



FÍSICA NUCLEAR E DE PARTÍCULAS E O FILME HOMEM DE FERRO 2:  
UMA PROPOSTA DE UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE  
SIGNIFICATIVA

Israel Müller dos Santos

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Santa Catarina – Câmpus Araranguá 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:  
Felipe Damasio

Araranguá  
Março de 2019

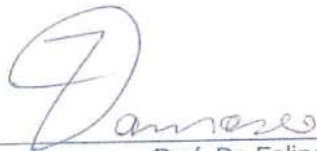
FÍSICA NUCLEAR E DE PARTÍCULAS E O FILME HOMEM DE FERRO 2:  
UMA PROPOSTA DE UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE  
SIGNIFICATIVA

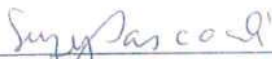
Israel Müller dos Santos

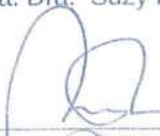
Orientador:  
Prof. Dr. Felipe Damásio

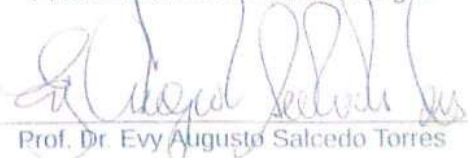
Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal de Santa Catarina, Curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

Aprovada por:

  
Prof. Dr. Felipe Damásio

  
Profa. Dra. Suzy Pascoali

  
Prof. Dr. Bernardo Walmott Borges

  
Prof. Dr. Evy Augusto Salcedo Torres

Araranguá, SC  
março de 2019

## FICHA CATALOGRÁFICA

Müller dos Santos, Israel  
FÍSICA NUCLEAR E DE PARTÍCULAS E O FILME HOMEM DE FERRO  
2 : UMA PROPOSTA DE UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE  
SIGNIFICATIVA / Israel Müller dos Santos ; orientador,  
Felipe Damasio, 2019.  
158 p.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade  
Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá, Programa de  
Pós-Graduação em , Araranguá, 2019.

Inclui referências.

1. . 2. Ensino de Física. 3. Física de Partículas. 4.  
Super-heróis. I. Damasio, Felipe . II. Universidade Federal  
de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em . III. Título.

## **Agradecimentos**

A Deus, pela saúde e força para concluir o mestrado.

A meu pai, que me incentivou a ser um bom profissional e continuamente buscar conhecimento.

A minha mãe, maior estímulo para que eu tivesse confiança em mim mesmo.

A meu irmão, meu melhor amigo e que me fez voltar a perceber o quão recompensadores podem ser a dedicação e o trabalho duro.

Aos meus amigos e colegas de curso, pelas ótimas experiências construídas, amizades estabelecidas e por serem parceiros nas angústias e nas proezas.

Aos preciosos amigos do IFSC, que sempre me motivaram e se dispuseram a me ajudar no que fosse preciso.

A todos os professores do programa, que se esmeram em seu trabalho e com certeza estão dando uma grande contribuição à formação continuada dos docentes da região.

Ao meu orientador, Felipe Damasio, que foi muito mais que isso: um parceiro, amigo e mentor.

A CAPES, pelo apoio financeiro concedido.

Finalmente: a Dani e ao Miguelzinho, razão da minha felicidade e motivo para que eu seja alguém melhor.

*"Sometimes you gotta run before you can walk."  
Tony Stark*

## RESUMO

### FÍSICA NUCLEAR E DE PARTÍCULAS E O FILME HOMEM DE FERRO 2: UMA PROPOSTA DE UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA

Israel Müller dos Santos

Orientador:  
Felipe Damasio

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Santa Catarina – Câmpus Araranguá 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.

A presente pesquisa teve como objetivo a construção de uma sequência didática que proporcionasse a inserção do Universo Cinematográfico Marvel em sala de aula de modo a poder contextualizar a Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. O aporte teórico deu-se baseado na Teoria de Aprendizagem Significativa Crítica, nas Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) e na Epistemologia de Paul Feyerabend. O produto educacional desenvolvido consiste em uma UEPS, cuja implementação em sala de aula foi analisada, e um livro paradidático, que trata do tema a partir de um viés histórico. Como organizador prévio da UEPS foi selecionado o filme Homem de Ferro 2 e o tópico escolhido a ser ensinado foi a Física Nuclear e de Partículas. Como resultado da análise obteve-se indícios do aumento da predisposição em aprender, o caráter potencialmente significativo do material elaborado, a evolução conceitual referente aos conhecimentos abordados e a potencialidade do uso dos filmes de super-heróis para contextualizar Física no Ensino Médio.

Palavras-chave: Ensino de Física, Física de Partículas, Super-heróis.

Araranguá  
Março de 2019

## **ABSTRACT**

### **NUCLEAR AND PARTICLE PHYSICS AND THE MOVIE THE IRON MAN 2: A POTENTIALLY MEANINGFUL TEACHING UNIT PROPOSAL**

Israel Müller dos Santos

Supervisor:  
Felipe Damasio

Abstract of master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação (UFSC – Campus Araranguá) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

This research has aimed at the development of a didactic sequence that afforded the insertion of the Marvel Cinematographic Universe in the classroom as a means to contextualize Modern and Contemporary Physics in high school. The theoretical background was based on the Critical Meaningful Learning Theory, in the Potentially Meaningful Teaching Units (PMTU) and in the Epistemology of Paul Feyerabend. The educational product developed consists of a PMTU, whose implementation in the classroom was analyzed, and also a paradidactic book, that deals with the theme from a historical perspective. The movie Iron Man 2 was selected as an advanced organizer to the PMTU and Nuclear and Particle Physics was the topic chosen to be taught. As a result of the analysis, evidence was obtained on: the increased predisposition to learn, the potentially significant character of the material elaborated, the conceptual evolution on the knowledge addressed, and the potentialities of the use of superhero movies to contextualize Physics in high school.

Keywords: Physics Teaching, Particle Physics, Superheroes.

Araranguá  
Março de 2019

## Sumário

Capítulo 1 Introdução.....	10
Capítulo 2 Revisão Bibliográfica.....	16
Capítulo 3 Fundamentação Teórica .....	19
3.1 Referencial teórico/epistemológico e metodológico .....	20
Capítulo 4 Física de Partículas .....	22
Capítulo 5 Metodologia.....	24
5.1 Seleção e Análise do Filme.....	24
5.2 Desenvolvimento do Produto Educacional.....	25
5.3 Implementação da UEPS .....	27
Capítulo 6 Análise dos Resultados .....	34
6.1 Análise do questionário de concepções prévias .....	34
6.2 Análise do diário de bordo.....	36
6.3 Análise da avaliação somativa individual.....	36
6.4 Análise dos vídeos.....	39
6.5 Análise do questionário final .....	40
6.6 Achados .....	41
Capítulo 7 Considerações Finais .....	42
Referências Bibliográficas .....	46
Apêndices .....	51
Parte A Material Paradidático .....	52
Parte B Material de Apoio ao Professor.....	147



# Capítulo 1

## Introdução

O foco na resolução de problemas por meio de algoritmos matemáticos, a preocupação excessiva com exames e vestibulares e a permanência de conteúdos como conceitos estanques, dando o caráter de Ciência imutável e acabada à Física, já são aspectos criticados na literatura e vem sendo entendidos como nocivos pelos professores em geral (ROSA e ROSA, 2005). Um ensino de Física que vise contextualizar o conhecimento científico a partir da realidade dos alunos é justamente a alternativa que evita que essas práticas sejam levadas à sala de aula.

A experiência diária e a pesquisa na área mostram que uma prática de ensino distante da realidade dos estudantes resulta na falta de motivação e o reforço de concepções equivocadas relacionadas à Ciência (BEZERRA et al., 2009). Assim, entende-se que o aluno deve conhecer a relevância do conteúdo ministrado em sala de aula para sua vida, a fim de construir conhecimento significativo acerca dele. Ademais, a contextualização tende a tornar as aulas de Física mais atraentes, despertando o interesse dos estudantes pelos temas abordados, bem como a curiosidade em torno do mundo que os cerca.

Para alguns conteúdos de Física, contudo, o desafio pode mostrar-se ainda mais crítico. A abordagem de tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) vem sendo sistematicamente apontada pelas pesquisas como uma forma de se alcançar uma modernização e renovação nos conteúdos do ensino médio (SOARES, 2009; MELO, 2014), contudo, pouco disso se reflete efetivamente na sala de aula. Dificuldades de contextualização de alguns saberes podem ser encontradas. Com a Física de Partículas, por exemplo, Lozada e Araújo (2007) conseguiram apontar entre docentes de Física obstáculos epistemológicos e didáticos para sua implementação no ensino médio. Os professores apresentaram preocupação com a assimilação dos conteúdos pelos alunos justamente pela necessidade de contextualização desse conhecimento.

Nesse sentido, Siqueira e Pietrocola (2006) argumentam que a falta de objetos didáticos para a prática de sala de aula que lidem com o tópico de Física de Partículas evidencia que o conteúdo ainda não se tornou, efetivamente, parte

do saber a ser ensinado no ensino médio. Lozada e Araújo (op cit.) conseguiram elencar diferentes iniciativas de inserção do tópico na educação básica, a exemplo de trabalhos já consagrados na área (ABDALLA 2005, 2006; OSTERMANN 1999, 2001); contudo, apontam que o debate sobre o ensino de Física de Partículas no ensino médio ainda está longe de ser esgotado.

Assim, o **problema em aberto** que esta pesquisa se propôs investigar e, também, produzir um produto educacional relacionado, é: *que elementos do cotidiano do alunado do ensino médio permitiriam contextualizar a Física de Partículas?* A **hipótese** que norteará a busca pelas possíveis respostas é que *filmes de super-heróis* podem se traduzir nesses elementos, se explorados pelos docentes numa situação formal de ensino, a exemplo de uma sequência didática.

Por filmes de super-herói entende-se neste trabalho um gênero cinematográfico de fantasia em que os protagonistas são super-heróis. Não se trata de algo novo, havendo exemplares de sucesso desde a década de 1970, mas passaram a apresentar vultoso sucesso, em particular com o público jovem, a partir dos anos 2000. Nesse período, torna-se particularmente relevante apontar o caso da narrativa transmidiática envolvendo os super-heróis da Marvel Entertainment.

A narrativa transmidiática, ou seja, a narrativa que se estabelece por meio da integração de diferentes meios de comunicação, em geral, mídias de massa, como filmes, séries de televisão, histórias em quadrinhos, etc. (TRETTIN e SCHLÖGL, 2014) é muito característica da contemporaneidade. Tem apresentado notório sucesso nesse processo a companhia Marvel Entertainment, atualmente empresa de entretenimento subsidiária da The Walt Disney Company, detentora de um acervo artístico de mais de 8 mil personagens estabelecidos nas mais distintas mídias ao longo de cerca de 70 anos de uma intrincada história (MAIA, 2014). Contudo, fato importante a se destacar é que esses mesmos personagens fazem parte do lazer cotidiano de expressiva parte do alunado do ensino médio, seja por meio de longas-metragens, curtas-metragens, livros, séries de televisão, histórias em quadrinhos, videogames, etc. A Marvel Studios é o ramo de produção audiovisual desta companhia e lida, principalmente, com a produção de filmes dos super-heróis licenciados.

Efetivamente, as duas últimas décadas se consolidaram como uma “Era de Ouro” dos filmes de super-heróis (GONÇALVES, 2017), sendo que a Marvel

Studios tem extrema importância nesse processo. Ao longo da última década, foram lançados pelo estúdio cerca de duas dezenas de longas-metragens no formato *blockbuster*, ou seja, com altos números de venda, altos custos de produção e vultoso retorno financeiro, com bilheterias na faixa das centenas de milhões de dólares, chegando a bilhões de dólares em alguns casos. Esses filmes, exímios exemplares de meios empregados numa narrativa transmidiática que emprega histórias em quadrinhos, filmes, séries de televisão, videogames, dentre outros, integram o chamado Universo Cinematográfico Marvel (TRETTIN e SCHLÖGL, op cit.). Novamente, por estarem amplamente difundidas por jovens no mundo todo e terem temáticas em vários momentos relacionadas à ficção científica, essas narrativas podem ser problematizadas num contexto de ensino formal de Ciências.

Assim, partindo da ideia de que será selecionado um desses filmes pertencente ao Universo Cinematográfico Marvel para ser explorado como facilitador da contextualização de algum conhecimento de Física, deve-se atentar a que conhecimento destina-se, especificamente. Isto se torna importante já que uma das debilidades em trabalhos relacionados à educação científica e tecnológica é relegar o conteúdo científico a um nível inferior (MOREIRA, 2004). Filmes em que o personagem *Incrível Hulk* figura podem ser utilizados para problematizar a interação de radiação com a matéria, tendo em vista que esta é a origem dos poderes do super-herói; o filme *Thor* (2011) permitiria discutir a Física envolvendo os buracos de minhoca; já a produção *Homem-Formiga* (2015) propiciaria uma inserção no mundo quântico, haja vista, novamente, as características dos poderes do super-herói. Neste mestrado, o filme escolhido é *Homem de Ferro 2* (2010).

Para além de uma sinopse detalhada do enredo do filme, pretende-se destacar aqui a principal passagem da trama que justifica sua escolha. O personagem Tony Stark, identidade do super-herói Homem de Ferro, encontra problemas no uso do núcleo de geração de energia de sua armadura, fonte de seus poderes. Esse núcleo de geração de energia – que não tem seu funcionamento devidamente explicado no filme, mas funcionaria baseado em fenômenos nucleares – é alimentado por um elemento químico que está contaminando o corpo de seu usuário, o próprio Tony Stark. Assim, para suprir essa necessidade de um substituto ao elemento usado, o inventor acaba por “criar

um novo elemento”. Apesar de inusitado e caricato, tal episódio permite inserir num contexto de ensino formal de Física questões como “o que é necessário para criar um novo elemento químico?”, ou mesmo “o que distingue os diferentes elementos químicos?” Desse modo, torna-se evidente que os conteúdos possíveis de serem abordados estão relacionados à Física Nuclear e de Partículas – a saber, a transmutação de elementos químicos e as partículas elementares, constituintes da matéria. Note-se que se optou por incluir a denominação *Nuclear* dado o vasto intervalo de energia envolvendo os fenômenos possíveis de serem abordados a partir das perguntas geradas com o filme.

Esse episódio também permite contextualizar uma possível abordagem explícita de história e filosofia da ciência. Na obra cinematográfica apresenta-se um cientista isolado da sociedade que, sozinho e de forma mirabolante, faz “descobertas”. Logo, visualiza-se aqui como uma abordagem epistemológico-histórica pode problematizar esses mitos e discutir como a Ciência é uma construção humana que envolve um contexto sócio-histórico-cultural amplo. Essa ideia é digna de particular atenção no delineamento da concepção ampla de educação que enseja essa dissertação, a saber, o *ensino subversivo*, proposto por Postman e Weingartner (1978).

Almeja-se uma educação que prepare os alunos para lidar com a sociedade contemporânea, caracterizada pela mudança cada vez mais rápida de valores, conceitos, tecnologias, etc. Postman e Weingartner (op cit.) caracterizaram-na como subversiva, na medida em que seu propósito é completamente distinto do que o que se percebe na escola – tanto na de sua época, quanto na atual. Enquanto deveria se dedicar a promover nos educandos, de maneira crítica, conceitos atuais como os de probabilidade, incerteza, relatividade, incongruência, etc., contribuindo para a formação de cidadãos com personalidades inquisitivas, questionadoras, tolerantes e criativas, o que a educação contemporânea tem feito é justamente reforçar o oposto. Os conhecimentos trabalhados são considerados “verdades certas e rígidas” e “emanam” da autoridade do professor como entidades isoladas, causas simples e identificáveis, estados e “coisas” fixas (MOREIRA, 2005). A esses ensinamentos da escola tradicional Postman e Weingartner (op cit.) chamam de conceitos fora de foco e, ao propor uma atitude subversiva no ensino, indicam uma ruptura com essas práticas, de modo a contribuir para a formação de

sujeitos que não sejam subjugados por sua cultura, permitindo-os participar e ao mesmo tempo refletir acerca dela.

Assim sendo, este trabalho teve como **objetivo geral** a construção de uma sequência didática que proporcionasse a inserção do Universo Cinematográfico Marvel 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.

Foram adotados referenciais teóricos, educacionais, metodológicos e epistemológicos consistentes, devidamente articulados e coerentes. A falta destes também é uma debilidade existente apontada em parcela significativa dos trabalhos envolvendo educação científica e tecnológica (MOREIRA, 2005).

O referencial teórico adotado baseia-se no que Moreira (2005) propõe como base para o ensino subversivo, a aprendizagem significativa crítica. Remete à *Teoria de Aprendizagem Significativa* de Ausubel (1980), ou TAS, da qual compartilha de suas premissas com relação à interação das ideias na estrutura cognitiva dos sujeitos, mas ainda indica promovê-la de maneira crítica, ou seja, de forma que os conhecimentos a serem construídos sejam relevantes ao aprendiz, para que ele possa lidar

[...] construtivamente com a mudança sem deixar-se dominar por ela, manejar a informação sem sentir-se impotente frente a sua grande disponibilidade e velocidade de fluxo, usufruir e desenvolver a tecnologia sem tornar-se tecnófilo (MOREIRA, 2005).

Seguindo essa fundamentação, é possível estabelecer a relação entre *para que* ensinar Física e *como* fazê-lo, ou seja: de maneira a tornar o ensino de Física compatível com a ideia de educação subversiva, deve-se privilegiar uma aprendizagem significativa crítica na escola. Os princípios que sustentam essa teoria dão indicativos de como o professor pode ou não proceder de modo a promover esse processo em situações formais de ensino. Em consonância com esses elementos, Moreira (2011) propõe, de forma a manter coerência com a Teoria de Aprendizagem Significativa Crítica, a construção de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS), que é o referencial metodológico adotado neste trabalho. Com base nos aspectos sequenciais da UEPS, foi

possível planejar o material instrucional usado em sala de aula, bem como avaliá-lo.

Com relação ao referencial epistemológico, a escolha deu-se pela epistemologia de Paul Feyerabend. A opção se fez pela intenção de se afastar de uma visão cumulativa da Ciência, podendo abordá-la como uma construção humana coletiva. A visão relativista do epistemólogo permitiu fundamentar o uso da história e filosofia da Ciência na UEPS para fomentar discussões e reflexões em sala de aula sobre o trabalho dos cientistas e suas relações com os respectivos contextos sociais e culturais em que estão inseridos (TEIXEIRA, XAVIER e DAMASIO, 2017), de modo que os três referenciais escolhidos estão articulados e são coerentes entre si (DAMASIO e PEDUZZI, 2018).

Com base nesses referenciais, a dissertação está organizada em capítulos que contemplam a execução dos seguintes **objetivos específicos**: (i) selecionar um filme do Universo Cinematográfico Marvel, discriminando o tópico de Física Moderna e Contemporânea relacionado; (ii) realização de uma revisão bibliográfica, de modo a buscar subsídios para a execução do projeto; (iii) elaborar o produto educacional, nesse caso, material potencialmente significativo baseado nos pressupostos teóricos que orientam o trabalho, o que culminará na apresentação de uma UEPS e de um livro paradidático; (iv) aplicar a UEPS em sala de aula; (v) avaliar o projeto e refletir acerca de perspectivas futuras. Espera-se poder identificar indícios de que o uso do filme selecionado permitiu contextualizar a Física Nuclear e de Partículas em sala de aula e que o material construído mostrou-se potencialmente significativo, proporcionando condições para a aprendizagem significativa crítica, bem como desenvolvendo a predisposição em aprender.

## Capítulo 2

### Revisão Bibliográfica

A fim de identificar indícios de possíveis caminhos a se seguir na pesquisa, foi realizada uma revisão bibliográfica baseada nos seguintes periódicos: *A Física na Escola*, *Alexandria*, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, *Experiências em Ensino de Ciências* e *Revista Brasileira de Ensino de Física*. A escolha por essas publicações se deu por sua relevância para área, seja atribuída por pesquisadores, seja por docentes – impactando numa alta classificação por parte das instituições avaliadoras. O período utilizado como base compreende o último decênio (de 2008 a 2018) e os indicadores usados foram: ensino de tópicos de Física Nuclear e de Partículas; uso de filmes no ensino de Física; e uso de super-heróis no ensino de Física.

Schappo (2010) indica a dificuldade em abordar pedagogicamente uma Física que permeia reatores nucleares dados os problemas em representar esses fenômenos macroscopicamente. Além disso, discute a importância da compreensão da construção de modelos para o entendimento do empreendimento científico e apresenta o formalismo do modelo da gota líquida para o núcleo atômico, de modo a expandir os conhecimentos dos professores de Física interessados.

A partir de um estudo de caso, Vidal e Rezende Filho (2010) mostram que, em se tratando de gêneros audiovisuais, professores de Ciências em geral selecionam para fins didáticos os documentários, evitando obras de ficção. Trata-se de mais uma motivação para explorar a hipótese apresentada neste trabalho. Também Chaves (2012) aponta que espaços de mídia constituem-se como lugares de formação tanto como escolas ou a família e, assim, sugere narrativas cinematográficas para fomentar o debate sobre a visão de Ciência na sociedade. Rezende e Struchiner (2009) verificaram que tradicionalmente o audiovisual no Ensino de Ciências tem seguido uma tendência que privilegia o ensino centrado no professor e a transmissão acrítica de conhecimentos, situação incompatível com a concepção de escola subversiva aqui defendida. Para além das mídias audiovisuais, mas também pertinente ao tema, Silva e Costa (2015) colocam as histórias em quadrinhos como ótimo exemplo de relação entre mídia

e sociedade, também indicando que a integração entre diferentes linguagens das mídias de massa e práticas pedagógicas pode potencializar e democratizar a constituição de conhecimentos e valores.

Diversos trabalhos tem ressaltado a importância em se ensinar tópicos de Física Moderna e Contemporânea no ensino médio, que se tornou um campo de pesquisa em ensino bem consolidado nas últimas duas décadas. Silva e Almeida (2011), ao realizar uma revisão sobre o que dizem as pesquisas a respeito do ensino de Física Quântica, mostram que tem se tornado cada vez mais consensual a pertinência em se abordar tais temas no ensino médio. Além de diversas propostas didáticas, também tem sido publicados textos de apoio ao professor e materiais de divulgação em geral que buscam oferecer subsídios aos docentes para a inserção de tais tópicos no ensino formal. Contudo, ainda indica que mais contribuições à área devem ser realizadas, na forma de futuros trabalhos destinados aos docentes.

Baseados na sua importância política e tecnológica para a sociedade, Souza e Dantas (2010) apresentam propostas de temas relacionados à fenomenologia nuclear a serem debatidos a nível conceitual no ensino médio: decaimento alfa e transmutação nuclear, decaimento beta, Efeito Möessbauer, força nuclear forte, fissão nuclear, enriquecimento de urânio, reatores nucleares e fusão nuclear. A transmutação de elementos também figura no trabalho de Cordeiro e Peduzzi (2014), de modo a problematizar a questão da descoberta científica e demais aspectos relacionados à história e natureza da ciência, numa perspectiva interdisciplinar.

A iniciativa com maiores semelhanças à proposta deste trabalho (TEIXEIRA, XAVIER e DAMASIO, 2017) consistiu num projeto que utilizou ficção científica, episódios da série Jornada nas Estrelas, para explorar conceitos científicos e a natureza da ciência em escolas da educação básica. Material potencialmente significativo foi elaborado e utilizado em sala de aula, os episódios foram apresentados e discutidos, uma página educativa virtual foi elaborada para disponibilização de material e, por fim, o projeto foi avaliado. Considerou-se que os indicativos foram de que o material foi realmente considerado potencialmente significativo e que os episódios foram efetivos em despertar a predisposição em aprender. Trata-se de procedimentos que podem



inspirar em linhas gerais uma metodologia para explorar o filme escolhido neste trabalho em sala de aula.

Por fim, os trabalhos de Pinheiro e Costa (2009) e Calheiro e Garcia (2014), tratam de resultados de implementação de sequências didáticas voltadas ao Ensino de Física de Partículas, no segundo caso, explicitamente se tratando de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, ou UEPS (MOREIRA, 2011). Em ambos os casos foram utilizados mapas conceituais e demais estratégias que priorizassem a construção ativa de conhecimento pelos alunos, respeitando os pressupostos já citados da TAS. Também são pertinentes indicativos de como deve se embasar metodologicamente a proposta didática a ser considerada neste trabalho.

Assim, o principal achado dessa revisão é o de que não foi encontrado, nessa coleta de informações, nenhum trabalho que integrasse todos os três eixos. Indica-se, assim, o ineditismo da proposta deste trabalho e seu valor enquanto pesquisa em ensino de Física.

## Capítulo 3

### Fundamentação Teórica

Para Moreira (2009), pesquisar é produzir conhecimentos dentro de um marco teórico, metodológico e filosófico, e que estes sejam articulados. Isso exige uma interação contínua entre o domínio metodológico e teórico. Uma preocupação manifestada por Moreira (2004) é em relação ao conteúdo específico das ciências, que segundo o autor, deve sempre estar presente na pesquisa em ensino de ciências. O autor destaca que um ponto frágil de muitas pesquisas é que seus autores relegam o conteúdo científico a um nível menos importante em suas pesquisas.

Uma das preocupações deste trabalho é não diminuir a importância do conteúdo de Física dentro das atividades desenvolvidas. Por isto irá apresentar a seguir aspectos que foram discutidos a fundo no trabalho, que estão relacionados à Física de Partículas e nuclear.

De acordo com Moreira (2009), é importante que professores e pesquisadores da área de ensino de Física tenham consciência da necessidade de um marco epistemológico para a pesquisa em ensino de ciência, até porque pesquisas têm mostrado que a visão de professores e alunos sobre o conhecimento científico tem efeito sobre o seu ensino-aprendizagem. Nesta perspectiva, a pesquisa em educação científica necessita de um aporte epistemológico articulado e coerente com o educacional e metodológico. O autor aponta como uma das debilidades em trabalhos na área, justamente pesquisas sem referencial teórico, epistemológico e metodológico adequado e coerente. Inclusive, aponta para um grande número de estudos sem marco teórico ou com um suposto aporte que não se articula com o objeto estudado.

Devido a isto, a pesquisa se pautou em referenciais teóricos que trabalhos recentes sugeriram serem adequados e complementares. 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). Neste sentido, mostra profícuo descrever, mesmo que de maneira superficial, como tais referenciais se articulam, não se pretendendo fazer uma discussão profunda, até porque, isto não consistiu como objetivo dessa dissertação.

### 3.1 Referencial teórico/epistemológico e metodológico

Moreira (2005) entende como aprendizagem significativa crítica àquela que permite à pessoa fazer parte de sua cultura e, ao mesmo tempo, estar fora dela. Por meio desta aprendizagem, se pode fazer parte de seus costumes e não ser subjugado por seus ritos, mitos e ideologias. É por meio dessa aprendizagem que se poderá lidar construtivamente com a mudança, sem se deixar ser dominado por ela, manejando a informação sem se sentir impotente perante sua grande disponibilidade e velocidade. Também ajudará a usufruir e desenvolver a tecnologia sem se tornar tecnófilo.

A Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica não foi pensada e construída como uma proposta didática, mas sim como uma sugestão de uma série de princípios facilitadores para se criar um ambiente em que possa se construir este tipo de aprendizagem. Eles são onze: 1) Princípio do conhecimento prévio, 2) Princípio da interação social e do questionamento por meio do ensinar/aprender perguntas ao invés de respostas, 3) Princípio da não centralidade do livro de texto, 4) Princípio do aprendiz como perceptor/representador, 5) Princípio do conhecimento como linguagem, 6) Princípio da consciência semântica, 7) Princípio da aprendizagem pelo erro, 8) Princípio da desaprendizagem, 9) Princípio da incerteza do conhecimento, 10) Princípio da não utilização do quadro-de-giz/da participação ativa do aluno/da diversidade de estratégias de ensino e 11) Princípio do abandono da narrativa.

Nem sempre uma abordagem epistemológica da Ciência pode ajudar a promover um ambiente em que possa se construir a aprendizagem significativa crítica. Visões racionalistas de ciência podem ajudar a aprendizagem em ciência a continuar a ser mecânica em alguns casos, significativa em poucos, mas nunca crítica. Segundo Damasio e Peduzzi (2015), visões de ciência relativistas, como a de Paul Feyerabend, são coerentes e complementares com o objetivo de uma educação que visa formar pessoas inquisitivas, flexíveis, criativas, inovadoras, tolerantes e liberais. Segundo os autores, a postura relativista enseja ao estudante aprender ciência e, concomitantemente, poder ser crítico a ela, pois não é mais vista como certeza de uma verdade fixa e indubitável.

Em relação ao referencial metodológico, trata-se das Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS), que são sequências de ensino fundamentadas, sobretudo, na Teoria da Aprendizagem Significativa (MOREIRA, 2011). Logo, ela se mostra coerente e articulada, tanto com o referencial teórico educacional como com o epistemológico.

## Capítulo 4

### Física de Partículas

O conteúdo específico de Física a que esse dedica esta dissertação é a Física Nuclear e de Partículas. Trata-se de um ramo da Física (ou dois, a depender de como se dividam os campos do conhecimento da Física) que estuda os constituintes básicos da matéria, ou seja, as partículas subatômicas, bem como suas interações. São consideradas elementares aquelas às quais não correspondem estruturas menores. Os fenômenos estudados envolvem altos níveis de energia, acima da faixa de *megaelétron-volt*, podendo ser até várias ordens de grandeza acima disso.

As pesquisas envolvendo partículas elementares<sup>1</sup> culminaram numa estrutura hoje conhecida como Modelo Padrão. Trata-se de caracterizar e organizar as partículas elementares conhecidas e identificadas experimentalmente, totalizando 61 no ano de 2018. Hoje permite cientificamente a compreensão de toda a matéria detectada experimentalmente, embora ainda haja problemas em aberto, como questões relacionadas à supersimetria ou matéria escura (MOREIRA, 2009).

Essencialmente, as partículas que constituem o modelo padrão são categorizadas como férmions, que possuem spin semi-inteiro ( $1/2, 3/2, 5/2\dots$ ) ou bósons, que possuem spin inteiro ( $0, 1, 2\dots$ ). O spin é uma propriedade essencialmente quântica, que não possui correspondente clássico, mas poderia ser associado a um momentum angular intrínseco das partículas. Decorre também da natureza dessas partículas que os férmions são responsáveis por constituir a matéria, enquanto os bósons são mediadores das interações fundamentais: gravitacional, eletromagnética, nuclear forte e nuclear fraca. Desse modo, tomou-se no produto educacional e nesta dissertação este último critério para classificação das partículas elementares enquanto bósons e férmions. Uma consequência dessa escolha é que, para fins de simplificação, o spin não é uma propriedade física abordada nessa proposta, mas deve ser levado em consideração em uma versão científica estritamente rigorosa do Modelo Padrão – o que não é o objetivo do produto educacional.

---

<sup>1</sup> O desenvolvimento histórico da compreensão da constituição da matéria, que consiste em séculos de investigação, encontra-se descrito no Apêndice – Parte A.

Os férmions podem ser léptons ou quarks. Os léptons são: elétron, neutrino do elétron, múon, neutrino do múon, tau e neutrino do tau – além de suas antipartículas. As antipartículas são simétricas em relação as suas correspondentes, tendo a mesma massa, spin e paridade, mas carga elétrica e outros números quânticos (bariônico, leptônico, estranheza) opostos. Estes números quânticos são importantes em situações nas quais se observam algumas conservações, comuns em fenômenos da Mecânica Quântica, mas o mais usual é afirmar “uma antipartícula tem a mesma massa e spin da partícula em questão, porém carga oposta” (MOREIRA, 2004). Assim, são 12 léptons no Modelo Padrão.

Os quarks são as partículas que constituem hádrons e, diferentemente dos léptons, não foram identificados isolados, mas somente em estados ligados. Três quarks formam bárions (como o próton e o nêutron), um quark e um antiquark formam mésons (como o pión e o káon). São os quarks do Modelo Padrão: up, down, charm, strange, top, bottom e suas respectivas antipartículas. Contudo, na natureza, cada um destes quarks possui versão em três cores diferentes. Cor, neste contexto, em nada tem a ver com a acepção cotidiana do termo; esse é o nome dado a mais uma propriedade física da matéria, relevante na descrição do mecanismo da interação nuclear forte. Desse modo, são 36 os quarks no Modelo Padrão.

Os bósons são partículas mediadoras das interações fundamentais. Diferentemente dos férmions, elas são suas próprias antipartículas. Para a interação eletromagnética, há o fóton; para a interação nuclear forte, há oito tipos de glúons; para a interação nuclear fraca, existem os bósons  $W^+$ ,  $W^-$  e  $Z^0$ . No caso da força gravitacional, a partícula teoricamente prevista seria o grávitron, mas não houve detecção experimental desse bóson, de modo que não há comprovação de sua existência e ele não integra o Modelo Padrão. O último bóson a integrar o grupo é o bóson de Higgs, responsável pela mediação do campo de Higgs, mecanismo pelo qual se justifica a existência de massa das partículas. Assim, no Modelo Padrão existem 13 bósons confirmados. Com estes últimos, contemplam-se as 61 partículas elementares, por meio das quais os cientistas, atualmente, compreendem a composição do que hoje sabemos ser uma pequena parcela (aproximadamente 4% em massa) do universo. A maior

parte seria constituída por energia escura e matéria escura, ainda com conhecimento teórico e empírico não tão bem estabelecidos na Física.

## Capítulo 5

### Metodologia

Articulando os referenciais selecionados, a metodologia adotada consistiu nas seguintes etapas: (i) selecionar um filme do Universo Cinematográfico Marvel, discriminando o tópico de Física Moderna e Contemporânea relacionado; (ii) realização de uma revisão bibliográfica, de modo a buscar subsídios para a execução do projeto; (iii) elaborar o produto educacional, nesse caso, material potencialmente significativo baseado nos pressupostos teóricos que orientam o trabalho, o que culminará na apresentação de um livro paradidático e de uma UEPS; (iv) implementar a UEPS em sala de aula; (v) avaliar o projeto e refletir acerca de perspectivas futuras. Há capítulos nesta dissertação dedicados a segunda e quinta etapas – de acordo com a ordem supracitada –, enquanto as demais estão contempladas nas seções deste capítulo.

#### 5.1 Seleção e Análise do Filme

Dado o grande destaque que as produções do Universo Cinematográfico Marvel possuem, não foi difícil dispor de uma quantidade significativa de filmes passíveis de análise. Devido a grande repercussão da série Homem de Ferro, já havia sido realizada, no princípio do projeto, a decisão pelo filme Homem de Ferro 2. Após a escolha foi feita uma revisão minuciosa dos dois primeiros filmes da série para buscar cenas e contextos a serem explorados buscando uma contextualização do tema em sala de aula. Assim, pareceu útil e profícua a apresentação do filme integralmente para a turma, num primeiro momento, e, ao longo das aulas de Física previstas, reproduzir algumas partes que foram selecionadas para a discussão *de* e *sobre* ciência. Apesar de se tratar uma história independente, o segundo filme dessa série faz referência ao primeiro em vários momentos, já que neste consta a origem do herói. Desse modo, nessa etapa do projeto, optou-se por passar a trabalhar com ambos os filmes: Homem de Ferro (2008) e Homem de Ferro 2 (2010), mas principalmente com este último.

