existência de outros métodos para observar as partículas, além dos aceleradores; e à principalmente falar sobre quem trabalha nessa pesquisa. As questões foram abordadas a partir de cenas dos filmes. Os alunos demonstraram bastante interesse, perguntaram bastante sobre como o acelerador funcionava, que tipo de pesquisas se fazia nos aceleradores e se essa pesquisa contribui de alguma forma para o nosso cotidiano. Tivemos ainda alunos que comentaram que quando chegaram em casa, após o segundo encontro, foram pesquisar sobre o tema e descobriram, inclusive, que tivemos um

brasileiro que é muito conhecido por ter trabalho com esse tipo de pesquisa, César Lattes. Finalizamos esta aula distribuindo o roteiro do experimento, para que os alunos providenciassem os materiais necessários para o experimento, e formamos os trios que iriam, no próximo encontro, montar e executar o experimento.

O quarto encontro foi no dia 18/03/2021 e em duas aulas trabalhamos a montagem e execução do experimento da câmara de nuvens, para que eles conseguissem observar os rastros das partículas e sentissem como é o trabalho de pesquisa e observação, ou seja, o trabalho de um físico experimental. Para execução do experimento, dividimos a turma em pequenos grupos de três alunos cada, que construíram o experimento a partir do roteiro e, em seguida, o executaram. Foi um momento em que todos participaram, envolveram-se e mostraram grande interesse, principalmente quando constataram que o experimento funcionava, fato que se confirmou por falas do tipo: “estou me sentindo um verdadeiro cientista”; “conseguímos ver o rastro aqui”; “olha que legal, eu pensei que era mentira que não dava para ver, mas deu”. Aproveitamos o momento para questioná-los sobre: Como imaginavam os cientistas?; O que eles sentiram quando conseguiram observar pela primeira vez uma nova partícula?; Será que os brasileiros dispõem de recursos para realizar pesquisas na área de física? Questionou-se ainda se eles conheciam algum brasileiro que teria se destacado na pesquisa de física de partículas, e tivemos respostas do tipo: “nossa deve ser muito emocionante observar uma nova partícula, saber que foi o primeiro”; “com essa técnica de emulsões fotográficas, os brasileiros têm condições sim”; “eu pesquisei em casa e tem o César Lattes, que é um físico brasileiro que trabalhava com isso”; e “não tenho conhecimento de nomes de brasileiros que pesquiseem isso”.

Durante a realização do experimento, observou-se que a compreensão dos alunos sobre os conceitos começou a deixar o nível abstrato e passou a ser concreto, pois elas começaram a falar sobre os rastros que estavam observando, como são pequenas as partículas, que realmente o átomo não é a menor parte da matéria, porque ele é formado por partículas.

No quinto encontro, dia 25/03/2021, em duas aulas foram utilizados slides e textos, com o objetivo de abordar as questões de e sobre a física de partículas. Iniciamos a discussão sobre quem são os cientistas que estudam as partículas elementares e, para essa etapa, buscou-se desconstruir a ideia de que os cientistas são homens brancos de países de primeiro mundo, trazendo a história e a obra de César Lattes, tendo em vista que ele contribuiu com a física de partículas e é brasileiro. Os alunos ficaram

maravilhados por saber que um brasileiro participou de forma tão significativa na física de partículas. Tivemos comentários como: “o motivo que o levou a escolha pela física foi muito engraçado”. Eles também indagaram sobre o fato de como ele contribuiu para o meio científico e como teria sido se ele não tivesse escolhido a física: “o Brasil sempre com a corrupção para atrapalhar, se não fosse isso, talvez hoje tivéssemos um acelerador de partículas no nosso país”; “então as usinas nucleares que temos no Brasil foram influenciados por esse período”; “nunca pensei que um brasileiro tivesse a oportunidade de chegar tão longe”; “nossa!, como o preconceito existe até em prêmios da ciência como o Nobel, porque é obvio que ele não ganhou porque não era americano ou europeu”; “ele foi indicado 7 vezes ao Nobel e não ganhou, aposto que foi porque não era europeu”; “nem eu imaginei que um brasileiro pudesse ter uma carreira tão brilhante”; “precisamos acreditar mais em nós mesmos, nas primeiras aulas não acreditávamos que os brasileiros trabalhassem com a pesquisa de física de partículas”.

No sexto encontro, no dia 01/04/2021, em duas aulas abordamos a história da constituição da matéria. Tendo em vista as respostas dos alunos na primeira etapa, que demonstraram pouco conhecimento do assunto, optou-se por iniciar desde o conceito de átomo dos gregos, explorando os modelos atômicos, os questionamentos sobre a estabilidade do átomo, as pesquisas, as novas partículas que foram descobertas e o momento histórico em que todos os eventos aconteceram. Para finalizar essa etapa, foram abordados os conceitos físicos envolvidos.

Buscou-se trabalhar com questionamentos que fizessem os alunos refletirem as questões de e sobre ciências e expressarem suas opiniões a respeito. Os alunos fizeram falas do tipo: “ah, então na verdade o átomo já foi considerado indivisível... não entendo porque quando os professores lá no primeiro ano nos ensinam não falam isso, que foi considerado e hoje já conhecemos partículas menores”; “então o elétron é uma partícula elementar, já os prótons não”; “eu pensava que o átomo era igual à representação que nós estudamos, mas agora entendi que é só uma maneira de representar”; “o acelerador de partículas é tão grande e estuda partículas tão pequenas... a tecnologia dos detectores de partículas é impressionante, imagina ser capaz de captar partículas tão pequenas”.

No sétimo encontro no dia 08/04/2021, foram duas aulas. Na primeira foi realizada uma avaliação somativa individual com questões abertas e que exigiu dos estudantes reflexão e o máximo de transformação do conteúdo abordado. Na segunda aula retomou-se os conceitos estudados, por meio de uma proposta de elaboração de um mapa conceitual sobre os conceitos vistos e, após os mapas prontos, os alunos foram convidados

a apresentar e falar ao grupo sobre os dois mapas, aquele que fizeram no início da sequência e este último. O momento de socialização dos mapas foi muito produtivo, pois eles mesmos observaram suas evoluções na aprendizagem, questionaram-se sobre o que sabiam e sobre o que achavam que sabiam. Tivemos falas dos alunos que confirmam o quanto produtivo foi esse momento, tais como: “eu pensava que sabia muito sobre a física de partículas quando a professora falou que iríamos estudar, mas quando começamos, me senti perdido, pensando que tudo que achei que sabia estava errado, agora, olhando para os dois mapas, percebo que, na verdade, o primeiro mapa, para um determinado momento da história era verdadeiro, o que aconteceu foi apenas que novas descobertas foram feitas desde então”; “olhando para os dois mapas eu percebo o quanto eu aprendi”; “esse antes e depois foi muito bom para perceber o quanto aprendemos, nem sempre nos damos conta”.

Para finalizar, no oitavo e último encontro da sequência didática, no dia 15/04/2022, tivemos uma aula para avaliar a UEPS. Em um grande grupo, os alunos avaliaram as estratégias de ensino empregadas na UEPS e seu próprio aprendizado. Além disso, avaliou-se a UEPS em função dos resultados de aprendizagem obtidos e a necessidade de reformular algumas atividades.

## Capítulo 6

### 6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para uma análise qualitativa dos possíveis avanços do projeto, tendo como base a Teoria Fundamentada de Strauss, foram utilizados como fonte de dados os seguintes recursos: diário de bordo, participação dos alunos no desenvolvimento das atividades e interesse que os alunos demonstraram pelo conteúdo.

A Teoria Fundamentada de Strauss propõe que a melhor estratégia para que novas compreensões sejam analisadas é por meio dos dados coletados, ampliação da análise da atividade proposta (STRAUSS; CORBIN, 2009).

Segundo os pressupostos epistemológicos da Teoria Fundamentada, ela se caracteriza pela aderência aos dados; relevância para a área de investigação; obrigação de funcionar (ter emprego prático); e ser modificável, possibilitando assim a produção de novas compreensões sobre o fenômeno analisado. Portanto, as variáveis de investigação foram: (a) houve evolução conceitual em conceitos de física relacionados ao estudo da física de partículas?; (b) houve evolução na compreensão de e sobre ciências; (c) houve aumento no interesse em aprender dos alunos?; e (d) a abordagem escolhida da vida e obra de César Lattes cumpriu o papel de mostrar a ciência como construção histórica de forma crítica e contextualizada?

#### 6.1 ANÁLISE DE CONCEPÇÕES PRÉVIAS

A análise das concepções prévias dos alunos foi realizada por meio de dois momentos: em um primeiro momento houve um debate em sala partindo do filme que eles assistiram - *Anjos e demônios*, e no segundo momento foi elaborado um mapa conceitual sobre a compreensão deles acerca da composição da matéria.

A primeira questão exposta para debate com os alunos foi sobre quais conceitos físicos eles observaram no filme. Eles citaram antimatéria, partículas elementares, aceleradores de partículas, a partícula de Deus e a origem do Universo, demonstrando conhecimento dos termos.

A segunda questão abordada tratava sobre o conceito de antimatéria ser verdadeiro ou ficção científica, e as respostas foram divididas: metade da turma respondeu que a antimatéria existe de fato e a outra metade respondeu que é apenas ficção

pois nunca ouviu falar. Sobre onde foi ela produzida no filme, foi unânime a resposta de que foi no acelerador de partículas. Então questionou-se também se os aceleradores existem, onde eles estão localizados e qual sua função, e as respostas demonstraram pouco conhecimento prévio sobre o assunto. As respostas novamente se dividiram, entre a existência dos aceleradores ou não; ainda entre os que responderam que os aceleradores existem, eles não sabiam dizer onde; somente dois alunos afirmaram que a função dos aceleradores seria estudar as partículas; três alunos associaram ao que viram no filme e disseram que provavelmente, se fosse como no filme, serviriam para produzir partículas; e os demais afirmaram que não sabiam definir a função do acelerador. Diante das respostas, observou-se que os alunos não tinham conhecimento prévio satisfatório do assunto.

Na sequência, indagou-se sobre de que a matéria é feita, e as respostas foram: células, átomos, partículas, moléculas e alguns alunos ainda se esquivaram, dizendo que não sabiam. Demonstrando um conhecimento prévio insatisfatório.

Quando questionados sobre qual a menor parte da matéria, todos responderam que a menor parte da matéria é o átomo. Eles foram questionados se o átomo é a menor parte da matéria e confirmaram que sim, de forma unânime. Indagou-se ainda se o átomo é mesmo indivisível e os alunos demonstraram bastante dúvidas sobre essa questão, debateram bastante, mas não chegaram a um consenso, permaneceram divididos entre sim e não. A justificativa para os que defendiam que sim, eram as aulas de química do primeiro ano, em que o professor falou; já os que disseram que não, falaram sobre a existência de prótons, elétrons e nêutrons, que são menores que o átomo.

A pergunta que se seguiu foi: como é o átomo que você conhece? As descrições foram: “o átomo é uma bola no meio cheia de riscos em volta e as cargas ficam nos riscos em volta; o átomo está dentro e as cargas estão em volta”, para alguns alunos a eletrosfera fica fora do átomo; e “os elétrons ficam nos riscos e os prótons no meio, na bola, os nêutrons não tem carga, mas eles ficam junto com os prótons”. Todos os alunos descreveram o átomo com características que lembram o modelo de Rutherford, porém claramente não compreendem o modelo. Diante das respostas, perguntou-se: se as cargas estão fora do átomo elas são maiores que ele? Cem por cento dos alunos respondeu que não, que prótons e elétrons são menores que o átomo.

Então indagou-se: mas se o átomo é indivisível o que são os prótons, nêutrons e elétrons? Eles responderam: “são pedaços dos átomos”; “são partes do átomo”; e “são

partículas”. Mais uma vez demonstraram que conhecem os termos, mas não compreendem os conceitos.

A pergunta seguinte foi: As menores partículas, chamadas elementares, são os prótons, nêutrons e elétrons? Eles demonstraram bastante insegurança para responder essa questão e as respostas foram: “são, não existe nada menor”; “acho que são, porque estão dentro do átomo, devem ser”.

Na sequência, perguntou-se: Quem pesquisa sobre o assunto? Logo eles responderam que eram os cientistas, mas não sabiam explicar que tipo de pesquisador e nem citar nomes. Logo fomos para a próxima questão: Onde essas pesquisas acontecem? Eles responderam que em laboratórios, mas não souberam descrever como seriam esses laboratórios, apenas três alunos responderam nos aceleradores de partículas. Questionou-se ainda se temos cientistas brasileiros que pesquisam partículas elementares e as respostas foram um consenso de que se existe algum, não conhecem.

Para finalizar esse primeiro momento de análise do conhecimento prévio, questionou-se qual era nome do ramo da física que estuda as partículas e os alunos responderam que não tinham nem conhecimento que existia um ramo da física que estuda esse assunto. Esse primeiro momento já possibilitou a percepção de que o conhecimento prévio dos alunos é bem limitado sobre os conceitos, fato que se confirmou com os mapas conceituais que eles produziram.

## 6.2 ANÁLISE DO DIÁRIO DE BORDO

Por meio da análise do diário de bordo observou-se o progresso do processo de aprendizagem dos alunos. Desde a primeira aula foi possível perceber o interesse dos alunos, que assistiram ao filme concentrados, empolgados, e quando o filme terminou os comentários confirmaram essa observação.

Na aula seguinte, durante a avaliação dos conhecimentos prévios, percebeu-se que os alunos tinham interesse sobre o assunto, mas não tinham quase nenhum conhecimento.

A cada aula que passou percebeu-se que o interesse dos alunos aumentou e a participação também. As perguntas por eles feitas no decorrer das aulas se tornaram mais complexas, o que demonstrou domínio do conteúdo. Eles participaram de todas as atividades com dedicação e entusiasmo, até mesmo aqueles que normalmente não participam.



### 6.3 ANÁLISE DA AVALIAÇÃO SOMATIVA INDIVIDUAL

De acordo com Moreira (2012), a avaliação somativa deve conter questões formuladas de modo que os alunos tenham que refletir e não apenas reproduzir o que aprenderam, demonstrar sua aprendizagem, sua compreensão, com o objetivo de avaliar se os objetivos de aprendizagem pretendidos pelo professor foram alcançados. As questões utilizadas na avaliação somativa para o desenvolvimento deste projeto têm essa finalidade, por isso vamos analisar os resultados.

A primeira questão que os alunos responderam tratava dos modelos atômicos e sua contribuição para física de partículas, e as respostas foram bem elaboradas, demonstraram compreensão e a argumentação por eles utilizada impressionou positivamente. Citaram inclusive os benefícios que a pesquisa de física em partículas trouxe para o cotidiano nas diferentes áreas, como a medicina e as tecnologias.

A segunda questão trata da estabilidade nuclear e o grupo se saiu muito bem em suas respostas, pois conseguiram explicar e argumentar com suas palavras que, como a dúvida sobre como o núcleo atômico se mantinha estável, isso foi importante para pesquisa e descoberta de novas partículas. Nessa questão eles descreveram em detalhes como as pesquisas eram feitas e alguns alunos detalharam inclusive o experimento que fizeram em sala para comparar com as pesquisas da época.

A terceira pergunta: A partir de 1930 várias novas partículas foram observadas. Quais as técnicas utilizadas que permitiram tal feito? Como essas técnicas funcionam? E hoje essas técnicas ainda são utilizadas? Os discentes citaram a observação dos raios cósmicos através de emulsões fotográficas, conseguiram detalhar o funcionamento dos aceleradores de partículas e relataram como as pesquisas da área da física de partículas são desenvolvidas na atualidade. As respostas foram satisfatórias, demonstrando aprendizagem e compreensão dos alunos.

A quarta questão trata do pión, e todos os alunos conseguiram identificar que a questão fazia referência a ele, além de citá-lo, explicaram porque era considerado importante, e alguns fizeram inclusive referência a César Lattes e a física brasileira.

A última questão: Qual foi a contribuição de César Lattes para física de partículas? Como a sua pesquisa em física impactou o Brasil? As respostas foram bem elaboradas e demonstraram alto nível de compreensão por parte dos discentes, que explicaram de forma clara e objetiva o quão importante foram as contribuições de Lattes para física de partículas e para física brasileira.

A avaliação aplicada foi uma parte importante da UEPS, porque por meio dela foi possível observar se houve apropriação do conhecimento por parte dos alunos. Ao longo das aulas já havíamos percebido que a turma estava se apropriando dos conceitos mais complexos, mas esse momento individual foi uma oportunidade de observar os alunos aplicando o conhecimento, e eles mostraram grande evolução, superando inclusive as expectativas, com respostas bem elaboradas.

