

# DOS ATOMISTAS AO ÁTOMO MODERNO: Um resgate histórico da evolução dos modelos atômicos

FROM ATOMISTS TO MODERN ATOM: A historical rescue of the Evolution of atomic models

**Kaio Moab de Oliveira Silva**

kmos@discente.ifpe.edu.br

**Oberlan da Silva**

oberlan.silva@pesqueira.ifpe.edu.br

---

## RESUMO

O presente trabalho traz um levantamento da evolução dos modelos atômicos, partindo do pensamento grego com as primeiras ideias dos atomistas, passando pelos modelos atômicos da era clássica e culminando com os modelos estudados pela Física de Partículas. Assim, descrevemos as primeiras ideias da constituição da matéria, mostrando o desenvolvimento da construção das ideias do átomo, finalizando com o átomo moderno descrito pelo modelo padrão para as partículas. A pesquisa adota uma metodologia de revisão bibliográfica enfatizando a importância da história e da filosofia da ciência como ferramenta de ensino. Nossa proposta foi construir um texto que possa apoiar essa discussão na educação básica.

Palavras-chave: HFC. Modelos atômicos. Evolução.

## ABSTRACT

The present work presents a survey of the evolution of atomic models, starting from the Greek thought with the first ideas of the atomists, passing through the atomic models of the classical era and culminating in the models studied by Particle Physics. Thus, we will describe the first ideas of the constitution of matter, showing the development of the construction of the ideas of the atom, ending with the modern atom described by the standard model for the particles. The research adopts a bibliographic review methodology emphasizing the importance of the history and philosophy of science as a teaching tool. Our proposal was to build a text to support this discussion in basic education.

Keywords: HFC. Atomic Models. Evolution.

# 1 INTRODUÇÃO

Atualmente o ensino de física nas escolas de nível médio, limita-se apenas aos conteúdos que se definem como Física Clássica, deixando de lado uma discussão pertinente sobre a Física Contemporânea e sua importância para o desenvolvimento tecnológico e de produtos da atualidade. Segundo os PCNEM (2000) a inserção da Física Moderna e Contemporânea proporciona discussões sobre o desenvolvimento da história da ciência. Isso muitas das vezes se deve à falta de professores qualificados para o desempenho da função, ao engessamento dos currículos da educação básica e da falta de estruturas mínimas de ensino que não permitem o avanço para os conteúdos da física contemporânea.

Segundo os PCNs+ (2002) os aspectos da Física Moderna serão indispensáveis para que os jovens tenham uma compreensão mais ampla sobre a formação da matéria.

Tendo sido iniciada ainda no período pré-socrático (século VII ao V a.C) a discussão sobre a formação da matéria ainda suscita muitos debates e apresenta muitas questões em aberto. Contudo, apenas no século XIX essa discussão foi retomada pelo filósofo francês Pierre Gassendi (1592 - 1655) e Robert Boyle (1627 - 1691).

Os primeiros filósofos buscavam explicar o mundo natural, sem recorrer ao sobrenatural, assim o pensamento filosófico foi ganhando força e escolas foram surgindo, entre elas se destaca a escola de Mileto<sup>1</sup>. Segundo Marcondes (2008, p. 24) *“a fim de evitar a regressão ao infinito da explicação causal, o que a tornaria insatisfatória, esses filósofos vão postular a existência de um elemento primordial que serviria de ponto de partida para todo o processo”*.

Tales de Mileto (624 - 546 a.C) foi o primeiro filósofo a formular a ideia de um elemento primordial. Segundo ele esse elemento era a água, o fundamental nesse pensamento, não é a escolha da água, mas a própria ideia de tentar buscar uma unidade elementar para explicar do que era composta a matéria. Muitos outros filósofos buscaram diferentes princípios para tentar explicar os fenômenos naturais.

Para Anaxímenes (588 - 524 a.C) discípulo de Tales, o ar seria o elemento primordial, para Anaximandro (610 - 546 a.C) seria o *Ápeiron* que ele classificava como sendo ilimitado e indefinido, para Heráclito (500 - 450 a.C) seria o fogo e para Demócrito (460 - 370 a.C) o elemento primordial seria o átomo.

O primeiro filósofo a falar no átomo foi Leucipo (500 - 430 a.C) fundador da escola atomista e discípulo de Zenão (490 - 430 a.C). O pensamento atomístico defende a ideia de que as coisas são formadas por átomos e pelo vazio, esses átomos têm a propriedade de atração e repulsão assim dando origem aos fenômenos da natureza.

Hoje com o avanço tecnológico podemos facilmente comprovar a aplicação dos conceitos básicos da *física de partícula*, amplamente usada na medicina em raios x, radioterapia, algumas clínicas têm acelerador de partícula linear em pequeno porte para auxiliar nos diagnósticos de algumas doenças.

---

<sup>1</sup> Fundada no século VI a.C, desenvolveu um pensamento crítico científico tendo como fundador Tales de Mileto, seus membros tentavam explicar os fenômenos da natureza sem recorrer aos mitos. Instituto Federal de Pernambuco *campus* Pesqueira. Curso de Licenciatura em Física. 09 de março de 2021.

O que nos preocupa é que o ensino das ciências hoje não tem acompanhado os avanços tecnológicos, o ensino de física na educação básica estacionou a uma metodologia tradicional, com um currículo obsoleto e desatualizado tornando as aulas monótonas.

Um curriculum de Física desatualizado tem como resposta uma descontextualização da realidade do aluno (Oliveira et al.2007). Os PCNs corroboram com essa ideia “como cada ciência, que dá nome a cada disciplina, deve também tratar das dimensões tecnológicas a ela correlatas, isso exigirá uma atualização de conteúdos ainda mais ágil, pois as aplicações práticas têm um ritmo de transformação maior que o da produção científica” (PCNs, 2002, p 209). Diante disso há uma necessidade de constantes atualizações nos currículos da física na educação básica.

Diante disso, este trabalho se propões a fazer um levantamento histórico sobre a evolução dos estudos a respeito do átomo, explanando os principais cientistas e suas descobertas, partindo da ideia do átomo indivisível de Demócrito, mostrando a ordem cronológica do desenvolvimento dos modelos atômicos e os principais responsáveis pela criação, até os estudos que deram origem à física partículas com o advento do átomo moderno, assim disponibilizamos esse texto para auxiliar o professor nas aulas de física em especial na evolução da teoria atômica.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

“Os atomistas encabeçados por Demócrito pensavam que a matéria era constituída por partículas minúsculas e indivisíveis”, (Gonick e Criddle, 2006). Essa corrente de pensamento foi amplamente difundida pela escola atomística no período pré-socrático, tendo como fundador Leucipo. “*Este filósofo defendia que a matéria só poderia ser dividida em porções cada vez menores até um limite, que correspondia a uma partícula indivisível – o átomo*” (Pires e Ribeiro, 2008). Após a Grécia antiga (século VII ao V a.C) as discussões sobre o átomo ficaram adormecidas por um tempo, retornando com o filósofo francês Pierre Gassendi quando apresentou a diferença entre átomo e molécula.

Robert Boyle foi o primeiro cientista a provar experimentalmente que toda matéria era constituída por átomos. Partindo do pressuposto que a matéria é formada por pequenas partículas que os gregos denominavam átomo, Boyle observou que um gás em um recipiente fechado, munido de um êmbolo, quando submetido a uma certa pressão ocupa um certo volume. Após exercer uma pressão maior sobre o êmbolo, a mesma porção de gás se comprime e passa a preencher um volume menor. Boyle concluiu que toda matéria é formada por minúsculas partículas. Segundo Dias *et al.* (1992 apud SILVA, 2013) foi preciso decorrerem mais alguns anos, até por volta 1800, para ressurgir novamente da teoria atômica, graças aos trabalhos de vários químicos, destacando-se o de Dalton.

