



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO TRIÂNGULO MINEIRO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS, NATURAIS E EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM QUÍMICA EM REDE
NACIONAL**

NARA FERNANDES LEITE DA SILVA

**UMA ABORDAGEM PARA O ENSINO DE MODELOS ATÔMICOS E
RADIOATIVIDADE A PARTIR DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA**



UBERABA - MG

2019

NARA FERNANDES LEITE DA SILVA

**UMA ABORDAGEM PARA O ENSINO DE MODELOS ATÔMICOS E
RADIOATIVIDADE A PARTIR DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Ciências Exatas, Naturais e Educação (ICENE/UFTM), Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI/UFTM-Uberaba), como requisito para obtenção do título de Mestre em Química.

Linha de pesquisa: LP4-Novos materiais.

Orientador: Prof.^a Dra. Nilva Lúcia Lombardi Sales.

Coorientadora: Prof.^a Dra. Valéria Almeida Alves

UBERABA - MG

2019

**Catálogo na fonte: Biblioteca da Universidade Federal do
Triângulo Mineiro**

S578a Silva, Nara Fernandes Leite da
Uma abordagem para o Ensino de Modelos Atômicos e Radioatividade a
partir da História da Ciência / Nara Fernandes Leite da Silva. -- 2019.
203 f. : il.

Dissertação (Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional) --
Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, 2019
Orientadora: Profa. Dra. Nilva Lúcia Lombardi Sales
Coorientadora: Profa. Dra. Valéria Almeida Alves

1. Química (Ensino médio). 2. Átomos – Modelos. 3. Radioatividade. 4.
Ciência – História. I. Sales, Nilva Lúcia Lombardi. II. Universidade Federal
do Triângulo Mineiro. III. Título.

CDU 54(091)

NARA FERNANDES LEITE DA SILVA

**UMA ABORDAGEM PARA O ENSINO DE MODELOS ATÔMICOS E
RADIOATIVIDADE A PARTIR DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Ciências Exatas, Naturais e Educação (ICENE/UFTM), Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI/UFTM-Uberaba), como requisito para obtenção do título de Mestre em Química.

Linha de pesquisa: Novos Materiais

Orientadora: Profa. Dra. Nilva Lúcia Lombardi Sales

Data de aprovação: 30/08/2019

MEMBROS COMPONENTES DA BANCA EXAMINADORA:



**Prof.ª Dr.ª Nilva Lúcia Lombardi Sales
Presidente e Orientadora**

Universidade Federal do Triângulo Mineiro - UFTM



Prof.ª Dr.ª Carla Regina Costa

Universidade Federal do Triângulo Mineiro - UFTM



Prof. Dr. Deividi Marcio Marques

Universidade Federal de Uberlândia – UFU

Local: Universidade Federal do Triângulo Mineiro – Campus de Uberaba
Instituto de Ciências Exatas, Naturais e Educação (ICENE)

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Profa. Dra. Nilva Lúcia Lombardi Sales, pela oportunidade, confiança, pelos ensinamentos, conselhos e orientações nas diferentes situações vivenciadas ao longo desta caminhada, foi além de minha orientadora, uma amiga.

Agradeço à Profa. Dra. Valéria Almeida Alves pelos preceitos, sugestões e colaboração na elaboração deste trabalho, como também na doação dos materiais para a realização da aula prática, sem você isso não seria possível.

Agradeço a Universidade, ao Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional, e a Coordenação pela oportunidade de estar concretizando um dos meus objetivos profissionais. Agradeço a Capes pelo apoio para participação de eventos científicos.

Agradeço ao corpo docente do programa pelos conhecimentos transmitidos, e pelo empenho dedicados a melhoria da minha formação.

Agradeço aos amigos, Bruno, Claudinei, Mayana e Sérgio pelos momentos agradáveis e descontraídos que vivemos.

Agradeço a minha família pelo amor incondicional e incentivo dados a mim sempre.

E por fim, agradeço aos meus alunos que embarcaram comigo nesta aventura.

“Ninguém caminha sem aprender a caminhar, sem aprender a fazer o caminho caminhando, refazendo e retocando o sonho pelo qual se pôs a caminhar”.

Paulo Freire.

RESUMO

Diante do que ainda temos no Ensino de Química, a descontextualização e a fragmentação dos conteúdos, é que propomos por meio deste trabalho uma sequência de ensino para os alunos do 1º ano do Ensino Médio, que aborde os temas de Modelos Atômicos e Radioatividade de forma conectada a partir da História da Ciência. A escolha dos temas partiu do raciocínio de que, o aluno ao conhecer as proposições dos modelos atômicos, no caso conhecer o átomo, tem que de fato compreender o que acontece com ele. Além disso o tema Radioatividade é bem atraente aos olhos dos alunos. A História da Ciência é a responsável, nesta proposta, de contextualizar e conectar os temas em questão, uma vez que a história do átomo se fez da utilização da radioatividade. Para a elaboração da proposta foi realizado um levantamento dos trabalhos históricos já existentes na literatura sobre Modelos Atômicos e Radioatividade, em que se construiu a partir deles a ligação entre os temas de interesse. A sequência de ensino é composta por aulas diversificadas, que consistem em apresentar a cada início de aula o contexto histórico que se vivia na época em que o modelo a ser estudo foi proposto. Este trabalho apresenta uma análise da forma como os documentos oficiais norteiam o professor referente aos conteúdos em foco, e como os livros didáticos os abordam. Análises que ajudaram na elaboração da sequência de ensino. Além disso, nessa pesquisa também há discussão dos dados gerados a partir da aplicação dessa proposta em uma Escola Estadual da cidade de Uberaba, Minas Gerais. Percebemos que a inserção da História da Ciência na proposta deste trabalho mostrou-se satisfatória, uma vez que se obteve maior envolvimento, e participação dos alunos, o que conseqüentemente resultou em um bom desempenho deles na aprendizagem desses conteúdos. Enfim, este trabalho gerou um produto educacional que consiste em uma sequência de ensino para o estudo de Modelos Atômicos e Radioatividade a partir da História da Ciência.

Palavras-chave: Modelos Atômicos; Radioatividade; História da Ciência; Ensino de Química.

ABSTRACT

Given what we still have in Chemistry Teaching, the decontextualization and fragmentation of contents, we propose through this work a sequence of teaching for students in the first grade of high school, which addresses the themes of Atomic Models and Radioactivity connected from the History of Science. The choice of the themes started from the reasoning that the student, knowing the propositions of atomic models, in the case of knowing the atom, must really understand what happens to it. In addition, the theme Radioactivity is very attractive to students. The History of Science is responsible, in this proposal, to contextualize and connect the themes in question, since the history of the atom was the use of radioactivity. For the elaboration of the proposal a survey of the existing historical works of Atomic Models and Radioactivity was carried out, in which the connection between the themes of interest was built from them. The teaching sequence is composed of diversified classes, which consist in presenting at each beginning of the class the historical context that was lived at the time the model to be studied was proposed. This paper presents an analysis of the way official documents guide the teacher regarding the contents in focus, and how textbooks approach them. Analyzes that helped in the elaboration of the teaching sequence. In addition, in this research there is also discussion of the data generated from the application of this proposal in a State School of Uberaba, Minas Gerais. We realize that the insertion of the History of Science in the proposal of this work was satisfactory, since it was obtained greater involvement and participation of the students, which consequently resulted in a good performance of them in the learning of these contents. Finally, this work generated an educational product that consists of a teaching sequence for the study of Atomic Models and Radioactivity from the History of Science.

Keywords: Atomic Models; Radioactivity; History of science; Chemistry teaching.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Dalton..... | 27 |
| Figura 2 - Símbolos dos elementos químicos e compostos de Dalton | 30 |
| Figura 3 - Thomson | 32 |
| Figura 4 - Modelo atômico de Thomson, “Pudim de Passas” | 34 |
| Figura 5 - Wilhelm Conrad Roentgen | 35 |
| Figura 6 - Imagem da mão de Ana Bertha, esposa de Roentgen..... | 37 |
| Figura 7 - Antoine - Henri Becquerel | 39 |
| Figura 8 - Marie Sklodowska | 41 |
| Figura 9 - Pierre Curie e Marie Curie | 41 |
| Figura 10 - Becquerel, Pierre e Marie Curie..... | 45 |
| Figura 11 - Ernest Rutherford..... | 46 |
| Figura 12 - Hans Geiger e Ernest Marsden | 51 |
| Figura 13 - Equipamento utilizado por Marsden e Geiger no experimento de espalhamento de partículas alfa | 52 |
| Figura 14 - Modelo atômico de Rutherford..... | 52 |
| Figura 15 - Jean-Baptiste Perrin | 54 |
| Figura 16 - Hamtaro Nagaoka | 55 |
| Figura 17 - Niels Bohr | 56 |
| Figura 18 - Espectroscópio | 58 |
| Figura 19 - Modelo atômico Rutherford-Bohr | 60 |
| Figura 20 - Salto quântico..... | 60 |
| Figura 21 - James Chadwick..... | 63 |
| Figura 22 - Experimento de Chadwick sem a parafina..... | 65 |
| Figura 23 - Experimento de Chadwick com a parafina | 65 |
| Figura 24 - Átomo com prótons, nêutrons e elétrons | 67 |
| Figura 25 - Caixa Preta | 75 |
| Figura 26 - Texto sobre Dalton..... | 76 |
| Figura 27 - Texto sobre Thomson | 77 |
| Figura 28 - Atividade com a luz negra e materiais fluorescentes..... | 78 |
| Figura 29 - Texto sobre Rutherford | 79 |
| Figura 30 - Atividade Avaliação bimestral..... | 79 |
| Figura 31 - Texto sobre Bohr..... | 80 |