#### 6.4 ANÁLISE DOS MAPAS CONCEITUAIS

Segundo Moreira (2012), o mapa conceitual pode ser utilizado como instrumento de avaliação na aprendizagem significativa, pois uma mesma pessoa construindo mapas conceituais sobre um determinado conceito poderá estruturar os conceitos de forma diferente, conforme se apropria do conhecimento, pois quanto maior sua compreensão melhor será a estruturação do mapa. O autor ressalta ainda o fato de que não existe mapa conceitual certo ou errado, pois cada pessoa, incluindo professor e alunos, irá estruturar os conceitos de acordo com sua compreensão do assunto. Logo, o professor pode utilizar o mapa como ferramenta para trabalhar determinados conceitos desde que não o apresente como única maneira correta de representação, e ainda pode utilizar para avaliar a evolução da apropriação dos conceitos por partes dos alunos.

Neste projeto utilizamos o mapa conceitual com o objetivo de observar a apropriação dos conceitos pelos alunos ao longo do processo, por isso foi pedido para que eles realizassem um mapa sobre a constituição da matéria no início do projeto, a fim de avaliar o conhecimento prévio que eles tinham do assunto. Nesse primeiro mapa, observou-se que alunos não tinham praticamente nenhum conhecimento do assunto, conheciam alguns termos, mas os significados que tinham não eram claros e, em alguns casos, seus entendimentos estavam errados.

Ao final do projeto, solicitamos que os alunos fizessem um novo mapa conceitual a partir do mesmo tema do primeiro e os resultados demonstraram que sua compreensão sobre o assunto estava clara e que realmente houve aprendizagem. Proporcionou-se ainda um momento de socialização e comparação dos mapas pela turma. Eles compararam as visões que tinham sobre os conceitos quando se iniciou o projeto, e o que aprenderam e compreenderam com o projeto foi um momento interessante, pois foi possível perceber no entusiasmo dos alunos falando sobre o que aprenderam, sobre o que achavam que sabiam quando iniciaram o projeto e o que aprenderam durante o projeto.

## 6.5 ANÁLISE DA AVALIAÇÃO DA UEPS

Após a aplicação da UEPS é importante avaliar seus resultados para saber se os objetivos pretendidos foram alcançados e, inclusive, possibilitar mudanças e melhorias na proposta.

A avaliação da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa descrita neste trabalho foi realizada por meio de um grupo focal com a turma, após o último momento do projeto, ou seja, depois da socialização e comparação dos mapas conceituais. Separamos um momento para que os alunos pudessem expressar suas opiniões.

A primeira indagação feita para a turma os questionava sobre o tema abordado, e todos os alunos responderam que estavam contentes com os conceitos que aprenderam.

Em seguida, questionou-se sobre a abordagem dos conceitos por meio de UEPS, e os alunos responderam que era a primeira vez que a metodologia era utilizada com o grupo e descreveram que alguns professores já haviam passado filmes, mas que depois do filme faziam um relatório e por ali se encerrava. Citaram também que outras metodologias já haviam sido utilizadas, mas sempre isoladamente e sem continuidade. Por fim, todos se mostraram satisfeitos com a metodologia.

Perguntou-se ainda sobre a compreensão dos conceitos e aprendizagem, e foi unânime da turma que consideraram que tiveram uma aprendizagem significativa que os permitiu, inclusive, ter uma visão da ciência que não imaginavam existir, citando inclusive a importância que Lattes e sua pesquisa tiveram para a ciência brasileira.

Na sequência, os alunos foram questionados sobre o quão interessante foi a proposta e afirmaram que desde o princípio o assunto chamou a atenção, mas que no decorrer das aulas foi se tornando mais interessante, despertando cada vez mais a curiosidade sobre o tema. Eles inclusive confessaram que iam para casa buscar leituras sobre o assunto.

Os alunos foram questionados sobre se a metodologia utilizada facilitava a participação ou dificultava, e eles responderam que facilitava, que os deixou mais à vontade para perguntar, participar da aula.

Finalizou-se a avaliação perguntando se, na opinião deles, a professora demonstrou domínio de conteúdo e conseguiu ser clara na sua abordagem dos conceitos e eles responderam que a professora demonstrou domínio e que a abordagem, além de clara, colaborou para despertar o interesse na aprendizagem e a vontade de participar da aula. Após os questionamentos, ainda foi pedido que os alunos falassem sobre a

experiência e expressassem suas sugestões, eles afirmaram que foi uma experiência interessante, que gostaram de participar e sugeriram que a metodologia fosse utilizada mais vezes, pois tiveram mais facilidade de compreender os conceitos. Um aluno citou, inclusive, que a avaliação somativa individual se tornou, fácil porque ele havia de fato aprendido a matéria.

## 6.6 ANÁLISE DAS VARIÁVEIS DE INVESTIGAÇÃO

No que se refere às variáveis de investigação, é possível concluir os seguintes achados:

- a) Em relação à evolução dos conceitos de física relacionados ao estudo da física de partículas, analisando a avaliação somativa individual, a participação dos alunos durante o projeto, os mapas conceituais elaborados pelos alunos e comparando com os conhecimentos prévios que eles demonstraram no início da UEPS foi possível constatar uma aprendizagem significativa crítica pelos discentes. Fato que pode ser comprovado pelas respostas dos alunos e suas falas durante a implementação da UEPS.
- b) A abordagem de e sobre ciências escolhida na UEPS, debatendo a vida e obra de César Lattes, possibilitou observar, por meio da participação dos alunos nos debates, que sua compreensão se aproximou das concepções que se desejava apresentar para eles, de que o conhecimento científico é uma construção humana que sofre intervenção econômica e cultural do meio em que o cientista vive. Falas como: “se César Lattes não tivesse escolhido a física, talvez hoje não tivéssemos o campo de pesquisa na área científica tão desenvolvido”; “nosso país sempre foi atrapalhado pela corrupção, se não fosse o roubo do dinheiro no projeto de acelerador de partículas, talvez hoje tivéssemos um no país”; “as usinas de energia nuclear no nosso país foram construídas pela influência das reflexões positivas do sucesso de César Lattes”; “essa proposta me fez enxergar como nós mesmos menosprezamos a nossa capacidade, sempre pensando que somos um país subdesenvolvido, que não podemos fazer grandes feitos”; e “no início do projeto pensei que iríamos

falar de físicos europeus e americanos, como sempre acontece nas aulas de física, sempre bem distante de nós”.

- c) Com base no desenvolvimento da UEPS e considerando que já conhecíamos a turma, pôde-se observar o aumento do interesse em aprender dos alunos com a proposta, por meio das perguntas e falas feitas por eles durante a implementação e na avaliação da UEPS.
  
- d) Analisando a abordagem escolhida da vida e obra de César Lattes, percebeu-se que isso cumpriu o papel de mostrar a Ciência como construção histórica de forma crítica e contextualizada, inclusive com base nas respostas dos alunos nas discussões e na avaliação somativa individual. Falas do tipo: “eu não imaginava que um brasileiro tivesse uma participação tão importante”; “me fez repensar a imagem de cientista pesquisador que eu tinha”; “nossa!, como a vida e rotina deles influência nos caminhos das pesquisas... talvez se Lattes não tivesse tido aquelas aulas analisando os filmes, ou não tivesse ganhado aquela câmara de Wilson, hoje não seria quem é”; “cada escolha que um pesquisador faz é importante para o caminho que ele vai seguir”; e “nosso país tem potencial... precisamos de mais pessoas que se importem com ele, como Lattes se importou, poderia ter ficado trabalhando no exterior, mas voltou para o Brasil”.

## Capítulo 7

### 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Acredita-se que as considerações finais não terminam este trabalho, pois, segundo os dados que serão levantados aqui, é possível melhorar cada vez mais as atividades e desenvolver novas metodologias para facilitar a aprendizagem do alunado, objetivando apresentá-los uma física mais acessível.

Não são raras as vezes em que, ao falarmos em ciências, percebemos que o cientista é visto por vários professores e pela maioria dos alunos como homens extremamente inteligentes, de países ricos, vindo de universidades europeias ou norte-americanas e com dificuldade de socialização, que chamam de nerds. Dessa forma, procurou-se colaborar com a desconstrução desse estereótipo de cientista produzindo textos, procurando mostrar a diversidade dos pesquisadores e a ciência produzida por eles. Com o intuito de colaborar com a formação de cidadãos capazes de compreender ciência e a natureza da ciência alinhada com a moderna filosofia da ciência, produziu-se uma proposta didática por meio de UEPS, a fim de levar à sala de aula debates de, sobre e para a física.

Esta pesquisa pretende investigar como tornar o ensino de física de partículas mais interessante para os alunos do Ensino Médio e desconstruir o estereótipo que se tem do cientista. A hipótese traçada foi uma organização sequencial através da história da ciência. Para esse fim, propôs-se utilizar a vida e obra de César Lattes.

Determinou-se o tópico de Física Moderna e Contemporânea, debatido nesta dissertação como sendo a física de partículas, procurando mostrar a física que os alunos já têm acesso pelos noticiários, revistas e no cotidiano, buscando observar a ciência como uma construção humana inacabada, sujeita a transformações e a novas descobertas (VIDEIRA; FRANCISQUINI, 2018). Salienta-se a importância de não deixar de lado o conhecimento científico, mesmo que a pesquisa tenha contribuições de outras áreas (MOREIRA, 2004). Então, foi escolhida a vida e obra de César Lattes para apresentar o tema em sala de aula, pois ao longo de sua vida encontram-se várias oportunidades para tratar de aspectos de e sobre ciência, como a observação do pión na natureza e artificialmente.

Foram adotados marcos teórico-educacionais, metodológicos e epistemológicos para compreender como a vida e obra de César Lattes poderiam se associar com a

introdução à física de partículas no Ensino Médio e possibilitar a elaboração do produto educacional, evitando, assim, a falta de articulação entre eles, que é uma possível fragilidade da pesquisa em educação científica, segundo Moreira (2004).

Os referenciais da Teoria de Aprendizagem Significativa Crítica, Unidades de Ensino Potencialmente Significativas e Epistemologia de Paul Feyerabend, são reconhecidos como coerentes e complementares (DAMASIO; PEDUZZI, 2018), colaborando na forma como o produto educacional, um site que o professor interessado em fazer tal abordagem terá à disposição, a UEPS, os slides, textos e demais materiais necessários para levar para sala de aula a proposta sobre o tema, foram produtos deste estudo.

Para validar a proposta de elaboração do produto educacional, confirmar a necessidade da produção e divulgação de materiais didáticos sobre o tema e indicativos de que o desenvolvimento da UEPS poderia ser bem-sucedido, a revisão bibliográfica foi fundamental.

A UEPS foi elaborada utilizando o filme *Anjos e demônios* como organizador prévio, descrito por Moreira (2008) como elo entre o conhecimento que o aluno tem e o que aprenderá.

Os textos, o roteiro do experimento e os demais materiais foram produzidos de maneira que a física de partículas foi abordada por meio de uma proposta de narrativa histórica e contextualizada, em concordância com a proposta de Feyerabend de entender a ciência como uma construção humana, influenciada pelo meio em que o cientista está inserido, portanto, sujeita a mudanças.

A pesquisa analisou várias informações provenientes da execução da UEPS, usando a Teoria Fundamentada de Strauss. Verificou-se que houve uma maior predisposição em aprender, graças à abordagem da vida e obra de César Lattes, utilizando material de ensino potencialmente significativo.

Desse modo, entende-se que as metodologias empregadas no desenvolvimento do projeto desta dissertação provaram ser coerentes com os objetivos específicos a que se aplicavam. O objetivo geral da pesquisa, ou seja, construir uma sequência didática que proporcione a inserção da história da física em sala de aula de modo a poder contextualizar a Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, tendo em vista a perspectiva de ensino subversivo, foi alcançado, como percebemos por meio das falas dos alunos citadas na implementação, participação e durante a aplicação da UEPS, além das respostas na avaliação da UEPS.

Em se tratando dos objetivos específicos, o primeiro, ou seja, determinar a abordagem da física de partículas selecionando o tema específico, foi atingido satisfatoriamente, após várias leituras e conversas com o orientador, que nos levou a escolha de uma abordagem histórica, por meio da vida e obra de César Lattes, fato que podemos confirmar pelos resultados obtidos na aplicação do projeto e tendo em vista que o tema que escolhemos e a abordagem se mostraram coerentes com a aprendizagem significativa crítica pretendida.

O segundo objetivo específico, realizar uma revisão bibliográfica para subsidiar a execução do projeto, foi importante para corroborar com a metodologia que se pretendia e, principalmente, para confirmar a ideia que se tinha da necessidade de produzir o próprio material que utilizamos, tendo em vista a falta de material que contemple nossos objetivos neste projeto.

O terceiro objetivo específico, desenvolver o produto educacional, implementação da UEPS, o que resultará na apresentação de uma UEPS, foi alcançado, como podemos constatar com a produção de um site onde encontramos todo material desenvolvido para que outros professores que tenham interesse em implementar em sala de aula tal abordagem da física de partículas tenham acesso ao material, e também pelos resultados que analisamos neste trabalho da implementação da sequência didática em sala de aula.

O quarto e último objetivo específico que nos propusemos neste trabalho, ou seja, aplicar a UEPS em sala de aula, foi atingido com sucesso, como podemos constatar por meio dos relatos da implementação e análise dos resultados, onde a participação dos alunos, suas falas e suas respostas colaboram para essa constatação.

A análise dos resultados também nos permitiu perceber que a abordagem que despertou o entusiasmo dos discentes em aprender física pode ser estendida para outros cientistas brasileiros, aproximando ainda mais nossos estudantes da ciência produzida em nosso país, assim como trabalhar o contexto econômico, social e político em que ela se desenvolve. Dessa forma, a percepção de ciências que os alunos têm sofre mudanças o que pode influenciar para que, futuramente, alguns desses alunos escolham o campo da ciência como carreira.

Em se tratando de educação, o trabalho não tem fim, pois sempre podemos melhorá-lo e, partindo de toda a experiência na aplicação desta proposta, penso que muito ainda pode ser mudado e melhorado em próximos trabalhos a serem desenvolvidos. Por isso, pretende-se trabalhar junto com colegas da rede estadual de ensino que atuam na



região de Criciúma - SC, a fim de promover a implementação da UEPS em mais turmas, e até mesmo investigar, junto com os colegas docentes, as potencialidades de novas propostas do ensino de física por meio da abordagem da vida e obra de cientistas que aproximam nossos estudantes da ciência.

Enquanto profissional e a minha prática docente, este trabalho se mostrou importante para aprimorar minhas metodologias e perceber que devo cada vez mais procurar novos métodos para contribuir com uma aprendizagem significativa dos meus alunos.

## REFERÊNCIAS

- ANJOS, J.; NATALE, A. A. **Partículas elementares: a (des)construção da matéria pelo homem**. Rio de Janeiro: CBPF, 2005.
- BASSALO, J. M. F. César Lattes: um dos descobridores do então méson pi. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 7, n. 2, 1990.
- BROCKINGTON, G. *et al.* **Física: Física Moderna e Contemporânea**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2004.
- CARUSO, F. César Lattes, um pioneiro da ciência brasileira. **Revista Vestibular UERJ**, ano 8, n. 23, 2015.
- CARUSO, F. OGURI, V. A eterna busca do indivisível: do átomo filosófico aos quarks e léptons. **Química Nova**, v. 20, n. 3, jun. 1997.
- CAVALCANTI, C. J. H.; OSTERMANN, F. Um pôster para ensinar Física de Partículas na escola. **Física na Escola**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 13-18, maio 2001.
- DAMASIO, F. PEDUZZI, L. O. Q. A formação continuada de professores para um ensino subversivo visando uma Aprendizagem Significativa Crítica por meio da história e filosofia da Ciência sob o viés relativista: um estudo de caso. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 12, n. 5, 2017.
- DAMASIO, F.; PEDUZZI, L. O. Q. A coerência e complementaridade entre a teoria da aprendizagem significativa crítica e a epistemologia de Paul Feyerabend. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 20, n. 3, p. 61-83, 2015a.
- DAMASIO, F.; PEDUZZI, L. O. Q. O pior inimigo da ciência: procurando esclarecer questões polêmicas da epistemologia de Paul Feyerabend na formação de professores. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 20, n. 1, p. 97-126, 2015b.
- DAMASIO, F.; RODRIGUES, A. A. O realismo de Feyerabend: o que ele deixou em seu livro póstumo suas possíveis implicações para o ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 35, n. 2, p. 414-439, ago. 2018.
- DAMASIO, F.; PEDUZZI, L. O. Q. Para que ensinar ciência no século XXI? - Reflexões a partir da filosofia de Feyerabend e do ensino subversivo para uma aprendizagem significativa crítica. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 20, 2018.
- EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física Quântica**. 23. ed. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1978.
- LATTES, C. M. G.; MUIRHEAD, H.; OCCHIALINI, G. P. S.; POWELL, C. F. Processes involving charged mésons. **Nature**, v. 159, p. 694-7, 1947.