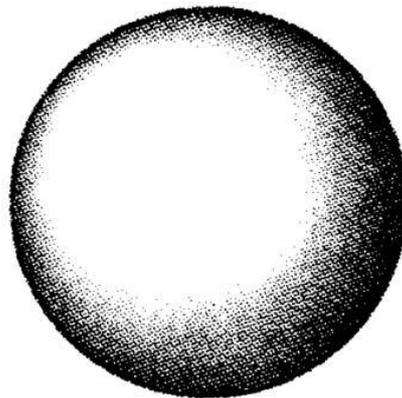
Em 1803, John Dalton publicou seu trabalho *Absorption of Gases by Water and Other Liquids* (Absorção de gases pela água e outros líquidos), nesse trabalho ele postulou sua teoria atômica. Segundo Pinheiro, Costa e Moreira (2011, p. 21) “*O caminho até a teoria atômica começou a ser percorrido quando Dalton soube que Lavoisier (1743-1794) havia identificado que o ar atmosférico era composto, pelo menos, por dois gases de pesos diferentes*”. Dalton inferiu que os gases tinham a capacidade de misturar-se entre si, mas não combinavam quimicamente. Ao tentar explicar sua teoria Dalton assume que os gases que compõem a atmosfera são formados por partículas últimas da matéria, que depois ele chama de átomo.

A teoria de Dalton representou um marco na história da teoria atômica; anteriormente tudo que se tinha eram suposições, depois de Dalton a teoria começou a ganhar força, pois apresentou um caráter científico agregando resultados experimentais e ganhando credibilidade. (Pinheiro; Costa; Moreira, 2011, p. 23)

Dalton propôs sua teoria atômica, em que o átomo seria uma pequena esfera maciça, indestrutível e indivisível, pode ver sua representação na figura 1.

Assim, este modelo dava conta, em sua época, de explicar os questionamentos que Dalton e outros pesquisadores tinham sobre o comportamento de gases, fenômenos meteorológicos, bem como a composição da atmosfera. Porém, essa proposta perdurou por vários anos até o seu modelo dar os primeiros sinais de que chegara a um limite, onde era necessário novos estudos para a estrutura atômica. (MELZER; AIRES, 2015, p. 4)

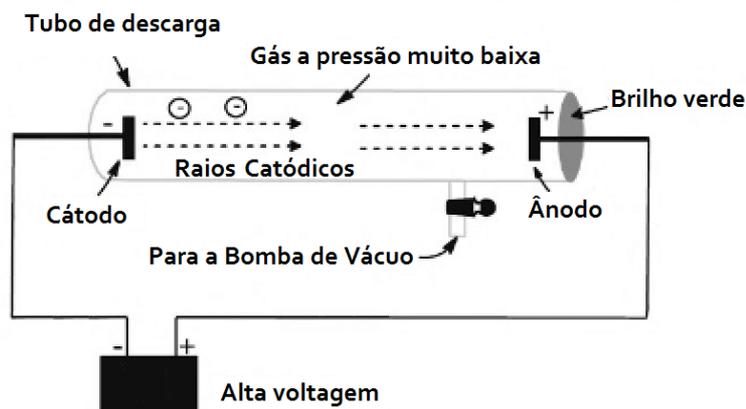
**Figura 1 – Modelo atômico de Dalton.**



Fonte: <https://static.todamateria.com.br/upload/57/d0/57d031ac8941d-modelo-atomico-de-dalton.jpg>

Joseph John Thomson (1856 - 1940) físico britânico, foi influenciado pelos trabalhos de M. Faraday (1791 – 1867) que tentava explicar experimentalmente a condução de cargas elétrica, em 1897, Thomson construiu um aparato que acoplou duas placas metálicas que funcionavam como eletrodos de polaridade positiva e negativa, em um tubo de vidro revestido por material fluorescente. Thomson aplicou uma grande tensão aos terminais das placas e notou que a parte oposta do eletrodo negativo brilhava. Ele justificou esse fenômeno como sendo a emissão de partículas pelo eletrodo negativo, assim essas partículas eram atraídas pelas placas carregadas positivamente. Essas partículas foram denominadas de elétrons.

**Figura 2 – Experimento de Thomson**

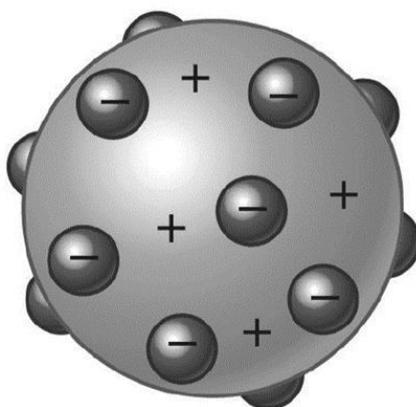


Fonte: <https://www.engquimicasantosp.com.br/2017/03/modelo-atomico-de-thomson-modelo-pudim.html>

Após demorada consideração sobre os experimentos, pareceu-me que não havia como escapar das seguintes conclusões: 1) Que os átomos não são indivisíveis, pois partículas negativamente eletrizadas podem ser arrancadas deles pela ação das forças elétricas... 2) Que essas partículas são todas de mesma massa e carregam a mesma carga de eletricidade negativa, qualquer que seja a espécie de átomo de que derivem, e são constituintes de todos os átomos. 3) Que a massa dessas partículas é menor que a milionésima parte da massa do átomo de hidrogênio. ... No início, denominei essas partículas de corpúsculos, mas agora são chamadas mais apropriadamente de elétrons, (Thomson 1897, p.338)

Segundo Melzer e Aires (2015, p. 5) “No ano de 1903, seus estudos na tentativa de compreender a distribuição dos elétrons com os cálculos de carga e massa do elétron, culminaram em sua proposta atômica de 1904”. O modelo atômico apresentado por Thomson era formado por anéis dentro de uma esfera com cargas positivas.

**Figura 3 – Modelo atômico de Thomson**



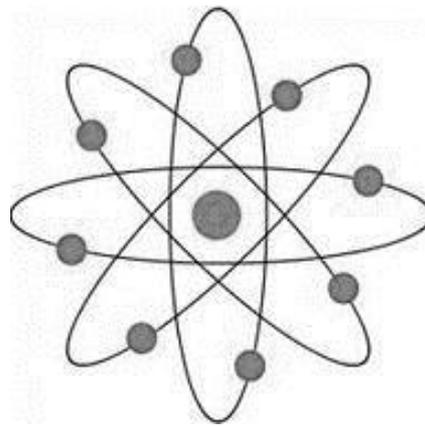
Fonte: <https://www.gestaoeducacional.com.br/wp-content/uploads/2019/03/Modelo-Thompson.png>

Geiger (1882 - 1945) e Marsden (1889 - 1970), realizaram um procedimento experimental bombardeando uma fina folha de ouro com partículas alfas. A maioria das Instituto Federal de Pernambuco *campus* Pesqueira. Curso de Licenciatura em Física. 09 de março de 2021.

partículas atravessavam a folha apresentando pequenos desvios, mas, surpreendentemente algumas partículas atingiam a folha e voltavam. Após dois anos dessa experimentação foi que Ernest Rutherford (1871 - 1937) conseguiu solucionar esse problema propondo que um átomo era formado por um pequeno núcleo; em que orbitava os elétrons.

O átomo, formado pelos elétrons de Thomson e pelo núcleo de Rutherford, não funcionava. Rutherford havia sugerido que a estrutura atômica é análoga ao sistema solar: os planetas são os elétrons e o Sol é o núcleo, mas a atração é eletromagnética (e não gravitacional, como no sistema solar), (Ostermann, 2001).