| | |
|--|----|
| Figura 32 - Experimento teste de Chamas, com os sais NaCl, CuSO ₄ e SrCl ₂ | 80 |
| Figura 33 - Texto sobre Chadwick | 81 |
| Figura 34 - Representação do próton e do nêutron, com suas partículas quark down e quark up | 82 |
| Figura 35 - Desenho que complementa a resposta do aluno A15..... | 89 |
| Figura 36 - Esquema do átomo de Rutherford do aluno A5..... | 92 |
| Figura 37 - Esquema do átomo de Rutherford do aluno A12..... | 92 |
| Figura 38 - Esquema do átomo de Rutherford do aluno A1 | 93 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|-----|
| Quadro 1 - Livros Didáticos do PNLD analisados | 26 |
| Quadro 2 - Cronograma da sequência de ensino | 73 |
| Quadro 3 – Categorização da Atividade sobre Dalton | 85 |
| Quadro 4 - Categorização da Atividade sobre Thomson..... | 87 |
| Quadro 5 - Categorização da Atividade sobre História da Radioatividade | 89 |
| Quadro 6 - Categorização da Atividade sobre Rutherford | 91 |
| Quadro 7 - Categorização das Atividades sobre Bohr | 94 |
| Quadro 8 - Categorização das questões da avaliação | 97 |
| Quadro 9 - Análise das questões da avaliação | 98 |
| Quadro 10 - Categorização do questionário | 99 |
| Quadro 11 - Uma nova análise da atividade sobre Dalton | 105 |
| Quadro 12 - Uma nova análise da atividade História da Radioatividade | 106 |
| Quadro 13 – Uma nova análise do Questionário, personagens | 107 |
| Quadro 14 - Uma nova análise do questionário, radioatividade..... | 108 |
| Quadro 15 - Uma nova análise do Questionário, átomo..... | 110 |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----|
| 1 INTRODUÇÃO | 14 |
| 2 HISTÓRIA DA CIÊNCIA E O ENSINO DE CIÊNCIAS | 18 |
| 3 O ENSINO DE MODELOS ATÔMICOS E RADIOATIVIDADE: COMO OCORRE HOJE EM DIA | 23 |
| 4 O ÁTOMO E A RADIOATIVIDADE, UM ENCONTRO HISTÓRICO | 27 |
| 4.1 DALTON E SUA PROPOSTA PARA O MODELO ATÔMICO..... | 27 |
| 4.2 UM POUCO DA HISTÓRIA E DO MODELO ATÔMICO DE THOMSON..... | 31 |
| 4.3 UMA HISTÓRIA UM TANTO RADIOATIVA | 35 |
| 4.3.1 Roentgen e os raios X | 35 |
| 4.3.2 Antoine - Henri Becquerel | 38 |
| 4.3.3 O casal Curie | 40 |
| 4.3.4 Rutherford e a radioatividade | 45 |
| 4.4 RUTHERFORD E SEU MODELO ATÔMICO | 49 |
| 4.4.1 Outras propostas de modelos atômicos planetários | 53 |
| 4.5 OS ESTUDOS DE BOHR ACERCA DO ÁTOMO | 56 |
| 4.6 UMA NOVA PARTÍCULA PARA O ÁTOMO..... | 62 |
| 5 METODOLOGIA | 68 |
| 6 DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL .. | 71 |
| 6.1 DESCRIÇÃO DO CONTEXTO DA APLICAÇÃO DA PESQUISA..... | 71 |
| 6.2 DESCRIÇÃO DA SEQUÊNCIA DE ENSINO E SUA APLICAÇÃO | 72 |
| 6.3 DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES DA NOSSA SEQUÊNCIA DE ENSINO | 75 |
| 7 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS DADOS | 83 |
| 7.1 A CONSTRUÇÃO DA AMOSTRA | 83 |
| 7.2 RELATOS DOS REGISTROS DA PESQUISADORA | 84 |
| 7.3 A ANÁLISE DAS ATIVIDADES REALIZADAS: UM PANORAMA GERAL | 85 |
| 7.4 ANALISANDO A AVALIAÇÃO | 97 |
| 7.5 ANALISANDO O QUESTIONÁRIO | 99 |
| 7.6 CATEGORIZAÇÃO: NOVAS ANÁLISES | 105 |
| 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 112 |
| REFERÊNCIAS | 115 |
| APÊNDICE A – Produto Educacional | 119 |
| APÊNDICE B - Sugestões de respostas para as atividades propostas | 191 |

| | |
|--|------------|
| APÊNDICE C: Materiais Complementares..... | 200 |
|--|------------|

1 INTRODUÇÃO

O Ensino de Química tem se tornado cada dia mais desafiador para o professor, pois inserido na era tecnológica, ele necessita se reinventar para tornar suas aulas atrativas e eficazes na aprendizagem dos alunos. Por meio das tecnologias os alunos possuem acesso rápido e fácil a qualquer tipo de informação, como a radioatividade, tema que de alguma forma sempre está em evidência na mídia. De acordo com Cortez (2014), a radioatividade está vinculada na mídia, muitas vezes, de forma pejorativa e sensacionalista, devido a sua associação à bomba atômica, da Segunda Guerra Mundial, e aos acidentes nucleares que ocorreram ao longo da nossa história. Uma oportunidade para mudar essa visão negativa da radioatividade seria o seu estudo, o que na maioria das vezes não ocorre na Educação Básica por diversos fatores: o tema sempre aparece nos finais dos livros didáticos, ou os professores não se sentem preparados para abordá-lo.

A radioatividade é um fenômeno que ocorre no núcleo de alguns elementos químicos com a finalidade de torná-los estáveis, liberando partículas e energia de seu interior. Para o aluno compreender isso necessita ter um bom conhecimento sobre a estrutura do átomo, tema que os alunos começam a ter contato a partir dos estudos dos modelos atômicos, que geralmente ocorre no primeiro ano do ensino médio. Pensando nessas temáticas começamos a refletir por que elas são abordadas separadamente, acreditamos que seja porque sempre quando ensinamos esse tema, apresentamos o átomo, sua eletrosfera e seu núcleo, e nunca adentramos dentro dele. A partir desta reflexão acreditamos que não faz sentido você ensinar o átomo a seu aluno e não comentar sobre esse fenômeno que ocorre com o mesmo a partir de características de seu núcleo. E é daqui que surge nossa proposta para este trabalho.

Assim como já descrevia Maldaner (2007), a realidade do Ensino de Ciências nas escolas vem sendo discutida a muito tempo e dentre os problemas apontados destacam-se a falta de interdisciplinaridade, a fragmentação dos conteúdos e a dificuldade em relacionar os assuntos abordados em sala de aula com dia a dia dos alunos. Percebemos que isso ocorre com os conteúdos de modelos atômicos e radioatividade, uma vez que são trabalhados de forma fragmentada em anos distintos do ensino médio. Aliás, tal fragmentação também é proposta pelos Parâmetros Curriculares Nacionais, documento que norteia os professores quanto ao ensino de química, propondo que ele seja trabalhado em temas estruturadores diferentes. Nesse aspecto, analisando esse documento, achamos algo contraditório a isso que ele sugere, quando diz:

O plano deve revelar uma concepção de educação cujos conteúdos propostos estão articulados entre si e com as outras áreas do conhecimento, com ênfase no desenvolvimento de competências, possibilitando ao aluno uma vivência na qual os conhecimentos estão integrados e favorecem a construção de sua cidadania. As escolhas sobre o que ensinar devem se pautar pela seleção de conteúdos e temas relevantes que favoreçam a compreensão do mundo natural, social, político e econômico (BRASIL, 2002, p. 107).

Contudo, esse mesmo documento nos dá liberdade para organizarmos os temas estruturadores de acordo com a nossa necessidade, desde que sejam trabalhados com o suporte de três pilares fundamentais para o ensino de química: “Contextualização”, para dar significado aos conteúdos e facilitar o estabelecimento de ligações com outras áreas do conhecimento; “Respeito ao desenvolvimento cognitivo e afetivo do aluno”, que garante ao mesmo um tratamento atento a sua formação e seus interesses; e “Desenvolvimento de Competências e Habilidades” que devem estar em consonância com os temas e conteúdos do ensino (BRASIL, 2002, p. 87-88).

Escolhemos utilizar a História da Ciência como fator principal para a contextualização dos conteúdos, como também para fazer a conexão dos mesmos. Como diz Beltran e seus colaboradores (2014), “a história da ciência procura contextualizar os conceitos científicos sem extraí-los de sua malha histórica” (BELTRAN, SAITO E TRINTADE, 2014, p. 113). Assim nosso objetivo geral é desenvolver uma sequência de ensino que aborde os conteúdos de Modelos Atômicos e Radioatividade a partir da História da Ciência para ser utilizada no primeiro ano do Ensino Médio.

A História da Ciência tem um papel importante em nosso trabalho, não só porque ela irá ligar os conteúdos em foco, mas também porque tem sido apontada por especialistas como essencial para o desenvolvimento e compreensão do ensino de ciências. Como já dizia Matthews (1995), a utilização da história da ciência pode humanizar as ciências tornando-as mais próxima dos nossos interesses pessoais, éticos, culturais e políticos. Com a sua utilização podemos desenvolver no aluno o senso crítico do que de fato é o “fazer científico”, mostrar que a ciência é feita por pessoas normais que sofreram influências sociais, políticas e econômicas das épocas em que viviam.

Ao escolher esses temas com uma abordagem a partir da História da Ciência, começamos nossa pesquisa analisando os documentos que nos orientam em relação ao Ensino de Química na Educação Básica. Tanto o PCN, quanto o Currículo Básico Comum, CBC, que é uma parte da proposta curricular para o ensino no estado de Minas Gerais, salientam a importância do estudo da História da Ciência, o que dá suporte à escolha que fizemos para essa pesquisa. O CBC, por exemplo, cita “a importância de estabelecer diálogos e conexões

dos conteúdos com as dimensões histórias, tendo em vista os aspectos éticos, e os interesses diversos que estão por trás do conhecimento científico” (MINAS GERAIS, 2007, p. 26). O Capítulo 1 dessa dissertação apresenta um panorama um pouco mais detalhado sobre a História da Ciência e o Ensino de Ciências segundo a literatura de Ensino de Ciências e estes documentos já citados.

Em relação aos conteúdos de Modelos Atômicos e Radioatividade, o CBC, considera o conteúdo de modelos atômicos como conteúdo básico comum para os alunos do 1º ano do Ensino Médio, já o conteúdo de Radioatividade, é proposto como sugestão a ser trabalhado como projeto em anos subsequentes, se houver tempo. O PCN já mostramos que nos orientam a trabalhar de forma fragmentada também, porém ambos nos dão liberdade para organizarmos esses conteúdos de acordo com a nossa necessidade. Assim, nossa escolha pelos conteúdos também encontra respaldo nos documentos, mas avança no sentido de garantir a presença de discussões sobre radioatividade já no primeiro ano do Ensino Médio. Uma discussão detalhada das orientações desses documentos sobre os conceitos de modelos atômicos e radioatividade está no Capítulo 2.

O Livro Didático, LD, também foi um instrumento analisado por nós, uma vez que ele ainda é a principal ferramenta de trabalho do professor. Analisamos as seis coleções aprovadas pelo Programa Nacional do Livro Didático, PNLD, do edital do ano de 2018. Nossa intenção foi identificar como esses conteúdos eram abordados nestes livros. Em consonância com os documentos tivemos que os conteúdos de Modelos Atômicos e Radioatividade vem em volumes diferentes (cada coleção continha três volumes, um para cada ano do Ensino Médio) e dois livros não abordavam radioatividade. Apenas um livro, que por coincidência (e, por que não, por sorte nossa) é o livro adotado pela escola onde ocorreu a pesquisa, que traz um pouco da história da radioatividade no capítulo de modelos atômicos, antes de comentar o modelo atômico de Rutherford. Também no Capítulo 2 é possível encontrar detalhes dessa análise.