A escolha por esses filmes, novamente, não se deu de forma arbitrária. São exemplos de cenas que demonstram as potencialidades para a abordagem da Física Nuclear e de Partículas: as em que o personagem Tony Stark apresenta e discute seu problema com o elemento químico paládio; aquela em que ele constrói um modelo para um novo elemento químico; aquela em que, por meio da construção de um acelerador de partículas, produz o novo elemento. Além disso, existem questões pertinentes à natureza da Ciência pertinentes ao debate, como a relação entre Ciência e Tecnologia ou o caráter bélico de alguns avanços científicos.

## **5.2 Desenvolvimento do Produto Educacional**

Dados os desafios, necessidades e indicativos encontrados na etapa de revisão bibliográfica, optou-se por elaborar uma proposta de produto educacional que consiste em duas partes. A primeira (Apêndice – Parte A) trata da escrita de um livro paradidático de possível abrangência tanto a professores, quanto a alunos ou mesmo ao público em geral. A carência de materiais paradidáticos que abordem o tema justifica a importância do desenvolvimento desse tipo de produção (OSTERMANN e MOREIRA, 2000). A segunda (Apêndice – Parte B) consiste numa UEPS que utiliza o filme selecionado, o Homem de Ferro 2, como organizador prévio para a abordagem do tema em sala de aula – intimamente ligada a hipótese que norteia a pesquisa. Embora o conhecimento de Física Nuclear e de Partículas esteja presente em ambos os materiais, o segundo consiste, em outras palavras, numa sequência didática, material de passível aplicação direta em sala de aula e posterior avaliação enquanto potencialmente significativo.

Nesse sentido, convencionou-se designar a UEPS por Material de Apoio ao Professor, tomando o livro por Material Paradidático, de modo que ambos estão relacionados, mas são independentes. Essa organização tem fundamento no fato de que os momentos previstos na UEPS estão ligados ao texto presente nos capítulos do livro, mas o professor poderá aplicá-la sem uma leitura detalhada, utilizando-se de outros recursos, inclusive outras referências bibliográficas. Da mesma forma, o livro é justamente paradidático para poder contemplar diferentes contextos: o professor pode explorá-lo para suprir lacunas de livros didáticos (MEIGID NETO e FRANCALANZA, 2003), bem como simplesmente



aprimorar seus conhecimentos ou indicar como leitura para seus alunos, além do público em geral poder encará-lo como um texto de divulgação.

Não há menção aos filmes no Material Paradidático, haja vista que ele consta como proposta de contextualização do tópico no Material de Apoio ao Professor, servindo como organizador prévio. Contudo, a elaboração de ambos teve como base a perspectiva construção histórica do conhecimento científico, já apresentada neste trabalho como uma importante forma de abordagem contextualizada e crítica da Física, em acordo com a epistemologia de Feyerabend. Desse modo, o livro poderá ser usado como bibliografia, por exemplo, por professores que desejem abordar a Física Nuclear e de Partículas em sala de aula sem necessariamente recorrer ao uso deste filme em específico para contextualizar o tema. Entretanto, conseguiriam fazê-lo sem deixar de lado os aspectos históricos relacionados ao desenvolvimento desse conhecimento.

Para o desenvolvimento do livro, foram consultadas diferentes bibliografias que abordassem o tema do átomo às partículas elementares em diferentes aspectos. Os materiais que de alguma forma contribuíram para a redação desse texto estão presentes na seção de Bibliografia do Apêndice – Parte A. Ao final, obteve-se uma narrativa capaz de iniciar instigando o leitor acerca da composição do mundo que o cerca e finalizar contemplando o Modelo Padrão e as partículas que o integram, passando pelo trabalho de diferentes físicos que contribuíram como a construção deste conhecimento.

Seguindo o estabelecido por Moreira (2011), a sequência didática presente no Material de Apoio ao Professor teve como base os aspectos sequenciais e princípios da UEPS, utilizando além do conteúdo presente nos capítulos do livro. Para poder elaborá-la, foi necessário pesquisar em diversos *sites* e outras fontes materiais tais como vídeos e experimentos adequados aos momentos previstos para as aulas. Privilegiaram-se experimentos de baixo custo e práticas facilmente reproduzíveis em sala de aula em diferentes contextos. Incluiu-se o uso de uma página *HTML* contendo uma simulação computacional desenvolvida previamente como projeto de uma das unidades curriculares do Mestrado Profissional em Ensino de Física – Atividades Computacionais para o Ensino de Física.

Também foram criadas cinco apresentações de *slides* referentes aos momentos de exposição dialogada do conteúdo, preferencialmente norteados por

questões abertas que proporcionassem reflexão por parte dos alunos. A primeira trata de uma inserção ao mundo atômico, suas escalas e a origem da ideia do atomismo; a segunda abrange a evolução dos modelos atômicos até o início do século XX, bem como o princípio do descobrimento de partículas subatômicas; a terceira aborda as ideias relativas às interações fundamentais do Universo; a quarta caracteriza o período por volta de meados do século XX em que diversas partículas já haviam sido descobertas; por fim, a quinta, consolida Modelo Padrão das Partículas Elementares, apresentando a forma atual como estão categorizadas.

A coletânea de materiais desenvolvidos (slides de aulas, questionários e avaliações aplicadas, roteiros de atividades) encontra-se disponível no *site* <https://sites.google.com/view/homemdeferromnpef>. O acesso pode ser aproveitado tanto por professores quanto por alunos: os primeiros com a possibilidade de aplicar a proposta em suas turmas, realizando as devidas adaptações, de modo que os materiais se encontram em modo editável – à exceção do livro paradidático; os últimos com a oportunidade de explorar os recursos disponibilizados, aprendendo mais sobre o tema de forma proativa.



**Figura 1.** Site produzido para hospedagem e divulgação dos materiais desenvolvidos nesta dissertação.

### 5.3 Implementação da UEPS

A sequência didática foi aplicada numa turma de terceiro ano composta por 33 estudantes, no segundo semestre de 2019, no Instituto Federal de Santa Catarina – Câmpus Araranguá.

O primeiro encontro foi dedicado à apresentação dos filmes Homem de Ferro e Homem de Ferro 2. Os alunos se mostraram muito entusiasmados com a ideia de assisti-los. A maior parte da turma alegou que não tinha visto ainda ambos os filmes, embora tivesse interesse no gênero e conhecesse o personagem principal de outras produções. Por esse lado, a opção por apresentar os dois filmes se mostrou acertada. Por outro aspecto, o tempo disposto em sala de aula não foi suficiente para assistir integralmente ambos os filmes, de modo que cerca de 10 minutos de cada filme foram subtraídos no momento da apresentação. Esse fato não prejudicou o entendimento da trama ou mesmo a abordagem dos trechos importantes para a contextualização da Física Nuclear e de Partículas nas aulas que se seguiram. Contudo, houve impacto para alguns alunos, que relataram posteriormente querer assistir os filmes integralmente.

Ao término desse encontro, os alunos dispuseram de 30 minutos para poder responder a um questionário para sondagem de concepções prévias. Esse questionário, bem como demais materiais referenciados no relato de implementação da UEPS, como roteiros para as práticas descritas, constam no Apêndice – Parte B. Além disso, todos os materiais necessários à implementação da proposta constam no *site*. Respondendo a essas questões, vários estudantes mostraram-se confusos com relação à pergunta “Como se construiu a teoria que explica as partículas elementares e como elas podem ser classificadas?” Os alunos relataram não ter familiaridade com o termo *partículas elementares*. As respostas a esses questionários permitiram planejar as discussões das aulas posteriores, privilegiando a abordagem das concepções prévias dos alunos, conforme sugere a Teoria de Aprendizagem Significativa Crítica.

O segundo encontro destinou-se a elencar as principais questões nos filmes referentes aos elementos químicos e oportunizar uma inserção no mundo atômico. Isso se fez através da atividade “Repartindo o Bolo”, em que os deveriam repartir um pedaço de bolo pela metade, em sucessivas divisões, tantas quantas fossem possíveis. Os alunos mostraram-se muito envolvidos com a atividade. Houve menção a ela nas aulas seguintes, no sentido de os estudantes questionarem se haveria algum momento com comida novamente. O número de vezes em que as duplas conseguiram repartir o bolo ficou entre 12 e 20 vezes. O dado de que, para um pedaço de bolo semelhante, seriam necessárias cerca de 90 divisões para atingir a escala atômica espantou boa parte dos estudantes. Foram

usadas então várias analogias de modo a fazer a turma perceber quão pequenos e quão numerosos são os átomos. Apesar de em suas falas eles apresentarem vários conhecimentos referentes à natureza atômica da matéria, como a existência de prótons, nêutrons e elétrons, essas noções referentes a escalas pareceram surpreendê-los bastante. Foi possível perceber que antes um conhecimento abstrato passou a ter alguma base concreta para eles, mesmo que em nível comparativo.

Da mesma forma, os alunos em suas respostas aos questionamentos propostos pelo professor acerca dos elementos químicos, a iniciar pela contextualização proporcionada pelo filme, conseguiram apresentar vários conhecimentos prévios, como, por exemplo, alguns aspectos referentes à tabela periódica ou a predominância de carbono na matéria orgânica, relacionando com os ingredientes que compõem o bolo. No momento de discutir a evolução dos modelos atômicos, também apresentaram em suas falas algumas concepções básicas, como as raízes gregas do atomismo, mas pormenores relacionados à evolução da ideia de átomo não fazia parte do conhecimento prévio manifestado por eles, a exemplo da introdução por Dalton dos “átomos compostos”, atualmente entendidos como moléculas. Dado que a aula foi finalizada abordando o modelo de Thomson, houve um importante indício de que alunos estavam atentos e participando. Ao descrever o experimento com a Ampola de Crookes, utilizado para a descoberta do elétron, um aluno conseguiu identificar de que partícula se tratava antes que essa informação lhe tivesse sido dada. Ao saber como se dava a deflexão dos raios catódicos num campo elétrico, pôde inferir que se tratava de elétrons.

No terceiro encontro pode-se prosseguir discutindo avanços na compreensão da composição da matéria desenvolvidos no início do século XX. Ao trabalhar o experimento de Geiger-Marsden, que proporcionou a Rutherford a base empírica para formulação de seu modelo atômico, foram desenvolvidas duas práticas. A primeira consistiu numa atividade envolvendo um experimento de baixo custo realizado com base no trabalho de Siqueira e Pietrocola (2010). Nela os alunos participaram ativamente, testando suas hipóteses e discutindo entre si diferentes formas de investigar a forma geométrica de seu grupo, haja vista que o objetivo é descobrir o contorno de uma peça oculta, podendo “sondar” isso com o auxílio de bolinhas de gude. Os grupos prontamente

identificaram que a melhor maneira de realizar a investigação seria a partir das trajetórias das bolinhas lançadas contra as formas. Apesar de haver bastante discussão entre os membros de cada grupo, algo almejado de acordo com os princípios da UEPS, cada um deles conseguiu identificar qual o contorno de sua placa, alcançando o objetivo da atividade.



**Figura 2.** Desenvolvimento da atividade envolvendo o análogo mecânico macroscópico do espalhamento de partículas alfa.

Houve indícios positivos de que a turma pôde entender a analogia entre a prática realizada e o experimento de espalhamento de partículas alfa. Para melhorar ainda mais o entendimento do fenômeno, foi possível explorar com a turma a simulação computacional do experimento desenvolvida pelo autor. Este material também está disponibilizado no *site* e consiste na simulação da trajetória de partículas alfa lançadas contra um núcleo de um átomo escolhido pelo usuário. O tempo exíguo permitiu apenas a manipulação da simulação pelo professor, de acordo com a discussão realizada concomitantemente com os alunos. Contudo, a página apresenta potencial para ser utilizada pelos alunos de forma independente; por exemplo, num laboratório de informática com a supervisão do professor.

Por fim, nessa mesma aula, fenômenos relacionados à radioatividade e transmutação dos elementos foram explorados, a partir da discussão dos trabalhos dos cientistas no início do século XX, a exemplo de Rutherford, Chadwick, Lattes, Gell-Mann e outros, buscando expor uma versão de Ciência construída coletivamente. Com o conhecimento dos fenômenos de fusão e fissão nuclear, apresentaram-se os mecanismos que dão origem aos elementos presentes na natureza, decorrentes predominantemente de processos no interior das estrelas. Os processos nucleares espontâneos chamaram muito a atenção dos

alunos, que, em boa parte, não estavam familiarizados com a ideia de um núcleo atômico “se transformar em outro”. Acerca disto, a reprodução da fala de um aluno é pertinente: “os alquimistas não estavam tão errados”.

No quarto encontro, a fim de um aprofundamento da discussão acerca da estabilidade nuclear e os fenômenos de decaimento, foi realizada uma exposição dialogada sobre as interações fundamentais com o auxílio de vídeos. A introdução da força nuclear forte foi realizada a partir do questionamento: como pode ser possível o núcleo atômico ser estável, dado que há repulsão elétrica entre os prótons? Após uma discussão na turma, foi aparente consenso de que os nêutrons, de alguma forma “neutralizariam” a repulsão, embora os alunos não soubessem explicar como isso aconteceria, de modo que permaneceram muito intrigados. Até o momento em que um deles comentou “a menos que exista outra força...”, ideal para que o professor apresentasse o mecanismo proposto por Yukawa, posteriormente revisto por Murray Gell-Man para a interação forte. Com relação à interação fraca, alguns alunos também se mostraram surpresos com a emissão beta, havendo a manifestação de um questionando “então sai um elétron do núcleo?” Com o passar das aulas, o aumento da curiosidade dos estudantes pelo tema foi se mostrando cada vez mais perceptível.

No quinto encontro, passamos a discutir da Física de Partículas desenvolvida a partir da década de 30 do século XX. A diversidade de partículas descobertas nesse período surpreendeu mais uma vez os alunos, que sequer cogitavam a sua existência. Somente dois estudantes indicaram já ter lido algo sobre *quarks*, mas não conseguiram fornecer mais detalhes além do fato de que, segundo eles, “tudo é feito de *quarks*”. Foram exploradas várias técnicas científicas, como as câmaras de bolhas e de nuvem, que possibilitaram a descoberta do pósitron. Ao serem confrontados com a ideia de antipartículas, alguns alunos questionaram acerca dos eventos ocorridos na obra *Anjos e Demônios* (filme de 2009 baseado em livro homônimo), em que é construída uma bomba de antimatéria. Coincidentemente (ou não), o trecho do filme em que há a “detonação” dessa bomba já estava selecionado para apresentação em sala de aula para contextualizar esse tópico. Foi possível discutir a impossibilidade nos dias atuais da construção de tal artefato, haja vista a dificuldade em se produzir antimatéria na escala necessária para isso. Passando para o desenvolvimento das pesquisas envolvendo raios cósmicos, a vida e obra

de César Lattes foi apresentada brevemente em sala, ao que a turma se mostrou bastante curiosa e entusiasmada. A questão das indicações ao prêmio Nobel, ainda hoje, suscitou várias reflexões acerca da importância dessas premiações e as condições em que ocorrem. A aula foi finalizada indicando-se a necessidade de categorização dessa variedade de partículas descobertas a partir da década de 30, questão a ser respondida no próximo encontro.

No sexto encontro, foi introduzida a ideia de *quark*, mediante a apresentação da contribuição de Murray Gell-Mann para a Física de Partículas. Reunindo todas as partículas já conhecidas, foi possível explorar a classificação do Modelo Padrão, percebendo em qual cada uma delas se enquadra, que novas partículas foram propostas e identificadas e o que distingue cada uma das categorias. A turma assistiu a vídeos acerca do tema, em particular sobre o Grande Colisor de Hádrons, ou *LHC*. Ao tratar do acelerador de partículas, pudemos retornar ao filme *Homem de Ferro 2*, discutindo os equívocos conceituais presentes na cena em que o personagem constrói uma versão de um acelerador de partículas em sua própria residência. Alguns alunos puderam identificar vários equívocos, como: o tamanho do acelerador retratado, a representação do feixe de partículas, a rapidez com que foi construída, a precisão dos instrumentos empregados e o fato de o personagem ter logrado sucesso trabalhando sozinho. Esse último aspecto é particularmente interessante, haja vista que se pretende construir com os alunos uma visão de ciência colaborativa, fugindo da concepção de trabalhos isolados desenvolvidos por alguns grandes gênios.

Por fim, foi realizada uma prática envolvendo um jogo, em que os alunos deveriam adivinhar termos a partir de respostas (sim ou não) para as questões que eles mesmos elaborariam. Os termos propostos, tais como *próton*, *nêutron*, *Rutherford*, *partícula alfa*, *bóson*, *fóton*, *méson pi*, *interação forte* e outros tratavam de assuntos trabalhados ao longo dessas aulas. Grande parte da turma se mostrou muito entusiasmada ao participar da atividade. Com o decorrer das rodadas, foi possível perceber que o nível de sofisticação das perguntas aumentava. Enquanto nos primeiros turnos os alunos se dedicavam a descobrir a *palavra*, com o tempo passaram a se concentrar no *conceito*. Por exemplo, no início foi comum perguntas como “começa com m?”; após algumas rodadas,

tornaram-se mais comuns questionamentos como “é uma partícula?”, “é uma partícula *elementar*?”, “tem no átomo?” “possui massa?” etc.

No sétimo encontro foi realizada uma avaliação somativa individual. Consistiu numa prova de questões dissertativas, o que é um pré-requisito do referencial teórico para não buscar indícios de aprendizagem mecânica, mas significativa. Os alunos puderam utilizar como consulta um mapa conceitual, previamente elaborado por eles, a ser entregue no final da avaliação junto à prova.

No oitavo encontro, tratamos de revisar os principais pontos discutidos e refletir acerca do desenvolvimento da Física de Partículas. Ao longo das aulas, ao se depararem com partículas que nunca tinham ouvido falar e que apenas são identificadas em situações muito específicas, os alunos apresentaram muitas perguntas como “essas partículas existem mesmo?”, “elas tem alguma utilidade?”, “são usadas em alguma tecnologia?”, “por que os cientistas pesquisam isso?” Esses questionamentos oportunizam um ambiente propício para discussões acerca da natureza da Ciência. Assim, foi planejada uma atividade em grupo que pudesse promover a reflexão e o debate. A turma foi dividida previamente em grupos, que tiveram três semanas para produzir vídeos que, neste último encontro, seriam apresentados e debatidos. O tema de cada vídeo deveria ser a Física de Partículas, de acordo com o recorte que cada grupo quisesse escolher, ou seja, poderiam explorar os aspectos que achassem mais relevantes. Além disso, os vídeos deveriam conter a resposta para dois questionamentos: “por que estudar Física de Partículas?” e “por que fazer Ciência?” A maior parte dos grupos apresentou produções condizentes com a proposta, ressaltando diferentes visões da Ciência, o que proporcionou um debate bastante produtivo. Por fim, foi aplicado um questionário final a fim de coletar as impressões dos estudantes acerca da aplicação do projeto, desde o uso do filme até o estudo da Física de Partículas.



## Capítulo 6

### Análise dos Resultados

Foram utilizados como fonte de dados para uma análise qualitativa dos possíveis avanços do projeto os seguintes recursos: diário de bordo, participação dos alunos no desenvolvimento das atividades e interesse demonstrado pelo conteúdo, repostas obtidas por meio dos questionários, assim como por via das atividades avaliativas.

A análise qualitativa teve como base a Teoria Fundamentada de Strauss. De acordo com Strauss e Corbin (2009), uma teoria fundamentada deriva indutivamente do estudo do fenômeno que busca representar. Portanto, é descoberta, desenvolvida e provisoriamente verificada por meio de sistemática coleta e análise de dados. Análise e teoria, assim, tem relação recíproca entre si.

Assim, a Teoria Fundamentada propõe que é possível obter uma ordenação conceitual a partir da descrição dos dados. Desse modo, as variáveis de investigação foram: (i) houve evolução conceitual em conceitos de física associados ao estudo de Física Nuclear e de Partículas?; (ii) houve uma aproximação das ideias sobre Ciência com a moderna Filosofia da Ciência?; (iii) houve um aumento na predisposição em aprender dos alunos? e; (iv) o filme escolhido cumpriu o papel de contextualizar a Física Nuclear e de Partículas em sala de aula?

Não se objetiva realizar generalizações com essa análise de dados, é preciso considerar contexto em que os resultados foram coletados. O *fenômeno de interesse* refere-se a se houve evolução conceitual com relação ao tópico Física Nuclear e de Partículas. O *principal impacto* a ser investigado é a possibilidade de a UEPS contribuir no processo de educação científica e tecnológica aliada a ideia de ensino subversivo.

#### 6.1 Análise do questionário de concepções prévias

O questionário de concepções prévias<sup>2</sup> foi composto por sete perguntas discursivas, aplicado imediatamente após a apresentação dos filmes. As questões versavam predominantemente sobre elementos químicos. De forma geral, os

---

<sup>2</sup> Vale ressaltar que este, bem como os demais materiais referidos ao longo dessa dissertação, encontram-se disponíveis no site <https://sites.google.com/view/homemdeferromnpef>. Além disso, questionários e roteiros de atividades são Anexos da UEPS (Apêndice – Parte B).

alunos demonstraram conhecimento prévio satisfatório acerca do tema, pelo menos no que se refere a aspectos básicos tradicionalmente trabalhados na unidade curricular de Química.

Com relação ao que são elementos químicos, as respostas foram diversas: alguns tratam da composição da matéria, como em “são elementos que compõem os materiais presentes na natureza”; outros relacionaram à ideia de átomo, como em “são diferentes conjuntos de átomos encontrados na natureza”; houve ainda aqueles que citaram a tabela periódica, afirmando, por exemplo, “são elementos da tabela periódica”. São respostas, em princípio, cientificamente adequadas, mas que abordam parcialmente o conceito de elemento químico.

Quando inquirida acerca do que são formados os elementos químicos, a maior parte da turma conseguiu identificar as partículas “elétrons, prótons e nêutrons”. Já quando a pergunta era se todas as partículas da natureza são encontradas nos elementos químicos, novamente a maior parte afirmou que sim. É possível perceber que, provavelmente, a ideia predominante era a de que as únicas partículas menores que o átomo são os elétrons, prótons e nêutrons.

As três perguntas seguintes estavam relacionadas: uma questionava como se descobre ou fabrica um elemento químico, outra inquiria sobre como trabalham os cientistas na descoberta ou fabricação dos elementos químicos e a posterior perguntava de onde vêm os elementos químicos. As respostas foram, em geral, vagas e superficiais, para as três. Boa parte dos alunos apresentou a ideia de que é necessário estudo e pesquisa por parte dos cientistas para a criação de elementos artificiais e que existem também elementos encontrados na natureza, mas não se aprofundaram para além disso. Somente dois alunos citaram o processo de fusão nuclear e outro abordou o Big Bang.

A última questão perguntava como se construiu a teoria que explica as partículas elementares e como elas podem ser classificadas. Nesse caso, houve uma grande parcela de alunos se resumindo a responder “Não sei”. No próprio momento da aplicação do questionário os estudantes se mostraram confusos com essa pergunta, refletindo o quão pouco o tema é abordado explicitamente – em sala de aula ou fora dela.

## **6.2 Análise do diário de bordo**

Como pode se perceber pelo relato de implementação da UEPS, com o decorrer das aulas os alunos foram se mostrando cada vez mais participativos e interessados pelo tema. As suas falas em sala passaram a apresentar mais perguntas que demonstravam curiosidade pelo tema, além de respostas coerentes aos questionamentos propostos pelo professor e de acordo com uma visão da ciência como construção colaborativa. Algumas questões levantadas pelos próprios estudantes foram tão sofisticadas que até mesmo demandaram mais pesquisa por parte do professor.

Pode-se afirmar, pela postura dos alunos demonstrada em sala, demonstrando interesse pelo conteúdo e motivação para desenvolver as atividades planejadas, que a abordagem se mostrou eficiente no tocante a pré-disposição em aprender. Até mesmo alguns alunos que em geral não participavam das aulas de Física se apresentavam instigados a explorar o tema e participavam das discussões.

## **6.3 Análise da avaliação somativa individual**

Como material para consulta durante a realização da avaliação somativa individual, os alunos foram orientados a elaborar previamente um mapa conceitual referente à Física de Partículas, que são “diagramas indicando relações entre conceitos, ou entre palavras que usamos para representar conceitos” (MOREIRA, 2012). As produções da turma, em sua maioria, poderiam ser encaradas como diagramas ou esquemas; mas, de acordo com o que Moreira (op cit.) propõe, não apresentaram um elemento essencial para caracterizá-las como mapa conceitual. Os conceitos representados figuravam com conexões, mas as linhas que estabeleciam essas ligações entre eles não continham palavras-chave, impossibilitando a sondagem do tipo de relação que o sujeito estabeleceu entre os conceitos. Desse modo, essa atividade serviu para os alunos como “resumo” das ideias que consideravam principais para a realização da atividade avaliativa. Porém, torna-se difícil tecer considerações acerca da aprendizagem significativa dos conceitos, haja vista que não se identificam, por exemplo, os processos de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa nas estruturas dos materiais produzidos – os “mapas conceituais”.

A primeira questão da avaliação tinha um enunciado intimamente relacionado ao filme e questionava: (a) que tecnologia é usada na produção de novos elementos químicos e por que são instáveis; (b) que processos naturais espontâneos podem gerar diferentes elementos químicos e; (c) que inconsistências e equívocos o filme apresentava. De modo geral, as respostas apresentaram alguns elementos em comum. A maior parte dos alunos conseguiu identificar (a) os aceleradores de partículas como a tecnologia usada para geração de novos elementos e sua massa ou energia como fator de instabilidade. Também elencaram (b) as estrelas como principal mecanismo de formação de elementos químicos na natureza. As principais inconsistências encontradas no filme (c) abordam o processo de como o personagem produziu um novo elemento químico – a exemplo de “o aparelho no qual Stark estava tentando produzir novas partículas era muito pequeno, os aceleradores de partículas reais tem quilômetros de diâmetro”. Num sentido mais amplo, aceleradores de partículas podem ter apenas alguns centímetros de extensão, mas aqui se entende que os estudantes fizeram menção a experimentos como o LHC, abordados nas aulas.

A segunda questão estava relacionada a avanços realizados no início do século XX devido a experimentos envolvendo a sondagem da matéria por meio da incidência de partículas alfa. A quase totalidade dos alunos citou o experimento que proporcionou resultados a Rutherford para a proposição de seu modelo atômico – a saber, o experimento de Geiger-Marsden. Um estudante explicitamente relacionou sua resposta a uma prática realizada em sala: “como nós fizemos jogando as bolinhas formava qual formato era a madeira”. Contudo, alguns ainda responderam que “cientistas como Rutherford e Chadwick descobriram partes do átomo (prótons e nêutrons nesse caso) por meio da transmutação artificial (...)”.

A terceira pergunta estava relacionada ao núcleo atômico. Perguntava (a) a justificativa para a massa atômica que excede a massa dos prótons combinados – haja vista que a detecção do nêutron aconteceu anos após a do próton – e (b) qual a solução para o problema da estabilidade nuclear, sabendo que existe a repulsão elétrica entre prótons. A maior parte da turma conseguiu identificar os nêutrons como resposta para o primeiro item (a) da questão e a interação nuclear forte para a segunda (b). Contudo, neste último caso, o grau de profundidade foi

ora menor, apenas citando a força, ora maior, colocando-a como “uma das 4 interações fundamentais”, por exemplo.

A quarta questão, problematizada a partir de um trecho de uma reportagem referente ao filme “Anjos e Demônios”, perguntava (a) o que é antimatéria e por que pode ser retratada no filme com tamanho poder destrutivo, e (b) se é factível o receio de uma bomba de antimatéria. Com relação ao primeiro item (a), a maior parte dos alunos respondeu satisfatoriamente apontando que “a antimatéria é constituída pela mesma massa que a matéria, no entanto apresenta carga oposta”, ou ainda que “matéria e antimatéria não coexistem; quando se encontram geram uma grande explosão que transforma massa em energia”. Referente ao segundo item (b), vários alunos apontaram que não, já que “armas de antimatéria não existem (apenas na ficção), é muito difícil produzir antipartículas, e quando são produzidas nos aceleradores de partículas é em pequeníssima escala”.

Na quinta pergunta, questionava-se por que elétrons são considerados partículas elementares, enquanto prótons e nêutrons não o são. A maior parte dos alunos, em grau de maior ou menor sofisticação, conseguiu apresentar em sua resposta o conceito de partícula elementar, indicando, por exemplo, que “são indivisíveis, os prótons e os nêutrons não se encaixam nessa premissa, sendo constituídos por quarks que são partículas elementares”.

Na sexta questão, um trecho de uma reportagem fazia referência a César Lattes sem mencionar seu nome, sendo requerido que o estudante pudesse relacionar o contexto do enunciado ao cientista e apresentasse sua contribuição para o desenvolvimento da Física de Partículas e para o desenvolvimento científico no Brasil. A quase totalidade conseguiu reconhecer que se tratava de Lattes, mencionando, dentre outros aspectos que “foi o primeiro e único, até então, brasileiro chegar perto de ganhar o Nobel (...)”, ou ainda que “ajudou a descobrir o ‘méson pi’, e ele foi responsável pela criação do CNPq”.

Na sétima pergunta, questionou-se qual a diferença entre férmions e bósons. A maior parte das respostas apresentava a interpretação abordada durante as aulas, de que “basicamente os férmions são as partículas que constituem a matéria, e os bósons são as partículas que transmitem as forças”. A convenção adotada no meio científico é a de nomear férmions como partículas de spin semi-inteiro e bósons como partículas de spin inteiro, usando o princípio

de exclusão de Pauli como critério de caracterização. Apesar disso, as respostas apresentadas pelos alunos podem ser consideradas cientificamente aceitas, haja vista que o spin *não* foi uma propriedade contemplada nas aulas, afim de não incrementar a complexidade do tema. Ainda assim, contudo, alguns alunos apresentaram em sua resposta a diferenciação das partículas pelo número quântico do spin, dando indícios de que se interessaram pelo tema de modo a pesquisar em outras referências.

Na oitava questão, um trecho de reportagem fazia menção ao Grande Colisor de Hádrons (LHC) e era solicitado aos alunos que dissertassem sobre o experimento, abordando sua importância e seus princípios de funcionamento. A grande parte das respostas caracterizou-no satisfatoriamente, usando sentenças como “seu principal objetivo é obter dados sobre colisões de feixes de partículas, tentando explicar a origem da massa das partículas elementares”.

#### **6.4 Análise dos vídeos**

Do ponto de vista do conteúdo de Física de Partículas presentes nos vídeos, basicamente houve dois tipos de abordagens nos trabalhos produzidos pelos grupos – com dois a quatro integrantes. Houve aqueles que se dedicaram a apresentar o Modelo Padrão, caracterizando as partículas elementares e em alguns casos até mesmo trazendo novas informações. Outros grupos preferiram utilizar a narrativa da evolução da compreensão da matéria, abordando, por exemplo, os diferentes modelos atômicos e as contribuições de cientistas com o passar dos tempos, até tratar do Modelo Padrão. A preponderância desse último tipo de abordagem mostra indícios de que parte significativa da turma conseguiu identificar a importância da compreensão do contexto de produção do conhecimento científico para sua apropriação.

No que diz respeito à resposta à pergunta “Por que estudar Física de Partículas”, a maior parte dos alunos fez menção ao fato de que no futuro novas tecnologias podem ser desenvolvidas advindas desse conhecimento. Contudo, ao responderem a questão “Por que fazer Ciência?” e socializarem suas produções em sala, a diversidade de opiniões suscitou um debate muito produtivo. A maior parte dos alunos conseguiu atribuir à Ciência valores como a procura por respostas sobre a natureza, a curiosidade humana ou mesmo a busca da

felicidade. Houve, contudo, aqueles que atrelaram a importância do desenvolvimento científico com a produção de tecnologia, exclusivamente.

Dessa forma, estabeleceu-se uma discussão mais abrangente, com estudantes citando como modelos de mercado influenciam o progresso científico de diferentes países ou como a falta de conhecimento científico por parte da população em geral acaba fazendo com que não deem a devida importância a esse tipo de questão. As reflexões apresentadas pelos alunos se mostraram de modo exitoso em acordo com o referencial teórico adotado para essa proposta.

## **6.5 Análise do questionário final**

A primeira questão perguntava qual a opinião dos alunos sobre o uso de filmes de super-heróis em aulas de Física, em particular nas aulas ministradas. De modo geral, o retorno dado nas respostas foi muito positivo, com os alunos alegando que se trata de uma boa abordagem. “O filme do Homem de Ferro é como se abrisse nossos olhos/mente para o mundo das partículas, ele dá uma introdução legal sobre as partículas (...); “Achei interessante, pois além de ser um tipo de filme que eu gosto, ilustra muito melhor os acontecimentos para os alunos, gostaria de ver mais filmes que pudessem se conectar com a matéria, talvez Quarteto Fantástico (...); “É superinteressante, pois sai daquela aula monótona e às vezes desinteressante. Um filme que se poderia utilizar seria o Homem-Formiga”; “(...) as comparações que foram feitas com os erros científicos ajudaram a entender o conteúdo, sem falar que é legal”.

A segunda questão abordava as práticas usadas nas aulas, de maneira geral. A maior parte dos alunos avaliou de maneira positiva as práticas usadas em sala, de maneira breve, sem especificá-las, em geral utilizando o termo “dinâmicas” para caracterizá-las. A atividade sobre o bolo foi citada por alguns estudantes, que sugeriram mais atividades envolvendo comida.

A última questão tratava da opinião dos alunos sobre o estudo da Física de Partículas no ensino médio. A maior parte dos alunos avaliou como positiva a ideia de estudar esse tópico, como se pode perceber nas respostas: “Importante, pois nos mostra um pouco mais sobre o que constitui aquilo que nos cerca e a nós mesmos”; “É importante para saber que o que existe não é o que apenas vemos em olho nu”; “Essa matéria é massa demais, um monte de coisa diferente e que mudou e ajudou para a tecnologia”. Com relação ao grau de complexidade,

as respostas da turma se apresentaram divididas, com alunos alegando ser um tema de fácil estudo, outros afirmando o oposto.

## 6.6 Achados

Em relação às *variáveis de investigação* é possível concluir os seguintes achados:

- (i) Com base na análise das respostas obtidas na avaliação e do conhecimento prévio apresentado nas respostas ao questionário, pode-se apontar evolução conceitual em conceitos relacionados à Física Nuclear e de Partículas. Os alunos passaram a expressar um conhecimento mais profundo acerca da constituição da matéria, expandindo, por exemplo, o conceito de elemento químico e relacionando-o às partículas elementares;
- (ii) Há indícios de uma aproximação das ideias dos alunos relacionados à Ciência com a moderna filosofia da Ciência, perceptíveis principalmente com as reflexões e discussões proporcionadas na etapa de produção e apresentação dos vídeos. Puderam relacionar a produção do conhecimento científico com o contexto cultural e econômico, conferindo a ele caráter de uma construção humana e coletiva;
- (iii) A análise dos dados dá indícios de que a partir da UEPS é possível construir as condições necessárias à aprendizagem significativa crítica do tema. As duas condições necessárias preconizadas foram alcançadas: a pré-disposição em aprender e a disponibilidade de um material ser potencialmente significativo – haja vista o interesse e participação nas aulas, as manifestações positivas apresentadas no questionário final e os resultados mais que satisfatórios obtidos com a avaliação somativa final;
- (iv) Tendo em vista a aceitação da proposta de assistir o filme em sala, as relações entre aspectos da obra e a Física Nuclear e de Partículas estabelecidas no diálogo em aula e as respostas ao questionário final, inclusive sugerindo outros filmes de super-heróis, tem-se indícios de que o filme escolhido cumpriu o objetivo de contextualizar o conhecimento no contexto da sala de aula.