MARASCIULO, M. César Lattes: conheça a trajetória do brasileiro injustiçado pelo Nobel. **Revista Galileu**, 11 jul. 2020. Disponível em:

<https://revistagalileu.globo.com/Sociedade/noticia/2020/07/César-lattes-conheca-trajetoria-do-brasileiro-injustificado-pelo-nobel.html>. Acesso em: 19 jul. 2021.

MARQUES, A. Reminiscências de César Lattes. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 27, n. 3, p. 467-482, 2005.

MILLER, D. I. *et al.* The development of children's gender-science stereotypes: a meta-analysis of 5 decades of U.S. draw-a-scientist studies. **Child Development**, v. 89, p. 1943-1955, 2018.

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

MOREIRA, M. A. A pesquisa em educação em ciências e a formação permanente do professor de ciências. **Revista Chilena de Educación Científica**, v. 3, n. 1, p. 10-17, 2004.

MOREIRA, M. A. Abandono da narrativa, ensino centrado no aluno e aprender a aprender criticamente. **REMPEC - Ensino, Saúde e Ambiente**, v. 4, n. 1 p. 2-17, abr. 2011.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa Crítica**. Porto Alegre: Ed. do Autor, 2005.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa subversiva. **Série-Estudos - Periódico do Mestrado em Educação da UCDB**, n. 21, p. 15-32, jan./jun. 2006.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa, organizadores prévios, mapas conceituais, diagramas e unidades de ensino potencialmente significativas**. Curitiba: PUCPR, 2012.

MOREIRA, M. A. Grandes desafios para o ensino da física na educação contemporânea. **Revista do Professor de Física**, v. 1, n. 1, 2017.

MOREIRA, M. A. Linguagem e Aprendizagem Significativa. *In*: ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA, 4., 2003, Maragogi. **Anais [...]**. Maragogi, AL: 2013.

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

MOREIRA, M. A. Organizadores prévios e aprendizagem significativa. **Revista Chilena de Educación Científica**, v. 7, n. 2, p. 23-30, 2008.

MOREIRA, M. A.; MASSONI, N. T. **Interfaces entre teorias de aprendizagem e ensino de ciências/física**. Porto Alegre: UFRGS, 2015.

MOREIRA, M. A.; OSTERMANN, F. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa Física Moderna e Contemporânea no ensino médio. **Investigação em Ensino de Ciências**, v. 5, n. 1, 2000.

OLIVEIRA, A. G. I. *et al.* Raios cósmicos e a heliosfera. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 2, 2014.

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

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

PIETROCOLA, M. SIQUEIRA, M. O espalhamento Rutherford na sala de aula. **Física na Escola**, v. 11, n. 2, 2010.

PIETROCOLA, M.; SIQUEIRA, M. A Física Moderna e Contemporânea em sala de aula: uma atividade com os raios X. *In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA - SNEF*, 17., 2007, São Luís. **Anais [...]**. São Luís, MA: 2007.

PINHEIRO, L. A. A câmara de nuvens: uma abordagem integrada entre a Física Clássica e a Física Moderna. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 2, p. 517-528, ago. 2015.

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

SILVA, H. F. Conexão de blindagem eletrônica no espalhamento Rutherford. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 19, n. 2, jun. 1997.

SILVA, O. H. M.; LABURÚ, C. E. Uma montagem de câmara de nuvens por difusão para museus de ciências e laboratórios didáticos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 36, n. 2, p. 514-528, ago. 2019.

SIQUEIRA-BATISTA, R. A ciência, a verdade e o real: variações sobre o anarquismo epistemológico de Paul Feyerabend. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 22, n. 2, p. 240-262, ago. 2005.

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

STRAUSS, A.; CORBIN, J. **Pesquisa qualitativa: técnicas e procedimentos para o desenvolvimento de teoria fundamentada**. Porto Alegre: ARTMED, 2009.

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

VIDEIRA, A. A. P.; VIEIRA, C. L. **Lattes - 10 anos depois**. Rio de Janeiro: CBPF, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/290447288>. Acesso em: 20 fev. 2019.

VIDEIRA, A. A. P.; VIEIRA, C. L. Lattes, o físico brasileiro que disputou o Nobel e nomeou base de currículos. **Folha de São Paulo - Ilustríssima**, 24 jun. 2017. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/ilustrissima/2017/06/1895455-quando-um-cientista-brasileiro-era-estrela-midiatica-e-concorreu-ao-nobel.shtml>. Acesso em: 19 jul. 2021.

VIEIRA, C. L.; VIDEIRA, A. A. P. O papel das emulsões nucleares na institucionalização da pesquisa em física experimental no Brasil. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, 2011.

VITAL, A. GUERRA, A. Os sentidos que os estudantes atribuem ao ensino de física e à sua abordagem histórica. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 23, n. 1, p. 130-154, 2018.

## Apêndice A – Produto Educacional

**MNPEF**  
Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física



### MATERIAL DE APOIO AO PROFESSOR DE FÍSICA

### O ENSINO DE FÍSICA DE PARTÍCULAS POR MEIO DA VIDA E OBRA DO FÍSICO BRASILEIRO CÉSAR LATTES

Tatiane Pacheco Zanette  
Orientador: Prof. Dr. Felipe Damásio

Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Santa Catarina  
Campus Araranguá  
Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF)

## APRESENTAÇÃO

Caro(a) Professor(a),

Este produto educacional, intitulado *O ensino de física de partículas por meio da vida e obra do físico brasileiro César Lattes*, foi desenvolvido para a conclusão do curso de Mestrado Profissional Nacional do Ensino em Física pela Universidade Federal de Santa Catarina.

Esta é a versão impressa do site <https://sites.google.com/view/ensino-de-fisica-de-particulas/in%C3%ADcio>, onde você encontra uma proposta de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) para abordar a Física de Partículas e se destina, em especial, a professores de Física do Ensino Médio, mas é acessível ao público em geral.

Este material foi desenvolvido por Tatiane Pacheco Zanette, acadêmica do curso de Mestrado Nacional Profissionalizante em Ensino de Física – UFSC Campus Araranguá, sob orientação do Professor Dr. Felipe Damasio e com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

A reprodução deste material é livre, desde que conferidos os CRÉDITOS à autora.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|   |     |
|---|-----|
| Figura 1 - Câmara de Wilson.....  | 78  |
| Figura 2 - Modelo atômico de John Dalton.....   | 86  |
| Figura 3 - Modelo atômico de Joseph Thomson .....                                       | 87  |
| Figura 4 - Modelo atômico de Ernest Rutherford.....                                     | 88  |
| Figura 5 - Imagem da trajetória de um pión .....  | 90  |
| Figura 6 - Capa da apresentação abordagem da física de partículas a partir do filme ... | 92  |
| Figura 7 - 1° Slide da abordagem da física de partículas a partir do filme.....         | 93  |
| Figura 8 - 2° Slide da abordagem da física de partículas a partir do filme.....         | 93  |
| Figura 9 - 3° Slide da abordagem da física de partículas a partir do filme.....         | 94  |
| Figura 10 - 4° Slide da abordagem da física de partículas a partir do filme.....        | 94  |
| Figura 11 - 5° Slide da abordagem da física de partículas a partir do filme.....        | 95  |
| Figura 12 - 6° Slide da abordagem da física de partículas a partir do filme.....        | 95  |
| Figura 13 - 7° Slide da abordagem da física de partículas a partir do filme.....        | 96  |
| Figura 14 - 8° Slide da abordagem da física de partículas a partir do filme.....        | 96  |
| Figura 15 - 9° Slide da abordagem da física de partículas a partir do filme.....        | 97  |
| Figura 16 - 10° Slide da abordagem da física de partículas a partir do filme.....       | 97  |
| Figura 17 - Capa da apresentação da abordagem da vida e obra de César Lattes .....      | 98  |
| Figura 18 - 1° Slide da abordagem da vida e obra de César Lattes .....                  | 98  |
| Figura 19 - 2° Slide da abordagem da vida e obra de César Lattes .....                  | 99  |
| Figura 20 - 3° Slide da abordagem da vida e obra de César Lattes .....                  | 99  |
| Figura 21 - 4° Slide da abordagem da vida e obra de César Lattes .....                  | 100 |
| Figura 22 - 5° Slide da abordagem da vida e obra de César Lattes .....                  | 100 |
| Figura 23 - 6° Slide da abordagem da vida e obra de César Lattes .....                  | 101 |
| Figura 24 - 7° Slide da abordagem da vida e obra de César Lattes .....                  | 101 |
| Figura 25 - 8° Slide da abordagem da vida e obra de César Lattes .....                  | 102 |
| Figura 26 - 9° Slide da abordagem da vida e obra de César Lattes .....                  | 102 |
| Figura 27 - 10° Slide da abordagem da vida e obra de César Lattes .....                 | 103 |
| Figura 28 - 11° Slide da abordagem da vida e obra de César Lattes .....                 | 103 |
| Figura 29 - 12° Slide da abordagem da vida e obra de César Lattes .....                 | 104 |
| Figura 30 - 13° Slide da abordagem da vida e obra de César Lattes .....                 | 104 |
| Figura 31 - 14° Slide da abordagem da vida e obra de César Lattes -.....                | 105 |
| Figura 32 - 15° Slide da abordagem da vida e obra de César Lattes .....                 | 105 |



|   |     |
|---|-----|
| Figura 33 - 16° Slide da abordagem da vida e obra de César Lattes .....               | 106 |
| Figura 34 - 17° Slide da abordagem da vida e obra de César Lattes .....               | 106 |
| Figura 35 - 18° Slide da abordagem da vida e obra de César Lattes .....               | 107 |
| Figura 36 - 19° Slide da abordagem da vida e obra de César Lattes .....               | 107 |
| Figura 37 - 20° Slide da abordagem da vida e obra de César Lattes .....               | 108 |
| Figura 38 - Capa da apresentação da abordagem da história da física de partículas.... | 108 |
| Figura 39 - 1° Slide da abordagem da história da física de partículas.....            | 109 |
| Figura 40 - 2° Slide da abordagem da história da física de partículas.....            | 109 |
| Figura 41 - 3° Slide da abordagem da história da física de partículas.....            | 110 |
| Figura 42 - 4° Slide da abordagem da história da física de partículas.....            | 110 |
| Figura 43 - 5° Slide da abordagem da história da física de partículas.....            | 111 |
| Figura 44 - 6° Slide da abordagem da história da física de partículas.....            | 111 |
| Figura 45 - 7° Slide da abordagem da história da física de partículas.....            | 112 |
| Figura 46 - 8° Slide da abordagem da história da física de partículas.....            | 112 |
| Figura 47 - 9° Slide da abordagem da história da física de partículas.....            | 113 |
| Figura 48 - 10° Slide da abordagem da história da física de partículas.....           | 113 |
| Figura 49 - Capa da apresentação da abordagem da física de partículas .....           | 114 |
| Figura 50 - 1° Slide da abordagem da física de partículas.....                        | 114 |
| Figura 51 - 2° Slide da abordagem da física de partículas.....                        | 115 |
| Figura 52 - 3° Slide da abordagem da física de partículas.....                        | 115 |
| Figura 53 - 4° Slide da abordagem da física de partículas.....                        | 116 |
| Figura 54 - 5° Slide da abordagem da física de partículas.....                        | 116 |
| Figura 55 - 6° Slide da abordagem da física de partículas.....                        | 117 |
| Figura 56 - 7° Slide da abordagem da física de partículas.....                        | 117 |
| Figura 57 - 8° Slide da abordagem da física de partículas.....                        | 118 |
| Figura 58 - 9° Slide da abordagem da física de partículas.....                        | 118 |
| Figura 59 - 10° Slide da abordagem da física de partículas.....                       | 119 |
| Figura 60 - 11° Slide da abordagem da física de partículas.....                       | 119 |
| Figura 61 - 12° Slide da abordagem da física de partículas.....                       | 120 |
| Figura 62 - 13° Slide da abordagem da física de partículas.....                       | 120 |
| Figura 63 - 14° Slide da abordagem da física de partículas.....                       | 121 |
| Figura 64 - 15° Slide da abordagem da física de partículas.....                       | 121 |
| Figura 65 - 16° Slide da abordagem da física de partículas.....                       | 122 |
| Figura 66 - 17° Slide da abordagem da física de partículas.....                       | 122 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 67 - 18° Slide da abordagem da física de partículas..... | 123 |
| Figura 68 - Corte e fixação do feltro .....                     | 125 |
| Figura 69 - Aplicação do álcool isopropílico no feltro.....     | 125 |
| Figura 70 - Posicionamento do isopor, gelo e tampa .....        | 126 |
| Figura 71 - Encaixe do recipiente na tampa .....                | 126 |
| Figura 72 - Lanterna iluminando tanque .....                    | 127 |

## SUMÁRIO

|  |                |
|--|----------------|
| <b>CAPÍTULO 1 .....</b>  | <b>75</b>      |
| <b>1 UEPS - UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA</b>               | <b>75</b>      |
| 1.1 UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA .....                     | 75             |
| <br><b>CAPÍTULO 2 .....</b>  | <br><b>77</b>  |
| <b>2 TEXTOS .....</b>  | <b>77</b>      |
| 2.1 CÉSAR LATTES: O FÍSICO BRASILEIRO .....                                  | 77             |
| 2.2 A HISTÓRIA DA FÍSICA DE PARTÍCULAS: DO ÁTOMO AO PÍON .....               | 82             |
| 2.3 COMPREENDENDO A FÍSICA DE PARTÍCULAS .....                               | 86             |
| <br><b>CAPÍTULO 3 .....</b>  | <br><b>92</b>  |
| <b>3 SLIDES .....</b>  | <b>92</b>      |
| 3.1 SLIDES PARA ABORDAGEM DA FÍSICA DE PARTÍCULAS A PARTIR DO<br>FILME ..... | 92             |
| 3.2 SLIDES PARA ABORDAGEM DA VIDA E OBRA DE CÉSAR LATTES .....               | 98             |
| 3.3 SLIDES PARA ABORDAR A HISTÓRIA DA FÍSICA DE PARTÍCULAS .....             | 108            |
| 3.4 SLIDES PARA ABORDAR A FÍSICA DE PARTÍCULAS .....                         | 114            |
| <br><b>CAPÍTULO 4 .....</b>  | <br><b>124</b> |
| <b>4 ROTEIRO DO EXPERIMENTO .....</b>  | <b>124</b>     |
| 4.1 ROTEIRO .....  | 124            |
| <br><b>CAPÍTULO 5 .....</b>  | <br><b>128</b> |
| <b>5 AVALIAÇÃO SOMATIVA INDIVIDUAL .....</b>                                 | <b>128</b>     |
| 5.1 QUESTÕES DA AVALIAÇÃO SOMATIVA INDIVIDUAL .....                          | 128            |

# Capítulo 1

## 1 UEPS - UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA

Neste capítulo apresentamos a UEPS.

### 1.1 UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA

#### **O ensino de física de partículas em uma perspectiva de e sobre ciência**

**Objetivo:** apresentar a física de partículas a partir da construção histórica, almejando mostrar como ela é uma construção humana e cheia de percalços, que não constrói certezas e verdades absolutas. Discutindo ainda a vida e obra do brasileiro César Lattes, tentando desconstruir a ideia de que os cientistas bem-sucedidos se encontram em países de primeiro mundo, e como questões políticas, sociais e econômicas estão presentes na ciência.

**1. Situação inicial:** propõe a exibição do filme *Anjos e demônios*. Após, levantar uma discussão com as respostas dos alunos aos questionamentos feitos pelo professor.

**2. Situações-problema:** A partir da exibição do filme, levantar situações-problema com questões sobre ciência: Por quem a ciência é produzida? O que é necessário para ser um bom cientista? Os brasileiros são bons cientistas? Você saberia citar algum cientista famoso? E um cientista brasileiro? Alguém nesta sala poderia ser um(a) bom(boa) cientista? Por quê? Para situações-problema de ciência, sugere-se aos alunos que desenvolvam o experimento: “câmara de nuvens”, principalmente: o que a experiência pode ajudar a entender a física de partículas?