A nossa proposta se fez dos estudos e pesquisas sobre construções históricas relativas ao átomo e à radioatividade. Esses temas já são recorrentes na literatura, como podemos ver nos trabalhos desenvolvidos por Ferreira (1987), Filgueiras (2004), Martins (1990), Marques (2006), Trancoso (2016), Moura (2014), Oliveira (2018), Lopes (2009), entre outros que utilizamos para o desenvolvimento deste trabalho. Realizamos um levantamento dos trabalhos históricos já existentes desses temas, e construímos a partir deles uma conexão entre os temas Modelos Atômicos e Radioatividade, já que eles sempre aparecem separados. O Capítulo 3 apresenta uma construção nossa sobre o episódio histórico envolvendo o desenvolvimento dos

modelos atômicos concomitante com os desenvolvimentos dos conhecimentos sobre radioatividade. Foi a partir dessa construção que estruturamos nossa sequência de ensino.

Assim nossa sequência de ensino é composta por 19 aulas diversificadas (textos, discussão em grupo, slides, vídeo, simulação e experimentos), e apresentava uma estrutura geral que consistia em expor a cada início de aula o contexto que se vivia na época em que o modelo a ser estudado foi proposto. Só depois inseríamos o conceito químico de cada modelo. Apresentamos maiores detalhes sobre o desenvolvimento dessa sequência de ensino no Capítulo 5. A sequência de ensino foi aplicada a sete turmas do 1º ano do Ensino Médio de uma Escola Estadual da cidade de Uberaba, Minas Gerais. Os sujeitos da pesquisa são os alunos que participaram dessas aulas, e os dados foram levantados a partir de observações e anotações da pesquisadora e de documentos produzidos pelos sujeitos, ou seja, as atividades, uma avaliação e um questionário, resolvidos por esses alunos. O detalhamento do nosso referencial metodológico é apresentado no Capítulo 4, no qual, entre maiores detalhes, indicamos que essa pesquisa tem natureza qualitativa e características de estudo de caso.

Apresentamos no Capítulo 6 as análises realizadas referentes aos nossos dados, que foram organizados por categorias prévias, a partir dos documentos criados pelos sujeitos desta pesquisa. O estudo dessas categorias nos possibilitou criar outras categorias, que nos trouxeram informações mais específicas sobre o tema em questão. De forma geral consideramos satisfatória a aplicação da nossa proposta, uma vez que percebemos o envolvimento dos alunos nas aulas, e os bons resultados que eles alcançaram na avaliação. Assim podemos dizer que os objetivos propostos neste trabalho foram alcançados com algumas ressalvas que podem ser esclarecidas ao longo do capítulo.

Por fim, o produto dessa dissertação encontra-se no apêndice A, e é constituído pelas atividades que foram aplicadas na proposta da sequência de ensino, também contém orientações e sugestões para o professor para a execução desta.

2 HISTÓRIA DA CIÊNCIA E O ENSINO DE CIÊNCIAS

Ainda no século XXI um dos desafios dos professores de química tem sido como deixar suas aulas atrativas desmistificando que a disciplina é movida por fórmulas e cálculos, fazendo com que o aluno tenha uma aprendizagem efetiva. Uma tentativa para isso tem sido o uso da História da Ciência juntamente com os conteúdos ministrados. De acordo com Beltran e seus colaboradores (2014), “história da Ciência é o estudo da (s) formas (s) de elaboração, transformação de conhecimentos sobre a natureza, as técnicas e as sociedades, em diferentes épocas e culturas” (BELTRAN, SAITO E TRINTADE, 2014, p. 15).

A utilização da História da Ciência nas aulas de química seria uma forma diferente de mostrar para os alunos como funciona o “fazer científico”, que os nomes citados nos Livros Didáticos (LD) foram de pessoas comuns como nós, que sofrem influência direta do meio em que vive. A maneira como esses nomes são tratados nos LD nos dá a impressão de que eles viviam sozinhos e isolados da sociedade, assim como afirma Martins (2008), que nos dá a falsa impressão de que a ciência é algo fora do nosso tempo, que ela surge de forma mágica e que está isolada das outras atividades humanas. Ainda no consenso com Martins, temos:

O estudo adequado de alguns episódios históricos permite compreender as inter-relações entre ciência, tecnologia e sociedade, mostrando que a ciência não é uma coisa isolada de todas as outras, mas sim faz parte de um desenvolvimento histórico, de uma cultura, de um mundo humano sofrendo influências e influenciando por muitos aspectos da sociedade (MARTINS, 2008, p. 17).

Desta forma percebemos que a História da Ciência pode fazer despertar no aluno um interesse em saber mais sobre determinado cientista, como ele conseguiu chegar naquela resposta, quais foram os caminhos ou influências que ele sofreu, havia outras pessoas envolvidas nesses estudos, quais os erros por eles cometidos. Matthews em seu artigo História, Filosofia e Ensino de Ciências: A Tendência atual de reaproximação (1995), já nos dizia que a utilização da mesma pode humanizar as ciências tornando-as mais próxima dos nossos interesses pessoais, éticos, culturais e políticos. Com isso as aulas de ciências se tornam mais desafiadoras e reflexivas, o que permite, o desenvolvimento do pensamento crítico. Também contribuem para um entendimento integral do conteúdo, isto é, podem contribuir para a superação da falta de significação comuns nas aulas de ciências, nas quais fórmulas e equações e cálculos matemáticos são mostrados sem que muitos saibam o que

significam. Isso nos permite mostrar ao aluno que a ciência é algo bem próximo a nós, que não é feita por gênios ou pessoas com dons especiais:

A ciência não brota pronta, na cabeça de “grandes gênios”. Muitas vezes, as teorias que aceitamos hoje foram propostas de forma confusa, com muitas falhas, sem possuir base observacional e experimental. Apenas gradualmente as ideias vão sendo aperfeiçoadas, através de debates e críticas, que muitas vezes transformam totalmente os conceitos iniciais (MARTINS, 2008, p. 18).

A motivação do aluno pode surgir quando o assunto trabalhado desperta o seu interesse. Assim, ele verá na aprendizagem a satisfação de sua necessidade de conhecimento (RICARDO, 2003). Em consonância com os pensamentos de Ricardo, a História da Ciência pode despertar no aluno um interesse que antes não existia em uma aula teórica com fórmulas apenas. A sua utilização pode fornecer subsídios para o aluno dialogar com o professor sobre a natureza da ciência em questão, fazendo com que o aluno desenvolva um pensamento crítico sobre o que é discutido. Isso é evidenciado nas falas de Forato e seus colaboradores:

A História da ciência (HC) tem sido amplamente considerada como adequada para atingir vários propósitos educacionais na formação científica básica, por exemplo, a compreensão da construção sócio histórica do conhecimento, da dimensão humana da ciência, e, especialmente, promover o entendimento de aspectos da Natureza da Ciência (MATTHEWS, 1992; PEDUZZI, 2001, apud FORATO, PIETROCOLA e MARTINS, 2018, p. 29).

Tanto tem-se discutido sobre essa inserção que nos últimos tempos até nos documentos oficiais que norteiam o Ensino de Ciências na Educação Básica, já encontramos indicações sobre seu uso. Beltran e seus colaboradores (2014) dizem que são várias as possibilidades de interação entre a História da Ciência e Ensino de Ciências, como exemplo eles citam a chance de a história da química ser abordada nesta disciplina, em diversos planos com base em diferentes tendências pedagógicas, como também na legislação educacional brasileira. Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) é um documento que orienta e norteia os professores sobre como organizar e discutir os conteúdos de cada disciplina em sala de aula. Este documento é do final dos anos 1990, e o que estava em vigor no período de desenvolvimento desse trabalho. A Base Comum Curricular, novo documento orientador, ainda está em vias de implementação, por isso optamos por não o incluir nessa discussão. Na descrição dos temas estruturadores no PCN+¹ da disciplina de química temos que:

¹ O PCN+ é uma versão dos Parâmetros, disponibilizada em 2002 que busca detalhar melhor as temáticas propostas a serem trabalhadas a partir das orientações gerais dadas no documento original.

É fundamental que se mostre através da história, as transformações das ideias sobre a constituição da matéria, contextualizando-as. A simples cronologia sobre essas ideias, como é geralmente apresentada no ensino, é insuficiente, pois pode dar uma ideia equivocada da ciência e da atividade científica, segundo a qual a ciência se desenvolve de maneira neutra, objetiva e sem conflitos, graças a descobertas de cientistas, isoladas do contexto social, econômico ou político da época (BRASIL, 2002, p. 96).

Ainda dentro das orientações do PCN+, temos que os conteúdos de química devem ser desenvolvidos a partir das seguintes competências: “Representação e Comunicação”; “Investigação e Compreensão”; e “Contextualização Sócio Cultural”. Um dos tópicos da competência “Investigação e Compreensão” é Modelos Explicativos e Representativos”, em que o objetivo é reconhecer modelos explicativos de diferentes épocas sobre a natureza dos materiais e suas transformações. Aqui incluem-se, por exemplo, identificar os principais modelos de constituição da matéria criados ao longo do desenvolvimento científico. Ainda neste item eles incentivam o aluno a reconhecer, nas limitações de um modelo explicativo, a necessidade de alterá-lo; por exemplo, perceber até onde o modelo de Rutherford foi suficiente e por quais razões precisou dar lugar a outra imagem do átomo (BRASIL, 2002, p. 91).

Por fim, na competência “Contextualização Sócio Cultural” no item, “Ciência e Tecnologia na História”, objetivam reconhecer e compreender a ciência e tecnologia químicas como criação humana, portanto inseridas na história e na sociedade em diferentes épocas. Um exemplo seria identificar a alquimia, na Idade Média, como visão de mundo típica da época. Como também perceber o papel desempenhado pela Química no desenvolvimento tecnológico e a complexa relação entre ciência e tecnologia ao longo da história; por exemplo, perceber que a manipulação do ferro e suas ligas, empírica e mítica, tinha a ver, no passado, com o poder do grupo social que a detinha, e que hoje, explicada pela ciência, continua relacionada a aspectos políticos e sociais (BRASIL, 2002, p. 92). Percebemos com essas orientações que as abordagens históricas se fazem necessárias e são importantes para o desenvolvimento intelectual do aluno diante as competências e habilidades que eles devem desenvolver e adquirir na Educação Básica.