Para compreender como o filme escolhido poderia se articular com a iniciativa da introdução Física Nuclear e de Partículas no ensino médio e viabilizar a elaboração do produto educacional, por meio do qual seria realizada a investigação em campo, foram adotados marcos teórico-educacionais, metodológicos e epistemológicos. Cumpriu-se a tarefa de evitar mais uma debilidade da pesquisa em educação científica (MOREIRA, 2004): a ausência destes valores de maneira articulada. Já reconhecidos como coerentes e complementares (DAMASIO e PEDUZZI, 2018), os referenciais da Teoria de Aprendizagem Significativa Crítica, Unidades de Ensino Potencialmente Significativas e Epistemologia de Paul Feyerabend contribuíram no sentido de indicar o produto educacional a ser desenvolvido: uma UEPS para implementação em sala de aula e um livro paradidático sobre o tema. Esses referenciais também são compatíveis com a concepção maior de educação que enseja a proposta: o ensino subversivo (POSTMAN e WEINGARTNER, 1978), um contexto de escola contemporânea que trabalhe pela desconstrução dos conceitos fora de foco (“verdades”, respostas “certas”, causas simples e identificáveis, estados e “coisas” fixos, diferenças meramente dicotômicas).

A revisão bibliográfica pôde atestar o ineditismo da proposta, bem como sugerir práticas que poderiam ser apropriadas e indícios de que o desenvolvimento da UEPS poderia se mostrar exitoso, além de indicar a necessidade da produção e divulgação de materiais paradidáticos sobre o tema, válida a proposta de elaboração do produto educacional.

Assim, a UEPS foi concebida como tendo o filme como organizador prévio, elemento da Teoria de Aprendizagem Significativa Crítica referido como a “ponte” entre o que o aluno já sabe e o que poderá aprender (MOREIRA, 2008). O filme teve a capacidade de fornecer ideias âncoras aos estudantes, como se percebeu com a avaliação da implementação da UEPS, além de contextualizar o conhecimento em sala de aula.

O material paradidático, por sua vez, consiste num livro em que a Física Nuclear e de Partículas é tratada a partir de uma proposta de narrativa histórica e contextualizada. A iniciativa parte da importância apontada por Feyerabend de compreender a Ciência como uma construção humana, influenciada pelo contexto cultural e econômico, por exemplo.

Valendo-se da Teoria Fundamentada de Strauss, a pesquisa analisou vários elementos oriundos da implementação da UEPS. Identificaram-se indícios: do aumento da predisposição em aprender graças ao uso do filme de super-herói, do caráter potencialmente significativo do material de ensino desenvolvido, da evolução conceitual dos conhecimentos abordados nas aulas e da possibilidade de contextualização de tópicos de Física Moderna e Contemporânea em sala de aula via uso dos filmes de super-herói.

Dessa maneira, considera-se que os procedimentos adotados no desenvolvimento do projeto desta dissertação mostraram-se alinhados e aos objetivos específicos a que se dedicavam. Com isso, cumpriu-se o **objetivo geral** da pesquisa: a construção de uma sequência didática – uma UEPS – que proporcionasse a inserção do Universo Cinematográfico Marvel – pelo filme Homem de Ferro 2 – em sala de aula, de modo a poder contextualizar a Física Moderna e Contemporânea – nesse caso, a Física Nuclear e de Partículas – no ensino médio, tendo em vista a perspectiva de ensino subversivo – promovendo a concepção de Ciência como construção humana.

Da análise dos resultados obtidos, também se traçam algumas perspectivas de trabalhos futuros. O interesse demonstrado pelos alunos com relação à vida e obra de César Lattes indica potencial de que a narrativa da trajetória desse cientista pode proporcionar para a contextualização da Física Nuclear e de Partículas. De modo mais geral, é possível levar ao contexto de sala de aula as contribuições de diversos brasileiros e assim aproximar os estudantes desse campo do conhecimento, fomentando a predisposição em aprender e evidenciando aspectos relacionados à produção do conhecimento científico – como, por exemplo, quais as condições em que trabalham os pesquisadores em nosso país e como elas influenciam na Ciência aqui produzida. Percebe-se, assim, uma oportunidade para a construção de uma concepção de Ciência atrelada a fatores sociais, políticos e econômicos – mais identificável aos alunos.

Além disso, as próprias sugestões dos alunos de outros filmes de super-heróis indicam a possibilidade de desenvolver novas sequências didáticas para a abordagem de outros tópicos de Física Moderna e Contemporânea, usando as obras como organizadores prévios e elementos de contextualização. Nesse sentido, o autor já participa de um grupo de pesquisa que vem, por meio do trabalho articulado de docentes e discentes da Licenciatura em Física (IFSC –

Câmpus Araranguá), investigando as potencialidades exibidas pelos vários filmes do Universo Cinematográfico Marvel. Em alusão ao grupo de “Super-heróis mais Poderosos da Terra” – pelo menos no Universo Marvel –, a iniciativa foi nomeada “Vingadores da Física” e há perspectiva de publicação de trabalhos produzidos pelos acadêmicos em breve. Evidentemente, essa dissertação cumpre importante papel no contexto deste projeto.

Ademais, cabe uma reflexão pertinente. A motivação para seguir uma carreira relacionada às Ciências, incluindo a docência, está relacionada a construção de uma concepção de Ciência bastante particular, que a cada indivíduo será motivadora de estudo e interesse. Por experiência própria, o autor pode afirmar que os filmes de super-heróis, bem como outras obras, como história em quadrinhos, séries, livros e desenhos animados que compartilhem de tais personagens, tiveram sua contribuição para a construção de sua ideia de Ciência e a relevância dela para si. Cientistas são personagens recorrentes nessas histórias – a atividade científica não é exclusividade de Tony Stark, longe disso. Qual a relação entre este mundo ficcional e a realidade? Por exemplo: qual o papel da “descoberta científica” e como ela é realizada nos laboratórios do Universo Marvel e do *nosso* universo? Como cientistas são retratados e que aspectos influenciam seu trabalho?

A identificação destes aspectos epistemológicos presentes nessas obras e suas possíveis implicações para o ensino de Física por si só já apresenta um problema em aberto. Contudo, um problema mais profundo pode ser delineado: haja vista que esses filmes, ou, de forma geral, quaisquer mídias que envolvem super-heróis, podem motivar jovens a seguir carreiras que envolvam atividade científica, contribuindo para sua concepção de Ciência, como se dará a influência desses elementos no futuro trabalho desses indivíduos, refletindo-se sobre a produção da própria Ciência? Em outras palavras, a forma como essas obras retratam a Ciência influencia o trabalho e as ideias de quem seguiu carreira científica por, dentre vários outros motivos, contato com elas? A participação e interesse demonstrado pelos estudantes nas aulas suscita a expectativa de que, porventura, alguma, ou algum, futuramente trabalhe numa área correlata à científica. Não seria ousado demais supor ainda que alguma, ou algum, possa se tornar cientista. Questiona-se: como Tony Stark, ou o Homem de Ferro, influenciará o trabalho desse indivíduo?

## Referências Bibliográficas

ABDALLA, M. C. B. *O discreto charme das partículas elementares*. São Paulo: Editora UNESP, 2006.

ABDALLA, M. C. B. *Sobre o discreto charme das partículas elementares*. Revista Física na Escola, v.6, n.1, 2005.

AUSUBEL, D. P. *Psicologia educacional*. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

BEZERRA, D. P.; GOMES, E. C. S.; MELO, E.S.N.; SOUZA, T.C. *A evolução do ensino da Física: perspectiva docente*, Scientia Plena, v. 5, n. 9, 2009.

CALHEIRO, L. B; GARCIA, I. K. *Proposta de inserção de tópicos de física de partículas integradas ao conceito de carga elétrica por meio de unidade de ensino potencialmente significativa*. Investigações em Ensino de Ciências, v. 19, n. 1, 2014.

CHAVES, S. N. *História da ciência através do cinema: dispositivo pedagógico na formação de professores de ciências*. Revista Alexandria, v. 5, n. 2, 2012.

CORDEIRO, M. D; PEDUZZI, L. O. Q. *Entre os transurânicos e a fissão nuclear: um exemplo do papel da interdisciplinaridade em uma descoberta científica*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 31, n. 3, 2014.

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, 2015.

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.

GONÇALVES, V. A. M. *Super-heróis no cinema uma trajetória histórica*. In: XL CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DA COMUNICAÇÃO – Intercom, 2017, Curitiba. Anais. Curitiba: 2017.

LOZADA, C. O; ARAÚJO, M. S. T. *Ensino de Física de Partículas Elementares no Ensino Médio: as perspectivas dos professores em relação ao*

*ensino do Modelo Padrão*. In: XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2007, São Luís – MA. Anais do XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2007. v. 1. p. 1-10.

MAIA, F. R. P. *Super-heróis da convergência a unificação narrativa da Marvel Studios em um universo transmidiático*. 2014. Monografia (Bacharelado em Comunicação Social) – Universidade Estácio de Sá, Rio de Janeiro.

MELO, J. F. d. *Tópicos de física moderna e contemporânea no Ensino Médio: Uma abordagem histórica e conceitual dos modelos atômicos*. 2014. 530f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática - PPGECM)- Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.

MEIGID NETO, J.; FRACALANZA, H. *O livro didático de ciências: problemas e soluções*. Ciência & Educação, v.9, n.2, p.147-157, 2003.

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. *Aprendizagem Significativa Crítica*. Porto Alegre: Ed. do autor, 2005.

MOREIRA, M. A. *Comportamentalismo, construtivismo e humanismo. Subsídios teóricos para o Professor Pesquisador em ensino de ciências*. Porto Alegre: IF-UFRGS, 2009.

MOREIRA, M. A. *Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa (Concept maps and meaningful learning)*. *Aprendizagem significativa, organizadores prévios, mapas conceituais, digramas V e Unidades de ensino potencialmente significativas*, Revista Chilena de Educação Científica, 4(2): 38-44, 2012.

MOREIRA, Marco Antonio. *O modelo padrão da física de partículas*. *Revista brasileira de ensino de física*. São Paulo. Vol. 31, n. 1 (mar. 2009), 1306, 11 p., 2009.

MOREIRA, M. A. *Organizadores prévios e aprendizagem significativa (Advanced organizers and meaningful learning)*. Revista Chilena de Educación Científica, Vol. 7, Nº. 2, 2008 , pp. 23-30.

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

MOREIRA, M. A. *Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas – UEPS. Aprendizagem Significativa em Revistas/ Meaningful Learning Review – V1(2)*, pp. 43-63, 2011.

OSTERMANN, F; CAVALCANTI, C. J. H. *Um pôster para ensinar Física de Partículas*. Revista Física na Escola, v.2, n.1, 2001.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. *Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física moderna e contemporânea no ensino médio”*. Investigações em Ensino de Ciências, v. 5, n. 1, 2000.

OSTERMANN, F. *Um texto para professores do Ensino Médio sobre Partículas Elementares*. Revista Brasileira do Ensino de Física, vol.21, n.3, setembro de 1999.

PINHEIRO, L. A; COSTA, S. S. C. d. *Relato sobre a implementação de uma unidade de aprendizagem sobre partículas elementares e interações fundamentais no ensino médio*. Experiências em Ensino de Ciências, v. 4, n. 3, 2009.

POSTMAN, N.; WEINGARTNER, C. *Contestação – nova fórmula de ensino*. Rio de Janeiro: Editora Expressão e Cultura, 1978.

REZENDE, L. A; STRUCHINER, M. *Uma proposta pedagógica para produção e utilização de materiais audiovisuais no ensino de ciências: análise de um vídeo sobre entomologia*. Revista Alexandria, v. 2, n. 1, 2009.

ROSA, C.W.; ROSA, A.B. *Ensino de Física: objetivos e imposições no ensino médio*. Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias. v. 4, p. 5, 2005.

SCHAPPO, M. G. *Um modelo concreto para o estudo da estabilidade nuclear no Ensino Médio*. Física na Escola, v. 11, n. 2, 2010.

- SILVA, A. C. d; ALMEIDA, M. J. P. M. d. *Física quântica no ensino médio: o que dizem as pesquisas*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 28, n. 3, 2011.
- SILVA, E. P. d; COSTA, A. B. d. S. *História em quadrinhos e o ensino de biologia: o caso Níquel Náusea no ensino da teoria evolutiva*. Revista Alexandria, v. 8, n. 2, 2015.
- SIQUEIRA, M. R.P; PIETROCOLA, M. *A transposição didática aplicada à teoria Contemporânea: a Física de Partículas Elementares no Ensino Médio*. Anais do X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2006.
- SIQUEIRA, M.; PIETROCOLA, M. *Espalhamento de Rutherford na sala de aula do ensino médio*. Física na Escola, v. 11, n. 2, 2010.
- SOARES, M. S.. *Introdução de tópicos de física moderna e contemporânea no ensino médio por meio do estudo de ondas eletromagnéticas*. 2009. 208 f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Ensino de Ciências) Universidade de Brasília, Brasília, 2009.
- SOUZA, M. A. M; DANTAS, J. D. *Fenomenologia nuclear: uma proposta conceitual para o ensino médio*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 27, n. 1, 2010.
- STRAUSS, A.; CORBIN, J. *Pesquisa qualitativa: técnicas e procedimentos para o desenvolvimento de teoria fundamentada*. Porto Alegre: ARTMED, 2009.
- TEIXEIRA, A. S.; XAVIER, K. S.; DAMASIO, F. *O ensino de e sobre ciência por meio da série de ficção científica Jornada nas Estrelas*. Experiências em Ensino de Ciências, v. 12, n. 5, 2017.
- TRETTIN, D; SCHLÖGL, L. *A narrativa transmidiática dos vingadores da marvel comics: Análise dos filmes Homem de Ferro e Homem de Ferro 2*. Razón y Palabra, v. 18, n. 88, 2014.
- VIDAL, F. L. K; REZENDE FILHO, L. A. C. d. *Escolhendo gêneros audiovisuais para exposições em aulas de ciências e biologia: como os*



*professores entender a referencialidade da imagem.* Revista Alexandria, v. 3, n. 3, 2010.

## Apêndices

**Parte A**

**Material Paradidático**

**RECEITA DE UM BOLO,  
FISICAMENTE FALANDO**

A saga humana na busca pela intimidade da matéria.

---

## PREFÁCIO

---

Uma boa leitura leva a mundos cheios de surpresas, que parecem – ou são mesmo – saídos das mentes férteis de escritores, a histórias que levam a busca de mais e mais a cada virada de página, a um final que fica oculto até o momento do clímax do livro que, se for uma história das boas, ainda pode ter reviravoltas a qualquer momento.

A história não termina com a leitura do livro, ela vive com cada leitor e é repassada por este a outras pessoas que também se encantam com a história.

Vários tipos de histórias se enquadram nas características descritas.

Histórias de bruxos mirins e anéis que podem dar a seus donos o domínio do mundo se enquadram na categoria de histórias fascinantes. Ficção científica é outra maneira de se entreter; histórias como *A volta ao mundo em 80 dias*, já encantam várias gerações e continuam a encantar cada novo leitor. Esoterismo, bruxas, alquimistas, suicidas arrependidos, também fascinam. Até recontar a história de uma das figuras mais conhecidas do mundo ocidental como Jesus Cristo, pode levar até a pessoa mais resistente a ler um bom livro.

Mas, qual seria a melhor história?

Talvez fosse aquela que tem personagens fascinantes, cenários paradisíacos, reviravoltas surpreendentes, final guardado a sete chaves e que pode ser mudado a cada instante. Aquela que permite o leitor embarcar em um mundo com objetos incríveis, que são capazes de realizar façanhas das mais surpreendentes e, ainda, onde existam máquinas que fabriquem objetos que antes foram apenas sonhados de seus construtores.

Mas tal história pode existir?

SIM! Chama-se ciência!

Nenhuma história de mágicos conseguiria prever o que cientistas conseguiram construir: fornos de micro-ondas; *internet*; aparelhos pequenos capazes de bater fotos, gravar vídeos e ainda que permitam falar com pessoas em outros continentes; corações doentes voltam a bater no seu ritmo certo; máquinas

voadoras que se deslocam entre continentes em horas. A lista de façanhas realizadas por humanos, com o auxílio da ciência, e que não foram previstas, nem pelo mais criativo escritor de histórias ficcionais, é enorme e ocuparia livros e livros se listadas.

A ciência é a melhor maneira de se entreter e, permite que conheçamos o mundo em que vivemos. Cada descoberta feita por um leitor pode ser – quase sempre é – surpreendente e fascinante.

Quem não se surpreende quando lhe contam pela primeira vez que é possível viajar para o futuro e que a teoria da relatividade de Einstein nos mostra isto e, ainda mais, existem partículas que em nosso planeta viajam no tempo ao alcance de nossos olhos e que quase ninguém se dá conta. Com o fato que bem embaixo do nosso nariz, certos elementos se transformam em outros e a maioria das pessoas nem sonha com isto, que somos atravessados por inúmeras partículas a cada instante, que sempre que olhamos para os céus estamos olhando para o passado.

A lista poderia continuar...

Os personagens da ciência são os mais fascinantes e, acreditamos, reais. O cenário onde tais personagens viveram, ou vivem, são outro atrativo que ao descobrir ciência somos fascinados, vamos da Grécia Antiga até superlaboratórios subterrâneos com quilômetros de extensão onde se descobrem partículas muito menores do que nossa imaginação consegue conceber.

A melhor parte de ler sobre ciência é que cada página, cada personagem, cada lugar, cada situação descrita, cada explicação, tudo é real! Tudo que estamos lendo faz parte do mundo em que vivemos e, assim, descobrir mais sobre ciência é descobrir mais sobre nós mesmos.

E o final?

Quando se trata de ciência não há final!

Pelo menos, não definitivo. A única verdade absoluta em ciência é que não existem verdades absolutas, não existem teorias e modelos que não possam ser contestados e, por consequência, provados como certezas absolutas. Hoje, todos os cientistas acreditam que não se pode viajar mais rápido que a luz no vácuo, mas, se alguém provar que se pode, todos terão que aceitar e os livros terão que ser reescritos.

Começar a conhecer ciência é um caminho sem volta, quando alguém começa a conhecer a descrição do mundo em que vive, ela sempre vai querer saber e mais e mais. Se as respostas a suas perguntas ainda não foram reveladas pelos cientistas, por que você mesmo não se tornar um cientista e buscar tais respostas?

A saga humana em busca dos mistérios do mundo em que vive é sem dúvida a melhor de todas as histórias e ela se chama ciência.

Neste livro, pretende-se mostrar uma pequena parte desta jornada coletiva em busca de respostas.

A busca que terá uma pequena parte mostrada a seguir, é pela busca da intimidade da matéria, pelos seus constituintes. Quantos são? Como são? Será que existem?

Esta é uma dentre muitas histórias fascinantes. Se quando o leitor terminar a história contada a seguir e ainda não estiver encantando com o mundo da descoberta chamado ciência, a culpa não será dela, mas sim do autor que contou a história.

---

## Sumário

---

Prólogo	6
Capítulo I - A menor estrutura da matéria	8
Capítulo II - Rumo ao Átomo	16
Capítulo III - Cientista por acaso	28
Capítulo IV - Zoológico de partículas	33
Capítulo V - Interações fundamentais	42
Capítulo VI - A descoberta de mais e mais partículas	53
Capítulo VII - Partículas ainda menores	65
Capítulo VIII - Partículas de interação	74
Capítulo IX - Dando nomes aos bois	81
Capítulo X - Bóson de Higgs e energia escura	85
Capítulo XI - Cordas e supercordas	90
Epílogo	95
Bibliografia	97
Glossário	100

---

## PRÓLOGO

### Uma pergunta que não quer calar!

---

Olhe ao seu redor. Perceba a grande quantidade diferente de matéria que existe! O papel do seu livro, os ossos da sua mão que o segura, a lâmpada que ilumina o seu quarto durante a noite, o Sol que nos ilumina de dia...

Continue olhando, vá mais longe!

Planetas como Júpiter, cinturões de asteroides, cometas que dão o ar de sua graça com regularidade impressionante, estrelas longínquas, buracos negros, pulsares, quasares...

Uma pergunta que talvez passe pela sua mente e de inúmeras pessoas, desde a Grécia antiga é:

- Do que é feita toda esta matéria diferente?
- Será que existe algum constituinte básico de toda matéria?
- Se existir, será que é o mesmo constituinte da matéria na Terra e fora dela?
- Como eles são? Quantos são? Qual o tamanho deles? Qual a idade deles?

Talvez cause decepção que sempre a resposta em ciência é: ainda não sabemos com certeza! Mas se você estiver impaciente para saber a resposta que a ciência tem, hoje, para esta pergunta pode ir direto à última frase do Capítulo XI, lá está à resposta.

Mas o fato de não sabermos com certeza não é motivo para desânimo, pois nós avançamos muito sobre as respostas destas perguntas e continuamos a avançar, dia após dia.

Para quem acha que as ciências, como a Física, estão prontas da forma como mostram os livros didáticos a decepção vai ser maior.

Existe **muita** coisa a ser descoberta ainda na natureza, seus mistérios tiveram apenas uma pequena parte revelada a nós e, ainda, estamos querendo entender esta pequena parte.



Uns dos mistérios que muitos físicos levantam todos os dias para tentar descobrir em seus locais de trabalho, de maneira incansável e obstinada, são as perguntas que já eram feitas pelos gregos antigos.

Destes gregos até os superlaboratórios de bilhões de dólares que estão sendo construídos na primeira década do século XXI, os avanços e percalços pelo caminho são dignos de vários livros, e este é um deles.

A busca das respostas sobre a intimidade da matéria nos levará a histórias, lugares e personagens fascinantes. Vamos conhecer: partículas que vivem **bem** menos que o tempo de um piscar de olhos, antimatéria, um brasileiro que quase ganhou o Prêmio Nobel, a criatividade dos cientistas para batizar as partículas que descobriram, um russo que sonhou com sua maior teoria, um contemporâneo de universidade de George Bush, o pai, que mudou toda nossa visão da natureza, e muito mais!

Embarque na aventura de descobrir do que é feito o mundo em que você vive lá na sua estrutura mais íntima, e mais íntima ainda.

Você irá se surpreender que toda a matéria do universo – desde um pedaço de torta até uma superestrela dez vezes maior que o sol, cometas, planetas e até você – são feitos das mesmas coisas, mas lá na intimidade.

Após esta leitura, alguns dos segredos mais bem guardados pela natureza e, já descobertos pelo homem, já não serão mais um mistério pra você.

Como nesta epopeia iremos nos deparar com um grande número de palavras que não são muito usadas no cotidiano. O **glossário** deve ser consultado em qualquer momento durante a leitura, sempre que alguma palavra ou partícula causar estranheza. Até a palavra estranheza está no glossário com um sentido completamente diferente do usado no cotidiano.

O capítulo I descreve algumas características e curiosidades do que, acredita-se, seja a menor estrutura da matéria. No capítulo II fazemos uma viagem pelas teorias da intimidade da matéria, da Grécia Antiga até as primeiras décadas do século XX. O capítulo III traz a fascinante história de alguém que contribuiu muito para descobrirmos a estrutura da matéria. Estes capítulos podem ser lidos de maneira quase independente dos seguintes. Os capítulos posteriores, IV a VI, mostram a evolução das respostas durante o século XX e XXI até a pergunta que todos os cientistas querem responder e que governos

investem bilhões de dólares para construir máquinas na simples tentativa de obter tais respostas.

Sem perder mais tempo, vamos começar pelo início desta história.

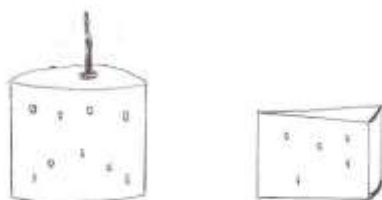
## A MENOR ESTRUTURA DA MATÉRIA

---

Vamos supor que queiramos comemorar o aniversário de Albert Einstein. Um bolo não poderá faltar. Para fazer um bolo de chocolate você precisa de:

- três xícaras de chá de farinha de trigo;
- duas xícaras de chá de açúcar;
- uma xícara de chá de óleo;
- três ovos;
- duas colheres de chá de fermento;
- uma xícara de leite;
- meia xícara de chá de chocolate granulado;
- um tablete de chocolate meio amargo.

Misture a farinha, o açúcar, o óleo, os ovos e o fermento em uma tigela, e leve ao forno de micro-ondas por 2 minutos em potência alta. Adicione o leite e o granulado à mistura. Mexa tudo e coloque em um refratário untado e polvilhado com farinha. Deixe a mistura no forno de micro-ondas por dez minutos e você terá um bolo de aniversário de Einstein. Não se esqueça de colocar as raspas de chocolate em cima do bolo ainda quente para que ele derreta.



**Figura 1 - Bolo de aniversário de Einstein e um pedaço dele cortado.**

Na Figura 1 temos o bolo. Olhando para ele você não pode identificar que ele tem vários ingredientes, pois parece uma coisa só, homogênea.

Mas não é!

Como de resto, toda a matéria nos parece homogênea.

Mas não é!

Ela tem uma estrutura interna, a qual vamos conhecer melhor a partir de agora.

Imagine que cortemos um pedaço deste bolo como na Figura 1. Agora pegue este pedaço e corte na metade, pegue esta metade e corte de novo na metade, esta metade corte de novo na metade...

Quantas vezes você conseguiria cortar até chegar à menor estrutura da matéria?

A resposta é... cerca de 90 vezes.

Se você tivesse as condições necessárias para isto, quando chegasse à nonagésima cortada você chegaria à menor estrutura da matéria.

Esta menor estrutura da matéria recebe um nome de origem grega – como veremos a seguir - este nome é **ÁTOMO**.

Qualquer forma de matéria é constituída, lá no seu interior, de átomos.

## **A Título de Comparação**

Os átomos não são visíveis aos nossos olhos, mas mesmo assim, os conhecemos muito. De alguma forma, através de aparelhos, os enxergamos.

Sabemos que eles são muito pequenos. Por isto não podemos enxergá-los diretamente! Mas, o quão pequeno eles são?

Para responder isto: pense no Sol! Pense que ele fosse oco!

Agora imagine quantas pessoas iguais a você caberiam dentro deste Sol oco. Muitas, não é?! Pois o número de pessoas que caberiam dentro do Sol é o mesmo número de átomos que cabem dentro de uma pessoa.

Uma maneira pomposa de dizer isto é: o tamanho de um ser humano está entre o tamanho do Sol e de um átomo. O átomo é tantas vezes menor que o ser humano quanto o ser humano é menor que o Sol.

Continue imaginando!

Agora pense na Terra, oca. Quantas uvas caberiam na Terra oca? Este número de uvas é igual ao número de átomos que cabem dentro da uva.

Agora da maneira pomposa: o tamanho de uma uva está entre o tamanho da Terra e do átomo. O átomo é tantas vezes menor que uma uva quanto a uva é menor que a Terra.

Sabemos que os átomos são numerosos.

Em um grama de água existem cerca de  $10^{22}$  átomos, isto é, um número seguido de 22 zeros. 10.000.000.000.000.000.000.000 átomos em um grama de água!

É difícil imaginar alguma coisa que este número represente. Mas você poderia pensar no número total de gotas de água doce que existem no mundo; o número de gotas em todos os rios e lagos do nosso planeta, este número não chega a  $10^{22}$ .

Portanto, existem mais átomos em um grama de água, que o número de gotas de água em todos os rios e lagos da Terra.

Além de tudo isso, você acreditaria que existem átomos que formam seu corpo que têm a idade do universo? Pois acredite! Eles se chamam hidrogênio.

Uma vez formados, os átomos estáveis poderão continuar os mesmos até a eternidade, sem “gastar” nada de sua estrutura.

Os átomos de carbono que formam sua mãe podem ter a mesma idade que os seus átomos de carbono, ou até mesmo, os seus serem mais velhos, quem sabe.

Sabemos que os átomos se movem.

Os átomos que formam seu corpo não são seus, você apenas os pegou emprestados da natureza e, mais cedo ou mais tarde, os irá devolver.

Quando você os devolver, eles irão formar outros corpos, sejam vivos ou inanimados, como os átomos que formam seu corpo agora formaram outros corpos no passado.

Você bem que desconfiava que os átomos do cérebro de Einstein eram os mesmos que formam o seu. Pois saiba que isto até que é possível – como é possível também, que os átomos de oxigênio que Buda respirou sejam os mesmos que formam seu corpo.

## Diferença entre os Tipos de Átomos

Toda matéria ao nosso redor é feita de átomos. Existe uma grande infinidade de matéria no universo, logo deve haver uma infinidade de átomos diferentes também, certo?

ERRADO!

O número de átomos diferentes é surpreendentemente pequeno, cerca de uma centena. Eles estão todos reunidos em um só lugar, a tabela periódica.

Basicamente, cada tipo de átomo diferente é chamado de elemento químico, todos os átomos de um mesmo elemento químico são *quase* idênticos – o que será explicado adiante. Mas, átomos de elementos químicos diferentes são – adivinhem! – diferentes.

O que diferencia elementos é basicamente o número de prótons em seu núcleo. A tabela periódica é classificada desta forma. O número de prótons em um núcleo é denominado como *número atômico*, e simbolizado por  $Z$ . O elemento mais simples, o hidrogênio, tem número atômico 1, significa que possui apenas um próton em seu núcleo. O urânio tem número atômico 92, logo, possui 92 prótons em seu núcleo. Átomos que tem o mesmo número de prótons serão considerados do mesmo elemento químico a despeito do possível número diferentes de nêutrons em seu núcleo, o que conseqüentemente indicará massa diferente. Nesse caso, utilizamos a palavra *isótopo* para nos referirmos a esses átomos do mesmo elemento químico com massas (ligeiramente) distintas.

À maneira que, hoje, imaginamos que seja o átomo, ele é constituído de duas partes: uma central chamada de *núcleo atômico* e uma espécie de nuvem ao seu redor chamada de *eletrosfera*. No núcleo estão, além dos prótons com carga positiva, outras partículas conhecidas como nêutrons, como o próprio nome sugere, sem carga elétrica. Na eletrosfera estão os elétrons, que possuem carga negativa.

Um mesmo elemento pode possuir átomos com números diferentes de nêutrons, mesmo possuindo número igual de prótons por ser tratar de um mesmo

elemento. Quando existem dois átomos com o mesmo número de prótons e diferente número de nêutrons, estes átomos são ditos *isótopos*.

O céσιο é um exemplo de elemento com isótopos diferentes. O céσιο-133 existe naturalmente e, possui 55 prótons e 78 nêutrons em seu núcleo. Por sua vez, o isótopo céσιο-137 é artificial, fabricado em reatores nucleares, e possui 55 prótons e 82 nêutrons.

Mas se existe tão poucos tipos diferentes de átomos, como explicar toda a infinidade de matéria diferente que existe na natureza?

Fácil! O segredo é a combinação.

Imagina três objetos diferentes: sal de cozinha, ácido clorídrico e água sanitária.

Pense: o que os três têm em comum?

A resposta é que todos são formados pelo mesmo elemento.

O sal de cozinha que você coloca na comida, a água sanitária que você limpa o banheiro e o ácido clorídrico que você não deve mexer (a menos que seja capacitado para tal) são formados pelo elemento cloro, mas estes objetos são bem diferentes, porque o cloro se combina com elementos diferentes para formá-los.

Para formar o sal de cozinha, o cloro se combina com o sódio formando o NaCl – ou simplesmente sal de cozinha. Para formar o ácido clorídrico, o cloro se combina com o hidrogênio formando o HCl e, para formar a água sanitária se combina com o sódio e com o oxigênio formando o NaClO. Perceba que a diferença entre o sal de cozinha e a água sanitária é um átomo de oxigênio a mais na combinação para formar a água sanitária.

Podemos traçar um paralelo com bolo, biscoito e pão. Estes três alimentos são bem diferentes em forma, gosto e rigidez. Ninguém duvida que todos eles tem um ingrediente em comum, aquela plantinha chamada trigo. A diferença entre os alimentos é como que eles se combinam na receita. Como em toda a natureza, o segredo da diversidade é a combinação entre os mesmos ingredientes.

## **Formação dos Átomos**

Apenas todo o hidrogênio mais algum hélio e lítio são tão velhos quanto o universo, os outros elementos foram formados depois. De toda a matéria do universo, 75% é hidrogênio e 24% hélio, porém este número diminui a cada segundo. Mas nem todo hélio foi formado no início do universo; então, onde ele foi formado?

A maneira pela qual a maior parte do hélio foi fabricada na natureza exigiu temperaturas altíssimas de dezenas de milhões de graus Celsius. E, por incrível que pareça, estas temperaturas existem e podem ser encontradas em bilhões de bilhões de lugares no universo.

Onde?

Nas estrelas.

Estrelas são fascinantes, vamos conhecê-las melhor!

Pra começo de conversa, elas não têm cinco pontas e a maioria está **muito** longe da Terra e possivelmente jamais seres humanos chegarão até elas.

Quando vemos as estrelas de noite não imaginamos o tamanho delas, é preciso amanhecer para termos uma ideia. De dia, vemos o Sol brilhar com intensidade, nós o enxergamos assim porque estamos perto o suficiente para isto.

Se você chegasse perto de cada estrela que vê a noite, iria vê-la parecida com como vemos o Sol, pois na verdade todas as estrelas do céu são parecidas, incluindo o Sol que é uma estrela média – nem grande, nem pequena. As estrelas estão sempre no céu, mas só a vemos durante a noite, pois, de dia, a luz do Sol é tão mais intensa que ofusca o brilho das demais estrelas que estão **bem** mais distantes.

Se você estivesse em um planeta muito distante do Sol, o veria como vê as estrelas à noite, um ponto brilhante. A diferença de como vemos o Sol e as outras estrelas é apenas uma questão de distância até elas.

Em nossa galáxia existem cerca de 200 bilhões de estrelas parecidas com o Sol. O número de galáxias também está na casa de centenas de bilhões. Logo, o número de estrelas do universo é gigantesco. Em 2003, uma universidade australiana fez uma especulação da quantidade de estrelas existentes no universo conhecido, o número é difícil até de falar, são 70 sextilhões ( $7 \times 10^{22}$ ) de estrelas. Evidentemente, nem todas são visíveis a olho nu no céu noturno, estas são “apenas”, no máximo, três mil.



São nestas estrelas em que existem temperaturas suficientes para fabricar átomos de elementos diferentes do hidrogênio.

Uma estrela é praticamente uma nuvem de hidrogênio. A cada segundo, ela transforma 400.000.000 de toneladas de hidrogênio em hélio, através de reações de fusão termonuclear.

O nome é feio, mas a explicação é fácil de entender. A cada segundo durante os últimos 5 bilhões de anos o Sol, como a maioria das outras estrelas, tem juntado (fundido) quatro átomos de hidrogênio, transformando-os em um átomo de hélio. Quando isto ocorrer, energia é liberada, por isto a estrela brilha. A reação de fusão termonuclear está representada abaixo.



E assim a estrela fabrica hélio a partir do hidrogênio original.

E os outros elementos?

Calma, vamos chegar lá! A estrela irá brilhar até seu combustível acabar. Quando isto ocorre, a estrela pode explodir.

Quer dizer que o Sol irá explodir engolindo a Terra e matando todos os seus habitantes?

Sim. Porém você não precisa se preocupar, pois muito provavelmente não estará mais aqui quando isto ocorrer daqui a cinco bilhões de anos.

Quando o Sol explodir o que ficará no seu lugar será uma anã branca.

Quando a massa da estrela é maior que 10 massas solares e menor que 25, seu destino é diferente, ela se transforma em uma estrela de nêutrons após terminar seu combustível.

Para estrelas de massa 25 vezes maior que o Sol seu destino é mais dramático, ela termina como um buraco negro. São assim chamados, pois “sugam” tudo que está ao seu alcance, incluindo a luz.