**Figura 4 – Modelo atômico de Rutherford**



Fonte: <https://cienciaemacao.com.br/wp-content/uploads/2019/03/modelo-atomico.jpg>

## 2.1 As Primeiras ideias para a ruptura...

No final do século XIX a “catástrofe do ultravioleta”<sup>2</sup> foi o grande transtorno para os físicos da época. Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858 - 1957) supôs que, na superfície do corpo negro, existem osciladores harmônicos (cargas elétricas oscilantes) que só poderiam ter determinados valores E para sua energia (Newton, 2012, p. 338). Cada valor energético correspondia a um estado quântico, assim um corpo absorve ou emite radiação em pacotes de energias Planck relacionou matematicamente a energia de um quantum (fótons) à frequência da radiação. Ele percebeu que a energia do quantum era inversamente proporcional ao comprimento de onda. Definindo assim a expressão para o cálculo da energia:  $E=hf$ .

Em 14 de dezembro de 1900, Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1957) apresentou, em uma reunião da Sociedade Alemã de Física, o trabalho intitulado Sobre a Teoria da Lei de Distribuição de Energia no Espectro Normal, em que introduziu o conceito de quantização da energia e deu origem a uma das revoluções da física no século XX. (STUDART, 200, p.1)

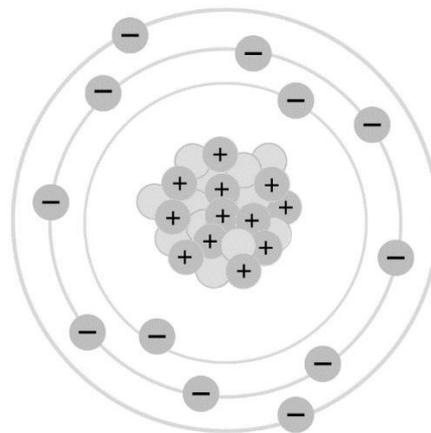
Niels Henry David Bohr (1885 - 1962) tinha conhecimento do trabalho de Planck, assim tentou solucionar o problema da instabilidade do modelo atômico de Rutherford. “*Se só aparecem determinadas riscas no espetro, isto é, se só são emitidas pelo átomo*”

<sup>2</sup> A **catástrofe do ultravioleta**, também chamada **catástrofe** de Rayleigh-Jeans, é uma falha da teoria clássica do eletromagnetismo para explicar a emissão eletromagnética de um corpo em equilíbrio térmico com o ambiente, ou um corpo negro.

determinadas radiações, então, dentro do átomo, o elétron só pode ter certas energias e não todas” (Dantas e Ramalho, 2007, p. 31). Bohr percebeu que o elétron gira em torno do núcleo formando uma órbita circular, que a energia emitida tinha um valor quantificado e quando o elétron absorvia energia ele transitava de uma órbita mais interna para uma órbita mais externa. Em 1913 Bohr estabelece seu modelo atômico.

Além de propor a existência do núcleo atômico, Rutherford sugeriu que ele seria divisível ao propor a existência de uma nova partícula elementar o próton. Ele conseguiu realizar a transmutação, ao transformar um átomo de nitrogênio em um átomo de oxigênio, reafirmando que o átomo era capaz de desintegrar, assim concluindo que seu núcleo era divisível.

**Figura 5 – Modelo atômico de Bohr.**



Fonte: <https://conhecimentocientifico.r7.com/wp-content/uploads/2020/06/modelo-atomico-de-bohr-o-que-e-definicao-fundamentos-e-exemplos-1-1024x1024.png>

Segundo Alves (2014) “quando Rutherford descobriu que o número de prótons em um núcleo, suficientes para justificar sua carga não era suficiente para justificar sua massa, imediatamente sugeriu a existência de outras partículas, eletricamente neutras, no núcleo.”

A procura pelos nêutrons teve início na década de 30 quando o físico Walter Bothe (1891 - 1957) bombardeou uma amostra de Berílio (Be) com partículas alfas ( $\alpha$ )<sup>3</sup>, essa interação deu origem a uma nova radiação neutra, percebendo que se tratava de uma radiação gama ( $\gamma$ )<sup>4</sup>. O casal de físico Irène Joliot-Curie (1897 - 1956) e Frédéric Joliot (1900 - 1958) reproduziram o mesmo experimento de Bothe, chegando a mesma conclusão sobre a natureza dessa radiação neutra, que se tratava de uma radiação gama ( $\gamma$ ). Rutherford discordava desse resultado, acreditava que a radiação gama ( $\gamma$ ) não teria energia suficiente para arrancar o próton.

Em 1932, James Chadwick (1891 – 1974) decidiu reproduzir o mesmo experimento feito pelo casal, para isso ele acrescentou uma câmara de ionização e um oscilógrafo,

<sup>3</sup> Radiação **alfa** ( $\alpha$ ): também chamada de **partículas alfa** ou raios **alfa**, são **partículas** carregadas por dois prótons e dois nêutrons, sendo, portanto, núcleos de hélio. Apresentam carga positiva +2 e número de massa 4.

<sup>4</sup> Os raios gama ( $\gamma$ ) são um tipo de radiação eletromagnética formada por fótons altamente energéticos e de alta frequência. Apresentam grande capacidade penetrante, sendo capazes de se propagar a milhares de metros no ar e atravessar chapas de aço com até 15 cm de espessura. Propagam-se no vácuo com a velocidade da luz, cerca de 300.000 km/s.

os resultados obtidos concordava em partes com os resultados obtidos pelo casal, após a interação entre as partículas ( $\alpha$ ) e o Berílio (Be) produzia uma radiação neutra capaz de arrancar o próton da parafina, mas percebeu que essa radiação não poderia ser de raios gamas ( $\gamma$ ), Chadwick concluiu que a partícula que formava essa radiação teria a massa semelhante ao do próton. Em 1934 Chadwick recebeu o Prêmio Nobel de Física, após publicar o artigo "*Possível existência de um nêutron*" na revista *Nature*.

Em 1928 Paul Dirac (1902 - 1984) formulou a teoria sobre o comportamento do elétron, tendo como apoio a mecânica quântica e a relatividade restrita. Segundo Bediaga (2010, p.2) "*a equação de Dirac como ficou conhecida tinha uma solução que descrevia, com precisão, o comportamento do elétron. Mas outra apontava para algo completamente inusitado: um elétron com energia negativa.*"

A interpretação de Dirac afirmava que todos os estados com energias menores do que zero estavam preenchidos com elétrons que por alguma razão não eram observados. Então, entrava em vigor o princípio de exclusão de Pauli (que proibia a transição para um estado que já estivesse ocupado). (Capucho, 2013, p.3.)

Ao interpretar a solução da sua equação, Dirac percebeu que ela indicava a existência de uma nova partícula com características idênticas ao do elétron, diferenciando apenas em sua carga elétrica de sinal oposto. Assim, tínhamos um elétron positivo, que foi nomeado de pósitron. Em 1932 Carl D. Anderson (1905-1991) registrou experimentalmente a existência do pósitron, por meio de raios cósmicos (partículas que penetram o planeta Terra com velocidade próxima da luz) em uma câmara de nuvens.