Tendo em vista os documentos educacionais que disponibilizamos aqui em Minas Gerais, o Currículo Básico Comum de Química (CBC – Química), é um documento que foi elaborado com o intuito de padronizar no Estado os conteúdos considerados básicos aos alunos para terem uma visão geral da importância da Química no 1º ano do Ensino Médio. Com a finalidade assim, de tornar a educação igualitária em todo o Estado. E foi elaborado em consonância com os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), onde destacam a

importância de se desenvolver competências e habilidades (MINAS GERAIS, 2007, p. 12). Esta proposta Mineira também salienta a importância da utilização da História da Ciência quando dizem que, “é importante estabelecer diálogos e conexões entre as abordagens de conteúdos químicos, físicos e biológicos, sem nos esquecermos das dimensões históricas, dos aspectos éticos e dos interesses diversos que estão por trás do conhecimento científico” (MINAS GERAIS, 2007, p. 26).

Percebemos, então, que o incentivo para a utilização da História da Ciência nas aulas de química não é uma proposta recente, pois em meados dos anos 1990 Matthews já nos dizia que a:

Contextualização da História da Ciência contribui para o seu ensino porque: motiva e atrai os alunos; humaniza a matéria; promove uma compreensão melhor dos conceitos científicos por traçar seu desenvolvimento e aperfeiçoamento; há um valor intrínseco em se compreender certos episódios fundamentais na história da ciência - a Revolução Científica, o darwinismo, etc.; demonstra que a ciência é mutável e instável e que, por isso, o pensamento científico atual está sujeito a transformações que se opõem a ideologia científicista; e, finalmente, a história permite uma compreensão mais profícua do método científico e apresenta os padrões de mudança na metodologia vigente (MATTHEWS, 1995, p. 172-173).

Concordamos com Matthews e com os documentos vigentes que a utilização da História da Ciência pode ser uma forma de contextualizar os conteúdos a serem abordados, sendo um diferencial nas aulas de química. E é o que nos mostra Forato e seus colaboradores quando dizem que a “inserção de conteúdos sobre as ciências na educação científica propicia um diálogo entre os saberes e pode contribuir para o desenvolvimento dessas competências necessárias ao cidadão do século XXI” (FORATO, PIETROCOLA e MARTINS, 2018, p. 29).

Diante disso podemos pensar que é fácil inserir a História da Ciências em nossas aulas, e que para isso bastaria falar um pouco do passado da Ciência, e o que estava acontecendo naqueles tempos. Contudo, Beltran e seus colaboradores (2014) comentam que o planejamento de cursos e sequências didáticas sobre o uso da História da Ciência no ensino se faz de um caminho bastante complexo, já que compreende a construção de interfaces entre áreas distintas, e interdisciplinares. Por isso antes de somente colocar em prática a utilização da História da Ciências em nossas aulas é necessário um conhecimento prévio sobre a temática. Mesmo com todo esse incentivo para a utilização dessa perspectiva no ensino, principalmente básico, ainda temos poucos profissionais bem preparados, livros e materiais que nos deem suporte para tal prática. Esse fato é discutido por Martins (2008), que amplia discussões anteriores dizendo que há três barreiras para a utilização da História da Ciência:

(1) A carência de um número suficiente de professores com a formação adequada para pesquisar e ensinar de forma correta a história das ciências; (2) a falta de material adequado (textos sobre história da ciência) que possa ser utilizado no ensino; e (3) equívocos a respeito da própria natureza da história da ciência e seu uso na educação (MARTINS, 2008, p. 23).

Notamos que mesmo com essas barreiras há pessoas preocupadas em disseminar de forma correta o uso da História da Ciência no ensino, que estão elaborando materiais, criando cursos de formação para professores nesta área, pesquisando e escrevendo sobre. Como evidencia Forato e seus colaboradores, “é necessário desenvolver ações que preparem o professor para esse desafio, baseadas em pesquisas que tragam fundamentação teórica para inserir tais conhecimentos na formação de professores” (FORATO, PIETROCOLA e MARTINS, 2018, p. 38-39).

Isso para que a História da Ciência não seja transmitida de forma errônea em sala de aula como Martins (2008) também elucida a possibilidade de ocorrer:

A redução da história da ciência a nomes, datas e anedotas; concepções erradas sobre o método científico; e uso de argumentos de autoridade. Fatores como esses fazem com que o emprego da história da ciência não seja simples, já que “é necessário por isso, um trabalho de pesquisa para fundamentar um adequado uso da história da ciência no processo educacional (MARTINS, 2008, p. 27).

Atualmente já dispomos de diversos trabalhos que nos orientam na utilização adequada da História da Ciência na literatura, assim como é comum eventos científicos de Ensino de Ciências com a linha específica para o Ensino de História da Ciência, como também produtos educacionais elaborados nos Mestrados Profissionais nesta temática. Aliás, cabe dizer inclusive que vários desses trabalhos foram utilizados para desenvolver as atividades propostas nesta pesquisa. Apenas muitos de nós, professores, não temos conhecimento desses riquíssimos materiais que estão disponíveis para agregar a nossa formação.

Enfatizando todos esses saberes é que desenvolvemos um trabalho que valorize e propague de forma adequada o uso da História da Ciência em nossas aulas, priorizando o envolvimento dos alunos com o contexto estudado, para que fosse desta maneira alcançada com eficácia a aprendizagem do aluno.

3 O ENSINO DE MODELOS ATÔMICOS E RADIOATIVIDADE: COMO OCORRE HOJE EM DIA

Destacando a finalidade dos documentos elaborados pelo Ministério da Educação (MEC), e pela Secretaria de Educação do Estado de Minas Gerais (SEE-MG), que são respectivamente os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN e PCN+), e o Conteúdo Básico Comum (CBC), fomos analisar a forma como os conteúdos de modelos atômicos e radioatividades, temas escolhidos para essa pesquisa, são propostos por eles. E verificar se poderíamos nos embasar nesses documentos para fins do objetivo desta pesquisa. Com a mesma perspectiva analisamos também os Livros Didáticos (LD) de Química aprovados no Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) de 2018, ou seja, os que foram disponibilizados para as escolas públicas no período em que essa pesquisa foi realizada.

Os PCN têm como pilar trabalhar com o desenvolvimento de competências e habilidades do aluno, para que ele possa ter um papel ativo na sociedade. Com base nisto os conteúdos de Química são elencados pela tríade: “transformações químicas, materiais e suas propriedades e modelos explicativos” (BRASIL, 2002, p. 87). E tendo isto como referência orienta a desenvolver um plano pedagógico que trabalhe:

- contextualização, que dê significado aos conteúdos e que facilite o estabelecimento de ligações com outros campos de conhecimento;
- respeito ao desenvolvimento cognitivo e afetivo, que garanta ao estudante tratamento atento a sua formação e seus interesses;
- desenvolvimento de competências e habilidades em consonância com os temas e conteúdos do ensino (BRASIL, 2002, p. 88-89).

Deste modo divide o conteúdo de Química em nove temas estruturadores, dos quais os que nos interessa os temas 2 “Primeiros Modelos de Constituição da Matéria” e 9 “Modelos Quânticos e Propriedades Químicas”. De acordo com as orientações desse documento os nove temas estruturadores são divididos entre os três anos do Ensino Médio, e eles sugerem três possíveis sequências para abordarem esses temas. Em todas as sequências sugeridas os temas dois e nove aparecem em anos distintos, o tema dois sugerido para ser trabalhado no 1º ano, e o tema nove no 3º ano do Ensino Médio. Ainda temos duas dessas sequências que não abordam o tema nove, cuja justificativa é uma simplificação da sequência para as escolas que dispõem de uma carga horária menor de Química (BRASIL, 2002, p. 108). Diante disso percebemos que este documento fragmenta os conteúdos que queremos trabalhar de forma integrada, pois acreditamos que é impossível falar da constituição da matéria, o átomo, e não

o associar ao fenômeno da radioatividade. Fenômeno este que envolve as transformações nucleares que dão origem a processos radioativos comuns na natureza. Outro fato contraditório é o documento sugerir que no tema 3. “Energia e Transformação Química” se trabalhe com fissão, fusão, e energia nuclear. Como o aluno irá compreender esses processos se ele será abordado de forma específica somente no último tema estruturador? Porém, apesar dessas controvérsias o documento nos dá liberdade para organizarmos esses temas de acordo com a nossa necessidade e realidade: “é importante que se ressalte que se trata de propostas flexíveis, a título de exemplo, que podem ser adotadas na escola segundo suas condições e interesses” (BRASIL, 2002, p. 107). Assim nos dando liberdade para executar a sequência didática² aqui proposta.

O CBC como explicitado anteriormente se baseia nos PCN, e apresenta um currículo onde temos os conteúdos básicos para serem trabalhados no 1º ano do Ensino Médio, e uma outra parte que ele denomina de Conteúdos Complementares que devem ser trabalhados nos anos seguintes (2º e 3º) do Ensino Médio. Esses conteúdos complementares são conteúdos que ele considera um aprofundamento dos conteúdos básicos. Dentro dessas duas estruturas o CBC divide os conteúdos de Química em três Eixos Temáticos: “I - Materiais; II - Modelos; III - Energia. Estes eixos aparecem tanto no CBC quanto nos Conteúdos Complementares. Os eixos são organizados em temas, desdobrados em tópicos/habilidades, e detalhamento de habilidades” (MINAS GERAIS, 2007, p. 15).

Na análise desse documento percebemos que o conteúdo de Modelos Atômicos é tratado como tema básico para os alunos do 1º ano do Ensino Médio, e ele é abordado no “Eixo II - Modelos, e no Tema 2: Constituição e Organização da Matéria, no Tópico 5, Modelos para o Átomo”. Já o conteúdo de Radioatividade não aparece nos conteúdos básicos, e nem nos conteúdos complementares. Há uma parte do CBC que nos mostra outros temas para aprofundamento do conhecimento, e sugere que estes sejam trabalhados em forma de projetos. O tema radioatividade aparece em “Outros Fenômenos Físicos e Químicos (Radioatividade; Elementos radioativos, isótopos mais empregados; Minérios radioativos; Produção de energia nuclear; Aplicações da radioatividade)” (MINAS GERAIS, 2007, p. 63). Ao final da análise vemos que o CBC também não nos contempla para a integração dos conteúdos de modelos atômicos e radioatividade, mas cita que:

² Neste trabalho estamos usando as expressões “sequência de ensino” e “sequência didática” como sinônimos, pois não os relacionamos a referenciais teóricos específicos. Para nós trata-se de uma sequência de atividades usadas na construção do nosso produto educacional.