**3. Revisão:** Cada encontro conta com a diversidade de material didático (textos, apresentação de slides) e estratégias instrucionais, conforme orienta a Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica. As questões ali colocadas são: discussão da imagem que se tem do cientista; apresentação do papel importante dos brasileiros na ciência, focando na vida e obra de César Lattes; abordagem da história da física de partículas; e como questões sócio-políticas influenciam no desenvolvimento da ciência.

**4. Nova situação-problema, em um nível alto de complexidade:** por meio da apresentação de slides, busca-se problematizar em um nível de complexidade maior: (i) breve revisão da estrutura atômica; e (ii) explanação sobre partículas elementares, em especial o pión.

**5. Avaliação somativa individual:** as avaliações deverão acontecer por meio de questões abertas que exijam o máximo de transformação no conteúdo abordado. Não deverão ser utilizadas questões que tenham respostas que possam ser encontradas no material instrucional sem uma reflexão prévia.

**6. Aula expositiva dialogada integradora final:** usando a apresentação de slides, retoma-se todo o conteúdo da UEPS de forma integradora, revendo as situações-problema e buscando mediar a construção de respostas nos alunos.

**7. Avaliação da aprendizagem na UEPS:** deverá estar baseada na participação nas atividades dos alunos, nas observações feitas em sala de aula e na avaliação somativa individual, cujo peso não deverá ser superior a 50%.

**8. Avaliação da própria UEPS:** sugere-se que, em grande grupo, os alunos avaliem as estratégias de ensino empregadas na UEPS e seu próprio aprendizado. Além disso, o docente deverá avaliar a UEPS em função dos resultados de aprendizagem obtidos e, se necessário, reformular algumas atividades.

**Total de aulas:** 14 a 16.

## Capítulo 2

### 2 TEXTOS

Neste capítulo apresentaremos os textos que o professor utilizará em sala de aula para aplicação deste produto educacional, e que se encontram disponíveis no site <https://sites.google.com/view/ensino-de-fisica-de-particulas/in%C3%ADcio>.

#### 2.1 CÉSAR LATTES: O FÍSICO BRASILEIRO

Nascido Césare Mansueto Giulio Lattes, em 11 de julho de 1924, na cidade de Curitiba, Paraná, ele era filho de Carolina e Giuseppe, ambos imigrantes italianos. Lattes iniciou seus estudos, o então Curso Primário, no Instituto Menegatti, na cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, no ano de 1929. Em 1930 ele estudou em uma Escola Pública de Torino, na Itália, contudo, concluiu esse Curso na Escola Americana, em Curitiba, no ano de 1933. Já o Ginásio ele cursou no Instituto Médio Dante Alighieri, em São Paulo, de 1934 a 1938. Em seguida graduou-se Bacharel em Física, pela Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, da Universidade de São Paulo (USP), no ano de 1943.

Conhecido mundialmente apenas como César Lattes, a ironia era uma característica da sua personalidade, fato que ajuda a compreender os motivos que o levaram à escolha da profissão. Segundo ele, seria professor porque teria três meses de férias. Já a opção pela disciplina de física se explica devido a Lattes ter facilidade com ela e não precisar estudar muito.

Outros fatores também contribuíram para sua opção pela física, entre eles, a influência de seu professor, Luís Borello, que lecionava a disciplina de Ciências Físicas e Matemática, no Instituto Dante Alighieri. Por ironia do destino, seu pai conheceu Gleb Vassielievich Wataghin e comentou com ele sobre seu filho. Lattes, ao conversar com o físico ucraniano, ficou sabendo que era possível não fazer o pré-vestibular, podendo, portanto, cursar um ano a menos do ensino médio e concluindo a faculdade de Física aos 19 anos.

Na sua graduação na FFCL, foi aluno de Marcelo Damy de Souza Santos, em Física Geral e Experimental; de Abraão de Moraes, em Física-Matemática; de Giacomo Albanese, em Geometria Projetiva; e de Wataghin e Giuseppe P. S. Occhialini, em disciplinas profissionais do Curso de Física. As aulas de Wataghin e Occhialini eram

baseadas em seminários sobre temas publicados em revistas especializadas em Física, fato que foi possível graças à excelente biblioteca que Wataghin organizou e manteve sempre atualizada, na FFCL, enquanto as aulas dos outros três professores eram mais tradicionais, isto é, no sentido de serem estudados assuntos de Física já consagrados nos livros-texto.

Nas aulas ministradas por Occhialini, no seu terceiro ano de curso, Lattes aprendeu bastante sobre a leitura de filmes de raios-X, o que se explica em razão da maneira curiosa com que as aulas eram ministradas. Tendo Occhialini Lattes como seu único aluno, as aulas consistiam em fazer seu aluno destrinchar os filmes de raios-X que revelava.

Occhialini, quando parte do Brasil, ainda deixa mais um legado para Lattes, que contribui para suas escolhas futuras: uma câmara de Wilson quebrada. Câmara essa que Lattes conseguiu consertar, em conjunto com seus colegas.

Junto com Andrea Wataghin (1926-1984) e Ugo Camerini (1925-2014), jovens físicos, Lattes passou a estudar os chamados raios cósmicos (a radiação vinda do espaço), com o auxílio da câmara de Wilson (também conhecida como “câmara de nuvens”, uma espécie de detector, no qual a trajetória de partículas subatômicas com cargas elétricas é vista na forma de diminutas bolhas de um líquido).

A câmara de nuvens é composta por um recipiente fechado, onde ar, saturado com vapor d’água, é resfriado por um sistema de expansão do ar, como podemos observar na Figura 1.

Figura 1 - Câmara de Wilson



Fonte: Museu Laboratório Cavendish Cambridge.

Por volta de 1945, Lattes recebeu de Occhialini um novo tipo de detector: as emulsões nucleares, assim denominadas as chapas fotográficas especiais que registravam a trajetória das partículas como uma fileira de pequenos grãos de prata metálica, que se podia observar com a ajuda de um microscópio. A precisão e nitidez dessas trajetórias o deixaram bastante impressionado.

Lattes então solicita a Occhialini que o leve para trabalhar em Bristol, para onde vai no princípio de 1946. Inicia-se então sua incorporação ao grupo de pesquisas do físico britânico Cecil Powell (1903-1969), que se tornaria famoso pela descoberta dos píons.

Quando chega à Inglaterra, Lattes começa a trabalhar em seu projeto pessoal, que era empregar as emulsões nucleares para o estudo da radiação cósmica. Aos poucos, em conjunto com seus jovens colegas do laboratório, H. H. Wills, por meio de experimentos, tenta compreender as propriedades do novo detector. Lattes, que já tinha em mente o estudo da radiação cósmica, solicita ao fabricante das emulsões nucleares que adicione a alguns lotes das chapas o elemento químico Boro, pois suspeitava que esse incremento possibilitaria a observação indireta de nêutrons criados pelo choque da radiação cósmica contra núcleos atômicos da atmosfera terrestre.

No outono de 1946, Occhialini entrou de férias e foi passear nos Pirineus. Por solicitação de Lattes, ele levou consigo chapas, com e sem Boro, que ficaram expostas aos raios cósmicos, no observatório francês localizado no Pic du Midi, de Bigorre, nos Pirineus, durante seu período de lazer. Assim que regressa a Bristol, Occhialini e Lattes revelam as chapas e, junto com Powell, começam a analisá-las. Logo eles perceberam que as placas de Boro apresentavam mais eventos do que as sem Boro, pois elas tinham o PH perfeito para manter a imagem evidente por mais tempo. Inicia-se então o trabalho de estudos desses eventos.

Após alguns dias de análise ao microscópio, Marietta Kurz encontrou um raro evento, interpretado pelo grupo como um duplo-méson, ou seja, um traço grosso, do qual emergia, em seu final, um segundo méson, com cerca de 600 microns de alcance, todo contido na emulsão. Alguns dias depois, outro méson-duplo foi encontrado, mas dessa vez o segundo méson da dupla não parou na emulsão. Então, ao estudarem a ionização que o provocou, isso possibilitou estimar um alcance também de aproximadamente 600 microns. Esses primeiros resultados foram publicados na Nature (em seu volume 159, nas páginas 694 a 697, em 1947), em artigo assinado por Lattes, Muirhead, Occhialini e Powell. Também no volume 159 dessa mesma revista (na página 331), há um outro trabalho de Lattes, assinado apenas ele e Occhialini, no qual apresentam o cálculo da



direção e energia dos nêutrons oriundos dos raios cósmicos. É importante destacar que para o grupo foi fácil identificar as partículas observadas como mésons e não como prótons, pois o espalhamento era muito largo, devido à variação de densidade de grãos com o alcance.

Paralelamente, outros grupos vinham desenvolvendo trabalhos semelhantes e, em busca de novos resultados, Lattes foi para Bristol, onde teve a ideia de expor as emulsões fotográficas em um lugar mais alto do que já haviam sido expostas. O monte Chacaltaya, na Bolívia, a mais de 5.000 metros de altitude, foi o local escolhido. Com isso, Lattes esperava eliminar muitos eventos indesejáveis, pois a tal altitude a pressão já é igual a 0,5 atmosfera.

Para fazer seu experimento, Lattes deixa Londres em um avião brasileiro rumo à América do Sul, levando consigo várias chapas de emulsão carregadas de Boro. Ele passa um mês na Bolívia expondo essas placas e, depois de fazer uma breve escala no Rio de Janeiro, retorna a Londres. Mas quando ainda estava na Bolívia e no Rio de Janeiro, ele fez uma rápida análise e observou a ocorrência de um terceiro méson-duplo, que apresentava o mesmo alcance que o primeiro. Em Bristol, ao apresentar esse terceiro evento, o grupo começa a procurar de imediato novos eventos e acaba por encontrar mais de 30.

O grupo de Bristol conseguiu provar a existência de dois mésons: o méson pi, méson previsto teoricamente por Hideki Yukawa em 1935, responsável pela força forte nuclear; e o méson mi, que na verdade seria um elétron pesado. Os resultados da pesquisa foram publicados na prestigiosa revista inglesa Nature, em 1947 e 1948.

Em 1948, César Lattes vai para Berkeley, Califórnia, junto com Eugene Gardner (1901-1960), onde utiliza um acelerador de partículas capaz de produzir píons, por meio da técnica de emulsão nuclear, e consegue detectar os primeiros píons em laboratório. Os píons de Berkeley eram produzidos em colisões próton-neutron e próton-proton. A descoberta teve grande repercussão nos Estados Unidos e no Brasil, dando início a uma nova fase da física de partículas. Os grandes aceleradores de partículas passam a ser considerados importantíssimos para a compreensão das partículas elementares.

Apesar do reconhecimento da importância do feito histórico da observação do méson pi, nem Lattes e nem seus colegas Sakata e Occhialini receberam o Nobel, fazendo parte, portanto, dos Nobéis Injustiçados, junto a nomes famosos, como Boltzmann, Kelvin e muitos outros. Lembrando ainda que eles receberam o Prêmio Yukawa, em

1949, por presumir a existência do méson pi, e Powell, em 1950, pela comprovação da existência.

Lattes não foi honrado com o Nobel devido à política interna do prêmio, que, até o ano de 1960, premiava apenas o chefe da equipe que liderava uma descoberta. Ele foi o físico brasileiro com maior número de indicações a um Nobel, foi indicado sete vezes, e quando questionado sobre o assunto, ele desconversava, dizendo que o mais importante era a ciência. Existe também a hipótese de Lattes não ter sido vencedor de um Nobel pelo simples fato de ser brasileiro, inclusive há rumores de que as próprias falas de Lattes, em alguns momentos da história, levam a essa hipótese.

Lattes recebeu várias propostas para permanecer trabalhando no exterior, mas resolveu retornar e trabalhar no Brasil. Em 1949 fundou o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), com apoio de outros brasileiros dedicados à ciência e alguns políticos.

Lattes colaborou com a criação de grupos de pesquisa em Física, foi diretor científico do CBPF, trabalhou na elaboração da criação do Conselho Nacional de Pesquisas, foi membro de seu conselho deliberativo e implantou, em conjunto com o professor Ismael Escobar, o laboratório de física Cósmica da Universidade Mayor de San Andrés, na Bolívia.

Dentre as muitas homenagens que Lattes recebeu, podemos destacar dar nome a Plataforma Lattes, em 1999, pela CNPq. Tal plataforma consiste em um sistema de cadastro de pesquisadores e estudantes, contendo o currículo e os dados de instituições de todo Brasil.

No período que retornou ao Brasil, Lattes foi enaltecido como herói nacional na área da ciência, e até hoje é tido como o maior físico que já existiu no país. Ressalta-se que as pesquisas na área da física nuclear eram de interesse não somente de cientistas, mas também da indústria e dos militares nacionalistas, que tinham interesse em explorar a energia nuclear.

Lattes também encontrou momentos difíceis no Brasil, como o escândalo do desvio de verbas do projeto do acelerador de partículas, ocorrido em 1954, obra que nunca aconteceu. Ele era contrário a tal projeto, pois alegava que o País não tinha sequer mão de obra qualificada para o executar. Quando soube que o tesoureiro desviou a verba, Lattes procurou a imprensa e denunciou, fato que o levou a receber várias críticas, até mesmo de amigos. Tal episódio colaborou para o agravamento de seu estado de saúde, uma variação de humor que o acompanhou por toda sua vida, desde a infância, que foi elevado a uma depressão profunda naquele momento, culminando na sua saída do País.

Em 1957 Lattes regressou ao Brasil e continuou seus projetos para fortalecer a educação científica no País. Ele faleceu em 8 de março de 2005, aos 80 anos, em Campinas-SP.

## REFERÊNCIAS

BARROS, F. S. As passagens de César Lattes e de Leite Lopes pela Ilha do Fundão. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 4, 2013.

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

CARUSO, F. César Lattes, um pioneiro da ciência brasileira. **Revista Vestibular UERJ**, ano 8, n. 23, 2015.

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

LATTES, C. M. G.; MUIRHEAD, H.; OCCHIALINI, G. P. S.; POWELL, C. F. Processes involving charged mésons. **Nature**, v. 159, p. 694-697, 1947.

MARQUES, A. Reminiscências de César Lattes. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 27, n. 3, p. 467-482, 2005.

VIDEIRA, A. A. P.; VIEIRA, C. L. **Lattes - 10 anos depois**. Rio de Janeiro: CBPF, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/290447288>. Acesso em: 20 fev. 2019.

VIDEIRA, A. A. P.; VIEIRA, C. L. Lattes, o físico brasileiro que disputou o Nobel e nomeou base de currículos. **Folha de São Paulo - Ilustríssima**, 24 jun. 2017. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/ilustrissima/2017/06/1895455-quando-um-cientista-brasileiro-era-estrela-midiatica-e-concorreu-ao-nobel.shtml>. Acesso em: 19 jul. 2021.

VIEIRA, C. L. **César Lattes arrastado pela história**. Rio de Janeiro: CBPF, 2017.

## 2.2 A HISTÓRIA DA FÍSICA DE PARTÍCULAS: DO ÁTOMO AO PÍON

A explicação das partículas elementares tem sido um dos temas mais importantes da Física Moderna, mas essa discussão teve início bem antes, pois a ideia de átomo teria surgido com os gregos Leucipo e Demócrito, por volta de 450 a.C., na busca da explicação pela constituição da matéria conhecida no universo. Mas as ideias desses pensadores iam

em sentido oposto às de Aristóteles, que defendia que a matéria era formada por quatro elementos: fogo, terra, ar e água, ideia que foi aceita por mais de 2000 anos.

A ideia da matéria formada por corpúsculos foi retomada no século XVII pelo físico e matemático inglês Isaac Newton e tornou-se popular a partir de 1802, quando John Dalton, químico e contemporâneo de Newton, formulou que tudo era feito de átomos, a menor parte da matéria, e que eles são poderiam ser divididos. A existência dos átomos se tornou um importante tema de debate na Inglaterra no final do século XIX, por influência desses dois cientistas.

O grande interesse nas pesquisas sobre eletricidade naquela época levou o físico inglês Joseph Thomson a concluir, por meio de observação experimental, que os raios catódicos eram partículas subatômicas de carga negativa, os elétrons. Essa fragmentação do átomo levou Thomson a um modelo atômico que ele descreveu metaforicamente como um pudim, cuja massa por ele considerada positiva estava recheada de ameixas, os elétrons.

Ernest Rutherford, físico neozelandês, observou em um experimento, em que bombardeava folhas de ouro extremamente finas com partículas de carga positiva emitidas por uma fonte radioativa, que algumas partículas não seguiam o resultado esperado. Em vez de seguir seu curso normal, as partículas batiam na chapa e voltavam, o que o fez concluir que o átomo tinha uma massa maior do que a dos elétrons espalhados, pois os desvios observados somente poderiam ser explicados por uma massa concentrada, logo, ele deduziu que existiria um núcleo bem massivo, em comparação com a massa do elétron e com a carga nuclear positiva, ou seja, havia agora o entendimento de uma nova partícula, o próton.