Em alguns tipos de estrelas existem condições suficientes para que se sintetizem outros elementos mais pesados que o hélio, como: oxigênio, silício, carbono e até elementos raros como ouro e praseodímio. A fabricação dos elementos mais pesados em geral ocorre quando o combustível das estrelas está acabando e ela está se transformando em uma anã branca, estrela de nêutrons ou um buraco negro, dependendo de sua massa original.

Vamos mostrar como o carbono, fundamental para a vida, é fabricado no interior das estrelas. Da mesma forma que a fabricação do hélio, o carbono também é formado através da fusão nuclear, só que desta vez não é o hidrogênio que se funde e sim o hélio. Três átomos de hélio se fundem e formam um de carbono. A reação a seguir mostra este processo.



Assim que se formam os elementos químicos, dentro de estrelas. Quando a estrela morre, explodindo, libera esta sopa de elementos pelo universo. Esta sopa de elementos irá formar novas estrelas, os planetas, as rochas e... você!

Cada um de nós é formado por elementos químicos que se formaram em estrelas que já morreram, todos somos poeira de estrela morta!

O sonho de muitos cientistas é conseguir gerar energia na Terra através de fusão nuclear como ocorre no Sol. Se isto fosse possível, o combustível necessário seria, evidentemente, hidrogênio disponível na água que ocupa  $\frac{3}{4}$  da superfície de nosso planeta. Porém, hoje em dia, as reações de fusão nuclear consomem mais energia que produzem, inviabilizando seu uso comercial.

As usinas nucleares que geram energia comercialmente não utilizam o processo de fusão nuclear e, sim, o processo de fissão nuclear. Este processo utiliza como combustível elementos químicos radioativos como urânio e plutônio.

Neste processo, o núcleo do elemento combustível é quebrado (fissionado) com um nêutron. Quando isto ocorre o núcleo original se transforma em dois menores, e energia é liberada no processo. Esta energia se utiliza para produção de energia elétrica.

As bombas atômicas, que foram soltas em Hiroshima e Nagasaki no fim da Segunda Guerra Mundial utilizavam o processo de fissão nuclear. As terríveis bombas de hidrogênio, ou bombas H, utilizam o processo de fusão nuclear para tamanho poder destrutivo, embora utilizem um gatilho de fissão nuclear.

## RUMO AO ÁTOMO

---

Não é de hoje que nós, seres humanos, perguntamo-nos sobre a intimidade da matéria.

### Escola Jônica

Estamos na Grécia antiga, no século VII a.C., na região chamada *Jônia*, onde floresce o pensamento racionalista ocidental. A Figura 2 localiza tal região.



Figura 2 - Grécia Antiga e a região chamada Jônia

Nesta região se localizavam colônias gregas como: *Mileto*, *Éfeso* e *Cólofon* no litoral e *Tênedo*, *Lesbos*, *Quios* e *Samos* nas ilhas no mar Egeu.

Todos já ouviram falar que a filosofia ocidental surgiu na Grécia Antiga, mas, NÃO na península grega e SIM na região conhecida como Jônia.

Desta região surgiram os pais da filosofia ocidental, entre eles: Tales, Anaximandro e Anaxímenes. Estes primeiros filósofos ficaram conhecidos como membros da escola jônica.

Sobre a origem de toda a matéria, os membros concordavam que deveria haver um elemento natural primordial, do qual, toda matéria seria derivada.

Eles só não concordavam sobre qual deveria ser este elemento natural.

Em *Mileto* – atual Turquia – viveu o que para muitos foi o primeiro filósofo grego, chamado **Tales** (640 – 564 a.C.).

Os interesses de Tales eram principalmente relacionados à filosofia, mas também incluíam matemática e astronomia.

Teria previsto um eclipse solar em 585 a.C. que muitos historiadores acreditam que seja uma lenda. Porém, a história pode ser verdade, pois Tales tinha as ferramentas para que, com grande perspicácia – que não lhe faltava – pudesse fazer tal previsão.

Era zombado por seus contemporâneos que a filosofia, matemática e astronomia eram inúteis. Tales, então, teria arquitetado um plano que mostraria definitivamente o contrário.

Com seus conhecimentos astronômicos e meteorológicos teria previsto uma grande colheita de azeitonas no verão que se aproximava, previsão feita ainda durante o inverno. Em posse desta preciosa informação formulou um plano engenhoso. Alugou todas as prensas usadas para fabricar azeite, como estava ainda no inverno o preço foi baixo. Quanto o verão chegou, e com ele a grande safra de azeitonas, os produtores de azeite tinham que alugar - de Tales - as prensas, e ele cobrava grandes somas pelo aluguel das máquinas. Deste modo ele enriqueceu, e teria definitivamente calado os que classificavam a filosofia como inútil.

A maior inquietação de Tales era, provavelmente, a necessidade de explicar a origem do Universo, do que todo ele era formado. Como membro da escola jônica acreditava que era tudo derivado de um único elemento natural.

Para ele, tal elemento do qual todo o resto do universo se derivava era a **ÁGUA**.

A opção de Tales talvez possa ser explicada pelo fato de a água poder ser facilmente transformada de um estado para outro (gelo, água líquida e vapor d'água). O ciclo da água (rios-vapor-nuvem-chuva-rios) também lhe teria convencido que a água poderia ser agente da mudança. A necessidade de haver água para existir vida, teria sido para Tales a prova definitiva que o elemento natural do qual todo o resto do universo se derivava era a água.

Também da cidade de *Mileto*, surgiu outro grande pensador, discípulo de Tales. Trata-se de **Anaximandro** (609-546 a.C.).

Pouco se sabe a respeito dele, mas teria sido o primeiro a fazer um mapa da Terra – conhecida pelos gregos até então.

Discordava de Tales sobre o elemento natural do qual todo universo derivava. Para ele, tal elemento não era conhecido por nós e podia ser apenas imaginado.

A este elemento natural – imaginário – do qual, todos os demais derivavam, chamou de *ápeiron*, algo que pode ser traduzido como “o indefinido”.

O último pensador de *Mileto*, discípulo de Anaximandro, foi **Anaxímenes**, que teria vivido entre 585-528 a.C..

Para ele o elemento natural primordial era o **AR**.

A forma como o ar daria origem as demais formas de matéria foi explicada por Anaxímenes da seguinte forma: tudo era ar em um grau de maior ou menor compressão. Se o ar fosse comprimido se transformava em água; mais comprimido em terra, ainda mais em pedra.

A escola de *Mileto* chegou ao fim, quando o exército persa invadiu e destruiu a cidade em 494 a.C..

A guerra entre os gregos e persas gerou uma das competições mais conhecidas dos tempos modernos, a maratona. Um exército grego, em um número muito inferior, conseguiu afugentar os invasores persas da localidade de Maratona. Para dar a notícia para Atenas, foi ordenado ao soldado Fidípides que corresse até Atenas e informasse a cidade da vitória em Maratona. A distância entre Maratona e Atenas é de cerca de 40 km, e é esta distância que é corrida na maratona atual. Quando Fidípedes chegou a Atenas noticiou a vitória e caiu morto.

Na primeira Olimpíada da era moderna, realizada em Atenas em 1896, um grego chamado Spiridione Louis venceu a competição e, quando entrou no estádio olímpico, o público gritou em homenagem a Louis e Fidípides.

Da cidade de *Éfeso* veio o último grande pensador da escola jônica, trata-se de **Heráclito** (540-470 a.C.). Teve grande influência dos pensadores de *Mileto*, *Éfeso* sobreviveu à invasão da Pérsia, pois se aliou a ela contra as outras cidades gregas.

Teria sido Heráclito o primeiro a usar a palavra filósofo, que significa algo como “amigo da sabedoria”. Era com esta palavra que se apresentava.

Para ele, toda a diversidade do mundo era a expressão de uma unidade. Acreditava que esta unidade era o **FOGO**.

A natureza era cíclica, pois do fogo todo o resto era oriundo e, tudo voltaria a ser, em uma constante mudança.

## Mais de um Elemento Natural

Na ilha da Sicília – atual Itália – localizava-se a colônia grega de *Agrigento*, nesta cidade nasceu **Empédocles** (483 – 430 a.C.).

Uma das inquietações dele era a origem de todas as coisas. Discordou da escola jônica de que existiria um único elemento natural; para ele existiria não um, mas quatro elementos naturais: **ÁGUA, TERRA, AR e FOGO**. Chamou os quatro elementos naturais originais de raízes.

As quantidades das raízes na natureza seriam iguais e todo o resto surgiria de uma mistura delas.

A diversidade encontrada na natureza foi explicada por Empédocles devido a objetos diferentes serem formados por proporções diferentes das quatro raízes.

Para ele as quatro raízes eram imutáveis. Elas podiam formar objetos diferentes, mas nunca poderiam se transformar uma em outra.

Entra em cena, talvez, o pensador que influenciou a humanidade por mais tempo: **Aristóteles** (384 - 322 a.C.).

Era discípulo de **Platão** (427 - 347 a.C.), cujo verdadeiro nome era *Arístocles*. Platão era uma alcunha devido a seus ombros largos. Platão fez enormes contribuições à filosofia ocidental, talvez, a maior delas tenha sido o fato de ser o primeiro a reconhecer que a matemática é uma ferramenta indispensável para compreender o mundo físico.

Aristóteles nasceu ao norte da península grega, na cidade de *Estagira*, então sob o domínio da Macedônia.

No ano de 343 a.C., o rei macedônio Felipe II designou Aristóteles como tutor de seu filho. Trata-se daquele que, para muitos, foi o maior general de todos os tempos: **Alexandre, o Grande** (356 - 323 a.C.).

Quando Aristóteles tinha a idade de dezessete anos foi para Atenas e entrou na Academia de Platão, onde permaneceu nos vinte anos seguintes, deixando Atenas e a abandonando após a morte de seu mestre.

Retorna a Atenas no ano de 335 a.C. e abre sua própria escola, o Liceu, que influenciaria o pensamento de toda a humanidade pelos dois mil anos seguintes.

Sobre a origem de todas as coisas, acreditava nos quatro elementos originais de Empédocles.

Na Terra, todas as coisas, desde o ser humano até uma pedra, seriam formados pela mistura, em diferentes proporções, destes quatro elementos.

A novidade introduzida por Aristóteles foi que, para ele, os quatro elementos naturais originais não poderiam explicar a origem dos corpos celestes.

Ele dividia o universo em duas regiões: a *sublunar*, abaixo da Lua, onde estava a Terra e a *supralunar*, acima da Lua, onde estavam as estrelas e os planetas.

Na região sublunar, a origem de todas as coisas eram os quatro elementos, ao passo que, na região supralunar, estes elementos não eram os formadores.

Para explicar a origem dos astros Aristóteles introduziu um quinto elemento ou quinta-essência, que ficaria conhecido como **ÉTER**. Este era diferente dos outros quatro elementos e NÃO existia na Terra, apenas na região supralunar.

Os planetas e as estrelas não eram formados pelos quatro elementos, mas, apenas por um, chamado éter. Mas não só os astros eram formados por éter como o espaço entre eles também. Isto porque a ideia de vazio para Aristóteles era inaceitável, e o espaço, que se poderia pensar como vazio era na verdade preenchido por éter, mesmo que nunca pudéssemos detectá-lo.

Aristóteles passou por uma “saia justa” quando, no ano 468 ou 467 a.C., um meteorito foi identificado perto do rio *Aigospotamos*. Todos queriam ver se ele era, de fato, feito da quintessência. Devem ter ficado decepcionados quando

notaram que o meteorito era feito dos mesmos materiais que formavam os corpos da Terra.

Para ajustar os fatos à sua teoria, Aristóteles mostrou toda a sua astúcia. Disse que na verdade, o meteorito não vinha da região supralunar e, sim, da região sublunar. Assim, ele deveria, como de fato era, ser feito dos mesmos elementos que formavam os corpos na Terra.

Com esta explicação deu uma sobrevida à sua teoria de uns 2000 anos.

## A Hipótese Atômica

**Leucipo** nasceu antes de Aristóteles e suas ideias são anteriores às deste. Pouco se sabe sobre o primeiro, mas provavelmente nasceu por volta do ano de 500 a.C. na mesma cidade de Tales, *Mileto*.

Para Leucipo existiria uma vasta quantidade de constituintes básicos da matéria, não apenas um, quatro ou cinco, como outros pensadores antigos acreditavam. Estes constituintes ficaram conhecidos como **ÁTOMOS**, do grego *atomon*, que significa algo como indivisível.

A ideia atômica foi adotada e teve contribuições de um discípulo de Leucipo, trata-se de **Demócrito**. Deste também pouco se sabe, mas teria nascido na cidade de Abdera em torno do ano 460 a.C..

Uma boa quantidade das ideias destes dois chegou até nós, no entanto, não se sabe quem escreveu o quê. Este fato inusitado deve-se porque os relatos das primeiras ideias atômicas serem feitas juntas, sem a preocupação de discriminar quem foram seus autores separadamente.

Como seriam estes constituintes básicos da matéria para Leucipo e Demócrito?

Como o próprio nome átomo sugere, seriam indivisíveis, seria a menor porção que se poderia dividir um corpo.

Seria assim: se fôssemos dividindo um corpo qualquer, se chegaria a um ponto em que a divisão não seria mais possível, chegaríamos a uma porção em que não mais é possível dividi-la: tal porção indivisível seria o átomo.

A diversidade de matéria do universo seria devido à combinação destes átomos, todos os corpos seriam junções de átomos. A infinidade de matéria



existente seria explicada pela combinação dos infinitos tipos de átomos. Logo, toda matéria seria feita de “tijolos fundamentais”, tais seriam os átomos e a matéria seria formada pela união deles, tal como uma casa é formada pela união de tijolos, que podem ser diferentes entre si.

O número de átomos diferentes que existiria seria infinito. Os diferentes átomos se diferenciariam por sua forma, massa e dimensões. Estes átomos jamais poderiam ser percebidos pelos sentidos humanos.

Os átomos que formariam a água seriam redondos e os do ferro, duros. O paladar também poderia ser explicado através da hipótese atômica. Quando sentimos o sabor azedo é porque o corpo que ingerimos seria formado por átomos de forma angulosa, quando doce os átomos teriam forma arredondada.

A visão também poderia ser explicada pela teoria de Leucipo e Demócrito. Os corpos emitiriam imagens que chegariam até nossos olhos, tais imagens também seriam formadas por átomos.

Apesar de estas ideias poderem, em parte, lembrar as atuais em alguns aspectos, elas foram esquecidas por quase dois mil anos. Este esquecimento foi em detrimento da teoria defendida por Aristóteles, que foi aceita e incontestada durante este grande período.

Tal período chegou ao fim quando um professor de Química do século XVIII ressuscitou a ideia do átomo, trata-se de **John Dalton** (1766-1844).

Este inglês da cidade de *Eaglesfield* já dava aulas em um internato com a idade de 15 anos. Ensinou neste internato durante 12 anos. Após este período, aceitou um cargo de professor em uma universidade em *Manchester*.

Um dos campos de interesse de Dalton era a cegueira para algumas cores, doença hoje conhecida como *daltonismo*. Tanto John Dalton como seu irmão eram daltônicos.

Na virada do século deixou seu cargo na universidade se mantendo com aulas particulares. Com o tempo livre que esta atitude lhe rendeu, pôde se dedicar à sua carreira científica.

Em uma conferência, no ano de 1803, apresentou pela primeira vez sua teoria dos átomos.

Segundo Dalton, os gases eram formados por diminutas partículas indestrutíveis, indivisíveis e com massas bem definidas. Tais partículas eram os átomos.

Cada um, dos cerca de uma dezena de elementos químicos conhecidos à época, era constituído por um átomo diferente, mas os átomos de um mesmo elemento químico eram idênticos.

Os átomos se combinavam para formar o que ele chamou de *átomo composto*, formando as substâncias compostas. Tal ideia é semelhante à ideia atual de molécula, mas para Dalton, apenas poderiam se ligar fossem átomos diferentes, nunca dois átomos iguais poderiam se ligar.

Como exemplo da ideia de átomo composto, Dalton usou o já conhecido caso da água, que se sabia que era formado por oxigênio e hidrogênio.

Como massa padrão de átomo, usou o hidrogênio. Assim, o hidrogênio tinha massa 1, o oxigênio 8, e assim por diante determinou a massa dos elementos conhecidos.

Uma verdadeira obsessão de Dalton era a meteorologia. Registrou o tempo de maneira detalhada durante 60 anos em um diário, o último registro é do tempo do dia em que morreu. O diário sobreviveu, até que um bombardeio alemão durante a II Guerra Mundial destruiu o local onde era guardado.

Apesar de sua vontade de um enterro simples, mais de quatro mil pessoas foram a seu funeral, além de uma centena de carruagens. Isto dá uma ideia da fama que conseguiu devido à sua teoria atômica na Inglaterra vitoriana.

Um desejo de Dalton foi realizado, queria que seus olhos fossem preservados para a identificação de sua doença da cegueira de algumas cores. Mais de um século e meio depois, exames de DNA mostraram que ele não possuía os genes que produzem a sensibilidade à cor verde em olhos sadios.

## **Dividindo o Indivisível**

Em 1897, o físico inglês **Joseph John Thomson** (1856-1940), vencedor do Prêmio Nobel de 1906, trabalhava em seu laboratório com tubos de raios catódicos. Estes tubos são, de maneira simplificada, assim constituídos: dentro têm vácuo parcial e, em suas extremidades, possuem eletrodos. Quando se aplica uma diferença de potencial entre os eletrodos circula um feixe de partículas, o raio catódico. A Figura 3 esboça um modelo simplificado de tubo de raios

catódicos. Não os estranhem, talvez você possa ainda ter um em casa. As televisões convencionais são tubos de raios catódicos, o tubo de imagem!

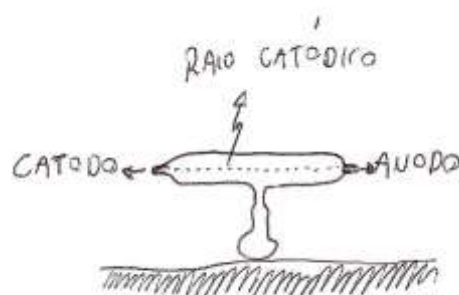


Figura 3 - Esquema simplificado de um tubo de raio catódico.

Você deve estar se perguntando: do que são feitos os raios catódicos?

Esta mesma pergunta J.J. (era assim que os amigos de Thomson o chamavam, como nos consideramos seus amigos, nós vamos tomar esta liberdade, pois temos certeza que ele não vai reclamar) se fez há mais de um século atrás.

J.J. mostrou que os raios eram feitos de partículas, todas idênticas. E para sua surpresa: **MENORES E MENOS MASSIVAS QUE O ÁTOMO**. Até então, acreditava-se que os átomos eram as menores partículas da matéria, mas J.J. mostrou que existem partículas ainda menores.

Estas partículas faziam parte dos átomos! J.J. dividiu o que era indivisível, o átomo. Existiam partículas ainda menores que ele, e elas constituíam os raios catódicos.

Estas partículas ficaram conhecidas como elétrons e a sua carga elétrica foi arbitrada como sendo negativa. O nome é de origem grega e significa *âmbar*, que é uma resina fóssil de árvore amarelada. Quem viu o filme *Parque dos Dinossauros* deve lembrar que no início do filme os cientistas retiram sangue de dinossauro de um mosquito pré-histórico preservado dentro de uma proteção, aquela proteção é o âmbar.

Depois da descoberta de J.J., o modelo de Dalton estava claramente errado, era necessário um novo modelo de átomo. J.J. propôs o seu que ficou conhecido como *pudim de passas*.

Neste modelo, o átomo seria um mar positivo, com os elétrons dentro deste mar. Uma analogia seria que a parte positiva seria o pudim e os elétrons,

que estavam mergulhados dentro das cargas positivas, seriam as passas que ficam espalhadas dentro do doce.

Mas, logo as nossas especulações de como seria o átomo mudariam graças às descobertas de um neozelandês que adorava jogar rúgbi, como quase todo neozelandês. Trata-se de **Ernest Rutherford** (1871-1937), vencedor do Prêmio Nobel de Química em 1908.

Em 1911, ele realizou uma experiência que iria mudar os rumos da humanidade com sua descoberta. Ele bombardeava uma lâmina de ouro com partículas alfa (dois prótons e dois nêutrons, ou um núcleo de hélio).

De acordo com o modelo de Thomson, a carga positiva estava espalhada e a negativa estava incrustada neste espalhamento de carga positiva. Logo, quando as partículas alfa se chocassem contra a lâmina de ouro, elas iriam sofrer apenas pequenos desvios ou desvio algum, pois os elétrons, muito menores que as partículas alfa, que promoveriam estes desvios.

Mas ao medir os desvios das partículas alfa ele se surpreendeu: algumas destas sofriam grandes desvios, o que levava a crer que elas encontravam obstáculos muito massivos dentro do átomo que evidentemente não eram os elétrons. Estes obstáculos não estavam de acordo com o modelo de Thomson.

O que ele concluiu?

Que o modelo de Thomson estava errado. Estes obstáculos massivos dentro do átomo eram positivos e tinham quase toda a massa do átomo. Rutherford então, concluiu que a carga positiva não estava espalhada pelos átomos e sim concentrada no seu centro, a esta concentração de carga positiva se deu o nome de núcleo atômico.

Rutherford descobriu o núcleo atômico. A Figura 4 esboça o que foi imaginado que ocorrera na clássica experiência de Rutherford.

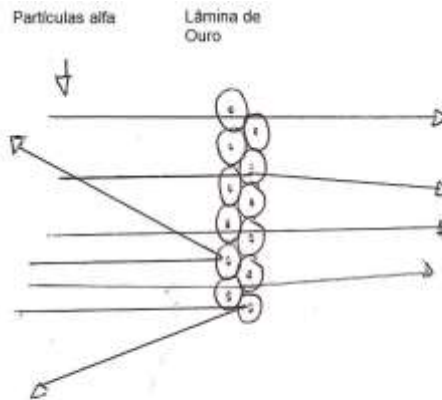


Figura 4 - Algumas partículas alfa não sofrem desvios, outras desvio muito pequenas, mas outras grandes desvios. Os grandes desvios ocorrem quando elas encontram uma grande concentração de carga positiva muito massiva, o núcleo atômico.

Um novo modelo de como seria o átomo então era necessário. O que Rutherford sugeriu foi o de um sistema planetário em miniatura.

No lugar do Sol o núcleo atômico. No lugar dos planetas orbitando em torno do Sol os elétrons orbitando em torno do núcleo. Nos dois casos, a maior parte do espaço é ocupado por... nada!

O átomo é aproximadamente dez mil vezes maior que o núcleo, os elétrons estão espalhados neste espaço muito maior que o núcleo. Se o núcleo fosse do tamanho de uma moeda de R\$ 1,00, o átomo seria de 25 km.

Mais tarde, se descobriu que o núcleo atômico era na realidade constituído de duas partículas: os prótons, de carga positiva, e os nêutrons sem carga elétrica, como o próprio nome sugere.

Então, o uma vez indivisível átomo, era agora formado por três partículas: em seu núcleo os prótons e nêutrons e orbitando em volta na região chamada de eletrosfera, os elétrons.

Mas, o modelo de Rutherford também não poderia estar certo. Pois, de acordo com a Física conhecida até então, ele não deveria existir, era teoricamente muito instável.

Nesta época, uma nova Física nascia: a Física Quântica. Com ela, foram possíveis modelos de átomos cada vez melhores e sem problemas de instabilidade, até chegar ao modelo atual de átomo, que ainda deverá ser melhorado.

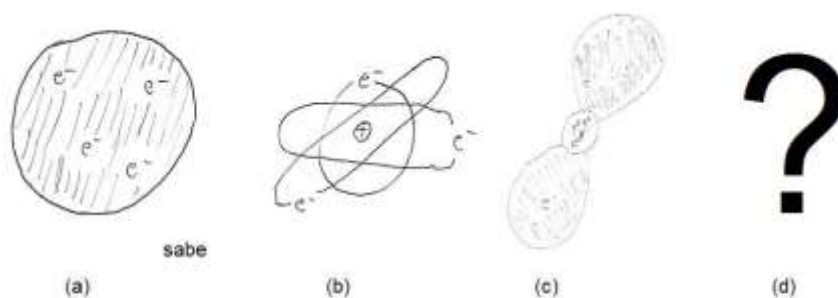
O modelo atual de átomo é mais ou menos o seguinte (lembre-se que este modelo é apenas uma tentativa de descrever o átomo): na parte central do átomo

temos o núcleo. Esta região é **muito** pequena em relação ao tamanho total do átomo, mas concentra quase toda a sua massa. Nesta região central se localizam duas partículas, os prótons ( $p^+$ ) e os nêutrons ( $n^0$ ), sendo que a carga do próton (ou do elétron) é a menor carga estável que existe.

Ao redor do núcleo existe uma espécie de nuvem onde outras partículas se localizam. Estas partículas são os elétrons (aquele descoberto por Thomson). Estas partículas possuem carga elétrica negativa. A carga do elétron também é a menor carga que existe, e tem o mesmo valor da carga do próton, só que a do próton é positiva e a do elétron é negativa. Com relação às massas, a do próton, pouco menor que a do nêutron, é mais de mil vezes maior que a do elétron! Assim, a maior parte da massa dos átomos deve-se ao núcleo.

Quando se fala em carga elétrica, lembre que se trata de uma propriedade da matéria. Da mesma forma que a matéria tem massa (voltaremos ao assunto mais adiante), algumas partículas que constituem a matéria têm carga elétrica.

A Figura 5 mostra a evolução dos modelos de como supomos que seja um átomo.



- (a) Modelo de Dalton, onde o átomo é uma nuvem positiva com elétrons negativos espalhados nesta nuvem.  
(b) Modelo de Rutherford, a carga positiva está toda concentrada em um região muuuito menor que o átomo inteiro, chamada núcleo, os elétrons orbitam em torno do núcleo.  
(c) Modelo atual, existe uma região central positiva com os prótons e nêutrons, e os elétrons não têm órbita definida, podem estar em qualquer ponto de uma nuvem negativa ao redor do núcleo.  
(d) Próximo modelo, quem sabe, não seja você o próximo a melhorar nossa concepção de como é o átomo.

## CIENTISTA POR ACASO

---

### **A grande crise do capitalismo**

A década de 1920 pareceu bem próspera nos EUA, tanto que o presidente **H. C. Hoover** (1874-1964) chegou a declarar no fim da década que a pobreza estaria erradicada muito em breve.

A prosperidade dos EUA estava ligada aos anos posteriores a I Guerra Mundial que devastou a Europa, os EUA foram muito menos atingidos pela guerra. As indústrias de eletrodomésticos e automóveis prosperavam como nunca, chegando ao fim da década com a razão de um automóvel para cada cinco habitantes dos EUA, a taxa na Europa era de um para noventa e cinco.

Para que as indústrias realizassem ganhos maiores, lançaram ações na bolsa de Nova York. Estes anos da década de 1920 ficariam conhecidos como os *anos da grande ilusão*.

Até que chegou o ano de 1929. Neste ano as indústrias produziram mais que a capacidade de absorção do mercado, uma superprodução. O valor das ações na bolsa eram maiores que o capital das empresas, os investidores correram então para vender suas ações, que perderam rapidamente seu valor. No dia 26 de outubro ocorreu a “quebra” da bolsa, dia conhecido como a quinta-feira negra. Neste dia, ninguém conseguia vender ações, pois elas não valiam nada.

Foram muitas as consequências da quebra da bolsa: a falência de bancos, a falência dos agricultores devido à desvalorização dos produtos agrícolas, as grandes indústrias diminuíram a produção e as pequenas faliram. Estas consequências da quebra da bolsa causaram desemprego massivo da classe trabalhadora, atingindo 15 milhões de trabalhadores.

Agora se coloque no lugar de um imigrante europeu nos EUA nesta década.

Imagine que você tivesse um filho, nascido em 1920 e conhecido no meio familiar como Ben e seu segundo filho nascesse em 15 de setembro, pouco mais de um mês antes da quinta-feira negra. Você poderia esperar um período de dificuldades para a família e seu recém-nascido filho, não é?

Esta situação ocorreu com uma família específica. E o filho nascido às vésperas da maior crise do capitalismo no século XX foi um dos protagonistas deste século.

Seu nome é **Murray Gell-Mann** (1929-), e você irá conhecê-lo um pouco agora.

### **Uma infância conturbada e promissora**

Até a década de 30 do século XX, acreditava-se ter sido descoberta a intimidade da matéria por completo. Sabia-se da existência de prótons, elétrons e nêutrons e acreditava-se serem estes os componentes básicos da matéria.

Só que nesta década começaram a se detectar partículas que não eram nenhuma das descritas anteriormente. Para melhor entendê-las e classificá-las de maneira adequada, entra em cena o nosso personagem.

A família de imigrantes de Gell-Mann era originária de onde se localiza hoje a Ucrânia, à época pertencente ao Império Austro-Húngaro. A imigração de sua família se deu devido ao fato de ela ser judia e como na primeira metade do século XX a perseguição aos judeus na Europa era grande, sua família tomou a decisão de tentar a vida do outro lado do Oceano Atlântico.

Coube ao bebê nascido em 1929, organizar todas estas partículas recém descobertas e ainda, acreditem, as que ainda não tinham sido descobertas.

A infância de Gell-Mann não foi fácil. Seu pai tinha uma escola de idiomas que veio a falir em 1931 dada a grande depressão econômica. Devido à crise ele estava mais preocupado em trazer comida para casa que participar do crescimento dos filhos. A grande influência de Gell-Mann foi seu irmão mais velho, Benedict (Ben). Juntos iam aos museus de Nova York, onde Murray desenvolveu o gosto pelo conhecimento, chegando a aprender a ler hieróglifos egípcios.



Logo cedo, se notou que Murray era acima da média. Com três anos dominava completamente as operações matemáticas, chegando a efetuar multiplicação de grandes números de cabeça. Aos seis recebeu uma bolsa de estudos em uma escola particular, com intermédio de sua professora de piano, pulando três anos e meio.

## **Vida universitária e científica**

Com apenas quatorze anos foi aceito pela conceituadíssima *Universidade de Yale*, onde foi colega de classe de George Bush, o pai.

A intenção de Gell-Mann, em princípio, não era estudar Física. Sua experiência com a ciência na escola secundária não foi das melhores (talvez o ensino de Física tenha melhorado pouco desde então), pois considerava esta ciência maçante e desinteressante. Interessava-se principalmente por línguas, interesse que o acompanhou por toda a vida, visto que foi um dos poucos cientistas – se não o único – que agradeceu o seu Prêmio Nobel com um discurso em sueco fluente.

Não é de se estranhar que quisesse cursar Arqueologia ou Linguística. Seu desejo foi declinado por intermédio de seu pai, que se preocupava com o futuro financeiro do filho e acreditava que tais profissões não eram promissoras neste sentido.

O pai de Murray o aconselhou a cursar Engenharia, mas ele disse que queria aprender coisas sobre o mundo em que vivia, e que preferiria passar fome a passar a vida construindo pontes e prédios. Dada à situação, seu pai o indicou o curso de Física e Murray aceitou relutantemente, muito provavelmente apenas para resolver o impasse com seu pai, pois ele tinha a intenção de mudar de curso quando estivesse em *Yale*.

Para sorte da Física, Murray apaixonou-se por ela quando começou a cursar a graduação e suas intenções de trocar de curso foram abortadas. Nas próprias palavras de Murray: “Me tornei um físico por mero acaso”.

Gell-Mann se formou em 1948 com apenas 18 anos e continuou estudando Física. Decidiu que iria tentar iniciar o doutorado. Inscreveu-se e foi recusado em *Yale*, *Harvard* e *Princeton*. Foi aceito no *Instituto de Tecnologia de*

*Massachusetts*, conhecido pela sigla em inglês MIT, onde obteve o título de doutor em 1951.

No ano seguinte foi-lhe feita uma proposta de emprego a um cargo na *Universidade de Chicago*. Murray aceitou a proposta.

Em 1953, começa a chamar a atenção do mundo da Física ao propor que certas partículas subatômicas possuem uma característica chamada – foi o próprio Gell-Mann que batizou esta característica das partículas menores que o átomo – *estranheza*.

Qualquer partícula menor que um átomo pode ser considerada “estranha”, mas é preciso diferenciar a característica física chamada *estranheza* do sentido usado normalmente. Gell-Mann poderia ter chamado esta característica de “espaço”, “livro” ou “abacate”, mas preferiu chamar de *estranheza*.

Esta característica subatômica proposta por Gell-Mann é que governa a rapidez com que as partículas se transformam em outras.

Vamos voltar ao estranho – no sentido usual agora – mundo subatômico. A ideia da *estranheza* – no sentido gellmanniano desta vez – recorreu a Murray quando ele soube que certas partículas geradas artificialmente não se comportavam como a teoria aceita até então previa. Elas se comportavam durante mais tempo que o previsto. Este tempo era de frações de bilionésimo de segundo. Este tempo pode ser uma eternidade para quem é uma partícula subatômica, o que não deve ser o caso de você que está lendo agora.

Em 1955, aos 26 anos, aceita a oferta do cargo de professor no *Caltech*, onde no ano seguinte torna-se professor pleno da instituição. Neste período que Gell-Mann propôs a teoria que o colocaria definitivamente no Salão da Fama dos maiores físicos de todos os tempos, a classificação das partículas subatômicas.

Durante a década de 1950, Gell-Mann foi colega de trabalho de outro gigante da Física, **Richard Feynman** (1918-1988). Os dois tinham personalidades bem diferentes, mas tinham uma genialidade comum.

Um exemplo das diferentes personalidades destes dois gigantes era na hora do almoço. Murray optava pelo *Atheneum*, o clube dos professores, onde tinha uma mesa cativa a sua espera. Por sua vez, Feynman, preferia o bandeirão

da universidade, com o apelido nada apetitoso de gordurento. Durante o almoço Feynman contava e ouvia histórias com os estudantes.

Em 1963, Murray propôs a existência dos *quarks*.

O tipo de queijo?

Não, são partículas subatômicas que você irá conhecer no Capítulo VII!

Em 1969, recebeu o Prêmio Nobel de Física por suas pesquisas em Física Quântica. Feynman já havia recebido o Nobel em 1965.

## ZOOLÓGICO DE PARTÍCULAS

---

Dalton “ressuscitou” a ideia do átomo no século XVIII. Ele levava a sério o nome átomo (que significa indivisível). Para ele, portanto, o átomo era a menor partícula da matéria, não existia NADA menor e menos massivo que o átomo.

Porém, esta visão atômica teve que ser abandonada no final daquele mesmo século, graças a um velho amigo nosso J.J. (Thomson).

### **As primeiras partículas subatômicas**

Quando J.J. trabalhava com tubos de raios catódicos, descobriu partículas menores e menos massivas que os átomos.

Ele mostrou que o átomo não era a menor partícula da matéria, existiam partículas menores e menos massivas ainda. As partículas descobertas por J.J. foram batizadas de elétrons e sua carga foi arbitrada como negativa. O “resto” do átomo (para J.J. uma nuvem em que os elétrons estavam distribuídos) era positivo.

Quando Rutherford bombardeou folhas de ouro com partículas alfa, ele e seus assistentes descobriram que na verdade a nuvem de carga positiva não correspondia à verdade, ela estava toda concentrada em uma minúscula porção do átomo. Nascia o núcleo atômico e com ele a física atômica.

Como toda grande descoberta, a de Rutherford gerou mais perguntas: como seriam os núcleos? Será que eles são feitos de partículas ainda menores? Se sim, quantas partículas são e como seriam elas?