É importante considerar que o que alguns elegem como conteúdo básico pode não sê-lo para outros, do mesmo modo que o que está proposto como complementar pode se mostrar essencial em função dos compromissos que firmamos e das demandas específicas de cada escola (MINAS GERAIS, 2007, p. 12).

E com isso podemos dizer que o CBC não nos é favorável, mas nos dá também liberdade de reestruturarmos o currículo conforme nossa necessidade.

Há um novo documento aprovado em dezembro de 2018, denominado de Base Nacional Comum Curricular, que também foi desenvolvido pelo MEC e tem caráter normativo que deve nos nortear em relação aos currículos dos ensinos infantil, fundamental e médio. Não analisamos este documento em relação a forma como ele nos orienta a trabalhar os conteúdos em questão, pois a sequência de ensino proposta foi elaborada antes da BNCC ser aprovada. Assim será analisada futuramente para adequação da sequência de ensino de acordo com as suas normativas.

O Livro Didático de acordo com Matos, Schuindt e Lorenzetti (2016), foi inserido no cenário Brasileiro em 1929, e desde então tem sido a principal ferramenta utilizada pelo professor em sala de aula. Há algumas décadas o governo brasileiro avalia os Livros Didáticos através do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD). Assim os livros distribuídos para as escolas públicas, pelo governo, são aqueles aprovados nesse programa. Por isso analisamos os livros aprovados no PNLD de 2018 para sabermos como esses conteúdos são mostrados nos livros em uso no período dessa pesquisa. Já esperávamos que nos LD os conteúdos não viriam em um mesmo volume, pois os documentos norteadores já os separam. Nesta edição do PNLD foram aprovadas seis coleções, que foram a nossa amostra inicial. Mas selecionamos apenas os volumes que continham os conteúdos de modelos atômicos e radioatividade como descrito no quadro 1, na página 22.

Analisamos esses livros “em uma perspectiva qualitativa usando categorias definidas a priori, considerando elementos que podiam facilitar a integração dos temas” (SILVA E SALES, 2018). Essas categorias nos permitiram olhar para elementos como: a localização dos conteúdos nas coleções; abordagem tradicional; abordagem histórica; os exercícios; atividades complementares; experimentos; vídeos ou filmes; sites; e outros elementos como textos complementares, tabelas e figuras.

Em uma visão geral percebemos que o conteúdo de Modelos atômicos é abordado no volume 1 de todas as seis coleções. O tema radioatividade aparece no volume 1 de todos os livros analisados, no conteúdo de modelos atômicos, porém é citado de forma superficial, exemplificando somente os tipos de emissões radioativas, ou contando sobre a sua descoberta, para introduzir o modelo atômico de Rutherford. O conteúdo de radioatividade é exposto no

volume 3 dos LD1, LD2 e LD6, no LD5 aparece no volume 2, e os LD3 e LD4 não trazem em nenhum volume esse tema de forma específica.

Quadro 1 - Livros Didáticos do PNLD analisados

| Código de identificação | Referência | Volume |
|-------------------------|--|--------|
| LD1 | Química – Martha Reis | 1 e 3 |
| LD2 | Vivá química – Vera Lúcia Duarte Novais e Murilo Tissoni Antunes | 1 e 3 |
| LD3 | Química Cidadã – Wildson Santos e Gerson Mol | 1 |
| LD4 | Química – Eduardo Fleury Mortimer e Andréa Horta Machado | 1 |
| LD5 | Ser protagonista – química – Aline Thaís Bruniana, Luiza Petillo Nery, André Amaral Gonçalves, Julio Cezar Foschini Lisboa, kátia Santinalia Monguilhott Bezerra, Paula A. G. Bianco, Rodrigo Marchioro Liegel, Simone Garcia de Ávila, Simone Jaconetti Ydi, Vera Lúcia Mitiko Aoki | 1 e 2 |
| LD6 | Química – Carlos Alberto Mattoso Ciscato, Luis Fernando Pereira, Emiliano Chemello e Patrícia Barrientos Proti | 1 e 3 |

Fonte: elaborado pela autora, 2018.

Diante da análise detectamos que o LD1 é o que apresenta uma maior proximidade dos temas, pois ele traz os conteúdos de modelos atômicos dentro do contexto histórico e aborda um pouco da história da radioatividade, assim ele é o que mais se aproxima da conexão que desejávamos. Por coincidência esse LD1 é o livro adotado na escola em que a pesquisa foi desenvolvida, e contribuiu de forma significativa para o desenvolvimento da sequência de ensino que propomos. Por isso consideramos que os outros LD do PNLD 2018 não nos favorece para trabalharmos os conteúdos de modelos atômicos e radioatividade de forma não fragmentada. Razão pela qual não os utilizamos nem como suporte na construção das atividades de ensino utilizadas.

Perante nossas análises vemos que os documentos norteadores PCN e CBC sugerem que os temas foco desta pesquisa sejam trabalhados de forma fragmentada, em anos distintos do Ensino Médio, porém salientam que o professor tem liberdade para estruturar o currículo conforme sua necessidade e realidade. Tal como os LD também não nos propicia a integrar os conteúdos, “o que nos sinaliza a importância de propor uma sequência de ensino para esses temas, utilizando a história da ciência como meio de integração dos conteúdos de modelos atômicos e radioatividade” (SILVA E SALES, 2018).

4 O ÁTOMO E A RADIOATIVIDADE, UM ENCONTRO HISTÓRICO

A ideia de que a matéria é constituída de algo é mais antiga do que possamos imaginar. Há relatos de que toda essa história começa na Índia, para só depois os gregos tomarem nota e conhecimento de tal fato (FILGUEIRAS, 2004). Há evidências que nos dizem que a palavra átomo foi proposta pelos filósofos gregos Leucipo ou/e Demócrito, e significa indivisível. Nossa proposta é apresentar um pouco da história do átomo a partir do século XIX, começando com o primeiro a ter ênfase nos seus estudos acerca do tema, Dalton. E em meio a esta história que iremos iniciar vocês também irão se deparar com a história da radioatividade, e perceberão que boa parte da história do átomo se perfaz da utilização desta.

4.1 DALTON E SUA PROPOSTA PARA O MODELO ATÔMICO

John Dalton, inglês, nasceu em 6 de setembro de 1766 na cidade de Eaglesville, em uma casa de sólida formação religiosa. Pertencia ao grupo denominado de Quaker, grupo protestante surgido em meados do século XVII (VIANA, 2007). Aos 6 anos de idade foi matriculado na única escola da vila onde morava. Aos 12 anos começou a dar aulas de matemática em uma escola montada em sua casa. Aos 14 anos foi para a cidade de Kendal, onde ministrou aulas em uma escola Quaker, lá também apresentou conferências para um público interessado em ciências, e foi quando adquiriu o hábito sistemático de anotar os dados sobre fenômenos atmosféricos (VIANA, 2007).

Figura 1 - Dalton



Fonte: Filgueiras, 2004, p. 39.

Em 1793 Dalton foi convidado a dar aulas de Matemática e filosofia natural no *New College*, de Manchester, por indicação de pessoas influentes em Kendal. Neste mesmo ano lança seu primeiro livro, *Meteorological Observations and Essays*, o qual trazia suas pesquisas sobre a atmosfera (VIANA, 2007). No próximo ano Dalton começa a ensinar química se baseando no *Tratado Elementar de Química*, escrito por Antoine Laurent Lavoisier. O clima na cidade onde ele vivia era muito instável, e isso o possibilitou a desenvolver estudos sobre meteorologia, sua grande paixão. Esse interesse pelo clima o fez desenvolver estudos sobre os gases, vapor d'água e o calor (FILGUEIRAS, 2004).

Um outro fator que incentivou Dalton a estudar os gases é o fato de Manchester, nesta época, estar sendo dominada pelas máquinas à vapor. Devido a esses fatores, Dalton, tem o seu primeiro trabalho publicado e lido na “*Sociedade Literária e Filosófica de Manchester*” (em tradução livre) em 1800, “*Ensaio experimental para determinar a expansão de gases pelo calor, (...), com observações sobre os motores a vapor comuns e aprimorados*” (em tradução livre) (FERREIRA, 1987).

Percebemos que grande parte dos estudos de Dalton são desenvolvidos a partir dos estudos dos gases, porém não temos certeza da origem dos seus estudos para propor o modelo atômico. Pois grande parte dos documentos e registros de Dalton foram queimados em um bombardeio à Sociedade Literária e Filosófica de Manchester na Segunda Guerra Mundial. O que nos impossibilita de fazermos essa conexão dos estudos de Dalton e a origem de sua teoria atômica. Contudo algumas pesquisas que tentam explorar essa conexão dos estudos dele, trazem diversas possibilidades do que o levou a propor o seu modelo. Segundo Viana (2007), as análises dos estudos de Dalton foram realizadas tanto por alguns de seus contemporâneos como por historiadores posteriormente. Aqui comentaremos, de forma breve o que eles nos dizem a respeito de Dalton. Thomas Thomson, grande divulgador da teoria atômica de Dalton, disse a princípio que a teoria se deu a partir da Lei das proporções múltiplas, mas depois reformula sua versão dizendo que a mesma surge do estudo da composição dos óxidos de nitrogênio. Há a versão de William C. Henry, filho de William Henry que trabalhou com Dalton, que diz que a teoria atômica teria se desenvolvido junto com os estudos dos pesos equivalentes de Richter (equivalentes de massas). Porém em 1820, W. C. Henry recebeu uma carta do médico de Dalton, Joseph Ransome, em que ele descreve dizeres de Dalton sobre sua teoria atômica. Assim Henry considera que a teoria de Dalton era algo preconcebido de sua mente e que tinha influência das teorias corpusculares de Isaac Newton. H. E. Roscoe e A. Harden (1896), foram os primeiros a terem contato com as escritas de Dalton, e para eles Dalton concretiza sua teoria atômica a partir da idealização da

segunda teoria das misturas gasosas. Eles ainda afirmam que a teoria foi criada em 1805 e não em 1803. Já a versão de A. N. Meldrum, historiador do início do século XX, salienta que foi a partir das combinações químicas de óxido nítrico com o oxigênio que Dalton propõem a Lei das Proporções Múltiplas que é fundamental para a conceber a sua teoria atômica com influência Newtoniana. Para o historiador Nash (1956), a teoria atômica estaria ligada aos estudos da solubilidade dos gases em água, e que a mesma teria sido desenvolvida para explicar esse fato. E para o último historiador que mostraremos aqui, Rocke (2005), existem seis possibilidades para a elaboração da teoria atômica de Dalton. Para ele a primeira delas seria *a priori* a interpretação de Dalton à teoria de Newton sobre as partículas, a segunda uma teoria indutiva criada a partir da teoria das Proporções Múltiplas observadas na composição dos hidrocarbonetos. A terceira indutiva pela teoria também das proporções múltiplas observadas agora nos óxidos de nitrogênio. A quarta uma teoria dedutiva a partir dos pesos equivalentes de Richter, a quinta também por dedução com base na primeira teoria das misturas gasosas, e por fim uma teoria dedutiva a partir da segunda teoria das misturas gasosas (VIANA, 2007).