Ainda na década de 1920, existiam muitos questionamentos sobre o decaimento beta ( $\beta$ ), radiação emitida pelos núcleos atômicos. Quando um elétron era emitido por um núcleo, o balanceamento energético não fechava, ou seja, o princípio da conservação da energia não estava sendo válido, acreditava-se que a energia inicial era maior que a energia da partícula recém-criada por esse núcleo. Para solucionar o problema do balanceamento energético, Wolfgang Ernst Pauli (1900 – 1958), em 1930 sugeriu que existia uma segunda partícula neutra, conhecida como neutrino, assim associava a energia que faltava a essa partícula. Segundo Santos (2003) O neutrino só foi detectado em 1953 (23 anos depois da proposta de Pauli) numa experiência desenhada explicitamente para o efeito e realizada no estado da Carolina do Sul, na central nuclear de Savannah River por Clyde Cowan (1919 – 1974) e Frederick Reines (1918 – 1998).

Logo após a descoberta do nêutron, foi proposto que juntamente com os prótons, faria parte do núcleo do átomo. O físico alemão **Werner Karl Heisenberg** (1901 – 1976) denominando-as de núcleons. A interação dos núcleons acontecia por uma força atrativa que era capaz de superar a força repulsiva coulombiana. (Pinheiro; Costa; Moreira, 2011).

Ao tentar explicar o comportamento dessa nova força, Heisenberg introduziu um novo conceito, o *spin*<sup>5</sup> ou *isospin*, assim as partículas puderam ser classificadas como sendo da mesma família com características semelhantes, atribuindo um valor as partículas para representar uma propriedade física. O físico japonês Hideki Yukawa (1907 - 1981) sugeriu que a partícula responsável pela força atrativa citada por Heisenberg, ainda não tinha sido identificada, mas acreditava que essa partícula teria

---

<sup>5</sup> Na mecânica quântica o termo **spin** (em inglês "giro") associa-se, sem rigor, às possíveis orientações que partículas subatômicas carregadas, como o próton e o elétron, e alguns núcleos atômicos podem apresentar quando imersas em um campo magnético.

uma massa maior que a do elétron e inferior à do próton, sendo assim ele chamou essa partícula de mésons. A força atrativa ficou conhecida como força forte ou interação forte.

Em 1947 o físico brasileiro César Lattes (1924 - 2005) iniciou sua principal pesquisa, sobre os raios cósmicos nos Andes Bolivianos, ele utilizava chapas fotográficas para detectar esses raios. O resultado dessa pesquisa foi a descoberta de uma nova partícula, o méson  $\pi$ . Após essa descoberta, perceberam que quando os raios cósmicos atingem as partículas de oxigênio e nitrogênio produzem os mésons. Outro fato importante da pesquisa de Lattes é que o méson  $\pi$ , após sofrer decaimento tem como produto o méson múon ( $\mu$ ).

Ainda em 1947 os físicos George Rochester (1908 – 2001) e Clifford Butler (1922 – 1999) descobriram partículas que tinham um comportamento desconhecido, por meio de um procedimento experimental em uma câmara de nuvens que tinha uma chapa metálica envolto por um campo magnético e um contador Geiger. Na placa era produzido um chuva penetrante em que uma partícula desintegrava em outras duas partículas carregadas, com características desconhecidas que logo foram nomeadas de partículas estranhas. Em 1953, o físico americano Murray Gell-Man (1929 – 2019), propôs que seria necessário caracterizar essas partículas por meio de números quânticos, que ficou conhecidos como estranheza.

Em 1958, o físico russo Lev Okun (1929-2019) denominou as partículas que são sensíveis à interação forte de hádrons (do grego, grande, massivo) que por sua vez, são compostos de dois grupos: os mésons (partículas de massa intermediária), de spin inteiro (píons), e os bárions (do grego, pesado) de spin fracionário (núcleons), (PINHEIRO; COSTA; MOREIRA,2012)

As partículas que não têm interação por meio da força forte, foram classificadas como léptons, em contrapartida temos os hádrons que interagem por meio da força fraca.

Em 1958, a existência da antimatéria foi confirmada, após várias experimentações entre colisões em aceleradores de partículas. A antimatéria foi citada pela primeira vez por Dirac ao descobrir o antipróton, sendo a matéria formada por partículas e a antimatéria formada por antipartículas. Segundo Neto (2019) *“uma das previsões mais impactantes da teoria de Dirac foi a da existência de antimatéria”*.

Na década de 60, o Gell-Mann mostrou que os hádrons eram formados por partículas ainda mais elementares que ele chamou de quarks, com isso foi postulado uma nova classificação por meio de modelos matemáticos. No final da década de 60 Gell-mann recebeu o prêmio Nobel de física.

Segundo essa proposta, os bárions seriam compostos de três quarks, que apresentavam três sabores, postulados por ele como up (u), down (d) e estranho (s) e suas respectivas antipartículas. Assim, para que se forme um próton são necessários dois quarks up e um quark down (uud). Para um nêutron são necessários dois quarks down e um quark up (ddu). Os mésons seriam formados por um par quark-antiquark; por exemplo, um pión seria formado por um quark up e um antiquark down ( $u\bar{d}$ ) (PINHEIRO; COSTA; MOREIRA, 2011, p. 74)

Após a descoberta dos quarks um questionamento surgiu, por que os quarks livres não eram detectados? Como essas partículas têm cargas elétricas, deveriam interagir

Instituto Federal de Pernambuco *campus* Pesqueira. Curso de Licenciatura em Física. 09 de março de 2021.

com a força elétrica, mas isso não era comprovado. Depois percebeu-se que a força forte sobrepujava a elétrica. Em 1964 Yoichiro Nambu (1921 – 2015), Moo-Young Han (1934 – 2016) e Oscar Wallace Greenberg apresentaram um novo número quântico, a cor, assim tinham quarks caracterizado pelas cores primárias vermelha, verde e azul, já os antiquarks foram caracterizados pelas cores secundárias e os bárions sendo a cor branca, pois o número quântico era nulo, ou seja, a soma de todos os quarks.

Em 1964 o físico escocês Peter Ware Higgs propôs a existência de uma partícula elementar que poderia explicar a origem da massa das partículas elementares e qualquer corpo massivo. A detecção dessa partícula só foi concretizada em 2012 no acelerador de partículas Large Hadron Collider (LHC), sendo conhecida como o **Bóson de Higgs**. Essa partícula ficou conhecida como a “partícula de Deus”, por que daria massa a todo corpo massivo. Segundo Moreira (2017) quando se pede aos físicos para responder, com uma única palavra, por que estamos construindo o Grande Colisor de Hádrons (Large Hadron Collider), a resposta curta normalmente é: “Higgs”. A partícula Higgs.

O Colisor de Hádrons, ou simplesmente LHC (Large Hadron Collider) foi usado em 2008 para acelerar prótons com a velocidade muito próxima à da luz, simulando a grande expansão do Big Ban com a finalidade de encontrar o bóson de Higgs, que teoricamente seria a partícula que teria gerado toda a massa do universo. Foi anunciado em Genebra a possível descoberta do bóson de Higgs, a sua existência é necessária para o modelo padrão que temos hoje, composto por 17 partículas subatômicas e três tipos de interação: eletromagnética, forte e fraca.

No modelo padrão temos a interação de três forças: a forte, a eletromagnética e a fraca, mas temos uma quarta força a gravitacional, que faz parte das discussões sobre a relatividade geral de Albert Einstein. A interação forte é responsável pela estabilidade nuclear, mantém os prótons e nêutrons juntos, impossibilitando um colapso entre essas partículas. Sem a força forte os prótons e nêutrons não conseguiria se formar e conseqüentemente o universo não se formaria. A interação eletromagnética tem caráter atrativo ou repulsivo, é uma força de longo alcance entre partículas, sendo inversamente proporcional ao quadrado da distância entre as partículas.

A interação fraca é a força responsável pelo decaimento nuclear, o primeiro físico a citar a interação fraca foi o italiano **Enrico Fermi** (1901-1954) no ano de 1933, tempos depois os físicos Lee, Yang, Feynman e Gell-mann, retomaram as discussões e aprimorando as definições da interação fraca, propondo que todos os quarks e léptons estão submissos a essa interação.