Antes da descoberta da constituição dos núcleos atômicos, Rutherford descobriu do que eram feitas as partículas alfa: átomos de hélio sem os seus elétrons. O cenário estava pronto na década de 1910 para a física atômica avançar para a descoberta de seus constituintes.

Daí veio o desastre.

Por vezes, a estupidez humana mostra a sua face mais nítida, em poucas situações isto se mostrou mais claro que na década de 1910.

Em paralelo aos avanços de Rutherford e da física atômica, os governantes do mundo se mostravam intransigentes e poucos flexíveis. Este cenário levou a I Guerra Mundial, que durou de 1914 a 1918 e matou em torno de dez milhões de pessoas, em sua maioria quem nem sabia os motivos que levaram à guerra.

Os avanços de Rutherford na física atômica tiveram que esperar por sua convocação para prestar serviços militares. O cientista teve que deixar de lado seus avanços científicos para se dedicar à indústria bélica. Rutherford ajudou a criar aparelhos para detectar submarinos.

Quando, em 1918, os prêmios militares de Rutherford já não eram mais necessários, ele pode voltar a se dedicar à ciência. Durante a guerra, ele tinha deixado trabalhando em seus laboratórios na *Universidade de Manchester*, seu assistente **Ernest Marsden** (1889 – 1970).

Marsden realizou um experimento onde incidia partículas alfa altamente energéticas contra gás hidrogênio. Quando analisava as partículas resultantes da colisão, observava, além das alfa que haviam sido jogadas, OUTRAS PARTÍCULAS menores, menos massivas e com velocidade maiores que as incidentes. Rutherford, de volta à física atômica, se interessou pelas partículas descobertas por Marsden.

A primeira coisa a ser descoberta era se estas partículas recém-descobertas tinham ou não carga elétrica.

Rutherford descobriu que sim, e era positiva. Além disto, descobriu que se tratava de núcleos de hidrogênio ejetados quando algumas moléculas do gás hidrogênio eram atingidas pelas partículas alfa.

A pesquisa continuou a investigar a natureza destas novas partículas. Para isto, Rutherford refez os experimentos de Marsden, substituindo o gás hidrogênio por ar comum.

O que ele observou o deixou surpreso e – dizem – até confuso.

Núcleos de hidrogênio, as mesmas partículas observadas quando se bombardeava o gás hidrogênio. Mas como isto é possível? O ar comum é quase todo formado por nitrogênio e oxigênio, sem hidrogênio. Mesmo assim

apareciam núcleos de hidrogênio após a colisão das partículas alfa contra o ar comum. Por que isto acontecia?

Rutherford analisou seus resultados e concluiu que os núcleos de hidrogênio vinham dos núcleos de nitrogênio que formavam o ar comum.

*Como pode núcleos de nitrogênio serem formados por núcleos de hidrogênio?*

A resposta de Rutherford foi genial. Na verdade os núcleos de hidrogênio eram como blocos indivisíveis que serviam de base para construção dos núcleos de outros elementos mais massivos, como o nitrogênio do ar comum. O núcleo de hidrogênio era uma partícula que formava os demais núcleos atômicos. Estes núcleos de hidrogênio eram “colados” de alguma forma para formar os núcleos dos elementos mais massivos, esta “cola” você irá conhecer num capítulo posterior.

A explicação das observações de Rutherford ao bombardear ar comum com partículas alfa era a seguinte: quando as partículas alfa atingiam os núcleos de nitrogênio, elas tinham energia suficiente para “descolar” os núcleos de hidrogênio que formavam o núcleo de nitrogênio.

Faltava agora batizar estas partículas que constituíam os núcleos de todos os elementos.

Rutherford fez isto em 1920, e você com certeza já ouviu falar deles, são os *prótons*.

Com a descoberta dos prótons, já se sabia que além de os átomos serem divisíveis eles continham pelo menos duas partículas diferentes. Uma no núcleo, que tinha carga positiva e se chamava próton, e outra ao redor do núcleo que tinha carga negativa, chamada elétron.

Mas existia outra pergunta sem resposta: será que os átomos teriam outros constituintes ou seriam formados apenas por prótons e elétrons?

A resposta teve que esperar.

Quando os físicos mediam a massa de um núcleo eles tinham algumas surpresas. Por exemplo, o núcleo de oxigênio tem oito prótons no núcleo e carga equivalente ao valor destes oito prótons e massa equivalente, em 99,8% dos átomos de oxigênio, a 16 prótons. Para solucionar este mistério a primeira proposta foi de que além dos oito prótons, os núcleos teriam mais oito prótons (o que explicaria a sua massa total) e oito elétrons (para que a carga do núcleo não

fosse alterada, cada elétron extra no núcleo tinha sua carga compensada pelo próton extra). Com esta proposta os físicos foram para seus gabinetes estudar se ela poderia corresponder à verdade.

Seus estudos mostravam que este arranjo não poderia deixar o átomo estável do modo como o conhecemos.

Era preciso uma outra solução.

A próxima proposta era que no núcleo tivesse, no caso do oxigênio além dos oito prótons, mais oito outras partículas com praticamente a mesma massa, na verdade um pouquinho maior, e que tinham carga elétrica neutra, tais partículas receberam o nome nada criativo de *nêutrons*. O problema agora estava com os físicos experimentais que deviriam conseguir detectá-la.

Os físicos experimentais tentaram, tentaram e tentaram durante toda a década de 1920 – sem sucesso

Em 1930, uma equipe chefiada pela cientista alemã **Walter Bothe** (1891-1957) bombardeou uma amostra de berílio com partículas alfa. Após a colisão apareciam partículas com praticamente a mesma massa do próton, mas sem carga elétrica.

Coube ao físico inglês **James Chadwick** (1891-1974) identificar, em 1932, estas partículas observadas por Bothe. Ao estudar as partículas, Chadwick percebeu-as como os tão procurados nêutrons.

A quantidade de nêutrons de um núcleo está ligada com sua estabilidade. Se um núcleo tiver nêutrons de mais ou de menos que a quantidade certa, o núcleo se torna instável e radioativo. Um mesmo elemento pode ter isótopos estáveis e radioativos, como o caso do césio. O núcleo de césio-133 (55 prótons e 78 nêutrons) é estável, ao passo que o césio-137 (55 prótons e 82 nêutrons) é radioativo por ter nêutrons demais em relação ao número de prótons para deixar o núcleo estável.

Após a detecção dos nêutrons, acreditava-se ter descoberto todas as partículas que constituíam a matéria: prótons, elétrons e nêutrons.

Foi quando se construíram os primeiros aceleradores de partículas, e esta crença pareceu ingênua.

Entre as décadas de 30 e 60 do século XX, houve um grande número de partículas novas detectadas experimentalmente.

O número de partículas era tanto que **Julius Robert Oppenheimer** (1904-1967) – coordenador do projeto que construiu a bomba atômica pelos Estados Unidos – cunhou o termo *zoológico subatômico* para definir a situação da época, tal o nível de desorganização que pareciam ter estas partículas.

Oppenheimer ainda sugeriu, como um exemplo típico de seu humor áspero, que fosse dado o Prêmio Nobel ao físico que não descobrisse uma partícula nova em um ano qualquer, tal era a quantidade de novas partículas descobertas ao redor do planeta.

Os físicos aguardavam uma teoria que desse uma explicação e classificasse esta quantidade enorme de partículas, que pareciam sem ligação umas com as outras.

## Um sonho de ideia

A situação era similar a que ocorreu com elementos químicos. Vários elementos químicos estavam sendo descobertos no fim do século XIX. Era preciso organizá-los em uma classificação racional e simples. Coube ao russo **Dmitri Mendeleev** (1834-1907) tal tarefa, nascendo assim a famosa tabela periódica que todos nós conhecemos.

A classificação de Mendeleev foi tão genial que foi possível notar lacunas na sequência dos elementos. Tais elementos ainda não tinham sido descobertos, porém já se sabiam das suas características mesmo antes de isolá-los. Quando, finalmente, estes elementos que faltavam na classificação de Mendeleev foram encontrados, percebeu-se que suas características correspondiam exatamente às previstas pela tabela de Mendeleev.

Para chegar à tabela periódica que todos conhecemos não foi fácil.

Em 1868, ele estava dedicado a achar um padrão de classificação dos elementos químicos, que eram 63 descobertos até então. Sabia-se que existiam características comuns a grupos de elementos diferentes. Sabia-se também que elementos diferentes eram formados por átomos diferentes.

Nesta época, os átomos dos elementos eram classificados de acordo com seu peso atômico, indo de 1 até 207, sendo o menor correspondente ao elemento hidrogênio e o maior ao chumbo.



O que Dmitri estava tentando fazer era identificar um padrão que relacionasse os pesos atômicos dos elementos com os grupos de características similares.

A pergunta que Dmitri queria responder era: como é a relação entre os pesos atômicos dos elementos com os grupos com características semelhantes? Existe tal relação?

Em 14 de fevereiro de 1869, Dmitri trabalhava obstinadamente no problema da classificação. Tinha pressa, pois iria se afastar de seus estudos para uma viagem à localidade de *Tver*, onde possuía uma pequena propriedade rural. A viagem era para participar do Encontro da Cooperativa Econômica Voluntária de *Tver*.

Trabalhou dia e noite, sem dormir da sexta até segunda, que era o dia da viagem. Inicialmente marcada para a manhã, Dmitri a transferiu para tarde, a fim de ter mais algumas horas para se dedicar aos estudos dos elementos.

Dmitri apreciava muito o jogo de cartas chamado *paciência*, onde o objetivo é ordenar as cartas de acordo com os naipes e em ordem decrescente. O que Mendeleev procurava fazer com os elementos era algo parecido, ordenar os elementos em grupos com características semelhantes de acordo com seus pesos atômicos em ordem crescente. Ele decidiu então escrever todos os elementos com suas características em fichas brancas individuais, e ficou contemplando as 63 fichas, agora preenchidas, tentando achar um padrão. Chegou a chamar sua busca pelo ordenamento dos elementos de jogo de *paciência química*, em clara alusão ao jogo de cartas.

Durante o início da tarde de segunda, os dias em claro começaram a pesar sobre as pálpebras de Dmitri, ele se debruçou sobre a mesa, cochilou e teve um sonho.

Anos mais tarde, Mendeleev lembrou seu sonho com as seguintes palavras: “Vi num sonho uma tabela em que todos os elementos se encaixavam como requerido. Ao despertar, escrevi-a imediatamente numa folha de papel”. O que Dmitri escreveu na folha ao acordar foi a primeira tabela periódica da história da Química.

A confiança de Mendeleev em sua tabela era tão grande que quando o elemento tório não se encaixou na tabela, ele disse que seu peso atômico deveria ser recalculado. Quando nenhum elemento se encaixava nas “vagas” da tabela,

ele as deixava vazias a espera que este elemento fosse descoberto, porém mesmo antes de serem descobertos já se conhecia as suas propriedades.

A validade da tabela de Dmitri foi desafiada em 1874. Será que ela tinha falhas e o sonho de Mendeleev não passava de uma inocente ilusão?

O desafio ocorreu quando o francês **Paul Lecoq** (1838 – 1912) descobriu o elemento conhecido hoje como gálio. Quase todas as características do novo elemento se encaixavam em um lugar vago deixado na tabela de Dmitri, com exceção da gravidade específica (densidade relativa à água). O valor previsto na tabela era de 5,9, ao passo que o valor calculado por Lecoq ao descobrir o novo elemento foi de 4,7.

Quando Dmitri soube da discrepância entre os valores teve uma reação que mostrou que nem por um momento achou que sua tabela sonhada (nos dois sentidos da palavra sonho) estivesse errada. Mandou que o francês recalculasse o valor da gravidade específica. Mesmo relutante Lecoq recalculou e encontrou... 5,9, exatamente o valor previsto na tabela.

Desde então, a tabela periódica é uma ferramenta indispensável na Química. Ser químico sem o auxílio da tabela periódica seria um pesadelo para os químicos modernos.

## O classificador de partículas

Alguém precisava classificar as partículas da mesma forma que Mendeleev fez com os elementos químicos. Coube a Gell-Mann e independentemente por **Yuval Ne'eman** (1925-2006) – físico israelense que trabalhava no Imperial College em Londres – a tarefa de criar uma classificação para o zôo de partículas existentes.

Durante a década de 1950 estavam sendo realizadas experiências com raios cósmicos. Estes raios são partículas, prótons e núcleos atômicos com altas energias, cuja origem ainda hoje é debatida, mas pode se dever a processos que acontecem nas estrelas. Os núcleos mais pesados são gerados em estrelas que explodiram e lançaram partículas pelo universo e algumas delas chegaram até nós, os prótons teriam sido gerados no início do universo.

Estes raios cósmicos vindos do espaço sideral são chamados de raios cósmicos primários, pois quando eles atingem nossa atmosfera e colidem com as moléculas que a formam, os raios cósmicos primários geram novas partículas, estas novas partículas são chamadas de raios cósmicos secundários. Eram com estes raios cósmicos gerados a partir da colisão com a atmosfera que os físicos da década de 1950 estavam realizando experiências.

Os raios cósmicos são um perigo para missões espaciais, pois podem danificar aparelhos e expõem os astronautas a riscos que um organismo sofre ao ser exposto as radiações. Aqui na superfície da Terra estamos parcialmente protegidos destes raios cósmicos pela atmosfera da Terra e pelo campo magnético terrestre. Mesmo assim, atinge cada centímetro quadrado da superfície da Terra uma média de cinco partículas a cada segundo em uma latitude média, sendo este número maior quanto maior for a latitude. Neste momento, mesmo que você jure que não está sentindo nada, várias partículas atravessam seu corpo.

Com a análise das experiências com raios cósmicos, os físicos observaram partículas que necessitavam de uma teoria que explicasse seu comportamento, pois as disponíveis na época faziam previsões que não correspondiam ao observado na prática.

Ao analisar mais de dez mil fotos dos raios cósmicos, a equipe coordenada pelo inglês **Patrick Blackett** (1897 – 1974), encontrou 67 eventos estranhos que ocorriam com as partículas que eram observadas. Ninguém sabia explicar porque elas se comportavam daquela maneira.

A grande sacada de Gell-Mann para explicar o comportamento estranho destas partículas foi introduzir um conceito, batizado de *estranheza*. Lembre-se de não se assustar com o nome, por mais estranho que pareça, é apenas a forma de chamar uma propriedade de certas partículas, que poderia ter outros nomes menos... esquisitos.

Carga elétrica é uma outra propriedade de certas partículas. Estas propriedades são chamadas de números quânticos pelos físicos de partículas.

A carga elétrica sempre se conserva, não podemos criar nem destruir carga elétrica. Estranheza é outro número quântico, certas partículas possuem estranheza e outras não, assim como certas partículas possuem carga elétrica e

outras não. A estranheza se conserva em algumas circunstâncias e em alguns processos não.

Com esta hipótese Gell-Mann pôde explicar alguns eventos estranhos que ocorriam ao fazer experiência com raios cósmicos. Mais tarde, outras partículas dotadas de estranheza foram descobertas em aceleradores de partículas.

A sua classificação das partículas subatômicas consistia em colocar ordem no grande número destas partículas que existiam. Ela funcionava agrupando as partículas que tinham similaridades, estes grupos eram como as gavetas de um armário onde se colocam roupas com similaridades – as gavetas de cueca, meia e camisa. É claro que em seu quarto pode estar tudo espalhado, então você deve saber como estavam as partículas na cabeça dos físicos antes de Murray propor sua classificação. As gavetas da classificação de Gell-Mann tinham inicialmente três, oito ou dez lugares, conhecidos respectivamente como tripletos, octetos e decupletos. As partículas de cada gaveta têm características similares e praticamente a mesma massa. A classificação também mostra a conexão entre partículas de grupos diferentes.

Podemos traçar, mais uma vez, um paralelo entre a classificação de Gell-Mann das partículas e a de Mendeleev dos elementos químicos. Dmitri classificou os elementos em famílias onde agrupou os que tinham similaridade, a mesma coisa Gell-Mann fez com as partículas, agrupou-as em famílias onde elas tinham similaridade.

A classificação feita por Gell-Mann e Ne'eman foi tão bem sucedida que, da mesma maneira como ocorrera com a tabela periódica, novas partículas puderam ser previstas antes de serem detectadas. Tal previsão se fundamentava no que, segundo a classificação de Gell-Mann, elas deveriam existir para preencher os espaços ainda não completados.

A contribuição de Gell-Mann ao introduzir o número quântico estranheza e a classificação das partículas foi fundamental para a física de partículas. Podemos dizer que o zoológico de partículas agora tinha uma ordem e as partículas tinham relações entre si.

Agora vamos nos aventurar a conhecer este zoológico de partículas que foi classificado e entendido, em suas relações, a partir das ideias de Gell-Mann.

Vamos falar da cola de prótons no núcleo.

## INTERAÇÕES FUNDAMENTAIS

---

Você deve estar ansioso para conhecer as partículas que compõem a natureza, mas acalme-se, nem o mundo foi feito em um dia apenas.

Antes de conhecer todas as partículas que compõem a natureza, vamos conhecer as forças que a regem.

### **Apenas quatro**

Seja a força que o mantém na superfície da Terra, seja a que mantém os elétrons em volta do núcleo, a que mantém os núcleos coesos e por fim a que explica o decaimento beta ou qualquer outra força no universo inteiro. Essas são sempre inseridas em apenas quatro tipos, as quatro maneiras de as partículas interagirem entre si.

Duas delas podem ser percebidas em escala macroscópica, por você neste momento inclusive. O fato de não conseguir atravessar uma parede, sem abrir a porta, ou de você sempre voltar em direção ao chão quando pula são exemplos destas forças.

As outras duas são sentidas apenas em escala microscópica, em dimensões atômicas, ou melhor, menores que isto ainda, nas dimensões do núcleo atômico. São as responsáveis por manterem as partículas do núcleo grudadas e de umas partículas no núcleo se transformarem em outras.

As quatro interações fundamentais, ou forças, são:

- Gravitacional;
- Eletromagnética;
- Nuclear Forte;
- Nuclear Fraca.

## Gravitacional

A interação que nos é mais clara é a gravitacional, que é a mais “democrática”, visto que qualquer corpo que possua massa a sente. Esta interação é provocada pela massa de um corpo, que atrai a massa de outro. Assim sendo, dois corpos que possuem massa irão interagir através de uma força de atração. É a força que explica porque astros orbitam em torno de outros.

Pode ser resumida na seguinte frase: massa sempre atrai massa. Esta força depende apenas das massas dos corpos envolvidos e da distância entre eles. É sempre atrativa e tem alcance infinito. Está totalmente correto dizer que aquela estrela do cinema se sente atraída por você, devido que sua massa atrai a massa dela, infelizmente além da sua atração, ela sente também a das outras sete bilhões de pessoas no planeta Terra.

De acordo com o que **Isaac Newton** (1643 – 1727) nos mostrou, esta força é diretamente proporcional ao produto das massas dos corpos e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles. Uma das histórias mais interessantes de toda a ciência foi a de como Newton teria se dado conta da força gravitacional. Em 1665, a universidade em que ele desenvolvia suas atividades acadêmicas, *Cambridge*, foi fechada devido à peste negra ter assolado boa parte da Inglaterra. Newton não teve escolha, foi obrigado a voltar para a fazenda da sua mãe, seu pai morreu antes mesmo de ele nascer na localidade de *Woolsthorpe*. Como tinha bastante tempo livre pensou sobre os mistérios do universo que o intrigavam e buscava soluções para eles, um destes era sobre a força que faz os astros se moverem. Em um belo dia, Newton se senta embaixo de uma macieira, contempla a Lua e reflete sobre a força que a Terra faz para atrai-la, quando de repente... uma maçã cai sobre sua cabeça e ele tem um “momento iluminado”. A força que faz a maçã cair no chão é a mesma que faz a Lua permanecer em órbita, e esta força depende apenas da massa dos corpos e da distância entre eles, nascia a Lei da Gravitação Universal. Apesar de ser uma bela história, hoje a maioria dos estudiosos acredita que ela não ocorreu, eles se baseiam em uma série de evidências para afirmar que ela não passa de lenda. Apesar disto não deixa de ser bela esta história.

Em resumo: a força gravitacional será maior quanto maiores forem as massas dos corpos, e quanto maior a distância entre eles menor a força será.

Para calcularmos a força ainda é necessária a constante de proporcionalidade. Esta é conhecida como *Constante da Gravitação Universal* e seu símbolo é  $G$ . Ela foi medida pela primeira vez pelo físico inglês **Henry Cavendish** (1731 – 1810) no século XVIII, bem depois de Newton que nunca conheceu o valor de  $G$ . Ao contrário de Newton você irá conhecer o valor numérico de  $G$ , que é 0,0000000000667. Sua unidade no Sistema Internacional é o  $\text{N.m}^2/\text{kg}^2$ .

Se você quiser medir a força de atração gravitacional entre a folha de papel que está lendo e você, basta multiplicar a sua massa pela da folha de papel e por  $G$ , depois dividir pela distância que o separa do papel elevada ao quadrado.

Por ser a constante da gravitação universal muito pequena, para que a força gravitacional tenha um valor apreciável, as massas envolvidas devem ser muito grandes. Por este motivo, é que podemos “notar” a força que o Sol faz na Terra, pois suas massas são tão grandes que quando multiplicadas por  $G$  geram um valor que não é desprezível. Agora, a força de atração entre você e aquela estrela de cinema não tem um valor grande, pois sua massa, mesmo que você se ache muito gordo, não é grande o suficiente para que a estrela seja puxada em sua direção, mas que a força de atração entre vocês existe, existe. Mesmo que sua massa não seja grande, quando ela está interagindo com outra bem grande a força gravitacional pode ser considerável, é o caso que explica como você é puxado em direção ao centro da Terra: a massa do planeta é muito grande e atrai sua pequena massa, ou se você for egocêntrico, a sua massa está atraindo a Terra, pois a força que a Terra faz em você (seu peso) tem o mesmo valor da que você faz na Terra, mas como sua massa é menor, você é que se acelera e a Terra não.

Um outro fenômeno observado por milhares de pessoas todos os dias tem sua explicação na força gravitacional, trata-se das marés. O sobe e desce do nível do oceano é causado em grande parte pelo movimento da Lua em torno da Terra, uma pequena parte é causada pelo movimento da Terra em torno do Sol. Apesar da Lua e o Sol estarem bem distantes da Terra, suas massas são capazes de movimentar as águas do oceano, pois os astros “puxam” as águas em sua direção, já que suas massas atraem a massa das águas, que podem se mover

alteram o nível do oceano. Existem duas marés altas e duas baixas todos os dias. Em média, na maré alta o nível do oceano sobe um metro do valor médio, na baixa ele desce um metro. Na maré baixa, a água “some” indo formar a maré alta em outro local que está mais perto do satélite natural da Terra, na alta a água aparece de novo, vindo atrás da Lua. O horário das marés não é o mesmo todos os dias, pois o ciclo completo dura mais de um dia, a duração do ciclo das marés é de 24h e 50 minutos.

Um objeto celeste que habita o imaginário popular tem a explicação do seu poder na ação da força gravitacional provocada por ele, os buracos negros. A grande atração que estes objetos celestes causam não é devido a uma grande massa, a sua é praticamente a mesma que a estrela de qual ele foi originado. Se um corpo celeste – você? – estiver à mesma distância do centro de um buraco negro que do centro de uma estrela comum de massa igual ao do buraco, a força que a estrela e o buraco negro farão no corpo celeste é a mesma. A diferença entre o buraco negro e a estrela comum, de mesma massa, é que o buraco negro tem a massa muito mais concentrada que a estrela, assim o corpo celeste poderá chegar mais perto do centro do buraco. Se um corpo chega mais perto de outro, a atração gravitacional é maior. Este é o motivo que causa a grande atração gravitacional dos buracos negros, é que a sua massa está muito concentrada, e os corpos celestes podem se aproximar mais deles. Nas vizinhanças de um buraco negro, a atração gravitacional é tão grande que tudo é atraído para ele, incluindo a luz, por isso ele é negro.

## **Eletromagnética**

Esta interação atinge os corpos que possuem cargas elétricas, esta é uma propriedade que algumas partículas possuem. Existem dois tipos de cargas elétricas; positiva e negativa. O nome positivo e negativo é totalmente arbitrário e querem apenas dar ideia de oposição de um tipo de carga em relação à outra. Poderiam se chamar branca e preta, clara e escura ou quaisquer nomes que deixassem claro que os dois tipos de cargas têm características opostas. O número de partículas que possuem cargas elétricas positivas e negativas é o mesmo no universo.



Ao contrário da gravitacional, nem sempre é atrativa, podendo ser repulsiva também. É a força principal em escala atômica. Pode ser resumida na seguinte frase: partículas com cargas iguais se repelem e com cargas opostas se atraem. Vai dizer que você nunca ouviu falar que os opostos se atraem? Esta força, assim como a gravitacional, também tem alcance infinito. Em comum com a força gravitacional, tem que é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre os corpos que a sentem.

A formação dos átomos pode ser explicada pela atração de partículas de cargas de sinais opostos. No núcleo estão os prótons (positivos) que atraem os elétrons (negativos) que estão na nuvem ao redor do núcleo conhecida por eletrosfera. A força que forma as moléculas também tem natureza eletromagnética quando um átomo atrai o outro. Existia uma pergunta, que você também deve ter se feito, que deixava os físicos loucos quando eles conheceram esta estrutura atômica.

Qual a pergunta?

A pergunta era: por que, se os prótons têm carga positiva e os elétrons que têm negativa, e sabendo que cargas opostas se atraem e perdem energia sob a forma de radiação ao se locomover, os elétrons não espiralam em direção ao núcleo até colapsar contra ele?

Para responder esta pergunta foi necessário desenvolver uma das mais importantes teorias do século XX, a mecânica quântica. Mas, apesar de ser uma teoria linda, vamos deixá-la para outro papo.

Em 1775, o cientista inglês **Joseph Priestley** (1733 – 1804), que entre outras contribuições para a ciência foi o descobridor do oxigênio, sugeriu que seria possível desenvolver uma lei para calcular a força eletromagnética, que seria análoga à da gravitacional que Newton desenvolvera. As especulações de Priestley foram confirmadas, em 1785, pelo cientista francês chamado **Charles Coulomb** (1736 – 1806), daí ser conhecida como *Lei de Coulomb*. A lei prevista pelo inglês e desenvolvida pelo francês permite calcular a força entre duas partículas que possuam carga elétrica. Ela estabelece que a força entre dois corpos carregados é proporcional ao produto de suas cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância. Também, em homenagem a Charles, a unidade de carga elétrica no Sistema Internacional de Unidades é o Coulomb (C): 1 C equivale a carga de 6,25 bilhões de bilhões de elétrons ou de prótons.

Para calcular a força eletromagnética também é preciso uma constante de proporcionalidade, análoga à G. Na Lei de Coulomb a constante é k e está relacionada com os meios em que as partículas estão inseridas, cada meio tem um valor diferente de K, o do vácuo vale 9.000.000.000. Sua unidade no Sistema Internacional é o  $N.m^2/C^2$ .

De maneira parecida com a força gravitacional, se você quiser medir a força eletromagnética entre duas partículas carregadas basta multiplicar a carga da primeira pela segunda e ainda por K, e depois dividir pela distância entre elas elevada ao quadrado.

As cargas elétricas não podem ser criadas nem destruídas, elas podem apenas se movimentar de um corpo para outro. É como se Deus no início do universo tivesse dito: “faça uma quantidade X de cargas elétricas e se mantenham até os fins dos tempos”, e assim foi feito. Logo após o *Big Bang*, a evolução inicial do universo, hoje e daqui a cinco bilhões de anos (quando o Sol explodir) a quantidade de cargas elétricas no universo será a mesma X.

Não existe carga estável de valor menor que a do próton e a do elétron, o valor das cargas deles é a mesma e vale  $1,6 \times 10^{-19}$  C, só que um tem sinal positivo e outro negativo. Não é possível existir isoladamente partículas com carga menores que a do elétron, toda a carga de um corpo é múltiplo deste valor, diz-se então que a carga é *quantizada*, sempre tem um valor que é múltiplo da carga do elétron. Acontece algo parecido com o dinheiro do seu bolso, se é que você não gastou tudo. Toda quantidade de dinheiro é múltipla de um mínimo existente, o centavo. Se você tiver uma nota de R\$ 100 no bolso, este dinheiro é múltiplo de um centavo, vale 10.000 x um centavo, o dinheiro, assim como a carga elétrica dos corpos, é quantizado.

Se colocássemos dois prótons a uma distância de um metro, aconteceriam duas forças. Uma a eletromagnética que, como eles têm mesma carga, faria com eles se repelissem, mas também ocorreria uma força gravitacional, porque os prótons têm massa e massa atrai massa, esta faria com que os prótons se atraíssem. O que será que acontece, qual força vence? A resposta é simples, a eletromagnética tem valores enormes comparada com a gravitacional, por isto os prótons se repeliriam quase que ignorando que existe a força gravitacional.

É devido à força eletromagnética que você não consegue atravessar a parede, ou consegue sentar na cadeira, é ela que explica o contato físico. A

verdade mesmo é que você nunca encosta nem na parede, nem na cadeira, nem em nada, a verdade sobre o contato físico é que jamais há contato físico, em hipótese alguma. Quando um corpo rígido se aproxima de outro, os elétrons que compõem os corpos irão se repelir, fazendo com que pareça que você está encostando, mas na verdade os seus elétrons estão empurrando os elétrons do outro corpo. Aquela frase manjada dos namorados, quando dizem que não conseguem esperar o momento que seus lábios se toquem, deve ser dita como que não conseguem esperar para que “os elétrons de seus lábios sintam a força eletromagnética causada pelos elétrons dos meus”.

## Nucleares

As forças nucleares são descobertas recentes, datam do século XX. Alguns dos mais brilhantes físicos da história optaram por ignorá-las, como **Albert Einstein** (1879 – 1955).

São duas interações que atuam em escala nuclear: a forte e a fraca.

Quando Rutherford descobriu que os núcleos atômicos eram formados por núcleos de hidrogênio, que conhecemos hoje como prótons, logo uma pergunta atormentava os físicos.

Como é possível que partículas de mesma carga (positiva) permaneçam unidas no núcleo se a força eletromagnética as faz repelirem-se? Qual seria o mistério?

Simples! Deve haver uma força maior que a eletromagnética, que atua somente no núcleo e provoca a atração de suas partículas (prótons e nêutrons). Esta força que cola os prótons e nêutrons no núcleo é conhecida como força nuclear forte.

Esta força atinge somente as partículas do núcleo atômico, e é sempre atrativa. É a principal força em escala nuclear. Tem maior intensidade que a eletromagnética. É a cola que “gruda” os núcleos de hidrogênio para que forme os núcleos maiores, como o de nitrogênio e oxigênio.

Apesar de o próton ter carga elétrica e o nêutron não, aos olhos da força nuclear forte isto não faz a menor diferença. A força forte sentida por um par

próton-próton é a mesma sentida por um próton-nêutron e por um nêutron-nêutron, se os pares estiverem à mesma distância.

Apesar de ser poderosa (100 vezes maior que a eletromagnética,  $10^{38}$  vezes maior que a gravitacional e 10000000 vezes maior que a força fraca), tem curto alcance; cerca de  $10^{-15}$  metros.

Não por coincidência, este é o tamanho do núcleo atômico. A força dominante no núcleo atômico é a nuclear forte, devido a ela que os prótons não se repelem dentro dele. O problema é que o alcance da força nuclear forte é pequeno, cerca de  $10^{-15}$  m. Quando os núcleos são maiores que este tamanho, eles começam a ficar instáveis justamente porque a força eletromagnética começa a vencer, e os prótons começam a se repelir. Se o alcance da força nuclear forte fosse maior, os núcleos seriam maiores, se fosse menor os núcleos seriam menores.

Quando um nêutron é produzido livremente na natureza, ele já nasce com uma pena de morte para uns 15 minutos adiante. O nêutron se transforma em um próton mais um elétron e uma outra partícula neutra, esta última chama-se *neutrino* e você será apresentado a ela no capítulo a seguir.

Alguns núcleos instáveis emitem partículas beta que são geradas pelo decaimento do nêutron em um próton, um elétron (partícula beta) e um neutrino. A força que provoca o aparecimento das partículas beta não é nenhuma das três anteriores (gravitacional, eletromagnética e nuclear forte), a força responsável é conhecida como nuclear fraca.

Ela é assim chamada por ter uma intensidade menor em relação à força nuclear forte. A fraca tem um alcance ainda menor que a força nuclear forte, sendo mil vezes menor que o valor da forte, aproximadamente de  $10^{-16}$  cm.

## **O sonho da união**

O grande desafio da Física Contemporânea é unificar as quatro forças fundamentais, ou seja, mostrar que na verdade elas são uma só.

As unificações fazem parte da história da Física, quando se demonstra que dois fenômenos que eram considerados distintos, são na verdade a mesma coisa. O sonho dos físicos hoje em dia é chegar à *Teoria do Tudo*, onde todos os

fenômenos teriam uma única explicação. Esta teoria chegou a ser anunciada pelo físico alemão **Werner Heisenberg** (1901 – 1976), porém infelizmente para ele e para a Física, ele estava precipitado ao fazer tal anúncio.

Até o século XVI se aceitava a teoria de **Aristóteles**, que dividia o universo em duas regiões: a *sublunar*, abaixo da Lua, onde estava a Terra e a *supralunar*, acima da Lua, onde estavam as estrelas e os planetas.

Na região sublunar, a origem de todas as coisas eram os quatro elementos (ar, terra, água e fogo), ao passo que, na região supralunar, estes elementos não eram os formadores.

Para explicar a origem dos astros Aristóteles introduziu um quinto elemento ou quinta-essência, que ficaria conhecido como éter. Este era diferente dos outros quatro elementos e NÃO existia na Terra, apenas na região supralunar.

Os planetas e as estrelas não eram formados pelos quatro elementos, mas apenas por um, chamado éter. Mas não só os astros eram formados por éter, o espaço entre eles também. Isto porque a ideia de vazio para Aristóteles era inaceitável, e o espaço, que se poderia pensar como vazio, era na verdade preenchido por éter, mesmo que nunca pudéssemos detectá-lo. Existia, portanto, a gravitação celeste e a terrestre.

Quando o cientista italiano **Galileo Galilei** (1564 – 1642) usou o recém descoberto telescópio, que fora inventado na Holanda, para observar a Lua, começou uma das mais importantes unificações da Física. A atenção de Galileo estava voltada para as sombras causadas pelas montanhas lunares. Quando comparou a formação das sombras na Lua e na Terra concluiu que as leis de projeção das sombras eram as mesmas tanto no nosso planeta como em seu satélite natural. Este foi um passo crucial para o que hoje é aceito pelos físicos, a universalidade das leis da Física.

Poucos anos após a constatação de Galileo, Newton mostrou que as duas gravitações, a celeste que mantém os planetas girando em torno do Sol como a terrestre que fez a maçã cair sobre sua cabeça, na verdade, eram a mesma coisa. Tal unificação newtoniana viria a ser conhecida como gravitação universal, que é regida pela nossa conhecida força gravitacional.

Outros grandes unificadores que podemos citar são: **Michael Faraday** (1791 – 1867) e **Hans Christian Oersted** (1777 – 1851). Até o início do século

XIX, acreditava-se que a eletricidade e o magnetismo eram duas forças distintas. Porém, os dois mostraram que ambas são a mesma força, a eletromagnética. O que diferencia a eletricidade do magnetismo é uma questão de movimento. Enquanto a força elétrica se manifesta quando as cargas estão em repouso, a magnética pode ocorrer quando elas estão em movimento (corrente elétrica).