Percebemos que são vários os caminhos percorridos por Dalton, e como não temos evidências claras de como, e porque ele desenvolveu a teoria atômica é que concordamos com Lobato (2007) quando ele diz que são quatro os fatores essenciais para sua teoria:

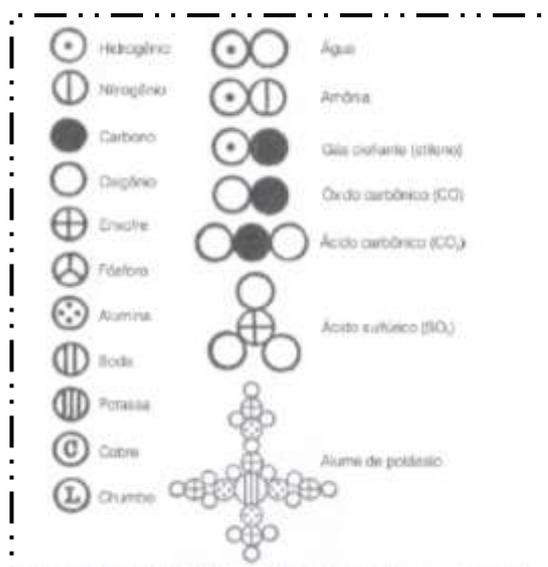
O primeiro deles está relacionado ao seu interesse pelas questões meteorológicas; o segundo refere-se à influência newtoniana; o terceiro fator, à necessidade de explicar as diversas solubilidades dos gases na água, através dos “possíveis” pesos entre os átomos; e, por fim, a diferença do tamanho dos átomos, também utilizada como argumento para justificar a mistura dos gases diferentes (LOBATO, 2007. p. 105).

Assim consoante com Filgueiras (2004), podemos chegar de forma implícita ou explícita ao que de fato Dalton nos propôs como teoria atômica:

À matéria é constituída por partículas últimas ou átomos; • os átomos são indivisíveis e não podem ser criados nem destruídos (*Princípio de Conservação da Matéria* - Lavoisier); • todos os átomos de um mesmo elemento são idênticos e apresentam o mesmo peso; • átomos de elementos diferentes têm pesos diferentes; • os compostos são formados por um número fixo de átomos de seus elementos constituintes (*Lei das Proporções Fixas* - Proust); • se existir mais de um composto formado por dois elementos diferentes, os números dos átomos de cada elemento nos compostos guardam entre si uma razão de números inteiros (*Lei das Proporções Múltiplas* - Dalton) - podemos aplicar este princípio em muitos exemplos, como nos óxidos de ferro, FeO, Fe₂O₃ e Fe₃O₄; • o peso do átomo de um elemento é constante em seus compostos - se *a* reagir com *b* para formar *ab* e *c* reagir com *d* para formar *cd*, então se *ab* reagir com *cd* os produtos serão *ad* e *cb* (*Lei das Proporções Recíprocas* – Richter) (FILGUEIRAS, 2004, p. 42).

Os documentos nos datam 1803 o ano que ele fez sua proposição ao modelo atômico, porém não foi neste ano que Dalton teve ênfase em sua teoria. Ele a princípio não teve uma aceitação por parte da sociedade científica da época, que era influenciada por fatores sociais e políticos. Desse modo necessitou de outras pessoas para ajudar na divulgação de seus estudos. É neste cenário que entra Dr. Thomas Thomson, que enxergou a importância dos dizeres de Dalton sobre a constituição da matéria e sua aplicabilidade, ajudando-o na sua divulgação publicando pela primeira vez fora do círculo de Manchester, a teoria de Dalton em seu livro “*A system of chemistry*” em 1807 (FERREIRA, 1987). Isso surtiu de forma positiva para Dalton que começou a escrever um livro que foi publicado em 1808, trazendo sua teoria atômica de forma completa. Segundo essa teoria os átomos são indestrutíveis e diferentes para cada elemento, assim como seu peso atômico, obtêm-se as leis das proporções múltiplas e as primeiras fórmulas químicas com notações próprias (FERREIRA, 1987).

Figura 2 - Símbolos dos elementos químicos e compostos de Dalton



Fonte: Filgueiras, 2004, p. 42.

Com o tempo Dalton passou a ser uma das pessoas com grande reconhecimento e renome por toda a Europa, sendo coberto por honras quando morreu em 1844. Ele estudou e escreveu sobre assuntos variados, um deles foi sobre uma anomalia visual que ele possuía, na qual enxergava em tons azulados. Com seus estudos a cerca disso essa anomalia é conhecida hoje como daltonismo em sua homenagem (FILGUEIRAS, 2004).

Reconhecemos que Dalton naquela época com sua teoria conseguiu explicar suas indagações e a de outros pesquisadores, porém com o tempo sua teoria foi ficando fragilizada, e é partir disso que conheceremos o próximo personagem da nossa história.

4.2 UM POUCO DA HISTÓRIA E DO MODELO ATÔMICO DE THOMSON

Em 18 de dezembro de 1856, em Cheetham Hill, subúrbio de Manchester, na Inglaterra, nasceu Joseph John Thomson. Filho de um editor e livreiro que morreu aos 40 anos. Ele foi influenciado pelo pai aos 14 anos a estudar engenharia no *Owens College*, em Manchester (TRANCOSO, 2016). Thomson durante sua graduação teve influências de seus professores, o que o fez ter grande interesse por física, pelo átomo de Dalton, pela eletricidade e magnetismo (OLIVEIRA, 2018). Em 1871, Thomson foi trabalhar no Laboratório Cavendish, pertencente ao departamento de física da Universidade de Cambridge, na Inglaterra. Dois anos mais tarde entrou para o *Trinity College*, em Cambridge, onde se graduou em matemática, em 1880. Nesse mesmo ano, ele começou suas atividades como professor na Universidade de Cambridge, onde passou toda sua vida (TRANCOSO, 2016).

O que instigava Thomson era o problema da estrutura da matéria, que para ele estava intimamente ligado com a variação das propriedades químicas na tabela periódica de Mendeleev e, também, com a ligação química entre os átomos para formar moléculas (MOURA, 2014). Uma característica de Thomson era sua grande capacidade de adaptar suas ideias ao contexto da época, com as pesquisas e estudos que se faziam. Naquele tempo, os estudos em evidências eram a relação da espectroscopia³ com a estrutura atômica, na química se estudava questões relativas à valência, ligações químicas e tabela periódica. Com isso as ideias de Thomson sobre o átomo surgem de forma progressista, à medida que os temas estudados em evidência na época vão sendo aperfeiçoados (LOPES, 2009).

A primeira proposição de Thomson para a estrutura do átomo, foi denominada de átomo vortex, no qual ele utiliza das ideias de William Thomson, conhecido também como Lord Kelvin. Esse modelo para o átomo foi apresentado em 1867, por Lord Kelvin, e defendia que o átomo era formado por um conjunto de tubos vórtices fechados no éter⁴. Tal modelo se

³ Nesta época já se sabia que diferentes elementos químicos emitiam ou absorviam radiação luminosa de forma bem característica, mas não se conheciam as razões de tal fenômeno.

⁴ Nessa época havia a compreensão de que o éter era o meio que preenchia todos os espaços. Em particular, no final do século XIX, com o avanço das ideias do eletromagnetismo consideravam que o éter luminífero era o meio no qual as ondas eletromagnéticas, ou a luz, se propagava. Então é de se esperar que ao pensar na estrutura do átomo esse meio também fosse considerado.

ampara nas observações do experimento de Alfred Marshal Mayer, que usa imãs flutuantes para explicar a mecânica do equilíbrio cinético dos grupos de colunas vórtices girando em torno de um centro de gravidade comum (LOPES, 2009). Assim Thomson lança em 1883 o seu primeiro livro, *A Treatise on the Motion of Vortex Rings* (Um Tratado sobre a Moção dos Anéis de Vórtice), no qual mostrou a aplicação do átomo de vortex aos problemas das combinações químicas, utilizando da máxima simplicidade de Dalton e sua terminologia (TRANCOSO, 2016). De acordo com Thomson nesse modelo a matéria era constituída pelo o éter e suas propriedades eram devidas à movimentação desse fluido, que era gerido pelas Leis da Hidrodinâmica. Essa teoria foi bastante criticada e com o tempo não respondia mais o que Thomson queria, assim ele se propõe a estudar novas teorias descartando-a (LOPES, 2009).

Figura 3 - Thomson



Fonte: Trancoso, 2016, p. 31.

Em 1893, Thomson publicou o *Recent Researches in Electricity and Magnetism* (Pesquisas Recentes em Eletricidade e Magnetismo, em tradução livre), que complementou o *Tratado sobre Eletricidade e Magnetismo*, publicado em 1873, por James Clerk Maxwell (TRANCOSO, 2016). Tal trabalho o leva a relacionar as propriedades elétricas da matéria com a estrutura do átomo.

Em 1895 publica um artigo, *The Relation between the Atom and the Charge of Electricity carried by it* (A relação entre o átomo e a carga da eletricidade levada por ele, em tradução livre), em que tinha como base os estudos sobre os tubos de forças de Faraday, e sugere um novo modelo atômico e combinação química. Os átomos eram compostos por pequenos girostatos, sólidos em um movimento de rotação rápida em torno do seu eixo. O sentido do giro dos mesmos resultaria em carga positiva ou negativa para o átomo. Esse modelo perdurou por pouco tempo, mas foi importante para Thomson desenvolver estudos

posteriores que continuavam a relacionar as propriedades elétricas da matéria com a sua estrutura em nível atômico (LOPES, 2009).