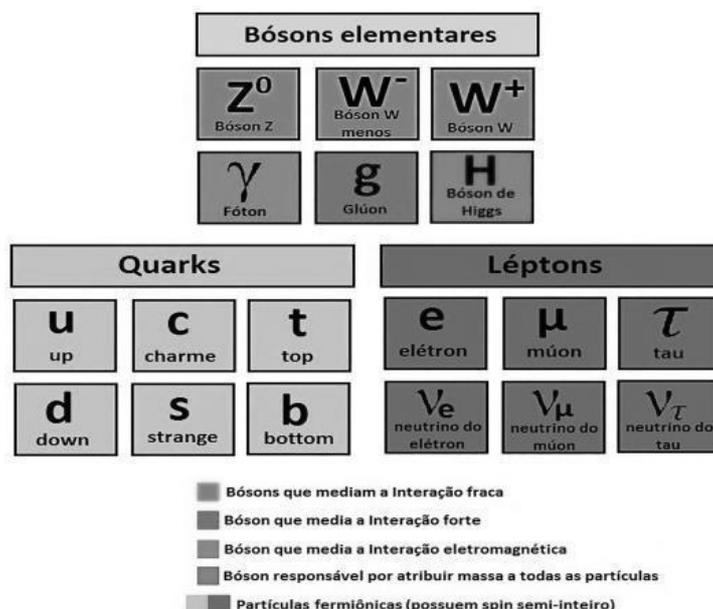
A interação gravitacional, força de atração entra corpos massivos, foi proposta por Isaac Newton (1643-1727), sendo essa força proporcional as massas dos corpos e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles.

Para classificar as particular foi observado a interação com as forças fundamentais. Os hádrons são as particular que interagem com a força forte, algumas dessas partículas decaem em léptons que sofre influência da força fraca, já os fótons interagem apenas com a força eletromagnética e os neutrinos exercem apenas interação com a força fraca. As partículas com spin semi-interno são classificadas como férmions, já as com spin externo são os bósons.

No ano de 1975 foi descoberto no *Stanford Linear Accelerator Center* (SLAC) um novo lépton com características semelhantes aos múons, apenas difere por ser mais pesado sendo denominado tau. Segundo Endler (2010) temos seis tipos de quarks, u (up), d (down), s (strange), c (charm), b (botton) e t (top). Esses quarks também classificam como férmions com cargas elétricas fracionadas, ainda dentro do próton existem os glúons que também recebem a nomenclatura de bósons e são Instituto Federal de Pernambuco *campus* Pesqueira. Curso de Licenciatura em Física. 09 de março de 2021.

eletricamente neutros. Na década de 80 foi anunciado pelo *Centre Européen pour la Recherche Nucléaire* (CERN) a detecção de bóson W, consequência da colisão entre quarks e glúons, alguns meses depois foi a descoberta do bóson  $Z^0$  (bóson intermediários que interagem com a força fraca) pelo decaimento de dois léptons carregados.

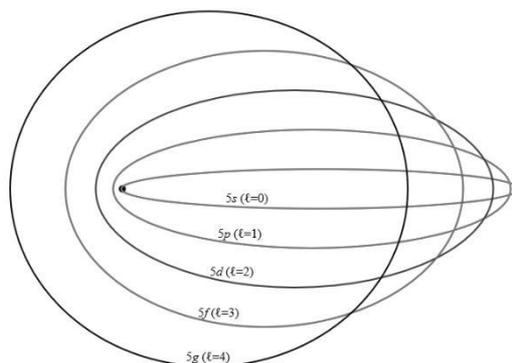
**Figura 6 – Modelo padrão das partículas elementares.**



Fonte: (<https://www.scielo.br/pdf/rbef/v41n2/1806-9126-RBEF-41-2-e20180124.pdf>).

Em 1916 Arnold Johannes Wilhelm Sommerfeld (1869-1951), apresentou um modelo atômico inspirado na mecânica quântica, em que postulou que as órbitas desenvolvidas pelos elétrons tinham a forma circular e elípticas em volta do núcleo atômico. Sommerfeld mostrou que existia um número quântico secundário, descrevendo suas energias e seu momento angular, assim ele conseguiu explicar por que as linhas espectrais apresentavam linhas múltiplas. Esse modelo atômico é um aprimoramento da proposta de Bohr, em que o comportamento do elétron é explicado pelos diferentes níveis de energia, outra observação importante foi que Sommerfeld percebeu que o elétron desenvolvia uma velocidade muito próxima da luz, assim baseando sua teoria na relatividade restrita.

**Figura 7 – Modelo atômico de Sommerfeld.**



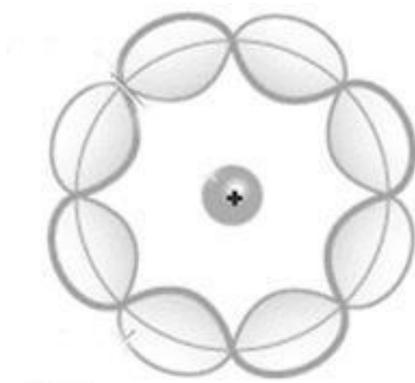
Fonte: <https://maestrovirtuale.com/wp-content/uploads/2019/10/Semiclassical-elliptical-orbits.png>

É neste clima que, no período compreendido entre 1925 e 1927, surge a denominada Teoria Quântica da Matéria cujos principais elaboradores foram: os físicos alemães Werner Karl Heisenberg (Prêmio Nobel de 1932) e Max Born (Prêmio Nobel de 1954), o físico inglês Paul Adrien Maurice Dirac e o físico austríaco Erwin Schrödinger (que junto com Dirac dividiu o Prêmio Nobel de 1933) (CHESMAN, 2004. p.153)

Com o desenvolvimento da mecânica quântica novas teorias foram sendo enunciadas, assim favorecendo um melhor desenvolvimento das teorias atômicas. O físico, Louis De Broglie (1892 - 1987), postulou o princípio da dualidade onda partícula, no mesmo ano, 1925, o alemão Werner Heisenberg formulou o princípio da incerteza enunciando que não podemos definir a velocidade e posição simultaneamente de uma partícula, isso levou o cientista austríaco **Erwin Schrödinger** (1887 – 1961), a calcular em qual região existia uma probabilidade favorável para encontrar o elétron na eletrosfera, consequência do princípio da incerteza. Erwin Schrödinger postulou o conceito central para o modelo atômico atual, o orbital, região próxima do núcleo com maior probabilidade de encontra o elétron.

O modelo atômico evoluiu, indo em um enorme salto de Rutherford para as ideias de Bohr, concepções complementadas mais tarde pelas de Sommerfeld. O elétron torna-se uma entidade que ora comporta-se como partícula ora como onda, e os trabalhos de Pauli, Heisenberg, Dirac, Schrödinger e muitos outros acabaram tornando quase indefinível a nuvem eletrônica dos átomos (TOLENTINO & FILHO, 1996, p. 4).

**Figura 8 – Modelo atômico de Schrödinger.**



**Fonte:**

[https://sites.google.com/site/cinthyalizbethhdz18/\\_/rsrc/1475965971201/quimica/modelo-atomico-de-schrodinger/schrodinger.png?height=180&width=200](https://sites.google.com/site/cinthyalizbethhdz18/_/rsrc/1475965971201/quimica/modelo-atomico-de-schrodinger/schrodinger.png?height=180&width=200)

## 2.2 Em busca de uma justificativa para o uso da HFC<sup>6</sup>

Durante quase todo o século XX, o ensino de ciências e os seus elementos históricos e filosóficos, andaram por caminhos que não convergiam, contudo, houve uma reaproximação depois que professores e pesquisadores, perceberam a sua importância para uma boa condução do processo de ensino aprendizagem, bem como

---

<sup>6</sup> História da Filosofia e Ciência.

para a construção de conceitos, considerando a sua necessidade para o bom andamento de um ensino de ciências, não apenas técnico, mas também, como ela é construída, com suas limitações, seus contextos éticos, histórico, filosófico, entre outros (MATTHEWS, 1995, grifo do autor).

Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), apontam suas potencialidades para o ensino de ciências, como, por exemplo, em relação à física:

Ao mesmo tempo, a física deve vir a ser reconhecida como um processo cuja construção ocorreu ao longo da história da humanidade, impregnado de contribuições culturais, econômicas e sociais que vem resultando no desenvolvimento de diferentes tecnologias e, por sua vez, por elas sendo impulsionado (PCN, 1999, p. 59).

Não estamos defendendo aqui que a HFC no ensino seja a componente principal do processo, mas, sim, um dos elementos que pode contribuir para a boa condução do ensino de ciências, na medida em que ela consegue mostrar que o conhecimento é uma construção humana.

Não pretendemos e nem defendemos o seu uso em detrimento do outro. O ensino técnico tem sua importância, mas, se for contextualizado, torna-se significativo e melhor relacionável com as atividades cotidianas dos indivíduos, pois, ensinar somente uma resolução matemática sem mencionar como foi a sua construção, é somente doutrinar e não ensinar ciência (Martins, 1990). Na sua obra, Matthews cita A. N. Whitehead (1994, p.73):

A antítese entre uma educação técnica e uma liberal (contextual) é falaciosa. Não pode haver nenhuma educação técnica adequada que não seja liberal, e nenhuma educação liberal que não seja técnica: isto é, nenhuma educação que não dê ambas as visões, tanto técnica quanto liberal. (p. 73)

Portanto, podemos entender que a HFC colabora para uma melhor compreensão dos assuntos específicos, introduzindo aos alunos os meios necessários para uma investigação científica.

Neste sentido, deixando de lado os conceitos histórico-filosóficos ou até mesmos modificando-os, os alunos poderão ter conclusões distorcidas da ciência. Estas conclusões estão fundadas em concepções empírico indutivistas, estimulando um pensamento de que a ciência pode ter uma verdade absoluta, (Carvalho e Vannucchi, 2000).

A HFC vai contribuir para que o jovem que tem seu primeiro contato com a física, descubra que a ciência em questão foi desenvolvida ao longo dos tempos por pessoas comuns, quebrando as anedotas de gênios ou pessoas escolhidas. Os alunos têm que desenvolver o senso crítico e o discernimento científico e perceber que todos são capazes de produzir ciência, sabendo que demanda esforços e dedicação.

Se a ciência é a reunião de fatos, teorias e métodos reunidos nos textos atuais, então os cientistas são homens que, com ou sem sucesso, empenharam-se em contribuir com um ou outro elemento para essa constelação específica. O desenvolvimento torna-se o processo gradativo através do qual estes itens foram adicionados, isoladamente ou em combinação, ao estoque sempre crescente que constitui o conhecimento e a técnica científicos. (KUHN, 2011, p. 20).

Ainda mais, a HFC pode instruir de maneira correta alguns aspectos que geram confusões de algumas teorias científicas e destruir muitos ensinamentos equivocados contido em livros didáticos existentes em salas de aula. Nesse contexto, esse método confronta ideias confusas que se tem da ciência, como o empiricismo e indutivismo científico. De acordo com Kuhn, “se a história fosse vista como um repositório para algo mais do que anedotas ou cronologias, poderia produzir uma transformação decisiva na imagem de ciência que atualmente nos domina” (KUHN, 2011, p.9)

Portanto, a História e Filosofia da Ciência podem ajudar a melhorar o ensino de ciências, mas é preciso tomar cuidado para que não cometamos os equívocos mencionados durante o texto.

### **3 METODOLOGIA**

O trabalho aqui proposto é baseado no modelo de revisão integrativa apresentada por Souza et al. (2010), tendo sido baseada num levantamento bibliográfico que tratava do tema em questão, o que possibilitou a síntese de um conhecimento e a sua incorporação a uma aplicabilidade de resultados de estudos significativos na prática.

A ampla amostra, em conjunto com o sequenciamento cronológico do desenvolvimento dos modelos atômicos, aqui apresentados, devem gerar um panorama consistente e compreensível de conceitos complexos, teorias ou problemas de educação relevantes para o ensino da física atômica.

Buscamos de maneira simples e inequívoca apresentar o desenvolvimento do processo de evolução da constituição da matéria, através de uma espécie de linha do tempo, para que toda a sua construção fosse percebida, com o intuito de demonstrarmos a importância dos pensamentos e de suas consequências para o desenvolvimento de conceitos, descobertas e avanços científicos.

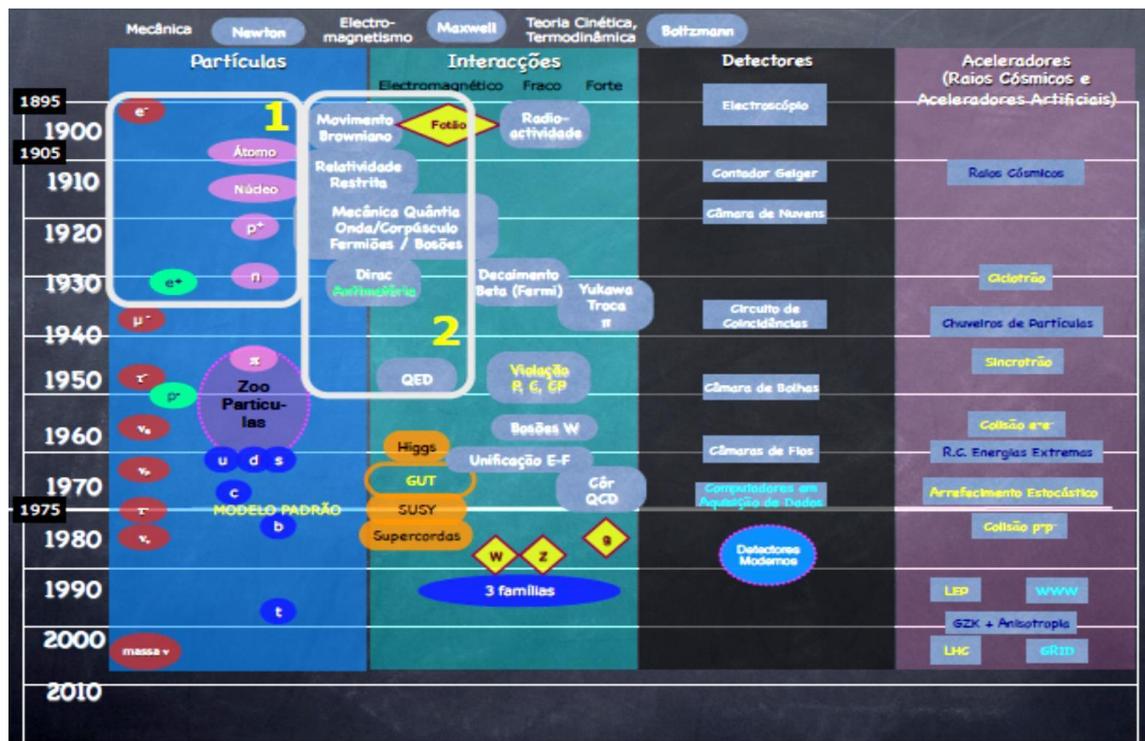
Ao final, mostramos em que patamar se encontra esse processo através da física de partículas e todas as suas implicações para o desenvolvimento tecnológico e suas aplicações nas diversas áreas que constitui o conhecimento humano, apontando previsões para uma agenda que pressupõe a inserção imediata do ensino da Física Contemporânea (Moderna) na educação básica, sob pena de não conseguirmos avançar nessas discussões e consequentemente ficarmos fora de todo esse processo que tanto tem gerado riquezas mundo afora.