O experimento que levou Rutherford a contrapor-se ao modelo de Thomson foi realizado em 1911, por Ernest Marsden e Hans Geiger.

Muitos foram os modelos atômicos ao longo da história, desde os gregos até o modelo proposto por Rutherford, um dos primeiros da Física Moderna. Seu famoso experimento levou à dedução do átomo formado por prótons e elétrons.

Dois modelos atômicos dividiam a atenção dos cientistas no início do século XX: o modelo de Joseph John Thomson, conhecido como J. J. Thomson, que apresenta o átomo como uma esfera sólida de carga positiva igualmente distribuída, cravado de elétrons que pulsavam em seu interior; e, em contrapartida, havia o modelo de Hantaro Nagaoka, que descrevia o átomo como um caroço no centro, de carga positiva, contornado

por anéis de elétrons girando com a mesma velocidade angular, descrição próxima à imagem do planeta Saturno.

Ernest Rutherford, discípulo de Thomson, na busca por resolver os problemas com os modelos atômicos apresentados, iniciou seus experimentos para análise do espalhamento de partícula  $\alpha$  (alfa) por átomos. Como resultado da observação, ele concluiu que a carga positiva estava concentrada em uma área muito pequena, no núcleo. Para realizar o experimento, ele utilizou um feixe de partículas alfa. Essa partícula, obtida pelo decaimento do Radio, era equivalente ao núcleo do átomo de Hélio. Para isso, Rutherford supôs que as dimensões da partícula alfa eram extremamente pequenas em relação ao tamanho do átomo.

O experimento consistia em bombardear uma fina lâmina de ouro com um feixe de partículas e medir o ângulo de espalhamento. A medida angular do espalhamento dessas partículas apresentava informações importantes sobre o modelo atômico. Já era conhecida, na época do experimento, a existência dos elétrons e o fato de que o átomo era neutro. Em 1932, Chadwick descobriu a terceira partícula subatômica, o nêutron, e o modelo de Rutherford passou a ter um núcleo onde ficavam prótons e nêutrons, e uma eletrosfera, onde ficavam os elétrons.

No início do século XX, o questionamento sobre a estabilidade do átomo não tinha respostas na Física Clássica e, na busca para resolver essa questão, surgiu a Mecânica Quântica e a ideia de interação forte.

Até então eram conhecidas as forças eletromagnética e gravitacional, que não permitiam explicar porque o átomo se mantinha estável. Surgiu então a explicação da existência de outra força da natureza que agiria no nível do átomo, a força forte. Atualmente, já se sabe que ela realmente existe e que a sua intensidade é realmente muito forte, cerca de 2000 vezes maior do que a força eletromagnética.

A força forte tem como principal característica seu curto alcance, já que ela é muito forte para núcleos, porém isso ocorre em um raio de cerca de  $10^{-15}$  m. No caso de distâncias maiores, ela praticamente desaparece. Essa interação diminui bem mais rápido do que a força eletromagnética, que é de  $\frac{1}{r^2}$ , conseqüentemente, se um núcleo for grande, ou seja, com muitos prótons, ele se torna instável.

Para explicar a estabilidade nuclear, em 1935 o físico japonês Hideki Yukawa teorizou que deveria ocorrer uma interação semelhante no caso da interação eletromagnética, que é medida pela troca de fótons. Em sua teoria, a interação hadrônica

ocorre através da troca de uma nova partícula, que ele chamou de méson, palavra de origem grega que convenientemente significa ‘médio’. Ele ainda supôs que os mésons teriam carga ou poderiam ser neutros ( $\pi^-$ ,  $\pi^+$ ,  $\pi^0$ ), o que possibilitaria a troca necessária entre as partículas nucleares.

A partir de 1930, com a detecção de partículas baseada no processo de emulsões fotográficas, teve início uma nova fase, em que várias partículas elementares foram observadas.

Em 1946, a equipe de pesquisa de Powell na universidade de Bristol, da qual César Lattes fazia parte, conseguiu comprovar a observação do méson pi na natureza. E em 1948 Lattes vai para Berkeley, Califórnia, junto com Eugene Gardner (1901-1960) e, utilizando um acelerador de partículas capaz de produzir píons por meio da técnica de emulsão nuclear, eles conseguiram detectar os primeiros píons em laboratório.

A criação da disciplina de física de partículas elementares é justificada na comprovação do pión de duas maneiras diferentes: pela natureza, através das emulsões nucleares; e artificialmente, no acelerador de partículas. Já o pósitron não chegou a ser comprovado artificialmente, apenas pela natureza, e essa comprovação não foi considerada o suficiente. É importante ressaltar a participação do brasileiro César Lattes nos dois momentos da observação do pión.

## REFERÊNCIAS

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

ASSAD, G. E. **Física moderna para o ensino médio**. João Pessoa: IFPB, 2015.

BAGNATO, V. S.; HABESCH, R.; SILVA, H. F. Conexão de blindagem eletrônica no espalhamento Rutherford. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 19, n. 2, 1997.

BEGALLI, M.; CARUSO, F.; PREDAZZI, E. **Do átomo grego à física das interações fundamentais**. São Paulo: Livraria da Física, 2012.

LAGANÁ, C. Estudo de raios cósmicos utilizando uma câmara de nuvens de baixo custo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 3, 2011.

LATTES, C. M. G.; MUIRHEAD, H.; OCCHIALINI, G. P. S.; POWELL, C. F. Processes involving charged mésons. **Nature**, v. 159, p. 694-697, 1947.

MOREIRA, M. A. Partículas e interações. **Física na Escola**, v. 5, n. 2, 2004.

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

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

PIETROCOLA, M.; SIQUEIRA, M. O espalhamento Rutherford na sala de aula. **Física na Escola**, v. 11, n. 2, 2010.

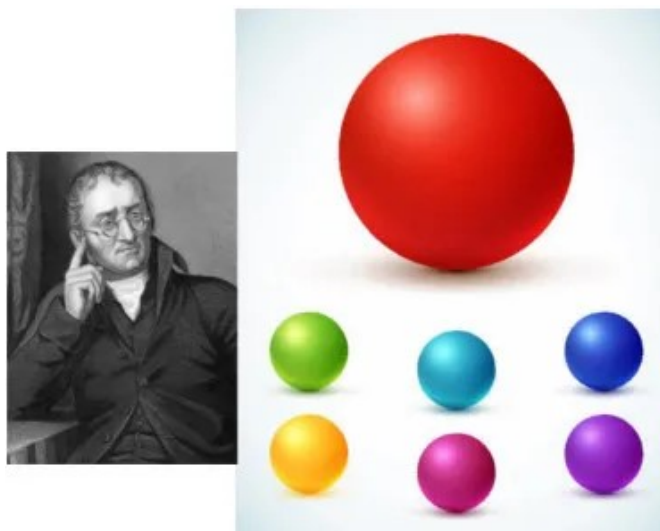
VIEIRA, C. L. **César Lattes arrastado pela história**. Rio de Janeiro: CBPF, 2017.

### 2.3 COMPREENDENDO A FÍSICA DE PARTÍCULAS

A ideia de átomo teria surgido com os gregos Leucipo e Demócrito, por volta de 450 a.C. Na busca da explicação pela constituição da matéria conhecida no universo, eles teorizaram que a matéria seria formada por pequenas partículas que não poderiam ser destruídas, vem dessa mesma ideia a origem do nome átomo, que no grego significa ‘indivisível’.

A ideia da matéria formada por corpúsculos foi retomada no século XVII pelo físico e matemático inglês Isaac Newton e tornou-se popular a partir de 1802, quando John Dalton, químico e conterrâneo de Newton, formulou que tudo era feito de átomos, a menor parte da matéria, e que eles não poderiam ser divididos. A existência dos átomos se tornou um importante tema de debate na Inglaterra no final do século XIX, por influência desses dois cientistas.

Figura 2 - Modelo atômico de John Dalton



Fonte: disponível em: <https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/evolucao-dos-modelos-atomicos.htm>. Acesso em: 15 jan. 2021.

Dalton postulou que os átomos seriam pequenas partículas esféricas, maciças e indivisíveis, e que entre um átomo e outro haveria espaço, ou seja, a matéria seria descontínua. Ainda postulou que um conjunto de átomos de mesmas massas, tamanhos e propriedades formam um elemento químico; que diferentes massas, tamanhos e propriedades diferentes originam diferentes elementos químicos; e que substâncias diferentes se formariam da combinação entre átomos diferentes. Dalton também nomeou como átomos compostos as substâncias formadas por espécies químicas de diferentes elementos e com quantidade fixa de cada um deles.

O grande interesse nas pesquisas sobre eletricidade naquela época levou o físico inglês Joseph Thomson a concluir, por meio de observação experimental, que os raios catódicos eram partículas subatômicas de carga negativa, os elétrons. Essa fragmentação do átomo levou Thomson a um modelo atômico que ele descreveu metaforicamente como um pudim, cuja massa por ele considerada positiva estava recheada de ameixas, os elétrons, de carga negativa.

Figura 3 - Modelo atômico de Joseph Thomson

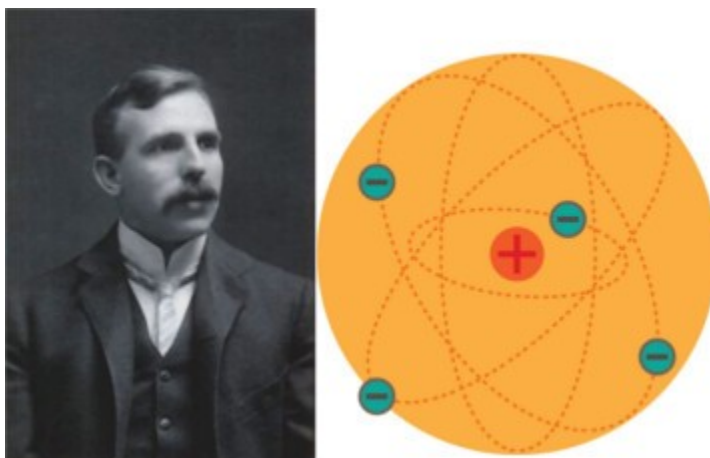


Fonte: disponível em: <https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/evolucao-dos-modelos-atomicos.htm>. Acesso em: 15 jan. 2021.



Em 1911, Ernest Rutherford, físico neozelandês, realizou um experimento em que bombardeou uma lâmina de ouro finíssima com partículas alfa, emitidas pelo decaimento do Rádio, cujo núcleo era equivalente ao do átomo de Hélio. As lâminas eram posicionadas dentro de um bloco de chumbo com um orifício pequeno, por onde as partículas passavam. Rutherford então observou que o átomo não poderia ser maciço, como se acreditava até então, propondo que o átomo fosse constituído por um núcleo denso, onde se concentrava a carga positiva, os prótons, ao redor do qual havia uma grande região vazia, a eletrosfera, onde os elétrons ficavam girando em torno desse núcleo.

Figura 4 - Modelo atômico de Ernest Rutherford



Fonte: disponível em: <https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/evolucao-dos-modelos-atomicos.htm>. Acesso em: 15 jan. 2021.

Em 1932, Chadwick descobriu a terceira partícula subatômica, o nêutron, e o modelo de Rutherford passou a ter um núcleo onde ficam prótons e nêutrons, além da eletrosfera, onde ficam os elétrons.

No início do século XX, o questionamento sobre a estabilidade do átomo não tinha respostas na Física Clássica e, na busca para resolver essa questão, surgiu a Mecânica Quântica e a ideia de interação forte.

Até então eram conhecidas as forças eletromagnética e a gravitacional, que não permitiam explicar como o átomo se mantinha estável. Surgiu então a explicação da existência de outra força da natureza que agiria no nível do átomo, a força forte. Atualmente conhecemos quatro forças, também chamadas de “interações fundamentais”, são elas: gravitacional, eletromagnética, nuclear forte e nuclear fraca. Vamos compreender como cada uma interage?

A força gravitacional é aquela que surge da interação mútua entre dois corpos, e é provocada pela massa dos corpos que se atraem entre si. Ela tem um alcance infinito e é sempre atrativa, dependendo apenas das massas dos corpos e da distância entre eles.

A força eletromagnética é a interação que ocorre entre dois corpos que possuem cargas elétricas. Podemos citar como exemplo a interação entre um elétron e o núcleo de um átomo.

A força forte é a interação mais forte no campo das partículas elementares, sendo a responsável em manter prótons e nêutrons no núcleo atômico. A força forte tem como principal característica seu curto alcance. Ela é muito forte para núcleos, porém isso ocorre em um raio de cerca de  $10^{-15}$  m, já para distâncias maiores ela praticamente desaparece. Essa interação diminui bem mais rápido do que a força eletromagnética, que é de  $\frac{1}{r^2}$ , conseqüentemente, se um núcleo for grande, ou seja, com muitos prótons, ele se torna instável. Cabe ressaltar que a interação forte afeta somente hádrons.

A força fraca é a interação responsável pelo decaimento relativamente lento de partículas, como nêutrons e múons, e por todas reações que envolvem neutrinos também. Essas interações são explicadas por campos de força. Nas teorias sobre partículas elementares, o campo é um conceito fundamental. As partículas mediadoras das interações correspondentes são os quanta desses campos.

A partir de 1930, com a detecção de partículas baseada no processo de emulsões fotográficas, teve início uma nova fase, em que várias partículas elementares foram observadas, colaborando para a comprovação das interações e campos. Vamos compreender melhor como funciona esse processo.

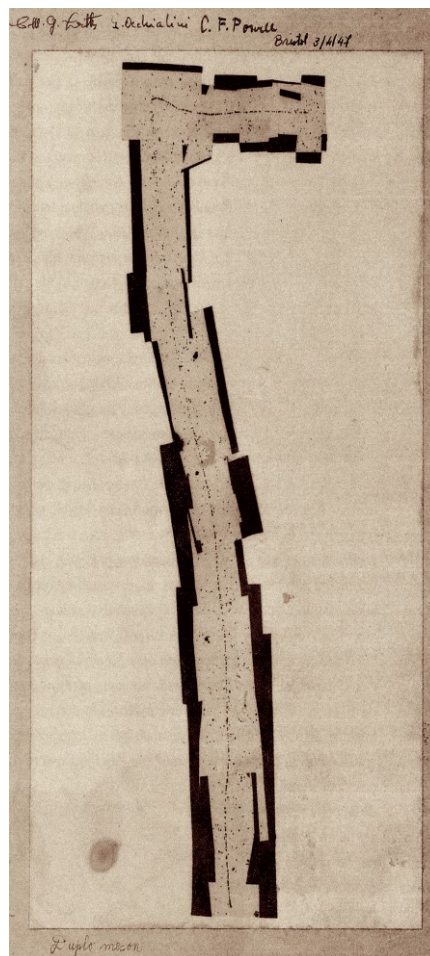
O processo de detecção de partículas por meio de emulsão fotográfica é semelhante ao processo fotográfico comum, de máquinas que utilizavam filme, ou seja, as fotos são tiradas, a imagem fica registrada no filme e, posteriormente, ela é revelada. Mas para tornar um filme fotográfico sensível à trajetória de uma partícula ionizante, é necessário acrescentar sais de prata. Esse processo foi melhorado mais tarde por Lattes, que pediu para que fosse acrescentado tetraborato de sódio-bórax nas emulsões, o que alongava a retenção das imagens. É importante saber que na detecção das partículas pelo processo de emulsão fotográfica, as imagens registradas são os rastros deixados pelas partículas e não a imagem da partícula propriamente. Foi através da exposição às emulsões fotográficas aos raios cósmicos que o pión foi observado na natureza.

Os raios cósmicos são partículas, prótons e núcleos atômicos com altas energias, vindos do espaço, de fora da atmosfera da Terra, e são chamados de raios cósmicos primários. Quando eles atingem a atmosfera e colidem com as moléculas que a constituem, geram os raios cósmicos secundários, novas partículas. Um exemplo é o méson pi: uma partícula mais pesada do que o múon e que decai no méson mi e mais uma partícula sem carga, o neutrino do múon, conforme representação:  $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \text{neutrino do múon}$ .

O tempo de vida do pión é de 0,00000001 segundo. Ele pode apresentar carga positiva, negativa ou ser neutro. O pión neutro é mais instável do que aqueles que possuem cargas e seu tempo de vida é mais curto, 0,0000000000000001 segundo. Ele também decai de forma diferente, como podemos observar:  $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$ .

O pión também foi gerado artificialmente e detectado no maior acelerador de partículas da época, em Berkeley, nos EUA.