Na mesma época que Thomson desenvolve seus trabalhos, outros temas também estavam em evidência, como os raios catódicos, os diferentes tipos de radiação e sua interação com a matéria. Esses raios catódicos puderam ser percebidos por conta dos estudos de Sir William Crookes, estudos esses que utilizavam descargas elétricas em um tubo à vácuo, que ficou conhecido como ampola de Crookes. A partir dela foi possível o descobrimento também dos raios X. Em 1895 Thomson ainda acreditava que para entender valência e propriedades periódicas era necessário valorizar as estruturas subatômicas em razão das leis derivadas do campo de investigação macroscópica. Com esse pensamento, em 1897, escreve o artigo, *On the cathode rays* (Sobre os raios catódicos, em tradução livre), que lhe conferiu o prêmio Nobel de Física em 1906. Naquele tempo era uma discussão a constituição desses raios, alemães acreditavam ser um tipo de onda, ingleses e franceses, assim como Thomson, consideravam que eram constituídos por partículas. Partindo dessa concepção, ele fez testes com a ampola de Crookes utilizando quatro diferentes gases, e três metais diferentes na constituição do eletrodo da ampola, medindo a relação da massa (m) com a carga da partícula (e), ou a razão m/e . Percebeu que era a mesma para todos os materiais utilizados (LOPES, 2009). Outro experimento que ele realizou com a ampola de Crookes, foi colocar dentro da ampola duas placas de metal em paralelo e ligá-las a uma bateria, ou seja, ele criou um campo elétrico que teria que ser atravessado pelos raios catódicos, “que os raios catódicos sofriam um desvio, para o lado da placa com carga positiva. Concluiu então que os raios não eram apenas formados por luz, mas sim por algum tipo de partícula que seria negativa, uma vez que cargas opostas se atraem” (TRANCOSO, 2016, p. 34).

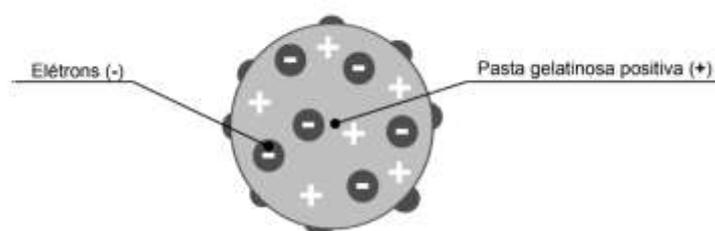
Em 30 de abril de 1897, durante a exposição de relatos de diversos experimentos realizados numa conferência no *Royal Institute*, Thomson expôs a descoberta de uma partícula elementar, que seriam as “unidades corpusculares primordiais” que ele chamou de “corpúsculo” (TRANCOSO, 2016). O corpúsculo negativo de Thomson passaria a chamar mais tarde de elétron, nome esse criado em 1891 por George Johnstone Stoney, para designar a unidade de eletricidade que um átomo pode ganhar ou perder quando se tornam íons (OLIVEIRA, 2018).

Em 1903 escreve o livro *Electricity and Matter* (Eletricidade e Matéria, em tradução livre), que foi publicado em 1904, em que ele fala da relação da matéria com a eletricidade. É dessa obra que aparecem detalhes que levaram Thomson a propor seu modelo para o átomo (LOPES, 2009). Após vários estudos Thomson evidência de fato o seu modelo para o átomo,

“Todo e qualquer átomo seria formado por uma grande quantidade de corpúsculos eletricamente negativos dispostos em anéis coplanares englobados em uma esfera de carga positiva” (OLIVEIRA, 2018, p. 58).

Esse modelo de Thomson foi associado, e ficou conhecido como “pudim de passas”⁵, ou “pudim de ameixa”, esse nome seria a tradução de “*plum-pudding*”, sobremesa natalina tradicional dos ingleses, feita de frutas secas. Porém Thomson não deu esse nome ao seu modelo atômico (TRANCOSO, 2016).

Figura 4 - Modelo atômico de Thomson, “Pudim de Passas”



Fonte: Trancoso, 2016, p. 38.

Thomson durante os anos seguintes continuou os seus estudos contribuindo de forma significativa com o desenvolvimento da ciência, além do prêmio Nobel recebeu várias outras honrarias, e títulos importantes da sociedade acadêmica, e europeia. Vale ressaltar que dentre os diversos alunos que Thomson teve em seu Laboratório Cavendish, Ernest Rutherford foi o primeiro estrangeiro a estar naquele lugar, e que anos mais tarde também alvitra um modelo para o átomo (TRANCOSO, 2016).

Assim como Dalton percebemos que Thomson teve um papel fundamental não só na história da constituição da matéria, mas em diversas áreas da ciência onde contribuiu de forma relevante. Continuaremos nossa história com estudos relacionados a radioatividade, tema de destaque na mesma época em que Thomson desenvolve seus estudos acerca da constituição da matéria.

⁵ Algumas analogias foram feitas durante a aplicação da sequência de ensino, porém deixamos claro que elas não condizem com o período histórico em que foram propostos os modelos atômicos. São utilizadas didaticamente para facilitar a compreensão do aluno referente ao conteúdo.

4.3 UMA HISTÓRIA UM TANTO RADIOATIVA

Como percebemos os personagens da história da ciência são inúmeros, uma vez que cada um deles evidenciou, estudou e desenvolveu pesquisas e trabalhos de diferentes assuntos. Deixando assim essa história rica em informações essenciais para o desenvolvimento desse trabalho, porém não conseguiremos abordar e dar à ênfase que cada personagem merece. Com isso decidimos citar apenas alguns que consideramos importantes para a evolução do nosso trabalho.

Como mencionado anteriormente vários estudos surgiram a partir da ampola ou tubo de Crookes, um deles é o estudo da radioatividade, e apresentaremos aqui um pouquinho dessa história que tem como personagens, Wilhelm Conrad Röntgen, Antoine- Henri Becquerel, o casal Curie e Ernest Rutherford.

4.3.1 Roentgen e os raios X

Filho único de um fabricante e comerciante de roupas, Wilhelm Conrad Roentgen, nasceu em 27 de março de 1845, em Lennen, na Província do Baixo Reno, na Alemanha. Em 1865 entrou para a Universidade de Utrecht, onde estudou física. Em 1869, obteve o Doutorado na Universidade de Zurique (MARTINS, 2005). Depois de formado foi convidado a trabalhar como assistente do Dr. August Kundt, que juntos, reorganizaram o laboratório de física experimental. Os estudos de Roentgen estavam em torno do calor específicos dos gases, condutividade térmica dos cristais, modificação dos planos da luz polarizada por influência eletromagnética, as variações das funções da temperatura e a compressibilidade da água e outros fluidos, entre outros temas (FRANCISCO, et al., 2005).

Figura 5 - Wilhelm Conrad Roentgen



Fonte: Francisco, et al., 2005, p. 282.

Em 1870 tem o seu primeiro trabalho sobre aquecimento específico de gases publicado, porém não é com estes estudos que ele ganha evidência no meio científico. E sim com o experimento realizado em 1895. Roentgen em seu laboratório realiza experimentos utilizando a ampola de Crookes com o intuito de observar se os raios catódicos se propagavam para fora da ampola. Para que isso fosse possível seria necessário que a ampola fosse envolvida por um cartão preto e o ambiente tivesse escuro. Assim, ele dispõe de uma corrente elétrica que passa pela ampola, e percebe uma luminescência⁶ em uma placa de platino cianureto de bário, que estava sobre uma mesa distante, que dificilmente reagiria com os raios catódicos. Com essa observação repete várias vezes esse experimento com a placa cada vez mais distante da ampola de Crookes (FRANCISCO, et al., 2005). Para testar sua presunção faz o experimento colocando diferentes objetos entre a ampola e a placa, e observa que os mesmos não alteravam a luminescência, com exceção dos materiais de chumbo e platina, que a barravam. Ao segurar esses materiais entre a ampola e a placa, para examinar os “raios novos”, Roentgen se depara com a imagem dos ossos de sua mão, com grande satisfação com o ocorrido, ele refaz o experimento utilizando uma chapa fotográfica e a ampola como se fosse uma fonte luminosa. Estava ele convicto que havia evidenciado uma nova forma de luz, que até aquela época ninguém havia registrado (FRANCISCO, et al., 2005).

Roentgen, empolgado, fica semanas em seu laboratório estudando e testando o que tinha visualizado, prefere não compartilhar com ninguém até ter certeza do que se trataria aqueles raios. Durante esse tempo pede para sua companheira, Ana Bertha, lhe auxiliar em um experimento, onde ele expõe sua mão durante 15 minutos aos raios, sobre uma placa fotográfica, foi assim que ele obteve a famosa imagem da mão de sua mulher (FRANCISCO, et al., 2005). Este foi o primeiro roentgenograma (nome dado à época para as imagens produzidas a partir dos raios descobertos por Roentgen) obtido na história, a primeira imagem impressa de uma estrutura interna do corpo humano (MARTINS, 2005).

Em novos estudos ele demonstrou que os novos raios eram produzidos pelo impacto dos raios catódicos com um objeto sólido. Por não conhecer sua natureza, chamou-os de raios-X. Mas ao estudar melhor esses raios, ele notou várias semelhanças com a luz (formação de sombras, indicando propagação retilínea; ação fotográfica; fluorescência⁷), Roentgen

⁶ É a emissão de radiação (visível ou não) que ocorre sem a necessidade de temperaturas elevadas, por causa, por exemplo da absorção de energia da luz. Pode ser classificada como fluorescência ou fosforescência.

⁷ Nesse fenômeno a emissão da radiação cessa imediatamente após o fornecimento de energia, ou seja, necessita de energia para emitir radiação.

então, os compara à radiação ultravioleta. Porém tempos depois, sugere que os raios X seriam ondas longitudinais do éter (MARTINS, 1990).

Figura 6 - Imagem da mão de Ana Bertha, esposa de Roentgen



Fonte: Francisco, et al., 2005, p. 282.

Logo depois surge, Von Laue, que demonstrou que os raios X eram da mesma natureza eletromagnética da luz, porém de maior frequência de vibração (MARTINS, 2005). Em 23 de janeiro de 1896, Roentgen, apresentou publicamente pela primeira vez, a sua descoberta aos *Proceedings of the Würzburg PhysicoMedical Society* (Anais da Sociedade de Física Médica de Wurtzburgo, em tradução livre). Para comprovar sua descoberta ao final da conferência, Roentgen fez uma fotografia da mão do famoso anatomista Kolliker, o qual propôs que a nova “descoberta” levasse o nome de Raios Roentgen. Assim ele é aclamado como o descobridor de um milagre médico, no qual se recusa a patentear sua evidência (MARTINS, 2005).