### **4 RESULTADOS E ANÁLISE**

O modelo padrão sugere a existência de novas partículas. A descoberta do bóson de Higgs é apenas o início do que está por vir. O futuro da física de partícula sem sombra de dúvida encontrar-se no *Large Hadron Collider* (LHC), acelerador em formato de anel com aproximadamente 27 quilômetros de circunferência, custando US\$10 bilhões na sua construção, hoje precisa de mais de 10 mil cientistas diariamente.

A imagem abaixo sintetiza um pouco do que já foi possível descobrir a partir da tecnologia dos aceleradores, desde os mais primordiais até o mais avançado de todos que é o LHC.

**Tabela 1 – Demonstração da importância dos detectores para a descoberta de novas partículas**



Fonte: Pedro Abreu, CERN, 2011.

O funcionamento do LHC consiste em acelerar partículas eletricamente carregadas por meio de campos, para que elas cheguem o mais próximo da velocidade da luz e entrem em rota de colisão, onde as forças elétricas e nucleares terão uma intensidade muito grande, podendo originar outras partículas.

Ainda hoje temos questões para serem respondidas sobre a matéria e a antimatéria, que deveriam ter sido criadas em quantidades iguais, mas, hoje sabemos que no Universo existe matéria em maiores quantidades, outro problema sem resposta é a assimetria da matéria-antimatéria.

A supersimetria é uma nova teoria que vem sendo estudada afins de comprovação desde 2009, mas que até hoje não foi encontrado dados para validação. A física de partícula tem contribuído para a busca de explicações para entender melhor a matéria escura e a energia escura, fenômenos que desafiam a comunidade científica na busca do seu entendimento em breve.

Sabemos da importância dos alunos terem contato com a física moderna na educação básica, mas é evidente a falta de professores com formação adequada e dispostos a apresentarem o que temos de mais novo no ensino da física. Os livros didáticos muitas vezes não apresentam um recorte histórico sobre a evolução da teoria atômica, consequência disso o aluno não é apresentado as competências da física contemporânea, assim deixando um espaço vazio que corresponde a pouco mais de 100 anos de desenvolvimento teórico na física.

O professor deve apresentar o modelo padrão da física de partícula de forma atrativa e simplificada, deixando o formalismo matemático de lado, assim facilitando a compreensão dos alunos. Outro fator importante é que a física de partícula está intrinsecamente ligada ao desenvolvimento tecnológico, com isso fica mais fácil criar

uma sequência didática que relacione esses conceitos com o meio tecnológico que os discentes estão inseridos.

Isso mostra a importância de o professor de física estar em constante atualização na sua prática de ensino. Sabemos que as partículas elementares são apenas um ponto de partida para a evolução conceitual desse campo de pesquisa, além disso o professor tem a difícil tarefa da alfabetização científica.

O presente trabalho trouxe uma cronologia histórica partindo de Tales de Mileto e seu elemento primordial. É importante o professor de física ter esse referencial na história do pensamento científico, já que são ideias primárias que levantaram as questionamentos que desmistificaram crenças e que posteriormente com Leucipo e Demócrito surgiram as primeiras discussões a respeito do átomo.

O texto nos permite questionar se o pensamento primitivo sobre o átomo estava correto, ou será que ao longo do tempo a ideia de que essa partícula era realmente indivisível permaneceu. Anos depois Dalton reafirma de que o átomo seria indivisível, mas Thomson refuta essa ideia quando ele descobre a existência de uma partícula menor que ele chamou de elétron. Assim o texto como apoio para as aulas, nos permite inferir questionamentos sobre as indagações que os cientistas tinham ao tentar explicar a matéria, e posteriormente a quebra de teorias que ao longo do tempo foram se tornando incompletas para responder a novos questionamentos.

O Artigo nos dá suporte para discussões sobre as principais características dos modelos atômicos, passando inicialmente pelo modelo de Dalton que ficou conhecido como bola de bilhar, por ser uma esfera massiva e indivisível. Depois Thomson tornou público a existência do elétron e assim formulou o seu modelo atômico, em seguida temos a apresentação do modelo de Rutherford em que ele propôs a existência de um núcleo que seria a parte central e os elétrons o orbitavam, já Bohr postulou seu modelo que ficou conhecido como modelo planetário por conta das suas orbitas circulares. Essas são discussões básicas que o trabalho propõe como um conhecimento prévio para uma introdução a física de partícula, o texto traz essa passagem e só assim inicia os questionamentos sobre as partículas fundamentais.

Na sequência o texto mostra o surgimento das chamadas partículas elementares, quebrando a ideia de que o átomo era apenas formado pelo núcleo, elétrons e prótons. Para grande maioria dos alunos os conceitos trabalhados além da composição básica do átomo (nêutrons, elétrons e prótons) é novidade, então é nesse ponto que o texto tem um cuidado de apresentar as principais partículas elementares de maneira simples sem a presença do cálculo, assim o aluno vai ter uma compreensão histórica sobre a temática.

A apresentação das partículas elementares aparece no texto de forma cronológica, citando os cientistas e os métodos aplicados para a detecção delas. Ainda temos o modelo atômico de Sommerfeld que é uma evolução do modelo atômico de Bohr, esse modelo é pouco conhecido e quase não é discutido na educação básica, depois temos o modelo atômico de Schrödinger, que faz parte das discussões da mecânica quântica, um modelo mais refinado, que é ignorado no ensino médio, aqui trazemos esses dois modelos de forma simples apenas citando na cronologia da evolução da teoria atômica, assim é uma forma do aluno conhecer esses modelos sem precisar entrar na parte formal da mecânica quântica.

A proposta é que o aluno adquira conhecimento básico sobre a evolução dos modelos atômicos e as descobertas das partículas elementares, por meio de uma linha do tempo sem adentrar aos cálculos matemáticos, assim entendemos que o discente terá conhecimento para reconhecer os modelos atômicos e seus respectivos

responsáveis, como também reconhecer na história da física que no último século tivemos grandes descobertas de pequenas partículas, que representa um salto na evolução da física.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta investigação nos permitiu fazer uma reflexão sobre o Ensino de Física através do uso de parte da história do desenvolvimento dos modelos atômicos. Durante todo o processo em que fomos apresentando de maneira cronológica essa evolução, ficou claro a importância do uso da HFC, como um elemento que permite demonstrar que a ciência é feita por pessoas abnegadas que vão ao longo dos tempos dando suas contribuições para a sua construção. Isso desmistifica a ideia de “gênios” e “pais da ciência” que muitas vezes é superdimensionado em livros didáticos e consequentemente no processo de ensino.

Os avanços que foram possíveis, sobretudo, nos últimos 50 anos devido à compreensão da estrutura da matéria geraram riquezas e dividendos para países e empresas que investiram pesado no desenvolvimento de produtos e tecnologias que se encontram altamente difundidos em toda sociedade, independentemente de sua posição social.

Assim sendo, é altamente recomendável que o negligenciamento deste tema possa ser cessado, não apenas na educação básica, mas, sobretudo, nos cursos de formação de professores, sob pena de não conseguirmos quebrar esse ciclo vicioso que se perpetua no processo de ensino das escolas e centros de formação do Brasil.