Figura 5 - Imagem da trajetória de um pión



Fonte: disponível em: <https://www2.cbpf.br/pt-br/ultimas-noticias/ha-70-anos-artigo-revelava-ao-mundo-a-existencia-do-pion>. Acesso em: 15 jan. 2021.

## REFERÊNCIAS

- AIRES, J. A.; MELZER, E. E. M. A história do desenvolvimento da teoria atômica: um percurso de Dalton a Bohr. **Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemática**, v. 11, n. 22, 2015.
- ASSAD, G. E. **Física moderna para o ensino médio**. João Pessoa: IFPB, 2015.
- BAGNATO, V. S.; HABESCH, R.; SILVA, H. F. Conexão de blindagem eletrônica no espalhamento Rutherford. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 19, n. 2, 1997.
- BEGALLI, M.; CARUSO, F.; PREDAZZI, E. **Do átomo grego à física das interações fundamentais**. São Paulo: Livraria da Física, 2012.
- LAGANÁ, C. Estudo de raios cósmicos utilizando uma câmara de nuvens de baixo custo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 3, 2011.
- LATTES, C. M. G.; MUIRHEAD, H.; OCCHIALINI, G. P. S.; POWELL, C. F. Processes involving charged mésons. **Nature**, v. 159, p. 694-697, 1947.
- MOREIRA, M. A. Partículas e interações. **Física na Escola**, v. 5, n. 2, 2004.
- OSTERMANN, F. Um texto para professores do Ensino Médio sobre partículas elementares. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 21, n. 3, 1999.
- PEDUZZI, L. O. Q. **Do átomo grego ao átomo de Bohr**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.
- PIETROCOLA, M.; SIQUEIRA, M. O espalhamento Rutherford na sala de aula. **Física na Escola**, v. 11, n. 2, 2010.
- VIEIRA, C. L. **César Lattes arrastado pela história**. Rio de Janeiro: CBPF, 2017.

## Capítulo 3

### 3 SLIDES

Neste capítulo apresentamos os slides que o professor utilizará em sala de aula para aplicação deste produto educacional que se encontram disponíveis no site <https://sites.google.com/view/ensino-de-fisica-de-particulas/in%C3%ADcio>.

#### 3.1 SLIDES PARA ABORDAGEM DA FÍSICA DE PARTÍCULAS A PARTIR DO FILME


Figura 6 - Capa da apresentação abordagem da física de partículas a partir do filme



Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 7 - 1° Slide da abordagem da física de partículas a partir do filme

**QUAIS OS CONCEITOS FÍSICOS PODEMOS OBSERVAR NO FILME ANJOS E DEMÔNIOS?**




UFSC UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 8 - 2° Slide da abordagem da física de partículas a partir do filme

**ANTIMATÉRIA EXISTE OU É APENAS FICÇÃO CIENTÍFICA? NO FILME ONDE ELA FOI PRODUZIDA?**



UFSC UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Fonte: elaborada pela autora (2021).



Figura 9 - 3° Slide da abordagem da física de partículas a partir do filme

# Do que a matéria é feita?



<https://escolakids.uol.com.br/ciencias/do-que-sao-feitas-todas-as-coisas.htm>  
Acessado em 10/ 01/ 2021.

**UFSC** UNIVERSIDADE FEDERAL  
DE SANTA CATARINA

Fonte: elaborada pela autora (2021).

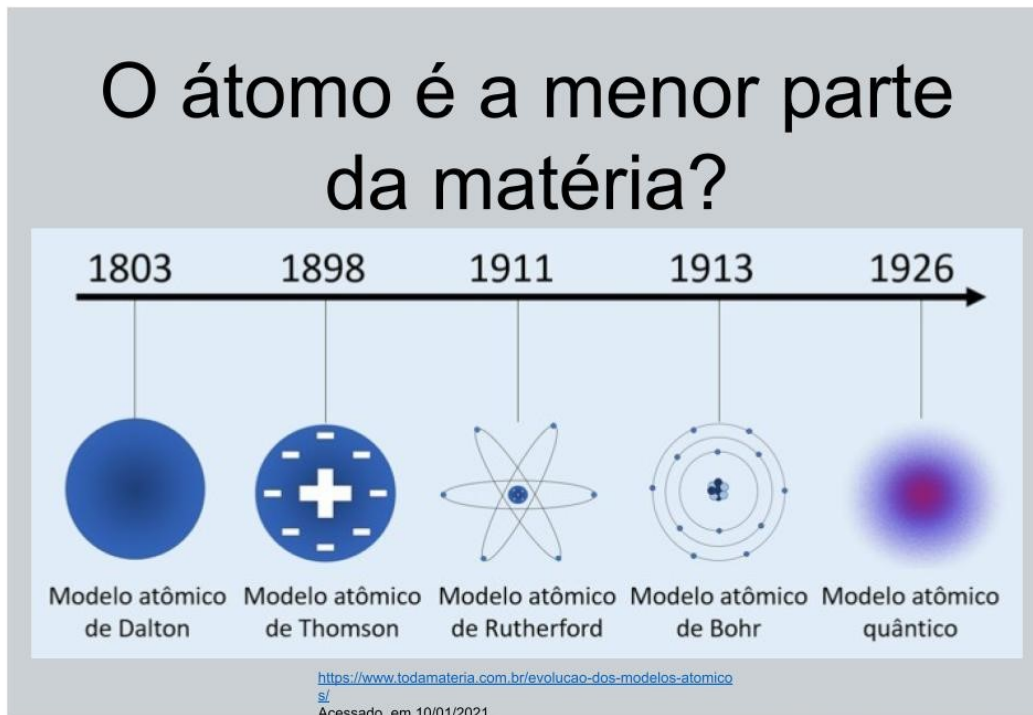
Figura 10 - 4° Slide da abordagem da física de partículas a partir do filme



**UFSC** UNIVERSIDADE FEDERAL  
DE SANTA CATARINA

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 11 - 5º Slide da abordagem da física de partículas a partir do filme



UFSC UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 12 - 6º Slide da abordagem da física de partículas a partir do filme



UFSC UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Fonte: elaborada pela autora (2021).



Figura 13 - 7º Slide da abordagem da física de partículas a partir do filme

## Como é o átomo que você conhece?



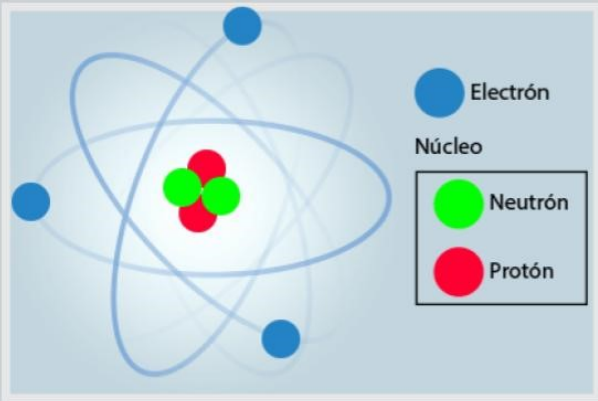
<https://veja.abril.com.br/ciencia/novo-supermicroscopio-permite-observar-atomos-em-alta-velocidade/>  
Acessado em 10/01/2021

UFSC UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 14 - 8º Slide da abordagem da física de partículas a partir do filme

## Mas se o átomo é indivisível o que são os prótons, nêutrons e elétrons?



Electrón  
Núcleo  
Neutrón  
Protón

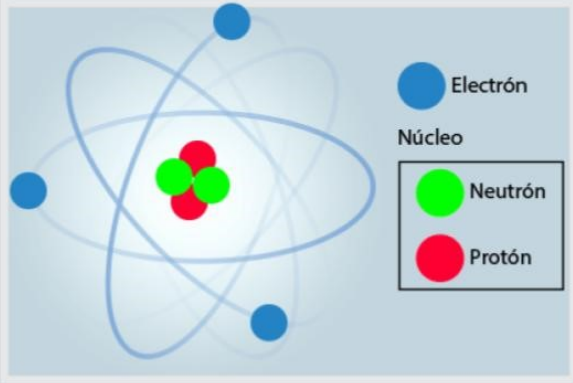
<http://blogdequimica2014.blogspot.com/2017/02/tabela-periodica-e-numero-atomico.html>  
Acessado em 10/01/2021

UFSC UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 15 - 9º Slide da abordagem da física de partículas a partir do filme

As menores partículas (partículas elementares) são os prótons, nêutrons e elétrons?



<http://blogdequimica2014.blogspot.com/2017/02/etiqueta-periodica-e-numero-atmico.html>  
Acessado em 10/01/2021

UFSC UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 16 - 10º Slide da abordagem da física de partículas a partir do filme

- **QUEM PESQUISA SOBRE ESSE ASSUNTO?**
- **ONDE ESSAS PESQUISAS ACONTECEM?**
- **TEMOS CIENTISTAS BRASILEIROS QUE PESQUISAM PARTÍCULAS?**
- **COMO CHAMAMOS O RAMO DA FÍSICA QUE ESTUDA AS PARTÍCULAS?**

UFSC UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Fonte: elaborada pela autora (2021).

### 3.2 SLIDES PARA ABORDAGEM DA VIDA E OBRA DE CÉSAR LATTES

Figura 17 - Capa da apresentação da abordagem da vida e obra de César Lattes



Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 18 - 1º Slide da abordagem da vida e obra de César Lattes



Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 19 - 2° Slide da abordagem da vida e obra de César Lattes

## QUEM FOI CESAR LATTES?

- Nascido em 11 de julho de 1924, em Curitiba, Paraná.
- Filho de Carolina e Giuseppe, ambos imigrantes italianos, Cesare Mansueto Giulio Lattes.
- Iniciou seus estudos, o então Curso Primário, no Instituto Menegati na cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, no ano de 1929.
- Em 1930 estudo em uma Escola Pública de Torino, na Itália.

UFSC UNIVERSIDADE FEDERAL  
DE SANTA CATARINA

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 20 - 3° Slide da abordagem da vida e obra de César Lattes

- Concluiu esse Curso na Escola Americana, em Curitiba em 1933.
- O Ginásio ele cursou no Instituto Médio Dante Alighieri, em São Paulo, de 1934 a 1938.
- Graduado Bacharel em Física pela Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo (USP), no ano de 1943.
- Conhecido mundialmente apenas como Cesar Lattes.

UFSC UNIVERSIDADE FEDERAL  
DE SANTA CATARINA

Fonte: elaborada pela autora (2021).



Figura 21 - 4° Slide da abordagem da vida e obra de César Lattes

- A ironia era uma característica da sua personalidade, fato que ajuda a compreender os motivos que o levaram a escolha da profissão.
- Segundo ele iria ser professor, porque teria três meses de férias.
- A opção pela disciplina de física justifica-se pelo fato de Lattes ter facilidade com a mesma e não precisar estudar muito.

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 22 - 5° Slide da abordagem da vida e obra de César Lattes

- Outros fatores também contribuíram para sua opção pela disciplina de física, entre elas a influência de seu professor Luís Borello, que lecionava a disciplina de Ciências Físicas e Matemática no Instituto Dante Alighiieri.
- Por ironia do destino seu pai conheceu Gleb Vassielievich Wataghin e falou sobre seu filho.
- Lattes ao conversar com o físico ucraniano ficou sabendo que era possível não fazer o pré-vestibular.
- Cursando assim um ano a menos do ensino médio concluiu a faculdade de física aos 19 anos.

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 23 - 6° Slide da abordagem da vida e obra de César Lattes

- Na sua graduação na FFCL, foi aluno de Wataghin e Guiseppe P.S. Occhialini, em disciplinas profissionais do Curso de Física.
- As aulas de Wataghin e Occhialini eram baseadas em seminários sobre temas publicados em revista especializadas em Física, fato que foi possível graças à excelente biblioteca que Wataghin organizou e manteve sempre atualizada, na FFCL.

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 24 - 7° Slide da abordagem da vida e obra de César Lattes

- Lattes aprendeu bastante sobre a leitura de filmes de raios-X nas aulas ministradas por Occhialini, no seu terceiro ano de curso, fato que se explica pela maneira curiosa que as aulas eram ministradas.
- Tendo Lattes como seu único aluno, as aulas consistiam em fazer seu aluno destrinchar os filmes de raios-X que revelava.
- Occhialini quando parte do Brasil ainda deixa mais um legado para Lattes, que contribui para suas escolhas futuras, uma câmera de Wilson quebrada.

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 25 - 8º Slide da abordagem da vida e obra de César Lattes

- Juntamente com Andrea Wataghin (1926-1984) e Ugo Camerini (1925-2014), jovens físicos, Lattes passou a estudar os chamados raios cósmicos.



Fonte: Museu Laboratório Cavendish Cambridge.

UFSC UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 26 - 9º Slide da abordagem da vida e obra de César Lattes

- Por volta de 1945 Lattes recebeu de Occhialini um novo tipo de detector: as emulsões nucleares.
- Lattes solicita para Occhialini que o leve para trabalhar em Bristol, onde inicia no começo de 1946.
- Inicia-se então sua incorporação ao grupo de pesquisas do físico britânico Cecil Powell.
- Quando chega a Inglaterra Lattes começa a trabalhar em seu projeto pessoal, empregar as emulsões nucleares para o estudo da radiação cósmica.

UFSC UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 27 - 10° Slide da abordagem da vida e obra de César Lattes



Lattes e o Grupo de Bristol

[https://www.researchgate.net/publication/336968191\\_Cesar\\_Lattes\\_-\\_Arrastado\\_pela\\_historia\\_edicao\\_70\\_anos\\_do\\_CBPF](https://www.researchgate.net/publication/336968191_Cesar_Lattes_-_Arrastado_pela_historia_edicao_70_anos_do_CBPF)  
Acesso em: 10/08/2020.

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 28 - 11° Slide da abordagem da vida e obra de César Lattes

- Occhialini entrou de férias, no outono de 1946, e foi passear nos Pirineus. Por solicitação de Lattes levou consigo chapas, com e sem boro, que ficaram expostas aos raios cósmicos, no observatório francês localizado no Pic du Midi, de Bigorre, nos Pirineus.
- Assim que regressa a Bristol ele e Lattes revelam as chapas e juntamente com Powell começam analisá-las.
- Após alguns dias de análise ao microscópio, Marietta kurz, encontrou um raro evento interpretado pelo grupo como um duplo-méson.

Fonte: elaborada pela autora (2021).



Figura 29 - 12° Slide da abordagem da vida e obra de César Lattes

- Em busca de novos resultados Lattes foi para Bristol e teve a ideia de expor as emulsões fotográficas em um lugar mais alto do que já haviam exposto.
- O monte Chacaltava, na Bolívia, a mais de 5.000 metros de altitude, foi o escolhido.
- Lattes deixa Londres num avião brasileiro rumo a América do Sul, trazendo consigo várias chapas de emulsão carregadas de boro.

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 30 -13° Slide da abordagem da vida e obra de César Lattes

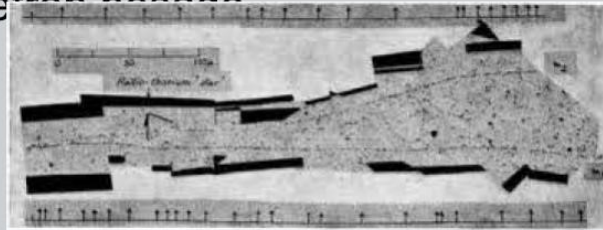


[https://www.researchgate.net/publication/336968191\\_Cesar\\_Lattes\\_-\\_Arrastado\\_pela\\_historia\\_edicao\\_70\\_anos\\_do\\_CBPF](https://www.researchgate.net/publication/336968191_Cesar_Lattes_-_Arrastado_pela_historia_edicao_70_anos_do_CBPF)  
Acesso em: 10/08/2020.

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 31 - 14° Slide da abordagem da vida e obra de César Lattes -

- O grupo de Bristol conseguiu provar a existência de dois mésons: o méson pi, méson, previsto teoricamente por Hideki Yukawa em 1935, responsável pela força forte nuclear e o méson mi, que na verdade seria um elétron neutro.



[https://www.researchgate.net/publication/336968191\\_Cesar\\_Lattes\\_-\\_Arrastado\\_pela\\_historia\\_edicao\\_70\\_anos\\_do\\_CBPF](https://www.researchgate.net/publication/336968191_Cesar_Lattes_-_Arrastado_pela_historia_edicao_70_anos_do_CBPF)  
Acesso em: 10/08/2020.