No ano de 1820, o dinamarquês Oersted comprovou experimentalmente que a eletricidade poderia gerar magnetismo, quando percebeu que em um fio onde circulava corrente elétrica era gerado um campo magnético ao seu redor. Em 1831, o inglês Faraday sacramentou a união eletromagnética ao mostrar que também era possível gerar uma corrente elétrica através de um campo magnético, o que hoje é conhecido como *indução eletromagnética* (Lei de Faraday). A descoberta de Faraday ainda hoje é usada na maioria das formas de se gerar energia elétrica.

O escocês **James Maxwell** (1831 – 1879) também tem sua parcela de contribuição para a unificação da Física. Em seus trabalhos mostrou que quando uma carga é acelerada (muda sua velocidade) ela emite radiação eletromagnética, como ondas de rádio e luz visível. Estava unido o eletromagnetismo e a óptica.

O passo seguinte seria unir a força gravitacional com a eletromagnética. Afinal, ambas caem com o quadrado da distância.

Faraday dedicou grandes esforços nesta tentativa e ... falhou!

Albert Einstein dedicou 35 anos de sua vida na tentativa da unificação da força gravitacional e da eletromagnética e ... falhou!

Todos falharam até agora nesta tentativa. Alguns pesos pesados da Física chegaram a afirmar que é impossível fazer a união entre as duas forças que caem com o quadrado da distância, um dos que fizeram tal declaração, em 1968, foi **Paul Dirac** (1902 – 1984).

Até agora eles estão certos.

Apesar das tentativas frustradas de unir o eletromagnetismo e a gravitação, Einstein deu enormes contribuições para as unificações da Física. Uma delas foi demonstrar que o espaço e tempo estão em pé de igualdade no mundo de quatro dimensões, três espaciais e uma temporal. Quando Einstein mostrou que a massa e a energia estão relacionadas nasceu a equação mais

famosa da ciência,  $E = m c^2$  – esta equação é tão legal que é a única que aparece neste livro inteiro.

Vamos voltar à tentativa de unir as quatro interações fundamentais. Um primeiro passo já foi dado neste sentido. Não na unificação das forças gravitacional com a eletromagnética, e sim, da eletromagnética com a força nuclear fraca. Tal força unificada é conhecida como força eletrofraca.

A ideia básica é que acima de certas energias a força nuclear fraca tem um alcance maior, como o da força eletromagnética. Acima destes grandes valores energéticos fica difícil distinguir as duas.

Trabalhando a partir desta ideia o físico paquistanês **Abdus Salam** (1926 – 1996) e os estadunidenses **Steven Weinberg** (1933 – ) e **Sheldon Lee Glashow** (1932 – ) deram importantes contribuições para a unificação da força eletrofraca. Por estas contribuições dividiram o Prêmio Nobel de 1979.

A busca pelas unificações restantes continua. Quem sabe seja você que irá conseguir tal unificação, é só tentar!

## A DESCOBERTA DE MAIS E MAIS PARTÍCULAS

---

Até a década de 30 do século XX, os físicos conheciam bem três partículas e muitos acreditavam serem as únicas que existiam, eram elas: prótons, elétrons e nêutrons.

Estas partículas seriam fundamentais, ou seja, indivisíveis e dariam origem à toda matéria existente.

Mas – assim como hoje – existiam muitas questões ainda a serem resolvidas.

### **Laboratórios gigantes para minúsculas partículas**

Uma boa pergunta que você já deve ter se feito é: com que tipo de experimentos os físicos acharam um número de partículas subatômicas tão grande?

A resposta é: em laboratórios gigantes que se chamam aceleradores de partículas.

Agora vem a pergunta melhor ainda: o que é um acelerador de partículas?

Como o próprio nome diz, ele acelera partículas. A velocidade que as partículas podem atingir chega próxima da velocidade da luz. Quando as partículas atingem estas velocidades, os pesquisadores fazem com que elas se choquem umas contra as outras.

Da colisão das partículas surgem outras diferentes das que colidiram. Estas novas partículas são batizadas e estudadas.

O principal acelerador de partículas em funcionamento no mundo é o LHC (Grande Colisor de Hádrons). Trata-se de um experimento empreendido pelo CERN, na Europa, e conta com a colaboração de países de todo o mundo.

O CERN é o maior laboratório do mundo. Tem 27 km de perímetro. Localiza-se perto de Genebra na Suíça. Tem entre seus pesquisadores, que



chegam ao número de três mil, diversos ganhadores de Prêmio Nobel. Pode parecer que as pesquisas realizadas no CERN são muito distantes para o cidadão comum, mas não é bem assim. Uma das invenções do CERN atingiu todos os habitantes do planeta Terra e é usado por grande parte deles todos os dias, trata-se da *internet*. A World Wide Web foi uma das contribuições deste grande centro de pesquisa da humanidade.

Havia um projeto para um acelerador bem maior que o CERN, que seria construído no Texas, EUA, ao custo de oito bilhões de dólares. Começou a ser construído, porém posteriormente o orçamento para projetos científicos foi direcionado a outros objetivos.

### **Antimatéria, realidade ou ficção?**

No romance de Dan Brown *Anjos e Demônios*, toda a trama gira em torno da fabricação e utilização de antimatéria. Professores de Física são frequentemente perguntados se a existência de antimatéria é uma realidade ou não passa de ficção científica. Você não precisará perguntar a seu professor, vai saber agora!

No início da década de 1930, Paul Dirac se dedicava em tornar compatíveis as mecânicas quântica e relativística. Neste esforço, Dirac propôs a existência de antimatéria.

A proposta de antimatéria é a seguinte: toda partícula corresponde a uma outra partícula com quase todas as características iguais – como massa, por exemplo – elas só se diferenciariam por sua carga, que seria uma oposta à outra. Então ao elétron corresponderia uma antipartícula de carga positiva, que viria a ser conhecida como *pósitron*, ao próton uma de carga negativa chamada de antipróton e assim por diante.

Quando uma partícula de matéria encontrasse seu par de antimatéria, por exemplo, um elétron encontrando um pósitron, eles se aniquilariam. Sumiriam.

Quer dizer que sua massa iria simplesmente desaparecer da face da Terra?

Sim, mas não antes de deixar outra coisa no lugar. De acordo com a famosa equação de Einstein,  $E = mc^2$  – ela de novo –, matéria pode se

transformar em energia. Quando um par de partícula-antipartícula se aniquilasse haveria uma liberação de energia.

Esta possibilidade de liberação de energia que deixa fértil a imaginação dos escritores de ficção científica. No livro de Dan Brown, um terrorista rouba um frasco de antimatéria do CERN e planeja usá-lo para destruir o Vaticano. Tal destruição ocorreria quando a antimatéria fabricada no CERN entrasse em contato com a matéria liberando grandes quantidades de energia; esta energia, no romance, seria suficiente para destruição do menor estado do mundo.

Como todo fã de ficção científica sabe, o combustível da *USS Enterprise* de *Jornadas nas Estrelas* é antimatéria. Se você não sabe o que é *Jornadas nas Estrelas* pergunte ao seu pai que ele deve ter visto muito na juventude. O princípio de funcionamento da nave é que quando este combustível encontrasse matéria ele iria liberar energia suficiente para manter a nave em cruzeiro.

A criatividade dos escritores é mais aguçada quando eles sabem que no processo de aniquilação de matéria-antimatéria 100% da massa se transforma em energia, ao passo que, em usinas nucleares que também funcionam de acordo com a equação de Einstein, a taxa de transformação de massa em energia não passa de 1%, o resto é o chamado lixo nuclear e causa muita preocupação às autoridades.

Voltemos à vida real!

Após a proposta de Dirac, começou a busca pela confirmação experimental da existência da antimatéria. Mas como você deve ter percebido, existia um grande problema para que os físicos conseguissem detectar o pósitron. Os elétrons existem em um número gigantesco no universo, quando tivesse um pósitron vagando por aí, ele logo encontraria um elétron e eles se aniquilariam.

Dirac, no entanto, tinha uma carta na manga para a detecção dos pósitrons. Ele acreditava que quando os raios cósmicos primários se transformassem em secundários, um dos resultados deste espalhamento seria a formação de um par elétron-pósitron, voando em direções opostas.

O cientista **Carl Anderson** (1905-1991) foi em busca dos pósitrons nos raios cósmicos usando uma câmara de bolhas<sup>+</sup>. As partículas foram finalmente identificadas em 1932, no mesmo ano da identificação do nêutron.

A antimatéria existe e teve sua existência comprovada! Um átomo de antimatéria, ou antiátomo se você preferir, é composto também por um núcleo e uma nuvem carregada no seu entorno. Diferentemente da matéria, na antimatéria o núcleo é negativo, formado por antiprótons e antinêutrons, e a nuvem é positivamente carregada e é onde se localizam os pósitrons.

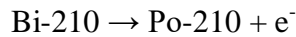
Já o antipróton foi detectado após a construção do acelerador de partículas de Berkeley, nos Estados Unidos no ano de 1956. Coube ao físico italiano **Emilio Segrè** (1905-1989) e ao norte-americano **Owen Chamberlain** (1920-) a detecção do antipróton. Um ano depois foi confirmada a existência do antinêutron.

Mas a “fabricação” do primeiro antiátomo completo teve que esperar até 1995. Um aspecto interessante sobre a antimatéria é que, pelo fato de tanto a partícula como a antipartícula terem a mesma massa, aos olhos da força gravitacional não existe diferença entre a partícula e sua antipartícula. Assim, a força gravitacional entre um elétron e um próton é idêntica à sentida entre um pósitron e o mesmo próton. Porém, como as cargas da partícula e de sua partícula são opostas, aos olhos da força eletromagnética, existe uma grande diferença entre elas.

Apesar da existência da antimatéria ser uma realidade comprovada, o seu uso como arma, descrito em *Anjos e Demônios*, não passa mesmo de ficção científica, pelo menos por enquanto. Devido à repercussão do livro, a revista editada pelo CERN publicou uma entrevista com um de seus físicos sobre o assunto. Nesta entrevista o físico afirma ser impensado o armazenamento de antimatéria para se construir uma bomba. O fato de o CERN fabricar antiprótons é uma realidade, mas levaria uns 50 anos para armazenar um milionésimo de miligrama de antimatéria.

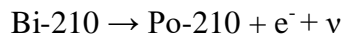
## Um ato de desespero

Uma explicação esperada na década de 1930 era o que acontecia com o decaimento beta. Como exemplo, podemos citar a transformação de um isótopo de Bismuto-210 no isótopo do Polônio-210 e em mais um elétron, como mostra o processo a seguir:



A questão a ser explicada é que, aparentemente, parte da energia “some”, ou seja, a energia presente do Bismuto é maior que depois do processo ocorrido, o que não pode ocorrer pelo Princípio da Conservação da Energia.

Em 1930, **Wolfgang Pauli** (1900-1958) em um ato, que ele mesmo classificou de desesperado, sugeriu que neste processo deveria aparecer uma *OUTRA PARTÍCULA*, para que a energia fosse igual antes e depois do decaimento beta. Esta partícula deveria ser neutra e muito menor que o nêutron. **Enrico Fermi** (1901-1954) a chamou de pequeno nêutron em italiano, e ela ficou conhecida como *neutrino* ( $\nu$ ). Logo, com a explicação de Pauli o decaimento de Bismuto em Polônio seria dado pelo processo descrito a seguir:



Este *neutrino* é um tipo de partícula associada aos elétrons. De fato, hoje chamamos este previsto por Pauli de neutrino eletrônico.

A massa do neutrino seria praticamente nula – ou, pelo menos muito difícil de medir, por ser tão pequena. Devido a isto sua interação com a matéria seria muito difícil. Estimava-se que para provocar um choque de um neutrino com um átomo de chumbo, seria necessário construir um muro com um comprimento razoável. O tamanho deste muro seria de 50 anos-luz, que é a distância que a luz percorreria no vácuo (viajando a 300.000 km/s, que é a maior velocidade da natureza) durante 50 anos. Mesmo que fosse possível construir tal muro, certamente seu preço inviabilizaria a detecção do neutrino desta forma.

Então, como fazer para detectar o neutrino e comprovar experimentalmente a hipótese de Pauli? Certamente Pauli não poderia contribuir para isto, pois além de não ser um físico experimental, eram contadas várias anedotas sobre sua performance em laboratórios. Uma delas dizia que bastava que entrasse em um laboratório para que todos os equipamentos parassem de funcionar.

A comprovação do *neutrino* de Pauli teve que esperar duas décadas.

Em meados da década de 1950, dois cientistas tiveram uma ideia para tentar detectar a partícula. Os cientistas eram **Frederick Reines** (1918 – 1998) e **Clyde Cowan** (1919 – 1974) e trabalhavam no laboratório de Los Alamos nos EUA. Eles projetaram um detector de *neutrinos*. Este aparelho permitiria detectar indiretamente estas partículas e era formado por vários compartimentos preenchidos com água onde havia sido dissolvido cloreto de cádmio. Os cientistas colocaram o aparelho onde suspeitavam que houvesse *neutrinos*, próximos a reatores nucleares, e aguardaram a partícula dar o ar de sua graça.

O detector era blindado da ação das demais partículas conhecidas, se alguma partícula fosse detectada seria o *neutrino*. Eles conseguiram e a comprovação do neutrino foi premiada com o Prêmio Nobel de Física em 1995.

Desde que a existência do *neutrino* fora comprovada, vários detectores foram construídos. Eles são montados em grandes profundidades para que outras partículas não interfiram nas experiências. Estes novos detectores têm por objetivos detectar partículas vindas do espaço, do Sol, e também geradas no *Big Bang*.

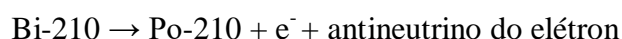
Parte do Prêmio Nobel de 2002 foi dado aos cientistas **Raymond Davis Jr** (1914 – 2006) e **Masatoshi Koshiba** (1926 –) pela descoberta dos *neutrinos solares*. Davis detectou neutrinos através de um tanque, com 615 toneladas de água, em uma mina de ouro. Os dados de Davis foram confirmados por Koshiba, que fez parte da equipe que construiu, no Japão, o detector de *neutrinos* conhecido por *Kamiokande*, que fica a um quilômetro abaixo da superfície e tem 50.000 toneladas de água.

Estima-se que chegam a um centímetro quadrado na superfície da Terra a cada segundo cerca de 40.000.000.000 *neutrinos* oriundos do Sol. Neste momento você está sendo atravessado por bilhões e bilhões de *neutrinos*. Sentiu alguma coisa aí?

Acredita-se, hoje, que ele tenha uma massa muito pequena, cerca de centenas de milhares de vezes menor que a do elétron, e isto tem implicações importantes no estudo do universo. Como a quantidade de neutrinos no universo é gigantesca, mesmo que um *neutrino* tenha massa quase desprezível, a soma total da massa de todos os *neutrinos* seria uma parcela importante da massa do universo.

Hoje se sabe que além do *neutrino* previsto por Pauli que está associado ao elétron existem outros dois associados a outras partículas que você irá conhecer ainda neste capítulo. Além destes três *neutrinos*, a cada um deles está associada uma antipartícula, chamada de *antineutrino*.

Nos dias atuais, sabe-se que a proposta de Pauli para o decaimento beta deve ser escrita com um *antineutrino* em vez de um neutrino, no caso da transformação do bismuto em polônio, o decaimento beta é:



Quando um núcleo emite um pósitron em vez do elétron, daí a partícula que completa a reação é um *neutrino* do elétron.

Agora já percebemos que começou a aumentar o número de partículas que compõe a matéria. Além dos prótons, elétrons e nêutrons existem outras partículas que você já conheceu: *pósitron*, *antipróton*, *antinêutron*, três tipos de *neutrinos* e suas antipartículas. E não vai parar por aí. O número de partículas que existe e que você vai conhecer aumentará  **muito**.

### Foi sem querer, querendo

Para explicar a estabilidade do núcleo, o japonês **Hideki Yukawa** (1907-1981) previu uma OUTRA PARTÍCULA em 1935, esta seria a mediadora da força que manteria o núcleo estável. Ele chegou a prever a sua massa em torno de 200 vezes a massa do elétron e que iria interagir fortemente com a matéria. Esta partícula seria uma intermediária entre o próton e o elétron, daí ele a batizou de *méson* (meio em grego).

Muito consideraram a proposta do japonês meramente especulativa. Mas as coisas mudaram de figura quando do desenvolvimento das pesquisas usando emulsões fotográficas<sup>+</sup>. Com esta técnica, os físicos teriam condições de ir à procura da partícula de Yukawa.

Então, houve uma verdadeira busca por esta partícula. E algo curioso ocorreu com os físicos Carl Anderson (o mesmo que descobriu o pósitron) e **Seth Neddermeyer** (1907-1988). Eles estudaram as radiações cósmicas na

superfície terrestre usando a técnica das emulsões fotográficas. Eles encontraram uma partícula com este método que achavam se tratar da proposta pelo japonês.

Será que a partícula que muitos acreditavam ser apenas fruto da especulação de um físico criativo tinha tido sua existência comprovada experimentalmente?

Não foi desta vez!

Quando os cientistas analisaram os dados da partícula recém descoberta por eles, eles perceberam que ela penetrava bastante na matéria, o que evidencia que interage pouco com ela, ao contrário da de Yukawa que deveria interagir muito e não penetrar muito na matéria. Tratava-se realmente de uma nova partícula, mas não a que eles estavam procurando, era outra que não se sabia que existia. Os dois cientistas procuravam por uma partícula que se acreditava que existisse e descobriram uma outra que era completamente nova e não havia sido prevista por teoria alguma.

A partícula descoberta pela dupla de cientistas, meio por acaso, se convencionou chamar de *méson mi* ( $\mu$ ) ou *múon* ( $\mu$ ), que é idêntica ao elétron só que muito mais massiva, um elétron mais gordinho, digamos.

O *múon* pode ter as duas cargas, o *múon* positivo ( $\mu^+$ ) e o negativo ( $\mu^-$ ). Apesar de ser muito parecido com o seu primo elétron, apenas cerca de 200 vezes mais gordo, o *múon* não é estável e se transforma em outra partícula. O tempo de vida é cerca de 0,000001 segundo.

Os *múons* são tão parecidos com os elétrons que podem até fazer parte dos átomos na eletrosfera. Como a massa dos *múons* é maior, eles têm a possibilidade de estar mais próximos dos núcleos que seus primos elétrons.

Em aceleradores de partículas, como o CERN, é possível utilizar *múons* para comprovar uma das mais interessantes consequências da Teoria da Relatividade Especial de Einstein, a dilatação temporal. A grosso modo, esta previsão de Einstein diz que quando um corpo viaja com certa velocidade, o tempo para quem está viajando passa mais devagar em relação a quem está parado. No CERN, quando se acelera *múons* próximo à velocidade da luz percebe-se que eles vivem mais do que os 0,000001 segundo de quando estão parados. Incrível! O segredo da longevidade é andar bem rápido!

A partícula prevista pelo japonês é hoje é conhecida como *méson pi* ( $\pi$ ), ou simplesmente *píon* ( $\pi$ ), e a sua procura continuava e teve como um protagonista um brasileiro esquecido pelo Nobel.

### **Um brasileiro e o Nobel que não veio**

A descoberta do *píon*, partícula ora chamada de puramente especulativa e fruto da mente criativa de um físico japonês, seria uma das mais importantes confirmações que a teoria sobre a física de partículas estava correta.

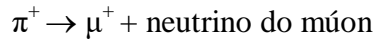
A sua descoberta foi vislumbrada quando do desenvolvimento da técnica da emulsão fotográfica, permitindo detectar partículas que se deslocassem próximas da velocidade da luz.

Foi usando esta técnica que o brasileiro **César Lattes** (1924-2005) ganhou notoriedade no mundo da Física. Em meados da década de 1940, o brasileiro trabalhava na equipe do inglês **Cecil Powell** (1903 – 1969) na *Universidade de Bristol*, na Inglaterra. Lattes não ficou satisfeito com as amostras coletadas nos Pirineus pelo físico italiano **Giuseppe Occhialini** (1907 – 1993), ele precisava de um local com altitude maior. Foi fazer uma visita ao departamento de Geografia de *Bristol*, em 1947, e soube de uma localidade a apenas 20 quilômetros de *La Paz*, que tinha acesso por uma estrada, tratava-se do pico *Chacaltaya*.

Conseguiu dinheiro para a viagem até o Rio de Janeiro, de ida e volta, e de lá, com recursos próprios, foi até os Andes boliviano, expor as emulsões aos raios cósmicos.

Ao voltar a *Bristol*, ele, Powell e Occhialini analisaram os resultados. Os três pesquisadores conseguiram identificar o *píon* nos dados coletados por Lattes nos Andes, quando observaram o rastro de uma partícula mais pesada que o *múon* e que decaí no *méson mi* e mais uma partícula sem carga, o *neutrino do múon* que é um dos três neutrinos que existem, os outros dois são o do elétron e do *tau* (o neutrino do tau foi detectado pela primeira vez em 2000), o *tau* você ainda irá conhecer melhor. A reação em que o *píon* decaí no *múon* e no *neutrino do múon* é representada a seguir:



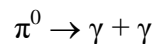


Já o *múon* decai em um *pósitron* mais um *neutrino* do elétron e mais um *antineutrino* do *múon*, como mostra a reação a seguir:



O tempo de vida do *múon* antes de decair é, como já vimos, de 0,000001 segundo. O do *píon* é ainda menor: 0,00000001 segundo.

Um *píon* pode se apresentar de uma das três maneiras: com carga positiva, negativa ou ainda neutra. O *píon* neutro é mais instável que os dois com carga elétrica, o tempo de vida do sem carga é de: 0,000000000000000001 segundo. Se você contar direitinho verá que tem 16 zeros antes do 1, é uma vida bem curta, mesmo para uma partícula menor que o átomo. Além de ser o mais instável dos três, o neutro ainda decai de forma diferente, em dois raios gama ( $\gamma$ ), que é uma radiação eletromagnética de mesma natureza que a luz visível. A reação de decaimento do *píon* neutro é representada a seguir:



Em 1948, após sua mãe lhe fazer casar preocupada com a magreza do filho, Lattes foi convidado a trabalhar na *Universidade de Berkeley*, no EUA. Foi recebido pelo professor Gardner. Em *Berkeley* já existia nesta época um importante acelerador de partículas. Havia uma desconfiança dos pesquisadores da universidade americana que *píons* estavam sendo gerados, mas eles não sabiam como os identificar. Foi quando Lattes, usando a técnica das emulsões, detectou os *píons* gerados artificialmente no acelerador. Existem lendas de que Lattes teria auxiliado na geração de *píons* artificialmente, mas de acordo com as palavras do cientista brasileiro: “Eu não produzi coisa alguma. Eu detectei! E a equipe de trabalho era só o Gardner e eu”.

Com a idade de apenas 23 anos, o brasileiro entrava para o clube dos maiores físicos do mundo. Chegando inclusive a aparecer neste período na capa da revista *Life*.

Em 1950, Cecil Powell recebeu o Prêmio Nobel de Física pela descoberta do *píon*. Lattes e Occhialini? Esquecidos pelo Nobel, mas não por nós!

### Visita ao zoológico

Agora você já começou a entender por que o termo zoológico de partículas foi cunhado. O número de partículas menores que o átomo é muito grande. As que você já conheceu estão na Tabela 1, que também traz a carga que cada partícula pode apresentar.

Tabela 1

Partícula ou antipartícula	Carga elétrica
Elétron	-1
Próton	+1
Nêutron	0
Neutrino do elétron	0
Neutrino do múon	0
Neutrino do tau	0
Múon	-1, +1
Píon	-1, 0, +1
Tau	-1
Pósitron	+1
Antipróton	-1
Antinêutron	0
Antineutrino do elétron	0
Antineutrino do múon	0
Antineutrino do tau	0

Com o advento dos aceleradores de partículas, muitos físicos descobriram outras partículas menores que o átomo.

O número de partículas foi crescendo, crescendo, crescendo... Chegando a mais de duzentas na década de 60. Era necessário colocar ordem nestas partículas, o que você já viu que Murray Gell-Mann fez.

Veremos como é feita a classificação desta enorme quantidade de partículas em algumas poucas classes. Mas antes vamos entrar um pouco mais no núcleo dos átomos e conhecer um dos segredos que foram mais bem guardados pela natureza.

Sua visão do próton e do nêutron nunca mais vai ser a mesma!

## PARTÍCULAS AINDA MENORES

---

### **Como pode se ver uma partícula menor que o átomo?**

Muito provavelmente você já fez a pergunta do título. Se não, vai conhecer a resposta mesmo assim porque é interessante conhecer como os cientistas conseguem “ver” partículas menores que o átomo, e ainda diferenciá-las, saber suas massas e cargas.

Quando uma partícula encontra com a matéria, ela pode ter energia suficiente para “arrancar” elétrons dos átomos que há na matéria. Quando isto ocorre, dizemos que houve um processo de ionização da matéria, a partícula transformou alguns átomos, antes neutros (número de prótons igual ao de elétrons), em ionizados carregados positivamente (número de prótons maior que o de elétrons) e deixando alguns elétrons livres da estrutura atômica.

O que os físicos enxergam é o rastro que as partículas deixam ao ionizar a matéria. É possível detectar os íons positivamente carregados e os elétrons livres, e concluir que por ali passou uma partícula.

Funciona mais ou menos como os rastros deixados por um patinador no gelo. Você consegue descobrir ao analisar o rastro se a lâmina é grossa ou fina, a massa do patinador se o rastro é profundo ou superficial e assim por diante.

Os físicos de partículas ao analisarem os rastros deixados pelas partículas conseguem determinar suas características.

É o processo de ionização da matéria, um dos causadores de grandes males ao ser humano quando exposto à radioatividade. Quando partículas energéticas ionizam as partículas de nosso corpo (principalmente a água, que forma grande parte dele), podem aparecer doenças graves como cânceres. Foi a exposição à radioatividade que causou a morte da maior cientista de todos os tempos de leucemia, Marie Curie. Sua filha Irene, como a mãe também

ganhadora do Prêmio Nobel, também morreu em consequência da leucemia causada pela exposição à radioatividade.

Mas também é devido ao fenômeno da ionização da matéria que permite que se “enxerguem” partículas em *câmaras de bolhas*, a usada para a descoberta dos pósitrons. Neste tipo de aparelho, o rastro da partícula é visível pelas bolhas deixadas pela partícula ao passar pelo hidrogênio líquido e provocar sua vaporização. São feitos registros fotográficos em três dimensões da rota das partículas alguns centésimos de segundo antes de todo o líquido começar a vaporizar. Posteriormente, estes registros são estudados. Através da aplicação de campos magnéticos, a rota das partículas pode ser alterada, de acordo com a resposta da partícula ao mudar sua trajetória quando da aplicação do campo, os cientistas podem saber sua carga e massa, diferenciando uma partícula da outra, e até algumas vezes, descobrindo novas partículas.

Se a partícula for neutra, ela não pode ser vista diretamente por este método. No entanto pode-se vê-la de maneira indireta. É um caso parecido da maneira como em alguns filmes os personagens identificam os homens invisíveis através da maneira como ele interage com a matéria, ao sentar no sofá, por exemplo. No caso das partículas neutras, quando elas interagem com a matéria, produzem outras partículas carregadas que podem ser identificadas pela câmara de bolhas e estudadas com a aplicação de campos magnéticos, são estas partículas secundárias carregadas que delatam a presença das partículas neutras.

As emulsões fotográficas usadas por César Lattes para detectar o *píon* são filmes fotográficos com alta concentração de brometo de prata. Estes filmes fotográficos são altamente sensíveis a partículas com cargas elétricas que ionizam a matéria.

## **Tratamento de choque**

Uma maneira de descobrir o que tem dentro de um carro seria jogar um carro contra o outro com uma grande velocidade. Após a colisão iam voar pedacinhos de cada carro. Logo, saberíamos o que havia dentro de cada carro analisando os pedaços que voariam devido ao choque.

Isto é mais ou menos o que um acelerador de partícula faz, ele acelera partículas – do tipo que já conhecemos – a grandes velocidades (nunca maior que a velocidade da luz, simplesmente por que isto é impossível) e faz estas partículas colidirem entre si. O que se espalha após este choque é analisado.

Na década de 60 foi construído o *Stanford Linear Accelerator Collider*, conhecido pela sua sigla, SLAC. Os físicos começaram a investigar se de fato as partículas conhecidas eram, como até então se acreditava, indivisíveis.

Até hoje não se conseguiu verificar se os elétrons, *taus* e os *múons* têm ou não estrutura interna. Hoje se acredita que estas três partículas são de fato fundamentais, ou seja, não podem ser divididas em partículas menores pelo fato de elas já serem a menor divisão que a matéria consegue chegar.

Mas em relação aos prótons e nêutrons é outra história. Os físicos usaram os aceleradores de partículas para investigar a estrutura interna – se é que ele existisse – de um próton.

O procedimento realizado pelos físicos americanos **Jerome Friedman** (1930 –), **Henry Kendall** (1926 – 1999) e **Richard Taylor** (1929 –) era o seguinte: jogava-se um elétron com grande energia contra um próton também com grande energia; se o próton fosse uma partícula indivisível, após o choque o comportamento do elétron e do próton seria *como se* fossem duas bolas de bilhar após uma colisão.

Mas não foi isto que se verificou. Na verdade, o comportamento do próton era como se ele fosse feito de três partículas menores que de alguma forma estivessem “grudadas”, estas partículas experimentavam interação eletromagnética de forma que tivessem cargas fracionadas.

## Saboreando a física de partículas

Então, havia um grande impasse e uma pergunta no ar: o que estava errado? Por que os prótons pareciam serem feitos de partículas ainda menores?

A resposta é a mais simples possível: eles de fato eram feitos de partículas menores. O próton não é indivisível, ele é feito de três partículas ainda mais fundamentais. Então a matéria era ainda mais elementar que próton.

Mais tarde descobriu-se que os nêutrons também eram formados por três partículas ainda menores.

Surpresa! Não só o átomo é divisível em três partículas – prótons, nêutrons e elétrons – mas também duas destas partículas são divisíveis, os prótons e os nêutrons. Até o que se sabe hoje, os elétrons não são divisíveis, eles são, portanto, de fato fundamentais.

O que será que Demócrito falaria ao saber disto que você acaba de aprender? O que ele diria, vamos ficar na dúvida. Mas a comissão que escolhe os vencedores do Prêmio Nobel de Física disse, em 1990, que Friedman, Kendall e Taylor mereciam o Nobel daquele ano pela descoberta da estrutura interna dos prótons e nêutrons.

Estas partículas ainda menores que o próton e o nêutron podem ser de seis tipos, os físicos chamam estes tipos de sabores, mais uma prova da criatividade deles, mas é só um nome, poderiam ser seis tipos diferentes de dor ou cheiro ou ainda de rgjit.

Os seis sabores diferentes destas partículas são:

- *up* (u);
- *down* (d);
- *strange* (s);
- *charm* (c);
- *bottom* (b);
- *top* (t).

Estas partículas só aparecem juntas, então não adianta procurar uma delas sozinhas por aí dando sopa que elas não vai aparecer, elas sempre andam acompanhadas. Hoje, e até que se prove o contrário, acredita-se que estas partículas sejam indivisíveis.

O próton é uma cola de um *up*, outro *up* mais um *down*. Já o nêutron é um grude de um *up*, e dois *down*. O *píon* com carga positiva é formado por um *up* e um *antidown*. Se ficarmos juntando, os seis sabores e seus correspondentes de antimatéria, nós iremos formar a maioria da mais de duas centenas de partículas que deixavam os físicos quase loucos a ponto de chamá-las de um zoológico de partículas.

O *antipróton*, por exemplo, é formado por dois *antiup* e um *antidown*, o *antinêutron* por dois *antidown* e um *antiup*, o pión negativo...

## Eu acho que existe

Na verdade o que mais surpreendeu os físicos da época não foi a ideia de os prótons e nêutrons terem subdivisões. Isto porque o físico americano Murray Gell-Mann e o alemão **George Zweig** (1937-) já haviam proposto tal hipótese, ainda em 1964. Mas muitos juram que nem eles mesmos acreditavam que elas existissem ou pudessem ser observadas. Gell-Mann não descartava a possibilidade de estas partículas menores ainda serem apenas uma ferramenta matemática.

Inicialmente, a proposta era que existiriam apenas três sabores destas partículas, *up*, *down* e *strange*. Mais tarde, os físicos perceberam que também deveriam existir os outros três sabores, *charm*, *bottom* e *top*. Como já se conhecia a antimatéria, existe para cada um dos sabores destas partículas, um correspondente na antimatéria.

Mas para espanto geral, tais partículas foram detectadas nos aceleradores, um triunfo para a teoria proposta por Gell-Mann e Zweig. A primeira detecção foi na segunda metade da década de 1960.

Gell-Mann era apaixonado por linguística, o que o levaria ser uma das pessoas mais originais na hora de batizar objetos novos em Física. Estas partículas que formam os prótons e nêutrons, as partículas ainda mais fundamentais, foram chamadas por ele de *quarks*. Não se preocupe em decorar nomes, lembre que você sempre pode consultar o glossário no fim do texto.

A origem do nome *quarks* é particularmente interessante. O escritor irlandês **James Joyce** (1888-1941) demorou dezessete anos para escrever sua obra *Finnegans Wake*, onde está escrito o verso “Three quarks for Muster Mark!”. É impossível traduzir este verso, simplesmente porque mesmo em inglês ninguém sabe o que Joyce quis dizer. Gell-Mann gostou do som de *quark* e batizou estas partículas com este nome, em substituição ao primeiro nome dado por ele para tais partículas, *quirks*, que em inglês significa algo extraordinário.



Você deve estar pensando que *quark* também é um tipo de queijo que deve ser primo da ricota. Sim, você está certo e este tipo de queijo é bem gostoso com uma torradinha, mas a origem do nome sugerido por Gell-Mann é do livro do Joyce mesmo.

Resumindo: fora previsto teoricamente que os prótons e nêutrons seriam formados por partículas ainda menores e estas partículas foram batizadas por Gell-Mann de *quarks*. Tais partículas, que eram subdivisões dos prótons e nêutrons, foram verificadas experimentalmente em aceleradores de partículas confirmando tal hipótese.

Mas como prótons e nêutrons são partículas diferentes – apesar de terem praticamente a mesma massa – eles não poderiam ser feitos dos mesmos *quarks*, certo?

Certo! E a combinação de diferentes *quarks* formam várias outras partículas que os físicos até então acreditavam serem fundamentais. Com a hipótese confirmada dos *quarks* foi possível organizar as partículas, pois se sabia que muitas delas não eram fundamentais.

Na Tabela 2 temos os sabores dos *quarks*, com sua correspondente carga elétrica. Não se impressione com os seus nomes, são apenas nomes, não querem dizer nada a respeito. O quark charmoso não é mais elegante que o *up* e o *down*, são apenas nomes como Felipe, Gilberto e Marco. Os nomes originais dos *quarks* foram apenas um esforço literário – talvez não bem sucedido – dos físicos para batizar essas partículas fundamentais.

Todos esses *quarks* já foram detectados experimentalmente em aceleradores de partículas. Os primeiros na segunda metade da década de 1960, o *charm* em 1974 e o *bottom* em 1977.

O último a ser detectado foi o *top*, em março de 1995 no Fermilab. Existem grandes dificuldades para se detectar este *quark*, ele é muito singular. Ele não se une com os outros sabores para formar partículas e tem massa equivalente a 200 prótons. Para conseguir detectar o *top*, os cientistas fizeram se chocar prótons com *antiprótons* com enormes energias. Os cientistas acreditavam que em pelo menos uma entre bilhões de colisões, o *top* iria aparecer. Dá para imaginar o quanto seria difícil fazer o *top* aparecer, mesmo que o Fermilab faça 300.000 destas colisões a cada segundo. Eles tiveram sua

confirmação no ano de 1995, mas a visita do *top* foi curta, pois ele vive apenas 1 trilionésimo de trilionésimo de segundo.