Por fim, recomendamos a popularização do ensino de ciências nos diversos níveis da sociedade, através de ações que possam levar o conhecimento científico e tecnológico, para que o negacionismo que se encontra altamente presente em nossa sociedade possa ser combatido através da participação dos jovens nesse processo de construção e difusão científica.

## 6 REFERENCIAS

ALVES, Alexandre José. **Da descoberta do nêutron aos incríveis mistérios da estrutura nuclear: à luz dos grandes avanços tecnológicos**. Cadernos PDE, 2014. Disponível em: [http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernospde/pdebusca/producoes\\_pde/2014/2014\\_utfpr\\_fis\\_pdp\\_alexandre\\_jose\\_alves.pdf](http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernospde/pdebusca/producoes_pde/2014/2014_utfpr_fis_pdp_alexandre_jose_alves.pdf). Acesso em 21 de dez de 2020.

BEDIAGA, Ignacio. **A antimatéria e o universo**. Ciência hoje, março de 2010. Disponível em: [http://www.cbpf.br/~lhcb/2\\_0/HOME\\_HTML/antimateria268.pdf](http://www.cbpf.br/~lhcb/2_0/HOME_HTML/antimateria268.pdf). Acesso em 22 de dez de 2020.

BRASIL, **Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciência da Natureza e Matemática e suas tecnologias**. Brasília: MEC, 2000.

BRASIL. Ministério da Educação. **PCN+ Ensino Médio: Orientações Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio - Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias.** Brasília: MEC/SEB, 2002.

BRASIL, Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica, Brasília, **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio.** Brasília: MEC/SEMTEC, 2002.

CAPUCHO, Ivan Meloti. **Espalhamento de Pósitron por Átomos e Moléculas: Aplicação ao Átomo de He e a Molécula de H<sub>2</sub>.** Monografia, 2013. Disponível em: [https://fisica.ufes.br/sites/fisica.ufes.br/files/005\\_Ivan\\_Meloti\\_Capucho.pdf](https://fisica.ufes.br/sites/fisica.ufes.br/files/005_Ivan_Meloti_Capucho.pdf). Acesso em 02 de dez de 2020.

CARVALHO A. M. P; VANNUCCHI, A. I. **History, Philosophy and Science Teaching: some answers to “how?”**, Science & Education, 9, pp. 427-44, 2000.

CHESMAN, Carlos et al. **Física moderna: experimental e aplicada.** 2. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2004.

DANTAS, M. C. e Ramalho, M. D. (2007). **Jogo de partículas A – Física e química, química bloco 1, 10º/11º ano.** 1ª Edição, Texto Editores. Lisboa.

DIAS, F. M. L., Rodrigues, M. M. R. D. e Cavaleiro, M. N. G. C. (1992). **O mundo da química 2 –Química/9º ano de escolaridade.** 1ª Edição, Edições Asa.

EBÓLI, Oscar J. P. **Partículas Elementares.** 2005. Disponível em: <http://fma.if.usp.br/~eboli/part.pdf>. Acesso em 27 de dez de 2020.

ENDLER, Anna Maria Freire. **Introdução à física de partículas.** 1ª edição, São Paulo, Editora Livraria da física 2010.

GASPAR, A. **Física.** 1. ed. São Paulo: Editora Ática, 2005a. v. único.

GONICK, L. e Criddle, C. (2006). **A química em banda desenhada.** 1ª Edição, Gradiva. Lisboa.

HELOU, D.; GUALTER, J.B.; NEWTON, V. B. **Tópicos de Física.** 18º edição, Vol. 3. São Paulo, Editora Saraiva 2012.

KUHN, T. S. **A Estrutura das Revoluções Científicas.** Tradução de Beatriz Vianna Boeira e Nelson Boeira. São Paulo: Perspectiva, 2011.

LOPES, J. (1991). **A imagem física do mundo: de Parmênides a Einstein.** Estudos Avançados, 5(12), 91-121. Recuperado de <http://www.revistas.usp.br/eav/article/view/8609>. Acesso em 20 de ago de 2020. Instituto Federal de Pernambuco *campus* Pesqueira. Curso de Licenciatura em Física. 09 de março de 2021.

MARCONDES, Danilo. **Iniciação à História da Filosofia: Dos Pré-Socráticos a Wittgenstein.** - 13.ed. - Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2010.

MARTINS, A. F. P. **História e Filosofia da Ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho...** Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis, v. 24, n. 1, p.112-131, 2007.

MATTHEWS, M. R. **História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação.** Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v. 12, n. 3, p.164-214, 1995.

MELZER, Ehrick Eduardo Martins; AIRES Joanez Aparecida. **A história do desenvolvimento da teoria atômica: um percurso de Dalton a Bohr.** Disponível em <http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/viiienpec/resumos/R1348-1.pdf>. Acesso em 20 de set de 2020.

MOREIRA, Marco Antoni. **O Bóson de Higgs na mídia, na Física e no Ensino da Física.** Texto de apoio ao professor de física, v.28, n. 2, 2017. Disponível em: [https://www.if.ufrgs.br/public/tapf/tapf\\_v28n2\\_moreira.pdf](https://www.if.ufrgs.br/public/tapf/tapf_v28n2_moreira.pdf). Acesso em 20 de dez de 2020.

NETO, Osvaldo Ferreira. Explorando a equação de Dirac: **Um passeio por Isolantes Topológicos e Férmions de Majorana.** TCC, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/28185/4/ExplorandoEqua%C3%A7%C3%A3oDirac.pdf>. Acesso em 17 de dez 2020.

OLIVEIRA, Fabio Ferreira; VIANNA, Deise Miranda; GERBASSI, Reuber Scofano. **Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores.** Disponível em <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/061108.pdf>. Acesso em 22 de ago de 2020.

OSTERMANN, F. **Partículas elementares e interações fundamentais. Instituto de Física – UFRGS.** Porto Alegre, 2001 (Texto de apoio ao professor de Física, V.12).

PINHEIRO, Lisiane Araujo; COSTA, Sayonara Salvador Cabral da; MOREIRA, Marcos Antonio. **Do átomo grego ao Modelo Padrão: os indivisíveis de hoje.**

Disponível em 2011

[https://www.if.ufrgs.br/public/tapf/v22\\_v6\\_pinheiro\\_costa\\_moreira.pdf](https://www.if.ufrgs.br/public/tapf/v22_v6_pinheiro_costa_moreira.pdf). Acesso em 20 de set de 2020.

PIRES, I. e Ribeiro, S. (2008). **Ciências físico-químicas – Universo da matéria**, 9º ano. 2ª Edição, Santillana. Carnaxide,

SANTOS, J. M. B. Lopes. **A Descoberta do Neutrino.** 18 de dezembro de 2003. Disponível em:

<http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/5759/material/A>

Instituto Federal de Pernambuco *campus* Pesqueira. Curso de Licenciatura em Física. 09 de março de 2021.

%20Descoberta%20do%20Neutrino.pdf. Acesso em 05 de dez de 2020.

SOUZA, et al. **Revisão Integrativa: O que é e como fazer**. Einstein (São Paulo) vol.8 no.1 São Paulo Jan/Mar. 2010

STUDART, Nelson. **A Invenção do Conceito de Quantum de Energia segundo Planck**. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 22, no. 4, dezembro, 2000. Disponível em: [http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v22\\_523.pdf](http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v22_523.pdf). Acesso em 20 de dez de 2020.

THOMSON, J. J., 1897, “**Cathode Rays**”, **Philosophical Magazine**, Vol. 44, serie 5, 293.

TOLENTINO, M.; FILHO, R. C. R. **O átomo e a tecnologia**. Química Nova na Escola, nº 3, p. 4-7, mai. 1996.