UFSC UNIVERSIDADE FEDERAL  
DE SANTA CATARINA

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 32 - 15° Slide da abordagem da vida e obra de César Lattes

- Em 1948, Cesar Lattes vai para Berkeley, Califórnia, juntamente com Eugene Gardner (1901-1960), utilizando um acelerador de partículas capaz de produzir píons, por meio da técnica de emulsão nuclear.



[https://www.researchgate.net/publication/336968191\\_Cesar\\_Lattes\\_-\\_Arrastado\\_pela\\_historia\\_edicao\\_70\\_anos\\_do\\_CBPF](https://www.researchgate.net/publication/336968191_Cesar_Lattes_-_Arrastado_pela_historia_edicao_70_anos_do_CBPF)  
Acesso em: 10/08/2020.

UFSC UNIVERSIDADE FEDERAL  
DE SANTA CATARINA

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 33 - 16° Slide da abordagem da vida e obra de César Lattes

- Apesar do reconhecimento da importância do feito histórico da observação do méson pi nem Lattes e nem seus colegas Sakata e Occhialini não receberam o Nobel.
- Receberam o Prêmio Yukawa em 1949 por presumir sua existência e Powell 1950 pela comprovação.
- Não existe um consenso no motivo pelo qual Lattes não recebeu o Nobel.
- Uma versão é de que a política interna do prêmio até o ano de 1960 premiava apenas o chefe da equipe que liderava uma descoberta.

UFSC UNIVERSIDADE FEDERAL  
DE SANTA CATARINA

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 34 - 17° Slide da abordagem da vida e obra de César Lattes

- Outra hipótese de Lattes não ter sido vencedor de um Nobel seria pelo simples fato de ser brasileiro.
- Lattes foi o físico brasileiro com maior número de indicações a um Nobel, foi indicado sete vezes.
- Lattes recebe várias propostas para permanecer trabalhando no exterior, mas resolveu retornar e trabalhar no Brasil.
- Em 1949 fundou o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, com apoio de outros brasileiros dedicados a ciência e alguns políticos.

UFSC UNIVERSIDADE FEDERAL  
DE SANTA CATARINA

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 35 -18° Slide da abordagem da vida e obra de César Lattes

- Lattes colaborou com a criação de grupos de pesquisa em Física;
- Foi diretor científico do CBPF;
- Trabalhou na elaboração da criação do Conselho Nacional de Pesquisas;
- Foi membro de seu conselho deliberativo e implantou juntamente com o professor Ismael Escobar, o laboratório de física Cósmica da Universidade Mayor de San Andrés, na Bolívia.

UFSC UNIVERSIDADE FEDERAL  
DE SANTA CATARINA

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 36 - 19° Slide da abordagem da vida e obra de César Lattes

- Entre as muitas homenagens que Lattes recebeu podemos destacar a plataforma Lattes em 1999 pela CNPq.
- No período que retornou ao Brasil Lattes foi enaltecido como herói nacional na área da ciência e até hoje é dito como o maior físico que já existiu no país.
- As pesquisas na área da física nuclear na época eram de interesse não só de cientista, mas também da indústria e dos militares nacionalistas que tinham interesse de explorar a energia nuclear.


UFSC UNIVERSIDADE FEDERAL  
DE SANTA CATARINA

Fonte: elaborada pela autora (2021).



Figura 37 - 20° Slide da abordagem da vida e obra de César Lattes

- Lattes no Brasil também encontrou momentos difíceis, como o escândalo do desvio de verbas do projeto do acelerador de partículas em 1954.
- Lattes regressa ao Brasil em 1957 e continua seus projetos para fortalecer a educação científica no



Lattes em palestra no auditório do Instituto de Física da USP no início da década de 1960

[https://www.researchgate.net/publication/336968191\\_Cesar\\_Lattes\\_-\\_Arrastado\\_pela\\_historia\\_edicao\\_70\\_anos\\_do\\_CBPF](https://www.researchgate.net/publication/336968191_Cesar_Lattes_-_Arrastado_pela_historia_edicao_70_anos_do_CBPF)  
Acesso em: 10/08/2020.

**UFSC** UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Fonte: elaborada pela autora (2021).

### 3.3 SLIDES PARA ABORDAR A HISTÓRIA DA FÍSICA DE PARTÍCULAS

Figura 38 - Capa da apresentação da abordagem da história da física de partículas

**Campus Araranguá**  
**Mestrado Nacional Profissional em**  
**Ensino de Física**

**O ENSINO DE FÍSICA DE PARTÍCULAS POR MEIO DA**  
**VIDA E OBRA DO FÍSICO BRASILEIRO CESAR LATTES**

Tatiane Pacheco Zanette



**UNIVERSIDADE FEDERAL**  
**DE SANTA CATARINA**

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 39 - 1° Slide da abordagem da história da física de partículas

### A história da física de partículas: do átomo ao pión.

- A ideia de átomo teria sua origem com os gregos Leucipo e Demócrito por volta de 450 a.C. na busca da explicação pela constituição da matéria conhecida no universo.
- Mas suas ideias iam em contrário com as de Aristóteles que defendia que a matéria era formada dos quatro elementos: fogo, terra, ar e água, ideia que foi aceita por mais de 2000 anos.

UFSC UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 40 - 2° Slide da abordagem da história da física de partículas



<http://entendendoquimica.blogspot.com/2012/06/modelo-atmico-de-democrito.html>  
Acesso em: 15/05/2021.



<https://www.omundodaquimica.com.br/academica/atomistica>  
Acesso em: 15/01/2021.

UFSC UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 41 - 3° Slide da abordagem da história da física de partículas

- A ideia da matéria formada por corpúsculos foi retomada no século XVII pelo físico e matemático inglês Isaac Newton.
- Ideia que se tornou popular a partir de 1802, quando John Dalton, químico e conterrâneo de Newton, formulou que tudo era feito de átomos, a menor parte da matéria que não poderia ser dividida.

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 42 - 4° Slide da abordagem da história da física de partículas

- O grande interesse das pesquisas sobre eletricidade daquela época levou ao físico inglês Joseph Thomson concluir através da observação experimental que os raios catódicos eram partículas subatômicas de carga negativa, os elétrons.
- Essa fragmentação do átomo levou Thomson a um modelo atômico que ele descreveu como um pudim, cuja massa por ele considerada positiva estava recheada de ameixas, os elétrons.

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 43 - 5° Slide da abordagem da história da física de partículas

- Dois modelos atômicos dividiam a atenção dos cientistas no início do século XX.
- O modelo de J.J.Thomson, que apresenta o átomo como uma esfera sólida de carga positiva igualmente distribuída, cravado de elétrons que pulsavam em seu interior.
- O modelo de Hantaro Nagaoka que descrevia o átomo como um caroço no centro de carga positiva contornado de anéis de elétrons girando com a mesma velocidade angular, próximo a imagem do planeta Saturno.

UFSC UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 44 - 6° Slide da abordagem da história da física de partículas

- Ernest Rutherford discípulo de Thomson na busca de resolver os problemas com os modelos atômicos apresentados inicia seus experimentos para análise.
- O experimento consistia em bombardear uma lâmina fina de ouro com um feixe de partículas e medir o ângulo. A medida angular do espalhamento dessas partículas apresentavam informações importantes sobre o modelo atômico.
- O experimento que levou Rutherford a contrapor-se ao modelo de Thomson foi realizado em 1911 por Ernest Marsden e Hans Geiger.
- Já era conhecida na época do experimento a existência dos elétrons e que o átomo era neutro.

UFSC UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Fonte: elaborada pela autora (2021).



Figura 45 - 7° Slide da abordagem da história da física de partículas

- Em 1932 Chadwick descobriu a terceira partícula subatômica, o nêutron e o modelo de Rutherford passou a ter um núcleo onde ficam prótons e nêutrons e a eletrosfera onde ficam os elétrons.
- No início do século XX o questionamento sobre a estabilidade do átomo não conseguia ser explicado pela física clássica.
- Na busca para resolver essa questão surge a Mecânica quântica e a ideia de interação forte.

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 46 - 8° Slide da abordagem da história da física de partículas

- Para explicar a estabilidade nuclear o físico japonês Hideki Yukawa em 1935 teoriza que deveria acontecer uma interação semelhante com a interação eletromagnética que é medida pela troca de fótons.
- Em sua teoria, a interação hadrônica ocorre através da troca de uma nova partícula, que ele chamou de méson, palavra de origem grega que convenientemente significa médio.
- Ainda supôs que os mésons tem carga ou podem ser neutros o que possibilitaria a troca necessária entre as partículas nucleares.

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 47 - 9° Slide da abordagem da história da física de partículas

- A partir de 1930 com a detecção de partículas baseado no processo de emulsões fotográficas, tem início uma nova fase, várias partículas elementares foram observadas.
- Em 1946 a equipe de pesquisa de Powell, da qual Cesar Lattes fazia parte, na universidade de Bristol conseguiu comprovar a observação do méson pi na natureza.
- Em 1948, Cesar Lattes vai para Berkeley, Califórnia, juntamente com Eugene Gardner (1901-1960), utilizando um acelerador de partículas capaz de produzir píons, por meio da técnica de emulsão nuclear, conseguiu detectar os primeiros píons em laboratório.

UFSC UNIVERSIDADE FEDERAL  
DE SANTA CATARINA

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 48 - 10° Slide da abordagem da história da física de partículas

- A criação da disciplina de física de partículas elementares é justificada na comprovação do pión de duas maneiras diferentes, pela natureza através das emulsões nucleares e artificialmente no acelerador de partículas.
- O pósitron não conseguiu esse feito por ter sido comprovado apenas para natureza e essa comprovação não foi considerada o suficiente para tal.
- Não podemos esquecer da participação do brasileiro César Lattes nos dois momentos da observação do pión.

UFSC UNIVERSIDADE FEDERAL  
DE SANTA CATARINA

Fonte: elaborada pela autora (2021).

### 3.4 SLIDES PARA ABORDAR A FÍSICA DE PARTÍCULAS

Figura 49 - Capa da apresentação da abordagem da física de partículas



Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 50 - 1º Slide da abordagem da física de partículas

Que imagens são essas que estamos vendo?  
Qual a relação delas com a Física de partículas?

UFSC UNIVERSIDADE FEDERAL  
DE SANTA CATARINA

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 51 - 2º Slide da abordagem da física de partículas

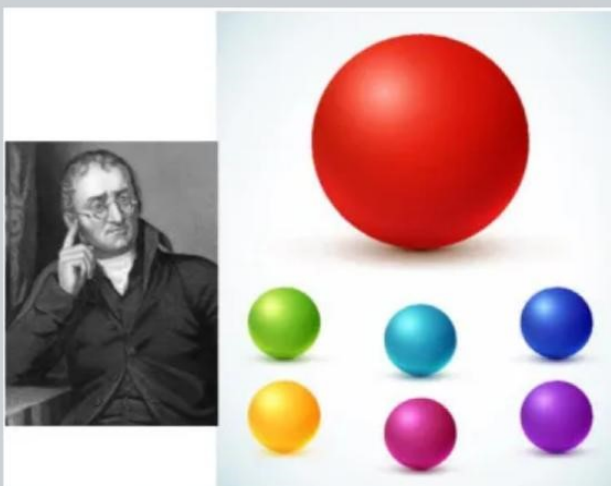
## A ideia do indivisível

- A ideia de átomo teria sua origem com os gregos Leucipo e Demócrito na busca da explicação pela constituição da matéria conhecida no universo.
- A ideia da matéria formada por corpúsculos foi retomada no século XVII por Isaac Newton.
- Em 1802 John Dalton padroniza que tudo era feito de átomos.

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 52 - 3º Slide da abordagem da física de partículas

## ● Modelo atômico de Dalton



<https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/evolucao-dos-modelos-atomicos.htm>  
Acesso em: 15/01/2021.

Fonte: elaborada pela autora (2021).



Figura 53 - 4° Slide da abordagem da física de partículas

## A fragmentação do átomo

- O físico inglês Joseph Thomson concluiu através da observação experimental que os raios catódicos eram partículas subatômicas de carga negativa, os elétrons.
- O modelo atômico de Thomson



<https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/evolucao-dos-modelos-atomicos.htm>

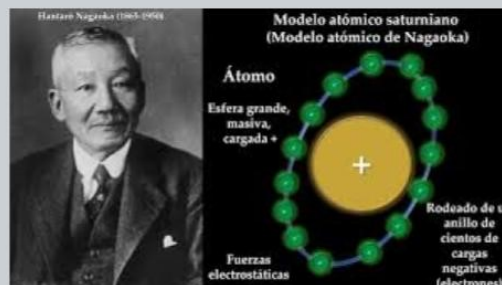
Acesso em: 15/01/2021.

UFSC UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 54 - 5° Slide da abordagem da física de partículas

- Em contrapartida estava o modelo de Hantaro Nagaoka que descrevia o átomo como um caroço no centro de carga positiva contornado de anéis de elétrons girando com a mesma velocidade angular, próximo a imagem do planeta Saturno.



<https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/evolucao-dos-modelos-atomicos.htm>

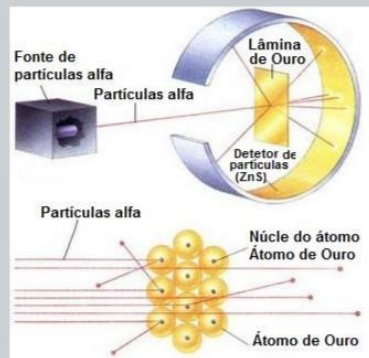
Acesso em: 15/01/2021.

UFSC UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 55 - 6º Slide da abordagem da física de partículas

- Ernest Rutherford discípulo de Thomson na busca de resolver os problemas com os modelos atômicos apresentados iniciou suas para análise.



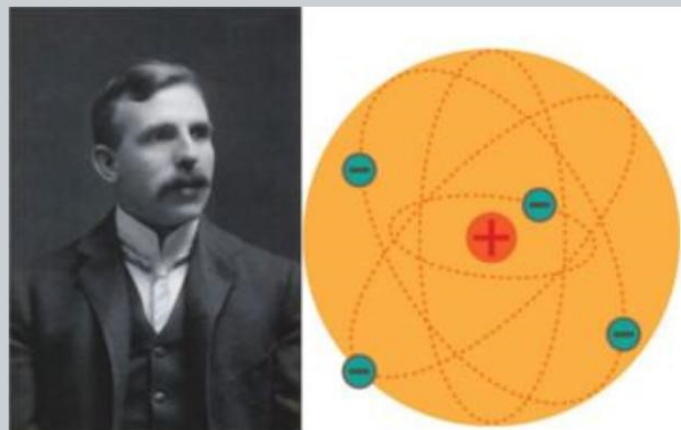
O experimento realizado em 1911 por Ernest Marsden e Hans Geiger.

<https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/evolucao-dos-modelos-atomicos.htm>  
Acesso em: 15/01/2021.

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 56 - 7º Slide da abordagem da física de partículas

- Modelo atômico de Rutherford



<https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/evolucao-dos-modelos-atomicos.htm>  
Acesso em: 15/01/2021.

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 57 - 8º Slide da abordagem da física de partículas

Em 1932 Chadwick descobriu a terceira partícula subatômica, o nêutron e o modelo de Rutherford passou a ter um núcleo onde ficam prótons e nêutrons e a eletrosfera onde ficam os elétrons.

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 58 - 9º Slide da abordagem da física de partículas

- No início do século XX o questionamento sobre a estabilidade do átomo não conseguia ser explicado pela física clássica.
- Na busca para resolver essa questão surge a Mecânica quântica e a ideia de interação forte.
- A força forte age só a nível atômico e é 2000 vezes mais forte que a força eletromagnética porém de curto alcance.
- Ocorre em um raio de cerca de  $10^{-15}\text{m}$ , para distâncias maiores ela praticamente desaparece.

Fonte: elaborada pela autora (2021).

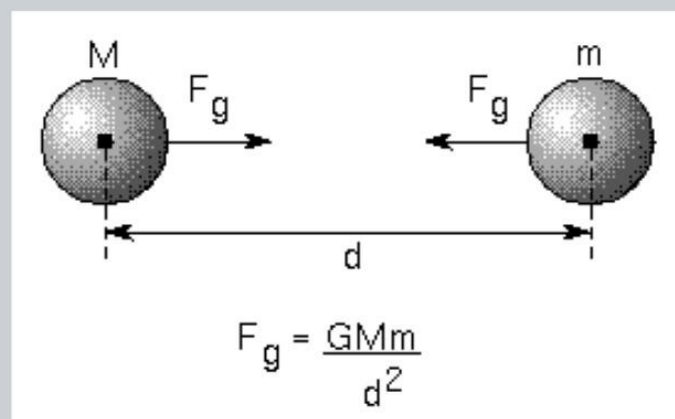
Figura 59 - 10° Slide da abordagem da física de partículas

- Até então eram conhecidas as forças eletromagnética e a gravitacional que não conseguiam explicar porque o átomo se mantinha estável.
- Surge então a explicação da existência de outra força da natureza que agiria em nível átomo, a força forte.
- Atualmente conhecemos quatro forças, também chamadas de interações fundamentais, são elas gravitacional, eletromagnética, nuclear forte e nuclear fraca.