Lembre que a cada *quark* está associada a sua antipartícula, que é idêntica a ela, mas com carga de sinal oposto.

Tabela 2

Quark	Carga (e)
Up (u)	+2/3
Down (d)	-1/3
Charm (c)	+2/3
Strange (s)	-1/3
Top (t)	+2/3
Bottom (b)	-1/3

Como você já leu, a menor carga que um corpo pode ter é a do elétron ou a do próton, todas as outras devem ser múltiplas delas, as dos *quarks* são menores que a carga do próton e do elétron, certo?

Sim, por isto que os *quarks* sempre estão juntos em grupo, nunca existem de forma isolada, logo a partícula que eles formam terá uma carga inteira, apesar de ser formada pelos *quarks* com carga fracionada.

Vamos exemplificar.

O próton é formado, como você já viu, de três *quarks*. Como você também já viu, o próton tem carga +1. Logo, a soma das cargas dos três que formam o próton deve dar +1. De fato isto ocorre, o próton é formado por dois *quarks* u e um d, como a carga de u é +2/3, dois u somam +4/3 menos a carga do quark d que é de -1/3 ( $4/3 - 1/3 = 1$ ) dá a carga +1 do próton.

No caso do nêutron, que também é formado por três *quarks*, a carga final deve ser 0. O nêutron é formado por um *quark* u e dois d. A carga de um quark u é +2/3, e a de dois *quarks* d somadas é -2/3 ( $2/3 - 2/3 = 0$ ), logo a carga do nêutron é zero, apesar de ser formada por partículas de carga fracionada.

Além de carga elétrica, os *quarks* têm outra característica que recebeu um nome que não tem nada a ver com o seu uso convencional, a nova característica que os *quarks* possuem foi chamada de carga cor, ou simplesmente

cor. São três cores que um *quark* pode ter: vermelho, azul e verde. Mas se os físicos de partícula quisessem poderiam ter chamado a cor de um *quark* de laranja, amarelo, rosa...

Você não estava achando que os *quarks* são coloridos não é? Você sabe que é só uma maneira de chamar uma característica que estas partículas possuem.

### **Dividindo mais uma vez, agora em classes**

Não só os familiares próton e nêutron são feitos de *quarks*, o nosso conhecido *píon* também.

Porém, existe uma diferença fundamental entre o tipo de partícula do próton e nêutron, e a do tipo do *píon*!

Os dois primeiros são formados de três *quarks*, já o *píon* é formado por um *quark* e um *antiquark*.

Então os físicos descobriram que existem duas subclasses de partículas formadas por *quarks*. Vamos chamar de Classe A as partículas que são formadas por *quarks*. Assim, esta Classe A tem duas subclasses:

Subclasse 1: as partículas formadas por três *quarks*. Exemplos de partícula Classe A e Subclasse 1 são os prótons e os nêutrons;

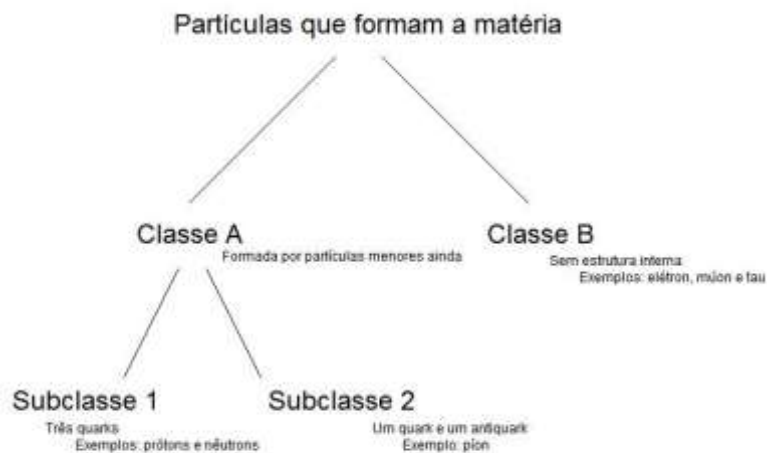
Subclasse 2: as partículas formadas por um *quark* e um *antiquark*. Exemplo de partícula de Classe A e Subclasse 2 é o *píon*.

Ainda existem partículas que não se enquadram na Classe A, ou seja, não são formados por *quarks*. Estas partículas, as quais vamos chamar de Classe B, são elas mesmas fundamentais, não tendo estrutura interna.

São exemplos de partículas da Classe B os elétrons e seu *neutrino*, o *múon* e seu *neutrino*. Além de uma outra partícula descoberta na década de 70 do século XX, que é da mesma natureza do elétron e do *múon*, só que com massa muito maior que a deles, trata-se do *tau* ( $\tau$ ), a ele também está associado um *neutrino*.

Todas as partículas da Classe B estão associadas uma *antipartícula*, com quase todas as características da partícula de matéria, mas com carga de sinal contrário.

Então você já sabe, qualquer partícula que constitui a matéria pode ser enquadrada na Classe A (na Subclasse 1 ou Subclasse 2) ou na Classe B. Estas duas classes de partículas (A e B) são as constituintes de toda a matéria que você vê ao seu redor, tudo ao alcance de seus olhos é formado por partículas de classe A ou B. Um esquema da classificação das partículas é dado na Figura 6.



**Figura 6 - Divisão de todas as partículas que constituem a matéria**

Todo o zoo de partículas agora está ordenado. Agora falta dar nomes engraçadinhos a esta classificação. Você verá a seguir que os físicos foram bastante criativos nisto, mas antes vamos conhecer outra classe de partículas que não faz parte do mundo material, mas são responsáveis pela interação entre as partículas.

## PARTÍCULAS DE INTERAÇÃO

---

Existem quatro interações fundamentais: gravitacional, eletromagnética, nuclear forte e nuclear fraca.

### Bem embaixo dos nossos olhos

Vamos tomar como exemplo a interação eletromagnética.

O que será que acontece quando ela se manifesta? Por exemplo, quando você segura este livro, é ela que não permite que os átomos de sua mão atravessem os átomos dele.

Como será que uma carga sabe que a outra está por perto para: repeli-la se for de mesmo sinal ou atrai-la se for de sinal oposto?

O problema que estamos investigando está exposto na Figura 7. Nela temos dois elétrons se aproximando.



Figura 7 - Elétrons se aproximam, sentido uma interação eletromagnética de repulsão, pois tem cargas de mesmo sinal (-).

O que acontece todos nós sabemos. Haverá uma força de repulsão entre os elétrons que os afastarão. A situação em que os elétrons se afastam está mostrada na Figura 8.



Figura 8 - Elétrons se afastam após sofrerem uma força eletromagnética de repulsão. Mas como eles sabem que o outro elétrons existe para repeli-lo?

Para entender como um elétron sabe do outro, vamos introduzir o conceito de campo. No nosso exemplo trata-se do campo eletromagnético, que só irá atuar se as partículas tiverem cargas elétricas.

Esta interação através de um campo ocorre através de uma partícula, as chamadas partículas mediadoras da interação.

Cada uma das quatro interações da natureza – eletromagnética, gravitacional, nuclear forte, nuclear fraca – tem seu campo e a interação ocorre através de uma partícula mediadora. Podemos chamar estas partículas mediadoras de quanta do campo da interação.

No caso da interação eletromagnética a partícula mediadora é o *fóton* ( $\gamma$ ). O processo é o seguinte: sai um fóton de um elétron e entra no outro. Assim, um sabe que existe um outro elétron por perto. Sentindo a interação eletromagnética de repulsão, ambos os elétrons mudam a sua velocidade devido à troca desta partícula. Se fossem cargas de diferentes sinais ocorreria a interação eletromagnética de atração, e as partículas iriam se aproximar. O processo completo de repulsão de dois elétrons está esboçado na Figura 9.

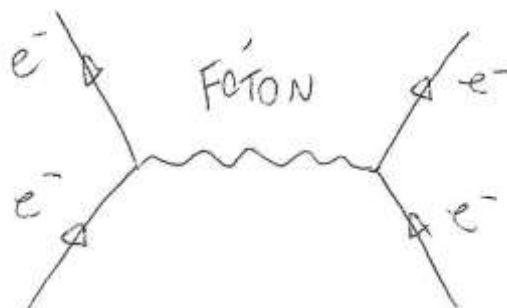


Figura 9 - A interação eletromagnética de repulsão é intermediada pela partícula chamada fóton, todas as interações eletromagnéticas são intermediadas por esta partícula.

A proposta da existência do fóton foi feita por Einstein em 1905, quando ele a propôs para explicar um fenômeno que atormentava os físicos da época, por as teorias da época fazerem previsões que eram contrárias às observadas experimentalmente, o *efeito fotoelétrico*<sup>+</sup>. A teoria de Einstein fora precedida pela do alemão **Max Planck** (1858 – 1947) que havia formulado a teoria em que a energia seria formada por pacotes mínimos de energia que hoje são conhecidos como quantum, com a teoria de Planck nascera à mecânica quântica.

Até mesmo Planck não acreditava muito em sua teoria, mas Einstein não só acreditou como propôs que também a luz fosse feita de pacotes mínimos de energia, que hoje são conhecidos como fótons. Apesar de revolucionária, a teoria de Einstein para explicar o efeito fotoelétrico fora comprovada diversas vezes não deixando dúvidas sobre sua validade. Foi por esta teoria, e não pela da relatividade especial ou geral, que Einstein foi premiado com o Nobel de 1921, só anunciado em 1922.

Quando da confirmação da teoria de Einstein que a luz é formada por pacotes, os físicos tiveram que conviver e aceitar uma situação inusitada, a luz tem dupla personalidade. Ora se comporta como partículas (os fótons), ora se comporta como onda (eletromagnética), este caráter da luz é chamado de dualidade onda-partícula.

Se você já achou estranho que a luz tenha esta dupla personalidade prepare-se!

Em 1920, **Louis de Broglie** (1892 – 1987) fez uma proposta que deixa incrédulos até os estudantes de Física ao encontrarem pela primeira vez esta teoria. De acordo com de Broglie não só a luz tinha caráter ondulatório, mas toda a matéria (próton, elétrons e até uma bola de futebol) também. Por mais estranha que possa parecer a teoria de Broglie foi comprovada experimentalmente e ele foi premiado com o Nobel de 1929. Este caráter ondulatório das partículas foi a base para a teoria quântica de **Erwin Schrödinger** (1887 – 1961) e sua famosa equação que lhe valeu o Nobel de 1933.

## **Passeio por outros campos**

A força que nos é mais familiar é a gravitacional. Todos os corpos que possuem massa sentem uma força de atração entre eles. Também existe um campo gravitacional e uma partícula associada a este campo. De todas as partículas citadas neste texto apenas esta não foi detectada **ainda**. A que intermedia a força gravitacional – que não foi detectada ainda e que seria o quantum do campo gravitacional chamamos de *gráviton*.

Para os *quarks* ficarem grudados alguma coisa deve servir de cola entre eles.

Podemos tomar como exemplo o bolo de Einstein. Vamos imaginar, e só imaginar, que os *quarks* fossem os grãos de farinha. Como podemos ter diversos tipos de farinha (trigo, milho, aveia) também podem ter diversos tipos de *quarks* (u, d, c, s, t, b). Mas assim como o ovo serve para grudar os grãos de farinha, também existe alguma coisa que faz o papel do ovo nas partículas grudando os *quarks* dentro delas.

Quem faz o papel de cola de *quarks* é o quantum do campo da força nuclear forte, trata-se dos *glúons* (g). O nome tem origem na língua inglesa e significa algo como cola, grude.

Esta força nuclear também só irá atuar em partículas que tenham características especiais. Por exemplo, a força gravitacional só atua em corpos que possuam massa. Já a força eletromagnética só atua em corpo que tem carga elétrica.

A característica que permite que as partículas interajam através da força nuclear forte é a cor. Mais uma vez este nome é arbitrário, não significa a cor no sentido usual. A cor é uma propriedade de uma partícula, tal como existe carga elétrica existe carga cor.

Existem três cores que os *quarks* podem ter: vermelho, verde e azul. Cada um dos seis tipos de *quarks* pode ter uma destas cores, totalizando 18 tipos de *quarks*. Como cada um tem sua correspondente antipartícula, o número de *quarks* que conhecemos hoje é de 36.

Mas não significa que um *quark* azul tenha cor azul. É apenas um nome. É o mesmo que pensar que uma pessoa que se chama Rosa é Rosa porque tem este nome.

Os *quarks* se mantêm unidos por uma característica peculiar desta interação.



Nas interações eletromagnéticas e gravitacionais, quanto mais perto as partículas estiverem, maior será a força sentida por uma devido à outra.

No caso da interação nuclear forte é o contrário. Quanto mais próximo menor a força, quanto mais longe maior a força. Por isto que eles não vivem uns sem os outros. Quando tentam se afastar a força nuclear forte é tão grande que puxa de volta, assim os *quarks* são obrigados a manterem-se unidos.

Podemos imaginar **como se fosse** um elástico. Quanto mais esticado o elástico maior a força que o puxa de volta.

O alcance de uma interação tem relação com a massa da partícula que é sua intermediária. Quanto mais massiva é a partícula de interação, tanto menor será o alcance da interação e quanto menos massiva a massa da partícula de interação, maior será o alcance da interação.

Para entender melhor esta situação, imagine, mas só imagine, que as partículas de interação são bolas, e as partículas que vão interagir são você e seu amigo. Para que ocorra interação entre vocês, a bola deve sair de um e chegar ao outro. Se a massa da bola for pequena, tanto mais longe seu amigo poderá estar de você, pois ele conseguirá jogá-la mais longe, e maior será a distância entre a interação de vocês. Se a massa da partícula for grande, ela só poderá ser arremessada a distâncias pequenas, e o alcance da interação entre vocês será também pequeno.

O mundo das partículas é mais ou menos assim, quanto maior a massa da partícula de interação menor o alcance desta interação. Como a força nuclear fraca é a de menor alcance, e suas partículas de interação que são as *W* e *Z*, a teoria previa que estas partículas tivessem grandes massas. A massa das partículas *W*, sozinha, seria equivalente a um átomo INTEIRO de ferro ( $Z=26$ ), e a massa da *Z* seria ainda maior. Faltava os físicos comprovarem suas existências e que suas massas teriam mesmo estes valores.

Com este objetivo, trabalhava no início da década de 1980 no CERN, uma equipe de pesquisadores liderada pelos cientistas **Carlo Rubbia** (1934 - ) e **Simon van der Meer** (1925 - ). A equipe construiu um colisor de próton-antipróton, onde dois feixes eram gerados (um de prótons e outro de *antiprótons*) em direções opostas. Quando os feixes se encontravam haviam suas aniquilações. A teoria previa que quando isto ocorresse, ocasionalmente

poderiam ser geradas partículas  $W$  e  $Z$ , que rapidamente se transformariam em outras partículas.

Em 1983, a comprovação experimental das partículas  $W$  e  $Z$  foram anunciadas, e valeu a Rubbia e van der Meer o Nobel de 1984.

Então neste capítulo você conheceu novas partículas que não se enquadram nem na Classe A nem na Classe B.

Estas são as partículas de interação, cada interação tem a sua. Vamos chamar estas partículas de Classe C.

As partículas da Classe C são: *fóton* (intermedia a força eletromagnética), o *gráviton* (gravitacional), *glúons* (nuclear forte) e as partículas  $W$  e  $Z$  (nuclear fraca).

## **Modelo Padrão**

Agora chegamos ao ponto, já foram apresentadas todas as partículas que constituem a matéria e ainda as que intermediam as interações.

Os trabalhos de Gell-Mann e Zweig permitiram dividir as mais de duas centenas de partículas em apenas três grandes grupos de partículas similares: classe A que são as formadas por *quarks* e *antiquarks*, classe B que não tem estrutura interna e classe que não constituem a matéria, mas intermediam as forças entre seus constituintes, a classe C.

A figura 10 mostra um esquema de classificação de QUALQUER PARTÍCULA que atualmente se conheça.

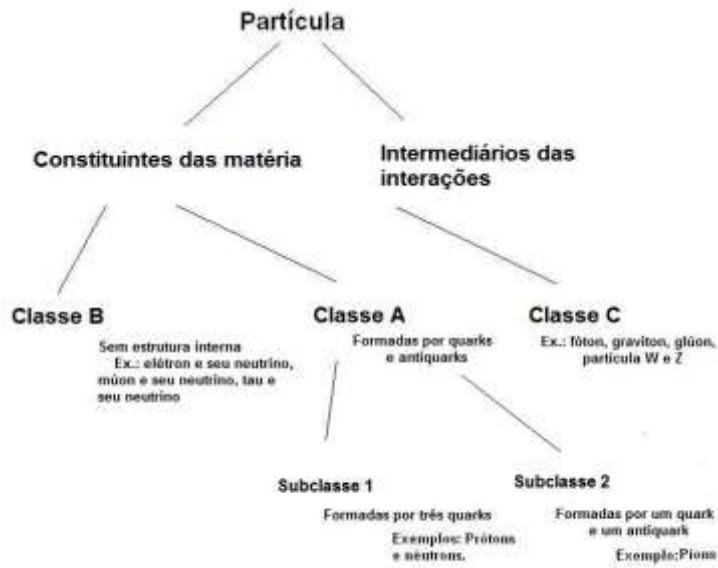


Figura 10 Esquema de classificação de uma partícula qualquer. Todas as partículas se enquadram em uma das classes acima.

## DANDO NOMES AOS BOIS

---

### **Modelo padrão com os nomes das classes agora**

O ditado popular *dando nomes aos bois* é usado quando se conta uma história sem contar os nomes dos personagens que fazem parte dela, e quando finalmente seus nomes são revelados o ditado é então usado. Como é exatamente isto que faremos neste capítulo, este ditado tem seu uso adequado para o que vamos ver agora. Pois o que faremos é apresentar os nomes que foram dados às classes de partículas que você conheceu anteriormente.

Não se impressione com os nomes. Eles são diferentes. Vamos reconhecer que os físicos de partículas foram bem criativos na hora de dar nomes às classes de partículas. Lembre sempre que, se achar necessário, consulte o glossário no fim deste texto.

Primeiro vamos separar as duas “espécies” de partículas. Existem as partículas que constituem o mundo material e aquelas que são responsáveis pela interação entre as primeiras partículas.

As partículas que constituem o mundo material foram chamadas de *férmions*.

As partículas que são responsáveis pela interação entre os férmions são chamadas de *bósons*.

Qualquer partícula na natureza ou é um *férmion* ou é um *bóson*.

Os *bósons* foram os que chamamos de Classe C, aqueles que eram os quanta dos campos, que são os responsáveis pela interação entre as partículas.

Logo os bósons são: *fóton*, *gráviton*, *glúon*, partículas *W* e *Z*.

Os *férmions* podem ser de dois tipos. Os que são formados por *quarks-antiquarks* e aqueles que não têm estrutura interna.

Chamamos de Classe A as partículas que eram formadas por *quarks* ou *antiquarks*. Estas partículas são chamadas de *hádrons*.

Existem duas espécies de *hádrons*, chamamos de Subclasse 1 e 2. Uma em que as partículas são formadas por três *quarks* (Subclasse 1) e a outra em que as partículas são formadas por um *quark* e um *antiquark* (Subclasse 2).

A classificação dos *férmions* que são constituídos de três *quarks* é dita *bárion* que chamamos de Subclasse 1.

Por sua vez, os *férmions* formados por um *quark* e por *antiquark* são chamados de *mésons*, que chamamos de Subclasse 2.

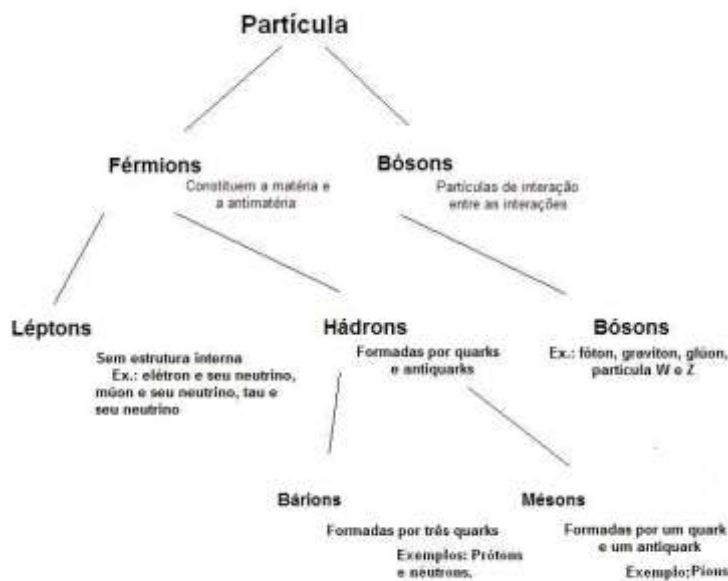
Os *férmions* que não são formados por *quarks* ou *antiquarks*, ou seja, que não possuem estrutura interna são ditos *léptons*, que chamamos de Classe B.

Os nêutrons e prótons são exemplos de *férmions* que são formados por três *quarks*, logo os nêutrons e prótons são *bárions*.

Já o *píon* é formado por um *quark* e um *antiquark*, assim sendo, é um exemplo de *méson*.

Já o elétron, *múon*, *tau* e seus respectivos *neutrinos* são constituintes da matéria. Como eles não são formados por *quarks* não são *hádrons*. Logo os elétrons, *múons*, *taus* e seus respectivos *neutrinos* são exemplos de *léptons*.

A Figura 11 mostra o esquema que expõe como se classifica qualquer tipo de partícula, seja ela formadora de matéria (*férmions*) ou intermediária de uma interação qualquer (*bósons*). Seja formada de *quarks* ou *antiquarks* (*hádrons*) ou sem estrutura interna (*léptons*). Seja formada de três *quarks* (*bárions*) ou de um *quark* e um *antiquark* (*mésons*).



**Figura 11** Esquema de classificação de uma partícula qualquer. Todas as partículas se enquadram em uma das classes acima.

## A origem de tanta criatividade

Cada nome de classe no modelo padrão tem uma explicação, e felizmente sua inspiração não foi em um livro de Joyce.

*Férmion* tem origem no nome de Enrico Fermi. Este foi um dos maiores cientistas do século XX, sendo inclusive o primeiro a controlar uma reação em cadeia durante o projeto Manhattan que levaria à construção da bomba atômica. O Fermilab, nos arredores de Chicago, é uma homenagem a ele.

Fermi propôs um tratamento estatístico para sistemas. Este tratamento estatístico proposto por Fermi pode ser aplicado às partículas que são conhecidas como *férmions*.

As partículas de interação não obedecem ao tratamento estatístico de Fermi, e sim a outro tratamento estatístico proposto pelo físico indiano **Satyendra Nath Bose** (1894-1974) e Albert Einstein. Por isto, as partículas de interação são conhecidas como *bósons*.

O físico indiano talvez seja mais conhecido por seu nome estar associado ao condensado de Bose-Einstein, que seria a quinta fase da matéria, as outras quatro são sólida, líquida, gasosa e o plasma. O fenômeno do condensado de Bose-Einstein ocorre em temperaturas próximas ao zero absoluto (menor temperatura que existe, onde todas as partículas estariam paradas, corresponde a cerca de  $-273^{\circ}\text{C}$ ). No condensado todas as partículas se comportam como se fossem apenas um átomo bem grande, pois tudo se comporta com propriedades que não podem ser descritas separadamente. Apesar de ser uma teoria elegante, muitos físicos acreditavam que não passava de uma teoria, que não poderia ser verificado experimentalmente. Porém, em 1995 uma equipe da *Universidade do Colorado*, nos EUA, conseguiu transformar um grupo de átomos mantidos no vácuo em um condensado de Bose-Einstein, a uma temperatura de 20 bilionésimos de grau acima do zero absoluto.

A palavra *hádron* tem origem grega e significa forte. As partículas que sentem a interação forte são chamadas de *hádrons*, e ainda são subdivididas em duas classes. Os *bárions*, cuja origem é a palavra grega *barýs*, que significa pesado, estas partículas são formados por três *quarks*, entre eles estão os prótons e nêutrons, e os *mésons* também de origem grega e significa intermediária. O

nome *méson* fora inicialmente proposta para o *méson*  $\mu$  (*múon*), que Yukawa previu como tendo massa entre o próton e o elétron.

A palavra *lépton* em sua origem grega significa leve. Os *léptons*, em sua maioria, têm massa insignificante comparada com a massa total de um átomo, por exemplo. Alguns *léptons* conhecidos como *neutrinos*, nem tiveram ainda o valor de sua massa determinada, se é que ela existe.

## **Livro de partículas**

Certa vez um cientista de partícula declarou que se gostasse de decorar nomes teria se tornado um botânico.

Pode não ter sido a declaração mais política do mundo, mas o que ele quis dizer é que não há necessidade alguma de saber de cor os nomes e características de todas as partículas.

Existe um livro que é atualizado de dois em dois anos, para incluir partículas novas descobertas, que traz todas as partículas com suas características. O nome do livro é *Particle Data Book* e não se tem notícia de que alguém saiba o nome de todas as partículas contidas nele de cor.

Você não precisa ser o primeiro, não é?

## BÓSON DE HIGGS E ENERGIA ESCURA

---

### **Bosonzinho, onde você se escondeu?**

Cabe aqui diferenciar dois conceitos físicos que são muitas vezes tratados como sinônimos, mas que não o são, trata-se de massa e peso.

Massa é uma medida de inércia, e no Sistema Internacional de Unidades (SI) é medida em quilograma (kg).

Medir inércia significa nada menos que medir o quão difícil é mudar a velocidade de um corpo. Quanto maior a massa de um corpo maior será a dificuldade de ele mudar sua velocidade, não importando se ele tem velocidade de 0 km/h ou 250 km/h, quanto maior sua massa mais difícil de mudar sua velocidade.

Já o peso nos mostra qual é a força que determinado astro (planeta, satélite e até asteroide) puxa o corpo na direção do centro do astro. O peso no Sistema Internacional tem unidade de força, ou seja, Newton (N). O peso depende tanto da massa do corpo como da gravidade local. Quanto maior for a massa, maior o peso, quanto maior a gravidade, maior também será o peso.

A massa é uma característica do corpo e não muda quando ele está em locais diferentes, a sua massa é a mesma aqui e em Plutão. Com o peso a coisa muda de figura, como o seu peso depende de sua massa, que não muda, mas também da gravidade do astro local, se estes tiverem gravidades diferentes o seu peso também será diferente. No caso da Terra e de Plutão, que têm gravidades médias diferentes, o seu peso nos dois locais é diferente, apesar de sua massa continuar igual.

Mesmo na Terra, a gravidade não é sempre a mesma, apesar de você ter decorado que ela vale  $9,8 \text{ m/s}^2$ . Na verdade, este é o valor para o nível médio do mar na latitude  $45^\circ$ , adotado como padrão, e a maioria dos locais tem gravidade ou um pouco maior ou um pouco menor. Se você se deslocar do nível do mar e for subindo a serra, aumentando a altitude, a gravidade irá diminuir. Agora se



você se deslocar da linha do Equador em direção ao um dos polos, mantendo a mesma altitude, a gravidade irá aumentar. Em todos os casos a sua massa é a mesma.

Se uma agência de turismo noticiar que tem uma maneira rápida para você perder peso e lhe vender uma passagem para o pico do monte Everest, não adianta pensar em processá-la, fisicamente está absolutamente correta o que ela lhe vendeu, você no pico do Everest tem peso menor que em sua cidade. Mas, o que as nutricionistas querem que seus pacientes gordinhos façam é perder massa, e para isto ocorrer não tem solução mágica: é exercício e dieta.

Uma pergunta que intriga os físicos a respeito da massa é:

De onde será que vem a massa dos corpos?

A dúvida é a seguinte: sabendo que toda a matéria estável é formada de átomos, se estes são formados por três partículas menores e duas delas são formadas por menores partículas ainda, então toda a massa que os corpos que você vê têm origem nestas pequenas partículas?

Logo a pergunta poderia ser refeita:

Qual a origem da massa das partículas fundamentais?

Isto é o mistério que milhares de físicos tentam solucionar ao acordar todas as manhãs e ir trabalhar em suas instituições após anos de estudo. Bilhões de dólares, você leu certo, bilhões têm sido investidos por vários governos do mundo na busca de aceleradores de partículas que sejam capazes de responder esta pergunta.

A teoria mais aceita diz o seguinte: **imagine** que os peixes fossem partículas fundamentais. Os peixes estão dentro de um fluido, que normalmente é água, que pode ser doce ou salgada.

Quanto menos denso é o líquido, mais fácil será para o peixe mudar a sua velocidade e menor será a sua inércia.

Como a água salgada é mais densa que a água doce, vai ser mais difícil para o peixe mudar a sua velocidade na água salgada, portanto, maior a sua inércia. Se levássemos os peixes ao Mar Morto, onde a concentração de sal é maior que na maioria dos mares, a dificuldade de mudar de velocidade seria maior ainda e, portanto, maior a sua inércia.

Agora se em vez de água colocássemos os peixes em óleo, a inércia cresceria mais ainda. Se colocássemos em mercúrio, aí a inércia cresceria muito mais.

Agora vamos imaginar que de fato as partículas estão envoltas em uma espécie de fluido absolutamente homogêneo. A massa das partículas fundamentais está relacionada com a esta espécie de fluido.

Este meio homogêneo em que as partículas estão imersas é chamado em Física de **Campo de Higgs**, em homenagem ao físico britânico **Peter Higgs** (1929-) que foi quem propôs a teoria na década de 1960.

A todo campo está associada uma partícula – lembre que a do campo eletromagnético é o *fóton*, a do gravitacional é o *gráviton*, a do nuclear forte é o *glúon* e a do nuclear fraco são as partículas *W* e *Z* – logo o campo de Higgs está associada a uma partícula que seria a “causadora” da massa das partículas.

A busca por esta partícula tornou-se a prioridade número um da física experimental recentemente.

Tratava-se da busca pelo **Bóson de Higgs**.

*Trata-se*, já que, em 2013, os cientistas do CERN confirmaram sua identificação, algo que foi comemorado pela comunidade científica internacional. Contudo, até hoje conduzem experimentos a fim de confirmar se suas propriedades são compatíveis com o previsto teoricamente pelo Modelo Padrão. Até o presente momento... tudo está de acordo com o esperado.

## **O maior erro da vida de Einstein?**

Em meados da década de 1910, Einstein publicou sua Teoria Geral da Relatividade. Baseado nesta teoria desenvolveu um modelo para o desenvolvimento do universo, na qual sugeriu que o universo fosse estacionário.

Para que o universo estivesse estático tem um problema a ser resolvido. Como os cientistas sabem desde a época de Newton, matéria atrai matéria. Como o universo é feito de matéria, e esta está se atraindo de acordo com a força gravitacional, toda a massa do universo estaria se atraindo e indo uma de encontro a outra e tudo estaria na eminência deste colapso total do universo. Mas – sempre tem um mas – Einstein acreditava que isto não estava ocorrendo, e ainda formulou uma teoria mostrando que o universo estaria “parado”. Para

tanto, incluiu em suas equações um termo que ficaria conhecido como *constante cosmológica*. Esta constante tinha o papel de descrever uma espécie de força antigravitacional, que não permitiria que a massa do universo se atraísse a tal ponto de o universo se colapsar.

Apesar de ter proposto a *constante cosmológica*, Einstein não fazia ideia do que se tratava, não tinha a menor suspeita do que era esta constante e muito menos de sua origem. Como ele próprio admitiu, ela era apenas um artifício matemático para que suas equações descrevessem um universo estático.

O modelo de universo de Einstein não era o único e vários outros foram propostos. Um deles, proposto na década de 1920, era do cientista russo **Alexander Friedmann** (1888 – 1925). No modelo do russo o universo poderia não ser estático, mas existia a possibilidade de ele estar em contração ou mesmo em expansão com uma velocidade cada vez menor até que finalmente um dia esta expansão pararia. Em sua teoria, Friedmann não usou a *constante cosmológica*.

Como em toda a ciência, era preciso ter comprovações experimentais para aceitar uma ou outra teoria como correta. Os cientistas tentaram medir durante toda a década de 1920 se o universo estava parado, em contração ou ainda em expansão.

Foi só no fim da década de 1920, que o norte-americano **Edwin Hubble** – sim, é ele que dá nome ao famoso telescópio espacial – conseguiu medidas usando a pulsação da luz das estrelas em que mostrava que o universo estava em expansão.

Em 1932, Einstein aceitou que sua descrição do universo estático estava errada, e admitiu a derrota botando a culpa na *constante cosmológica*. Posteriormente a chamou de o maior erro de sua vida.

Einstein morreu em 1955, e teria ficado confuso com o que os cientistas descobriram na década de 1990.

Usando telescópios, as estrelas com grandes massas que explodiam eram estudadas aqui na Terra. Quando eles analisavam seus resultados tiveram uma surpresa.

Os cientistas perceberam que as estrelas distantes se afastam mais devagar da Terra que as que estavam próximas. Mas não quer dizer que isto esteja acontecendo agora. Como as estrelas distantes estão muito longe, a luz

que recebermos delas agora saiu antes da que vemos neste instante das estrelas mais próximas. Assim, não é que as estrelas mais distantes se afastam mais rápido, é que no passado tudo se afastava mais devagar.

Conclusão?

O universo estava em expansão.

Mas isto todos já sabiam desde 1929, qual a surpresa?

O que eles descobriram é que a velocidade de expansão não estava diminuindo como todos acreditavam, mas estava aumentando. O universo não só está em expansão, como está acelerando (comparando a época atual com o passado).

Voltando a força gravitacional, se a massa de acordo com a força gravitacional está se atraindo, e em vez disto ela está se repelindo, logo alguma coisa deve estar fazendo o papel de antigravidade, certo?

Não se sabe se isto está certo, mas é nisto que os cientistas acreditam atualmente.

O que era a constante cosmológica de Einstein mesmo?

Exatamente isto, quem fazia o papel de antigravidade, mas ao contrário do uso inicial de Einstein, agora ela não era mais usada para explicar um universo estático e sim um universo em expansão acelerada.

A esta misteriosa entidade que os cientistas suspeitam que exista se conhece atualmente como energia escura. Trata-se de um dos temas mais fascinantes de cosmologia pesquisados ainda atualmente.

## CORDAS E SUPERCORDAS

---

### **Não sou apenas um pontinho, diz o elétron**

Um dos grandes problemas que atormenta os físicos é de como é a forma das partículas fundamentais. Como não podemos vê-las, só podemos divagar e verificar que se as tais são plausíveis.

A primeira hipótese era que fossem bolinhas, como bolinhas de bilhar só que muito pequenas.

Para algumas partículas, esta ideia não tinha problema. Como os prótons, por exemplo, que podemos medir seu tamanho, logo poderíamos pensar neles como estas pequenas esferinhas.

Mas esta ideia gera problema quando pensamos em partículas como os elétrons. Não foi possível até hoje medir as dimensões dos elétrons. Então os físicos, a princípio, pensaram neles como pontos, sem tamanho algum, e com massa. Mas isto causa mais problemas.

Os problemas que aparecem são relacionados à divisão que se aprende na escola. Seu professor de matemática lhe contou parte da verdade quando disse que não é possível dividir um número por zero. O que ele não deve ter contado é que quanto menor for o número com o qual dividimos, o resultado vai se aproximando de outro número que existe em matemática e não na vida real, o infinito. Diz-se em matemática que quando no limite que o número com que se divide se aproxima de zero, o resultado se aproxima de infinito.