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 60 - 11° Slide da abordagem da física de partículas

## FORÇA GRAVITACIONAL



<http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20032/Humberto/pagina3.htm>

Acesso em: 15/01/2021.

Fonte: elaborada pela autora (2021).



Figura 61 - 12° Slide da abordagem da física de partículas

# FORÇA ELETROMAGNÉTICA

<http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20032/Humberto/pagina3.htm>  
 Acesso em: 15/01/2021.

**UFSC** UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 62 - 13° Slide da abordagem da física de partículas

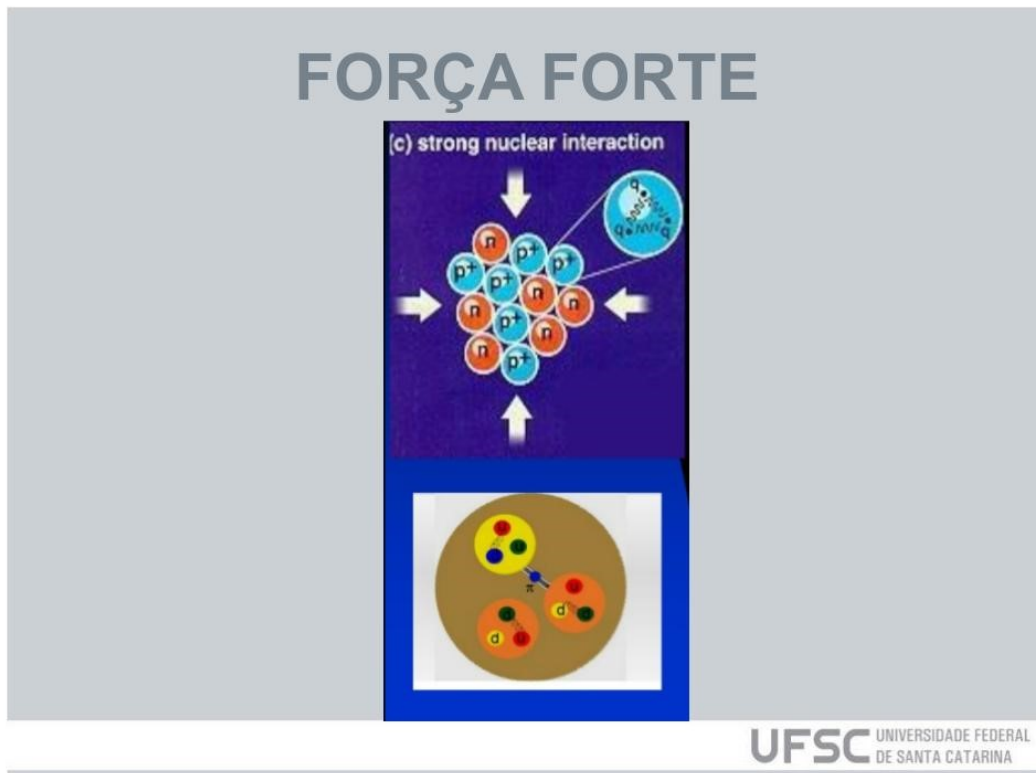
# FORÇA FRACA

<http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20032/Humberto/pagina3.htm>  
 Acesso em: 15/01/2021.

**UFSC** UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 63 - 14° Slide da abordagem da física de partículas




Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 64 - 15° Slide da abordagem da física de partículas

**Como explicar a estabilidade do átomo?**

- Para explicar a estabilidade nuclear o físico japonês Hideki Yukawa em 1935 teoriza que deveria acontecer uma interação semelhante com a interação eletromagnética que é medida pela troca de fótons.



<https://www.britannica.com/biography/Yukawa-Hideki>  
Acesso em: 20/08/2020.

**UFSC** UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 65 - 16° Slide da abordagem da física de partículas

- Em sua teoria a interação hadrônica ocorre através da troca de uma nova partícula, que ele chamou de méson, palavra de origem grega que convenientemente significa médio.
- Supôs que os mésons tem carga ou podem ser neutros o que possibilitaria a troca necessária entre as partículas nucleares.

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 66 - 17° Slide da abordagem da física de partículas

### **Mas o que o César Lattes tem haver com isso?**

- A partir de 1930 com a detecção de partículas baseado no processo de emulsões fotográficas, tem início uma nova fase, várias partículas elementares foram observadas.
- Alguns autores atribuem a criação da disciplina de física de partículas elementares na comprovação do pión de duas maneiras diferentes, pela natureza através das emulsões nucleares e artificialmente no acelerador de partículas.

Fonte: elaborada pela autora (2021).

Figura 67 - 18° Slide da abordagem da física de partículas

## MÉSON PI ( $\pi$ )

É uma partícula mais pesada que o múon e que decai no méson mi e mais uma partícula sem carga, o neutrino do múon, conforme representação a seguir:

$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \text{neutrino do múon.}$

# CAPÍTULO 4

## 4 ROTEIRO DO EXPERIMENTO

Neste capítulo apresentamos o roteiro de experimento que o professor utilizará em sala de aula para aplicação deste produto educacional que se encontram disponíveis no site <https://sites.google.com/view/ensino-de-fisica-de-particulas/in%C3%ADcio>.

### 4.1 ROTEIRO

**Título do experimento:** Câmara de Nuvens

**Conteúdo:** Física de Partículas

**Objetivo:** Observar partículas elementares.

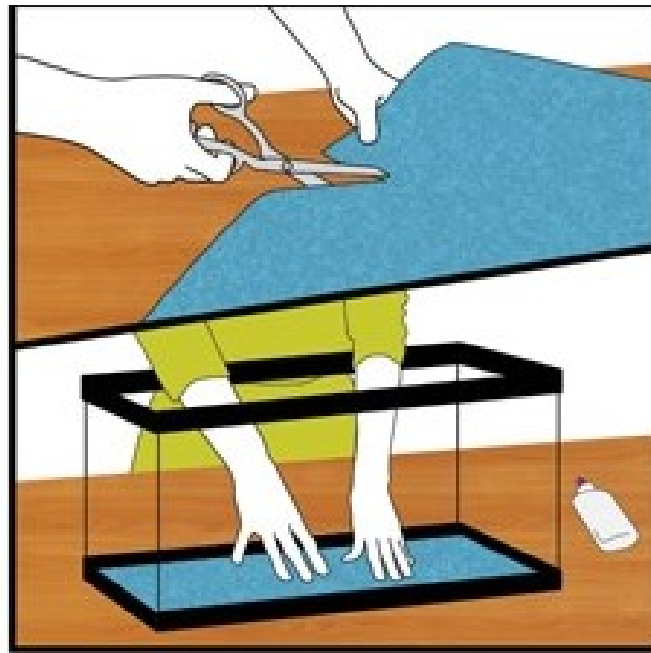
**Material utilizado:**

- Recipiente de acrílico ou vidro em formato retangular (como um aquário) transparente e com tampa de metal ou plástico de cor preta.
- Feltro preto.
- Álcool isopropílico (90% ou mais).
- Gelo seco.
- Caixa de madeira com base maior que o recipiente e laterais com 2 centímetros de altura.
- Isopor.
- Lanterna.
- Luvas de borracha.
- Óculos de proteção.

**Procedimentos:**

1. Corte o feltro para que fique do tamanho do fundo do recipiente e cole o tecido no recipiente. Conforme observamos na Figura 68.

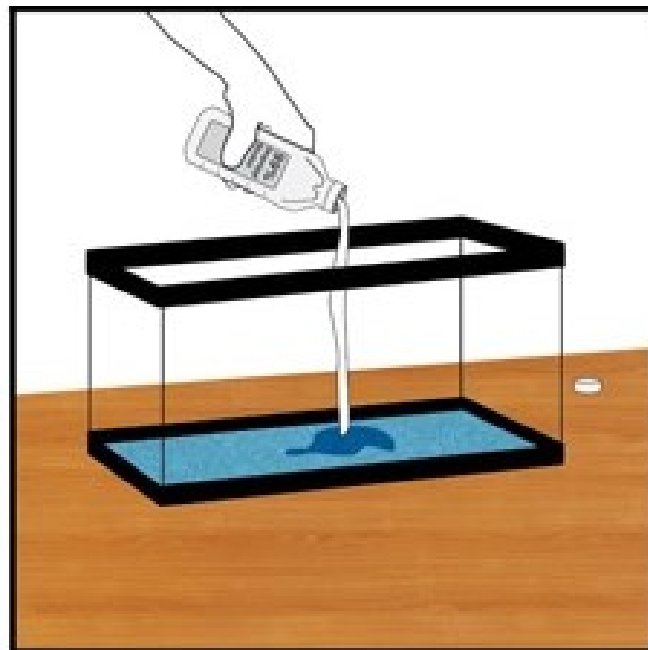
Figura 68 - Corte e fixação do feltro



Fonte: disponível em <https://medium.com/@eltonwade/como-construir-seu-pr%C3%B3prio-detector-de-part%C3%ADculas-b96059decb82>. Acesso em: 15 jun. 2020.

2. Certifique-se que o feltro está fixado no fundo e enxarque o mesmo com o álcool isopropílico. Certifique-se para que o feltro esteja saturado com o álcool porém sem formar poças (não pode pingar ou escorrer pelas laterais), conforme mostra a Figura 69.

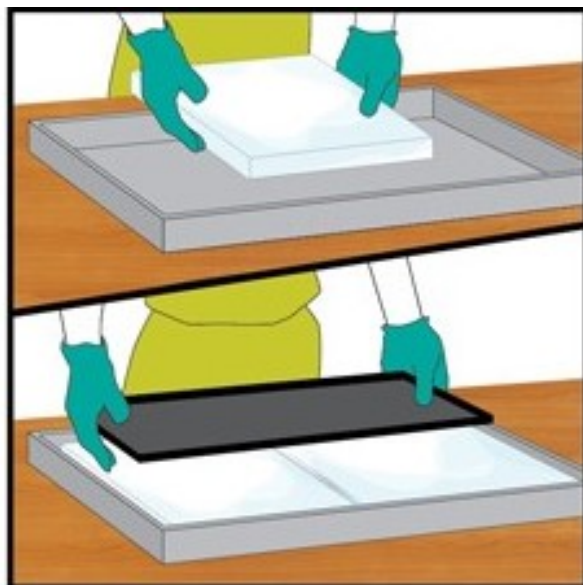
Figura 69 - Aplicação do álcool isopropílico no feltro



Fonte: disponível em <https://medium.com/@eltonwade/como-construir-seu-pr%C3%B3prio-detector-de-part%C3%ADculas-b96059decb82>. Acesso em: 15 jun. 2020.

3. Recorte o isopor para que fique do tamanho do fundo da caixa de madeira e encaixe na caixa. Em seguida coloque o gelo seco em cima do isopor, cubra todo o isopor com gelo. Coloque a tampa do recipiente em cima do gelo seco, de acordo com a Figura 70.

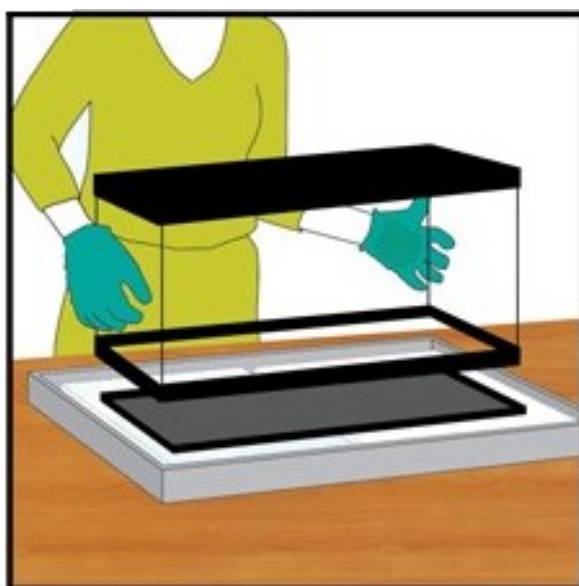
Figura 70 - Posicionamento do isopor, gelo e tampa



Fonte: disponível em <https://medium.com/@eltonwade/como-construir-seu-pr%C3%B3prio-detector-de-part%C3%ADculas-b96059decb82>. Acesso em: 15 jun. 2020.

4. Encaixe o recipiente na tampa. Colocando o recipiente de cabeça para baixo de modo que a parte com o feltro fique para cima, como podemos observar na Figura 71.

Figura 71 - Encaixe do recipiente na tampa

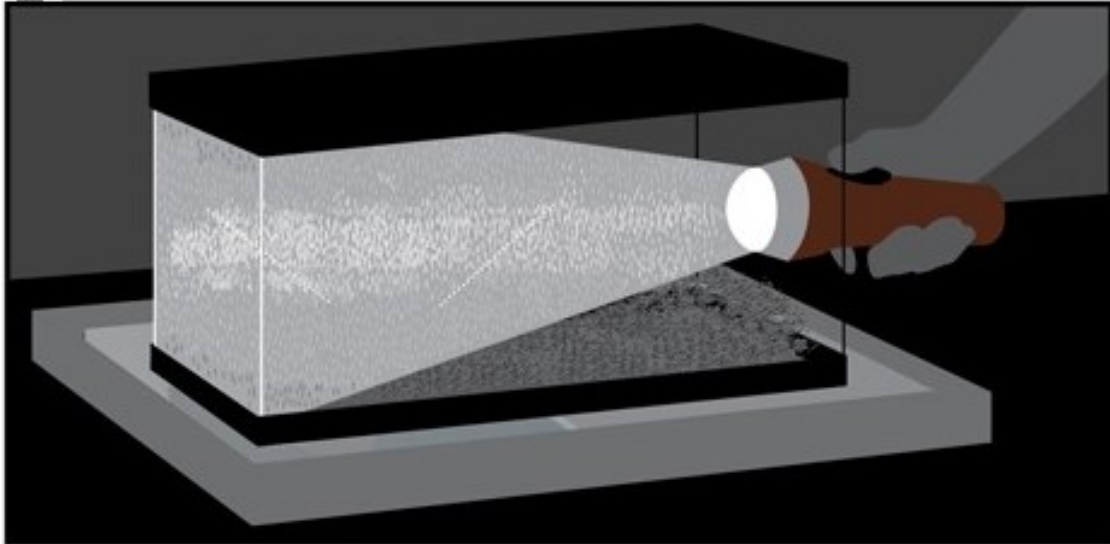


Fonte: disponível em <https://medium.com/@eltonwade/como-construir-seu-pr%C3%B3prio-detector-de-part%C3%ADculas-b96059decb82>. Acesso em: 15 jun. 2020.



5. Aguarde uns 10 minutos, apague a luz e acenda a lanterna em direção ao tanque, conforme observamos na figura 71.

Figura 72 - Lanterna iluminando tanque



Fonte: disponível em <https://medium.com/@eltonwade/como-construir-seu-pr%C3%B3prio-detector-de-part%C3%ADculas-b96059decb82>. Acesso em: 15 jun. 2020.

**Observação:** as luvas e os óculos são materiais de segurança que devem ser utilizados para manusear o gelo e o álcool isopropílico em segurança.



# CAPÍTULO 5

## 5 AVALIAÇÃO SOMATIVA INDIVIDUAL

Neste capítulo abordamos as questões elaboradas para aplicação da avaliação somativa individual.

### 5.1 QUESTÕES DA AVALIAÇÃO SOMATIVA INDIVIDUAL

- 1) Sabemos que a ciência é uma construção humana, cheia de percalços, uma das grandes discussões é sobre a constituição da matéria. No início do século XX alguns modelos atômicos foram descritos por diferentes físicos, disserte sobre eles e suas contribuições para física de partículas?
- 2) A estabilidade do núcleo atômico foi outro mistério que deixou os físicos intrigados e foi motivo de pesquisa, qual foi a explicação encontrada e como encontraram?
- 3) A partir de 1930 várias novas partículas foram observadas, quais as técnicas utilizadas que permitiram tal feito? Como essas técnicas funcionam? E hoje essas técnicas ainda são utilizadas?
- 4) Uma partícula ganhou destaque pela sua importância para física de partículas, qual é essa partícula?
- 5) Qual foi a contribuição de César Lattes para física de partículas? Como a sua pesquisa em física impactou o Brasil?