Então vem o problema físico. A força eletromagnética é tanto maior quanto menor for à distância entre as cargas. Logo, se os elétrons (carga negativa) fossem um ponto com massa, a distância entre ele e outra carga poderia ser zero, mas se a distância for zero a força tende a ser infinita.

Força infinita não pode haver na natureza, logo os elétrons não podem ser um ponto, as partículas não podem ser partículas do tipo de bolas de bilhar muito

pequenas. Precisava-se de outro modelo para imaginar como seriam as partículas fundamentais.

Então surgiu a Teoria das Cordas. Que fora inicialmente proposta para explicar porque os *quarks* estão confinados nos *hádrons*. De acordo com a teoria, os *quarks* estariam na extremidade de cordas e que quanto mais longe um *quark* do outro, maior a tensão da corda e esta provocaria que eles retornassem para perto um do outro, ficando dentro dos *hádrons*.

Nesta teoria, as partículas fundamentais não seriam pontos, e sim teriam um comportamento como se fossem cordas vibrantes de uma dimensão, como uma corda de violino vista de longe. Estas cordas poderiam vibrar de maneiras diferentes, cada maneira com uma energia determinada, cada um destes estados caracterizando uma partícula diferente.

Podemos fazer uma analogia com uma corda de violino vista a distância. A corda sempre é a mesma, mas pode vibrar de maneiras diferentes com suas energias correspondentes, a cada modo de vibração diferente tem-se um som diferente. Com as cordas fundamentais é parecido, a corda é a mesma para todas as partículas, mas como ela pode vibrar de várias maneiras, a cada uma destas vibrações corresponde uma partícula do modelo padrão diferente. Aos elétrons corresponderiam uma vibração com sua energia correspondente, a cada *quark* outra. O que diferenciaria as partículas do modelo padrão é o modo como as cordas fundamentais vibrassem, logo os blocos fundamentais da natureza nesta teoria não seriam mais partículas e sim cordas vibrantes.

## **Superteoria?**

A teoria mais recente que busca respostas para estas questões é a chamada teoria das supercordas, que é uma variação da teoria das cordas. O super na frente da corda é devido às partículas nesta teoria apresentarem a características da supersimetria.

Esta é uma teoria muito controversa e foi proposta em meados da década de 1970. Segundo ela, as partículas de matéria e de interação são conversíveis, esta teoria relaciona os *bósons* e *férmions*. A cada *férmion* corresponderia um *bóson* (que ainda não foram detectados e são conhecidos por partículas

supersimétricas) e a cada *bóson* corresponderia um *férmion* (que tão pouco já fora detectado). O parceiro supersimétrico de cada férmion é chamado com o nome da partícula precedido com s, de simétrico, o elétron teria um parceiro supersimétrico, que seria um *bóson*, que é chamado de *selétron*. Os parceiros supersimétricos dos *bósons*, que seriam *férmions*, são chamados pelo nome do *bóson* terminado em “ino”, o *fóton* teria um parceiro supersimétrico que é conhecido como *fotino*.

Você entendeu direito sim. Se esta teoria estiver correta o número de partículas do modelo padrão que você já achava grande irá dobrar. O problema é que nenhuma partícula supersimétrica fora detectada até agora, apesar dos esforços dos pesquisadores e seus enormes aceleradores de partículas.

As supercordas seriam cordas supersimétricas que dariam origem não só a todas as partículas que formam a matéria, os *férmions*, como também as de interação, os *bósons*. Diferentes vibrações dariam origem, não só aos *férmions*, como aos *bósons* também, explicariam as partículas e suas interações. O *gráviton*, que seria a partícula de interação gravitacional e que ainda não foi detectada, corresponderia a um modo de vibração assim como o *fóton*, partículas *W* e *Z* e os *glúons*, a outros.

O sonho da unificação seria alcançado com a teoria das supercordas. Quando visto a distâncias minúsculas a teoria prevê que as quatro interações se comportariam como uma só.

O desafio matemático desta teoria você não faz ideia do tão grande que é, e não adianta ter pressa, alguns cientistas acreditam que uma teoria completa de supercorda só estará pronta no fim deste século. Outros nem acreditam que ela possa estar pronta um dia.

De acordo com as teorias mais recentes, as supercordas são matematicamente consistentes para uma natureza de 10 dimensões.

*Como assim 10 dimensões?*

Existem outras teorias de supercordas que são consistentes para 11 dimensões.

*Onze dimensões?*

Se você está achando muito, saiba que estas dimensões que dão consistência matemática à teoria já diminuíram muito, no início as teorias exigiam 26 dimensões.

Nós vivemos em um mundo de quatro dimensões (três espaciais e o tempo como quarta dimensão), logo a pergunta que você está se fazendo é muito boa:

– Onde estão as outras dimensões que a teoria exige?

A parte mais difícil não é formular uma teoria que descreva uma natureza de 10 dimensões, a parte mais difícil é mostrar que esta teoria corresponde a uma realidade física.

Existe um grande debate acadêmico entre os a favor e contra a teoria das supercordas. Os a favor, acreditam que ela será confirmada proximamente nos grandes aceleradores de partículas que estão a pleno funcionamento desde a década de 2010. Os contra, acreditam que apesar de ser uma teoria muito bonita e matematicamente consistente, não corresponde a uma realidade física e, portanto, nunca poderá ser comprovada em lugar algum do universo.

O tempo e os cientistas com suas máquinas gigantescas poderão nos mostrar qual dos dois grupos está correto.

Se a teoria das supercordas estiver correta será uma superteoria, pois não só explicaria o que são as partículas fundamentais, como também a origem de suas interações.

### **Hoje em dia...**

O bolo de Einstein que fizemos para comemorar seu aniversário tem mais mistérios que você poderia imaginar.

Quando cortamos um pedaço dele, pensamos que poderíamos cortá-lo na metade.

E o que aconteceria se cortássemos a metade na metade? Até quando poderíamos cortar a metade na metade?

A resposta é que chegaríamos a uma estrutura mínima da matéria chamada de átomo.

Os átomos são compostos por partículas ainda menores conhecidas como partículas subatômicas. Durante muito tempo acreditou-se que eram três: próton, nêutron e elétron.



Foi então que se descobriu que os próton e nêutrons não são indivisíveis, são formados por partículas menores chamadas de *quarks*. Os *quarks* são de seis tipos, mas os próton e nêutrons são formados apenas por dois tipos, o quark *up* e o quark *down*. É a combinação destes *quarks* que diferencia o próton do nêutron.

Logo, quando lhe perguntarem do que é o bolo, a resposta que você deve dar é: de *quarks up* e *down* e elétrons.

Além destes *quarks* e elétrons existem outras partículas menos estáveis, que chegam ao número incrível das duas centenas.

Além das partículas que compõem a matéria, que podem ser mais ou menos estáveis, existem ainda as de interação conhecidas como *bósons*.

Todas estas partículas compõem o que conhecemos como Modelo Padrão, que organiza todas as partículas que os cientistas já descobriram – até o momento presente, são 61.

Porém, sobre a matéria estável...

... o que podemos afirmar, hoje, é que achamos que toda a matéria ao seu redor é feita de *quarks up* e *down* e *léptons*!

---

## EPÍLOGO

---

Se tiver uma única lição que a história da ciência nos ensina é que se alguém julga terminado o empreendimento de descobrir os mistérios do universo, a natureza revela que o trabalho nem sequer começou direito.

Quando o Lord Kelvin disse, no fim do século XIX, que não havia nada mais para ser descoberto na natureza, salvo duas “pequenas” nuvens negras que seriam rapidamente dissipadas, a explicação para a radiação de corpo negro e a questão da dificuldade de detecção do éter, ele mostrou o quanto uma afirmação pode ser presunçosa e ao mesmo tempo profética. Presunçosa por achar que poderiam ter descoberto tudo sobre a natureza, profética porque as duas explicações que faltavam deram origem as mais importantes teorias do século XX, que foi um século particularmente interessante para a ciência.

Estamos em uma situação parecida com a vivida no fim do século XIX, neste início de século XX. Poder-se-ia acreditar termos compreendido a intimidade da matéria e tê-la descrito por completo com o nosso Modelo Padrão, somente existindo duas pequenas nuvens a serem dissipadas, o entendimento da origem da massa com as investigações acerca do bóson de Higgs e a inclusão da força gravitacional com a previsão do gráviton.

Como sempre dizem os historiadores, a História sempre se repete. Logo, podemos imaginar no que vai dar estas pequenas nuvens a serem dissipadas.

Se coloque por um instante no início do século XX, olhe quanto a ciência evoluiria naquele século ao dissipar as duas nuvens de Kelvin. Agora volte ao início do século XXI, e você pode imaginar o quanto a ciência irá evoluir na dissipação das duas nuvens do modelo padrão.

Sem dúvida será um século empolgante para a ciência. A busca pelas brechas a serem completadas está acontecendo neste instante em que você lê este livro. A expectativa pelo que nos aguarda na evolução da ciência é eletrizante.

Não só em física de partículas existem questões a serem resolvidas, tão pouco somente em física. Necessitamos de melhores teorias e explicações em biologia, como no estudo do cérebro, na geologia o desafio de conhecer melhor o interior de nosso planeta continua e assim por diante.

Quanto mais se estuda e se descobre sobre a natureza, podemos já suspeitar quais serão as conclusões que os cientistas chegarão: que existem mais mistérios do que eles jamais supunham.

O desafio de sua descoberta continua...

---

## BIBLIOGRAFIA

---

ALVES, G.; CARUSO, F.; MOTTA, H.; SANTORO & SANTORO, A. *O mundo das partículas de hoje e de ontem*. Rio de Janeiro: CBPF, 2000.

Aventura das partículas. Instituto de Física Teórica da Universidade Estadual Paulista. Disponível em <https://www.sprace.org.br/AventuraDasParticulas/> Acesso em 15/01/2019.

BRENNAN, R. *Gigantes da física: uma história da física moderna através de oito biografias*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2003.

CARUSO, F. *A física moderna e uma nova visão de mundo*. In: II ENCONTRO ESTADUAL DE ENSINO DE FÍSICA, 2007, Porto Alegre, Atas..., Porto Alegre: Instituto de Física – UFRGS, 2007. p. 1-9.

CARUSO, F & SANTORO, F. *Do átomo grego à física das interações fundamentais*. Rio de Janeiro: CBPF, 2000.

CHERMAN, A. *Sobre os ombros de gigantes: uma história da física*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2004.

CHESMAN, C.; ANDRÉ, C. & MACÊDO, A. *Física moderna: experimental e aplicada*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2004.

DAMASIO, F. & CALLONI, G. *Uma proposta de inserção de física de partículas na educação básica através de um hipertexto*. In: II ENCONTRO ESTADUAL DE ENSINO DE FÍSICA, 2007, Porto Alegre, Atas..., Porto Alegre: Instituto de Física – UFRGS, 2007. p. 59-62.

ENDLER, A. M. F. *Vovó conta do que as coisas são feitas*. São Paulo, Editora Livraria da Física, 2007.

FEYNMAN, R. *Física em seis lições*. Rio de Janeiro: Ediouro, 2001.

GARBI, G. G. *A rainha das ciências: um passeio histórico pelo maravilhoso mundo da matemática*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

GARBI, G. G. *O romance das equações algébricas*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2007.

GASPAR, A. *Física*. São Paulo: Editora Ática, 2000.

GLEISER, M. *Micro e macro: reflexões sobre o homem, o tempo e o espaço*. São Paulo: Publifolha, 2005.

GLEISER, M. *Micro e macro 2: mais reflexões sobre o homem, o tempo e o espaço*. São Paulo: Publifolha, 2007.

- GLEISER, M. *Poeira das estrelas*. São Paulo: Globo, 2006.
- GRIBBIN, J. *Fique por dentro da física moderna*. São Paulo: Cosac & Naify Edições, 2001.
- HAWKING, S. *O universo numa casca de noz*. São Paulo: ARX, 2002.
- HELAYEL – NETO, J. A. Supersimetria e interações fundamentais. *Física na Escola*, v.6, n°1, 2005.
- HEWITT, P. *Física Conceitual*. Porto Alegre: Bookman, 2002.
- LEE, R. *Eureka!: 100 grandes descobertas científicas do século XX*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2006.
- MACIEL JÚNIOR, A. *Pré-Socráticos – A invenção da razão*. São Paulo: Odusseus Editora, 2007.
- MOREIRA, M. A. *A física dos quarks e a epistemologia*. Aceito para publicação na *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 2007.
- MOREIRA, M. A. Partículas e interações. *Física na Escola*, v.5, n°2, 2004.
- NOVELLO, M. *Os jogos da natureza: a origem do universo, os buracos negros, a evolução das estrelas e outros mistérios da natureza: sonhos cósmicos de Maria Luisa*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.
- PISA, S. F. R. de T. *Schrödinger & Heisenberg – a física além do senso comum*. São Paulo: Odusseus Editora, 2003.
- RICCI, T. F. *Teoria da relatividade especial*. Porto Alegre: Instituto de Física – UFRGS, 2000.
- ROCHA, J. F. (org) *Origens e evolução das ideias da física*. Salvador: EDUFBA, 2002.
- ROSENFELD, R. *Feynman e Gell-Mann – Luz, quarks, ação*. São Paulo: Odusseus Editora, 2003.
- RUSSEL, John B. *Química Geral*. Editora Makron, 1994.
- SAGAN, C. *Bilhões e bilhões: reflexões sobre vida e morte na virada do milênio*. São Paulo: Companhia das Letras, 1998.
- SAGAN, C. *Cosmos*. 5 DVDs, Cosmos Studios, 2005.
- SAGAN, C. *O mundo assombrado pelos demônios: a ciência vista como uma vela no escuro*. São Paulo: Companhia das Letras, 1996.
- SALAM, A., HEISENBERG, W. & DIRAC, P. A. M. *A unificação das forças fundamentais*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 1993.

SIMMONS, J. *Os 100 maiores cientistas da história: uma classificação dos cientistas mais influentes do passado e presente*. Rio de Janeiro: DIFEL, 2002.

SOUZA, M. *Manual do cientista do Franjinha*. São Paulo: Globo, 2002.

STRATHERN, P. *O sonho de Mendeleiev: a verdadeira história da química*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar ed., 2002.

TINER, J. H. *100 cientistas que mudaram a história do mundo*. Rio de Janeiro: Ediouro, 2004.

TIPLER, P. *Física moderna*. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

VALADARES, E. de C. *Newton – A órbita da Terra em um copo d'água*. São Paulo: Odysseus Editora, 2003.

VIEIRA, C. L. *Einstein – O reformulador do universo*. São Paulo: Odysseus Editora, 2003.

WYNN, C.M. & WIGGINS, A.W. *As cinco maiores ideias da ciência*. São Paulo: Ediouro, 2002.

WOLKE, Robert L. *O que Einstein disse a seu cozinheiro: a ciência na cozinha*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor. 2003.

ZINGANO, M. *Platão e Aristóteles – O fascínio da filosofia*. São Paulo: Odysseus Editora, 2005.

---

## GLOSSÁRIO

---

Acelerador/colisor de partículas: instrumento capaz de acelerar e colidir partículas a grandes energias para estudar sua natureza. São enormes, têm quilômetros de comprimento. Os mais famosos são o Fermilab em Chicago nos Estados Unidos e o CERN em Genebra na Suíça.

Antipartícula: partícula igual a sua correspondente da matéria, mas com carga de sinal contrário. Exemplo: o elétron é uma partícula de matéria e tem carga negativa, sua correspondente de antimatéria é o pósitron, igual ao elétron, porém com carga positiva.

Bárions: são hádrons formados por três quarks. São exemplos de bárions o próton e o nêutron.

Bósons: partículas que intermediam as interações, são exemplos de bósons o fóton, gráviton, glúons e partículas W e Z.

Bóson de Higgs: o quantum do campo de Higgs responsável pela massa das partículas.

Carga cor: característica que os quarks possuem que é a responsável pela interação nuclear forte. Pode ser verde, vermelho e azul. Não são as cores que estudamos em óptica, são apenas nomes, da mesma forma que Branca, por exemplo, é o nome de uma pessoa que não corresponde a cor dela.

Carga elétrica: característica que é a responsável pela interação eletromagnética. Pode ser positiva ou negativa. Cargas opostas se atraem e iguais se repelem.

Classificação octal: organização das partículas em classes de oito que se relacionam.

Estranheza: característica subatômica proposta por Gell-Mann que governa a rapidez com que as partículas se transformam em outras.

Férmions: partículas que constituem a matéria, que podem interagir de quatro formas distintas que depende das propriedades de cada partícula.

Fótons: quanta do campo eletromagnético.

Gráviton: quantum do campo gravitacional, ainda não detectado.

Glúons: quanta do campo nuclear forte.

Hádrons: partículas que são formadas por três quarks ou um par quark-antiquark. Sentem a interação forte.

Léptons: partículas sem estrutura interna, são consideradas como sendo um dos tipos de partículas que são indivisíveis, não sentem a interação forte. Exemplos de léptons são os elétrons.

Mésons: são hádrons formados por um par quark-antiquark. Como exemplo de méson temos o pión.

Múon: uma versão de lépton mais massiva que o elétron.

Neutrino: partícula associada aos elétrons, taus e múons, sem massa nem carga elétrica.

Número Quântico: número que caracteriza o estado de um sistema. São exemplos de números quânticos a carga elétrica, a carga cor, a estranheza.

Partícula subatômica: partículas que constituem o átomo.

Partículas Z e W: quanta do campo nuclear fraco.

Pión: hádron formado por um par quark-antiquark.

Quark: partícula fundamental que constitui a matéria, forma por exemplo, os prótons e nêutrons. No total existem 18 quarks e 18 antiquarks.

Tau: uma versão de lépton mais massiva que o múon.

Teoria de cordas: sugere que as partículas fundamentais não são miniaturas de bolas de bilhar e sim cordas vibrantes e girantes.



## Parte B

### Material de Apoio ao Professor

#### PROPOSTA DE UEPS PARA O ENSINO DE FÍSICA PARTÍCULAS TENDO O UNIVERSO CINEMATOGRAFICO DO HOMEM DE FERRO COMO IDEIA ÂNCORA PARA A ORGANIZAÇÃO SEQUENCIAL

**Objetivo:** Discutir os conceitos de Física Nuclear e de Partículas por meio de uma abordagem que mostre como eles foram construídos historicamente, utilizando filmes do Homem de Ferro como organizador prévio.

**1. Situação inicial:** Exibir aos alunos os dois primeiros filmes da série Homem de Ferro (2008 e 2010).

**2. Situações-problema:** Selecionar cenas específicas que serão usadas durante as aulas expositivas dialogadas e fazer alguns questionamentos a eles acerca de conceitos *de e sobre* Ciência que aparecer nas cenas, por exemplo: O poder econômico influencia na ciência? O que são elementos químicos como o paládio que aparece no filme? Do que são formados os elementos químicos? Todas as partículas da natureza podem ser encontradas nos elementos químicos? Como ocorre as premiações na ciência, ela é sempre justa? Como se descobre ou fabrica um elemento químico? Como trabalham os cientistas na descoberta ou fabricação dos elementos químicos? E de onde veem os elementos químicos? Como se construiu a teoria que explica as partículas elementares e como elas podem ser classificadas? A sondagem de concepções prévias e proposição de situações-problema pode ser feitas na forma de discussão em sala ou por intermédio de um questionário (exemplo no Anexo I).

**3. Revisão:** Cada encontro conta com a diversidade de material didático (livros, textos, vídeos, apresentação de slides) e estratégias instrucionais (experimentos, aula expositiva dialogada, construções coletivas e individuais) conforme orienta

a Teoria da Aprendizagem Crítica. No início de cada encontro retoma-se pelo menos uma cena dos filmes que servirá de ideia âncora para a organização sequencial, relacionando com as perguntas do questionário inicial. As questões que envolvem a revisão são: Qual a menor estrutura da matéria? É possível dividir o indivisível (o átomo)? Quem foram as pessoas e como elas estudaram e organizaram as partículas menores que o átomo? Como é a organização das partículas subatômicas? Sugere-se a realização das práticas “Repartindo o bolo” e “Sondando a matéria”, descritas no Anexo II, também o uso dos slides Aulas 1, 2 e 3 e da simulação contida na página *HTML* “Modelo de Rutherford”, disponíveis no site <https://sites.google.com/view/homemdeferromnpef>.

**4. *Novas situações-problema, em nível mais alto de complexidade:*** Neste momento da UEPS, a mesma abordagem será utilizada, iniciando com uma cena de um dos filmes e utilizando a diversidade de material didático e de estratégias instrucionais. No entanto, como está se abordando os capítulos finais do livro as questões colocadas são mais complexas e específicas, tal como sugere o princípio da reconciliação integrativa, sempre procurando fazer referências aos conceitos já discutidos. As questões que envolvem as novas situações-problema são: O que é força na física e quantos tipos diferentes existem? Como os cientistas identificaram partículas cada vez menores e como podemos classificá-las? Como é a classificação atual de todas as partículas que conhecemos? Recomenda-se o uso dos slides Aula 4 e 5 presentes no site <https://sites.google.com/view/homemdeferromnpef> e a realização da prática “Quem sou eu?”, presente no Anexo II.

**5. *Avaliação somativa individual:*** Esta atividade, que ocupará uma aula, deverá ter sido já anunciada para os alunos; não deverá ser de surpresa. Propor questões abertas nas quais os alunos possam expressar livremente sua compreensão acerca de e sobre física de partículas. Fazer perguntas, solicitar algum esquema ou diagrama que dê evidências de aprendizagem significativa. Não apostar em instrumento de avaliação centrado no “certo ou errado”. Exemplo consta no Anexo III.

**6. Aula expositiva dialogada integradora final:** retomar todo o conteúdo da UEPS, revendo e procurando construir respostas para as situações problemas iniciais: O poder econômico influencia na ciência? O que são elementos químicos como o paládio que aparece no filme? Do que são formados os elementos químicos? Todas as partículas da natureza podem ser encontradas nos elementos químicos? Como ocorre as premiações na ciência, ela é sempre justa? Como se descobre ou fabrica um elemento químico? Como trabalham os cientistas na descoberta ou fabricação dos elementos químicos? E de onde veem os elementos químicos? Como se construiu a teoria que explica as partículas elementares e como elas podem ser classificadas? Para tal, sugere-se que os alunos produzam vídeos em que exponham as respostas que construíram para essas questões. Os vídeos serão apresentados à turma, de modo que se possa estabelecer uma discussão em relação às posições tomadas e a integração do conhecimento estudado.

**7. Avaliação da aprendizagem na UEPS:** Deverá estar baseada nos trabalhos feitos pelos alunos, a exemplo do vídeo, nas observações feitas em sala de aula, na participação nas discussões e práticas desenvolvidas e na avaliação somativa individual, cujo peso não deverá ser superior a 50%.

**8. Avaliação da própria UEPS:** Deverá ser feita em função dos resultados de aprendizagem obtidos. Reformular algumas atividades, se necessário. Sondar a opinião dos alunos com relação ao que foi desenvolvido por intermédio de um questionário (exemplo no Anexo IV).

**Duração de horas-aula:** 18 a 20.

#### **Referências Bibliográficas:**

SANTOS, I. M.; DAMASIO, F. *Receita de um bolo, fisicamente falando*. Disponível em <https://sites.google.com/view/homemdeferromnpef>. Acesso em 23/01/2019.

MOREIRA, M. A. *Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas – UEPS*. Aprendizagem Significativa em Revista/Meaningful Learning Review – V1(2), pp. 43-63, 2011.

## **Anexo I**

### Questionário de Concepções Prévias

- 1) O que são elementos químicos, como o paládio que aparece no filme?
  
- 2) Do que são formados os elementos químicos?
  
- 3) Todas as partículas da natureza podem ser encontradas nos elementos químicos?
  
- 4) Como se descobre ou fabrica um elemento químico?
  
- 5) Como trabalham os cientistas na descoberta ou fabricação dos elementos químicos?
  
- 6) De onde vem os elementos químicos?
  
- 7) Como se construiu a teoria que explica as partículas elementares e como elas podem ser classificadas?

## Anexo II

### Roteiro para as Atividades

#### **Prática “Repartindo o bolo”**

1. O professor deve dividir a turma em grupos e distribuir pedaços de bolo (a atividade pode envolver quaisquer comidas ou mesmo outros objetos divisíveis).
2. Em seguida, solicita aos alunos que repartam o seu respectivo pedaço de bolo, de modo a sempre obter a metade do pedaço dividido. Em outras palavras, vão sucessivas vezes partindo os pedaços obtidos pela metade, até não mais conseguirem. Pede para que anotem o número de divisões que foi possível realizar.
3. Promove a apresentação dos resultados de cada grupo, anotando na lousa, e inicia uma discussão a respeito de quantas divisões mais seriam necessárias para se chegar à escala atômica da matéria.

#### **Prática “Sondando a matéria”**

1. O professor deve construir um aparato constituído por pares de placas (de madeira, isopor ou outro material), uma de dimensões (altura e largura) maiores que a outra, mas ambas com espessura de cerca de 1 a 2 cm. Para cada par de placas, colar uma a outra, de modo que ao colocar o aparato no chão, a placa de cima deverá ocultar a de baixo. Sugere-se que a placa de cima seja quadrada, enquanto que a que ficar abaixo tenha menores proporções, mas uma forma geométrica regular (circular, triangular, etc), e seja fixada centrada em relação à placa superior<sup>1</sup>. Cada aparato deverá ter a parte superior igual, mas as placas inferiores devem ter formas diferentes.
2. O professor deverá dividir a turma em equipes e cada uma receberá um aparato, a ser colocado no chão, sem que os alunos possam mexer. A tarefa é que eles descubram qual a forma geométrica oculta. Para isso, deverão ser fornecidas bolinhas de gude suficientes aos membros dos grupos e uma folha de papel. Vale ressaltar que a espessura das placas deve garantir que as bolinhas escolhidas possam rolar por baixo da placa superior e se chocar com a inferior.

A partir das trajetórias das bolinhas que colidem com a parte inferior, os alunos podem sondar a formato dela. Esse procedimento não deve ser previamente explicado pelo professor, deixando que os próprios estudantes investiguem a melhor forma de executar a tarefa.

3. Após ter os alunos realizados suas tentativas, as formas geométricas devem ser reveladas. Cada equipe deve apresentar seus resultados aos demais e explicar o método empregado. O professor, então, conduzirá uma discussão sobre a possibilidade de se estabelecer uma analogia entre a atividade realizada e o espalhamento de partículas alfa que foi utilizado no experimento de Geiger-Marsden e em outros que envolvem a sondagem da matéria.

### **Prática “Quem sou eu?”**

1. O professor deve preparar pequenos papéis nos quais estarão escritos conceitos-chave e termos relevantes trabalhados ao longo das aulas, de cientistas a experimentos, partículas ou propriedades físicas (exemplos: elétron, bóson, Rutherford, partícula alfa, LHC, Modelo Padrão, etc.)

2. Solicita-se à turma que se divida em equipes e que anotem a relação de palavras escritas nos papéis. A atividade decorrerá como um jogo, em que as equipes participarão em ordem previamente estabelecida e com pontuação acordada entre a turma. Constitui-se de duas fases:

(i) O professor sorteia um papel sem anunciar à turma a palavra escrita e, em sua vez, cada equipe deve fazer uma pergunta passível de resposta simplesmente por “sim” ou “não”. Após o professor responder, a equipe tem direito a um palpite para tentar acertar a palavra. Caso não acerte, passa a vez. Pontua o grupo que adivinhar a palavra. Após isso, um novo papel é sorteado pelo professor. Quando a turma entender o jogo e apresentar um nível aprofundado de perguntas, de acordo com o critério do professor, pode-se passar para próxima etapa.

(ii) Cada grupo escolherá um integrante, que deverá se colocar a frente da turma. Esses representantes terão colado em suas testas, cada um, um papel sorteado, sem saber a palavra e sem poder lê-la. Cada um, à sua vez, deve fazer uma pergunta a sua equipe, da mesma forma que na fase anterior, e, com a resposta dada, tentar um palpite. À medida que as rodadas passarem e forem acertando, os alunos vão pontuando e deixando o lugar à frente da turma.

<sup>1</sup> A descrição detalhada da confecção do aparato encontra-se em SIQUEIRA, Maxwell; PIETROCOLA, Maurício. ESPALHAMENTO DE RUTHERFORD NA SALA DE AULA DO ENSINO MÉDIO. Física na Escola, v. 11, n. 2, 2010.

## Anexo III

### Avaliação Somativa Individual

1) No filme *Homem de Ferro 2* (2010) o protagonista Tony Stark vê-se motivado a investigar um novo elemento químico em substituição àquele que originalmente servia de “combustível” para seu primeiro modelo de armadura. Apesar das liberdades tomadas com relação a vários aspectos relacionados à identificação ou mesmo “fabricação” (sintetização) de novos elementos químicos, trata-se de uma referência ao trabalho realizado pela comunidade científica predominantemente à partir do início do século passado (XX).

- a) Que tecnologias são empregadas pelos cientistas para a “fabricação” de elementos químicos artificiais? Por que esses são instáveis e não encontrados na natureza?
- b) Dentre os 118 elementos que constam atualmente na tabela periódica, 90 podem ser encontrados na natureza, ou seja, não foram sintetizados por cientistas, mas decorrem de processos que ocorrem espontaneamente. Que fenômenos da natureza dão origem a essa grande variedade de elementos químicos naturais? Onde podemos dizer que são produzidos naturalmente boa parte dos átomos que nos cercam?
- c) Apesar do retrato interessante e peculiar do processo de investigação de novos elementos químicos, o filme *Homem de Ferro 2* apresenta inconsistências com a realidade. Cite algumas.

2) A radioatividade, em particular a emissão espontânea de partículas alfa, teve papel fundamental nos primórdios da física nuclear e de partículas, ou seja, na investigação da natureza da matéria, principalmente no início do século XX. Cientistas, como Rutherford, aproveitaram um fenômeno natural para *sondar* o átomo – em outras palavras, investigar sua constituição. Explique como isso foi possível, citando exemplos de descobertas que foram possíveis utilizando essa técnica.

3) Em 1920, a comunidade científica já tinha conhecimento da existência de elétrons e prótons no átomo, o que seria suficiente para entender as características elétricas da matéria. Contudo, um problema permanecia: o núcleo atômico apresentava uma massa maior que a prevista somente pela união dos prótons nele existentes. Por exemplo, sabia-se que um núcleo do átomo de Oxigênio deveria apresentar 8 prótons, mas sua massa correspondia praticamente ao dobro desse número, 16. Desse modo, uma das hipóteses seria a de um estado “combinado” de elétron e próton no núcleo, ideia que em pouco mais de uma década se mostrou equivocada.

- a) A descoberta de qual nova partícula foi responsável por solucionar o problema citado no enunciado?
- b) Dado o fato de partículas com carga no núcleo serem todas de carga positiva, ainda permaneceria um problema, o da estabilidade nuclear. *Como prótons podem permanecer ligados num espaço confinado se há a repulsão elétrica?!* Explique como contemporaneamente podemos explicar a estabilidade nuclear, ou seja, como física de partículas conseguiu solucionar o problema relacionado.

4) “No filme “Anjos e Demônios”, a antimatéria gerada no Centro Europeu de Pesquisa Nuclear (CERN), em Genebra, desempenha um papel importante, mas pouco realista. (...) No filme, a antimatéria é um grama de substância perigosa, carregada numa caixa de cerca de 30 centímetros, capaz de implodir a Cidade do Vaticano. “Uma caixa dessas para antimatéria realmente existe, só que ela tem

as dimensões de um quarto", diz Michael Hauschild, pesquisador do CERN, ao portal Halterner Zeitung. (...)”

<https://www.swissinfo.ch/por/cultura/antimat%C3%A9ria-do-cern-amea%C3%A7a-o-vaticano---no-cinema/7395358> Acesso em 22/11/2018

- a) Explique o que é antimatéria e porque pode ser retratada na obra citada com tamanho poder destrutivo.
- b) É factível o receio de uma “bomba de antimatéria” atualmente? Justifique.

5) O *Modelo Padrão de Partículas Elementares* consta essencialmente de 61 partículas que seriam responsáveis pela constituição de todo o universo – pelo menos, a parte “bem entendida” atualmente pela comunidade científica. É uma afirmação razoável que as partículas nele categorizadas são o mais próximo que chegamos dos “átomos” idealizados por Demócrito, blocos indivisíveis constituintes da matéria que nos cerca. O elétron, identificado em 1897, consta como a primeira partícula a integrar esse seletivo grupo, sendo sabido que se trata de um dos constituintes do átomo – na acepção mais usual do termo. Já prótons e nêutrons não fazem parte do Modelo Padrão, não pertencendo à categoria de partículas elementares. Explique o porquê.

6) “Há 70 anos, a descoberta de uma nova partícula subatômica causou sensação na comunidade internacional e esteve por trás do gesto contido do jovem na foto estampada na lateral desta página. A imagem simboliza um período em que ciência, alavancada por ideais desenvolvimentistas e ligados à segurança nacional, integrou um projeto de nação para o Brasil.”



<https://www1.folha.uol.com.br/ilustrissima/2017/06/1895455-quando-um-cientista-brasileiro-era-estrela-midiatica-e-concorreu-ao-nobel.shtml>  
Acesso em 22/11/2018

A quem se refere o trecho do artigo destacado? Que importantes contribuições deu para o desenvolvimento da física de partículas e como seu trabalho se relaciona com o progresso da pesquisa científica no Brasil?

7) “De acordo com o modelo padrão, tudo – de pessoas a estrelas – é composto por apenas algumas partículas minúsculas de matéria, como os elétrons e os quarks. Essas partículas são governadas por uma série de forças que as permite interagir entre si: a gravidade, o eletromagnetismo, a interação fraca e a interação forte dos átomos.”

<https://veja.abril.com.br/ciencia/nobel-de-fisica-coroa-desenvolvimento-do-modelo-padrao/> Acesso em 22/11/2018

Dada a quantidade de partículas presentes no modelo padrão, existem classificações relacionadas às propriedades físicas delas e fenômenos em que



essas figuram. Uma delas está relacionada à distinção entre Férmions e Bósons. Explique a diferença essencial entre as duas classes de partículas, relacionando sua resposta à existência das interações fundamentais, sua participação na constituição da matéria e citando exemplos.

8) “A produção final do chip Sampa, desenvolvido no Brasil especialmente para o experimento Alice (A Large Ion Collider Experiment, um dos quatro grandes experimentos do LHC – Large Hadron Collider), recebeu parecer positivo de um comitê internacional de revisores. O grupo é composto de especialistas em microeletrônica e a aprovação se deu numa reunião realizada por videoconferência, no último dia 20 de fevereiro.”

<https://jornal.usp.br/tecnologia/comite-internacional-aprova-chip-brasileiro-para-o-acelerador-lhc/> Acesso em 22/11/2018

Disserte sobre o *LHC*. O que este experimento “analisa e vê”? O que se pode afirmar sobre sua importância para o desenvolvimento científico e tecnológico? Quais seus princípios básicos de funcionamento?

## Anexo IV

### Questionário final

- 1) O que você pensa a respeito do uso de filmes de super-heróis nas aulas de Física? O uso do filme Homem de Ferro 2 contribuiu para sua compreensão do tema?
  
- 2) Como você avalia as práticas e recursos utilizados ao longo das aulas? Considera adequadas e efetivas? Tem alguma sugestão?
  
- 3) Qual sua opinião sobre o estudo da Física Nuclear e de Partículas no ensino médio? Como foi sua experiência?