Esse trabalho de Roentgen possibilitou o estudo de diferentes áreas da ciência principalmente os envolvendo a medicina e odontologia. A primeira radiografia⁸ dentária da história, que foi obtida pelo Dr. Otto Walkoff, um dentista de Braunschweig, Alemanha. E dois meses depois, os raios-X foram utilizados pela primeira vez na Medicina, nos Estados Unidos. Em Dartmouth, Massachusetts, por Edwin Brant Frost, que produziu uma fotografia de uma fratura de Colles⁹. Roentgen recebeu em 1901 o prêmio Nobel de Física por este trabalho. Só depois de muitos anos da utilização dos raios X é que eles começaram a visualizar os efeitos que eles estavam causando em seus organismos, mas não temos informações se o próprio Roentgen sofreu seus efeitos (MARTINS, 2005).

⁸ Assim chamamos hoje o que na época era conhecido como roentgenograma.

⁹ Fratura da extremidade distal do osso chamado rádio.

Morreu em fevereiro de 1923 em Monique, Alemanha, onde recebeu honras e homenagens de cientistas de seu país e países vizinhos (FRANCISCO, et al., 2005).

4.3.2 Antoine - Henri Becquerel

Antoine - Henri Becquerel, nasceu em 1852, em uma família de cientistas franceses, que tinha como referência seu avô e seu pai, que desenvolveram estudos importantes para a sociedade científica da época. Becquerel inicia sua carreira baseando-se nos trabalhos feitos pelo seu pai. Suas investigações são sobre fenômenos ópticos (especialmente fosforescência¹⁰), e radiações ultravioletas e infravermelhas. Devido a seu interesse pelo assunto, estuda a maioria das substâncias luminescentes que haviam sido colecionadas por seu pai, incluindo alguns compostos de urânio (MARTINS, 2004).

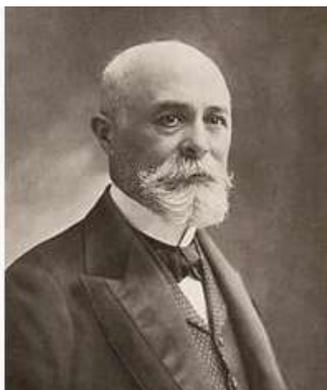
Após a socialização dos raios X por Roentgen em 1896, os estudos envolvendo esses raios foram diversos, e para entendermos de onde surgem as ideias de Becquerel sobre os mesmos temos que citar Henri Poincaré, exímio matemático e físico francês. Poincaré semanas após o conhecimento sobre os raios X, comenta que estes eram produzidos de acordo com a forma que Röntgen havia mostrado, pelas paredes do tubo de vidro, no local onde elas são atingidas pelos raios catódicos. Nesse mesmo local, o vidro se torna fluorescente. Charles Henry no mês seguinte testa e comprova os dizeres de Poincaré, que ficou conhecido como conjectura de Poincaré, afirmando que era possível obter radiografias sem utilizar tubos de raios X, cobrindo o objeto a ser radiografado com uma camada de sulfeto de zinco, e excitando sua fosforescência pela queima de uma tira de magnésio, para isso não utiliza a ampola de Crookes (MARTINS, 1990). Na semana seguinte, Gaston Henri Niewenglowski apresentou uma confirmação dos resultados de Charles Henry. Os estudos desses cientistas, no qual dizem que os materiais fosforescentes estudados pareciam emitir raios X, quando excitados pela luz solar, é a base referencial de Becquerel para realizar seus estudos acerca do tema (MARTINS, 2004).

Os primeiros trabalhos de Becquerel são desenvolvidos e publicados por meio de uma série de pequenas notas, nos *Comptes Rendus* da Academia de Ciências de Paris. A conjectura de Poincaré, claro despertou o interesse de Becquerel, que a colocou em prática, sendo essa sua primeira pesquisa sobre esses temas.

¹⁰A emissão de radiação na forma de luz visível contínua por algum tempo mesmo depois que a fonte de energia é desligada (de frações de segundos até alguns dias).

Os resultados desta pesquisa foram apresentados a academia confirmando os estudos de Henry e Niewenglowski. Para isso Becquerel apenas repete o experimento por eles realizados, afirmando que os corpos luminosos emitem raios X. A única coisa considerável neste experimento é o fato dele ter utilizado uma nova substância, o sulfato duplo de urânio e potássio (MARTINS, 2004).

Figura 7 - Antoine - Henri Becquerel



Fonte: Site Wikipédia¹¹

Em sua segunda apresentação na academia, Becquerel mostra o que todos consideram a descoberta da radioatividade:

Insistirei particularmente sobre o seguinte fato, que me parece muito importante e estranho ao domínio dos fenômenos que se esperaria observar. Os mesmos flocos cristalinos, colocados junto às chapas fotográficas, nas mesmas condições, isolados pelos mesmos anteparos, mas sem receber excitação pela incidência de radiação e mantidos no escuro, ainda produzem as mesmas impressões fotográficas. Este foi o modo pelo qual fui levado a fazer essas observações: entre os experimentos precedentes, alguns foram preparados na quarta-feira, 26, e na quinta-feira, 27 de fevereiro; e como, nesses dias, o Sol apareceu apenas de modo intermitente, guardei os experimentos que havia preparado e coloquei as chapas com seus envoltórios na obscuridade da gaveta de um móvel, deixando os flocos de sal de urânio em seu lugar. Como o Sol não apareceu novamente nos dias seguintes, no dia 1 de março eu revelei as chapas fotográficas, esperando encontrar imagens muito fracas. Pelo contrário, as silhuetas apareceram com uma forte intensidade. Eu logo pensei que a ação devia ter continuado na obscuridade [...] (BECQUEREL, 1896b apud MARTINS, 2004, p. 507).

Becquerel supõem que o fato observado não tem relação com as radiações luminosas emitidas por fosforescência, porque após um centésimo de segundo essas radiações se tornam tão fracas que são difíceis de serem percebidas. Assim busca nos trabalhos de seu pai uma

¹¹ Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Antoine_Henri_Becquerel. Acesso em: 05 jul. 2019.

explicação para o ocorrido. Seu pai cita que a duração de luz de diferentes cores emitidas por uma substância fosforescente pode ser muito variável.

Em alguns casos, os comprimentos de onda mais longos possuem uma duração maior (como no caso do sulfato de quinino e no diamante); em outros, os comprimentos de onda mais curtos possuem maior duração (giz, cristal da Islândia – ou seja, calcita). Por essa razão, a cor resultante observável de uma substância fosforescente colocada no escuro geralmente muda com o tempo (MARTINS, 2004, p. 507).

Portanto, poderia evidenciar que a fosforescência visível de curta duração do cristal de urânio fosse acompanhada por uma fosforescência invisível de longa duração, com emissão de radiação penetrante (MARTINS, 2004). Com isso Becquerel afirmou ter confirmado experimentalmente que a radiação do urânio era de natureza eletromagnética, semelhante à luz e que a emissão diminuía lentamente no escuro, como uma fosforescência invisível de longa duração. Esses raios passaram a ser chamados de raios de becquerel ou raios de urânio (MARTINS, 2003). Com o passar do tempo Becquerel deixa seus estudos sobre o tema de lado e não dá tanta importância, porque o seu trabalho era apenas mais um em meio a tantos outros que estavam sendo desenvolvidos naquele tempo sobre os raios X e a conjectura de Poincaré. Percebemos que Becquerel evidenciou o que conhecemos hoje como radioatividade, porém ele esteve muito longe de dizer que havia observado um fenômeno novo, isso porque foi influenciado pelas teorias que eram aceitas naquela época (MARTINS, 2004). O indício de um fenômeno nuclear só é proposto depois por outros personagens que iremos expor adiante.

4.3.3 O casal Curie

Após os estudos e evidências de Becquerel surge nessa esfera o famoso casal Curie. Iniciaremos comentando um pouco da protagonista dessa história, Marie Sklodowska, que nasceu em Varsóvia, Polônia, em 7 de novembro de 1867. Seus pais eram professores, perdeu sua mãe muito nova sendo assim criada somente pelo seu pai, que mantinha tradições patrióticas. Em 1877, Marie começou a estudar no internato privado, seis anos depois se formou recebendo medalha de ouro. Em 1884, Marie frequentou cursos preparatórios universitários em Varsóvia, cujo programa incluía ciências naturais e sociais. Ela falava 5 idiomas, interessava-se por sociologia, psicologia, e ciências exatas, e era também boa em

desenho. Ela escolheu ciências exatas, e sonhava em estudar na Sorbonne, Paris, pois seu país não permitia o ingresso de mulheres nas universidades (WARSAW, 2019. Em tradução livre).

Figura 8 - Marie Sklodowska



Fonte: Site Maria Sklodowska – Curie Museum in Warsaw¹²

Em novembro de 1891, seu sonho foi realizado, ela foi para Paris para doutorar-se em ciências pela Sorbonne. Em 1893, ela se formou na universidade tendo ganho sua licenciatura em física e matemática. Ela trabalhou para a Sociedade Nacional de Apoio à Indústria na França, tendo realizado pesquisas no campo do magnetismo do aço. Em 1894, ela conheceu Pierre Curie, o grande físico francês, e se casou com ele no ano seguinte. Ambos compartilhavam do mesmo interesse pelas questões científicas (WARSAW, 2019. Em tradução livre).

Figura 9 - Pierre Curie e Marie Curie



Fonte: Martins, 2003, p. 31.

¹² Disponível em: <http://en.muzeum-msc.pl/maria-sklodowska-curie>. Acesso em: 09 jul. 2019.

Após o seu casamento passou a ser chamada por todos de Marie Curie. Naquele tempo, sem muitas condições financeiras, decide estudar algo relevante que chamasse a atenção dos cientistas. Assim baseado nos trabalhos de Becquerel, começa a estudar as derivações dos raios X. Sem lugar para desenvolver seus trabalhos, pois não pertencia a nenhuma instituição, consegue por influência de seu marido, Pierre que era amigo do diretor na escola de engenharia, a *École Municipale de Physique et de Chimie Industrielles*, de Paris, um espaço na escola que servia de depósito (MARTINS, 2003). Marie o transforma em seu laboratório, e é com Pierre que também consegue seu principal instrumento de trabalho, um eletrômetro e um quartzo piezelétrico. Equipamento este elaborado por Pierre e seu irmão Jacques Curie, para pesquisas de eletricidade e magnetismo (PUGLIESE, 2007).

A pesquisa planejada inicialmente por Marie era um estudo padrão, de reproduzir para os raios do urânio o mesmo tipo de estudo que já havia sido feito para os raios X. Marie prefere o uso da técnica elétrica pois para ela essa técnica permitia obter resultados mais rápidos do que o método fotográfico, e fornecia medidas numéricas comparáveis entre si (MARTINS, 2003). Inicia suas pesquisas medindo o poder de ionização dos raios do urânio, e o resultado da atividade dos raios foi medido exatamente de acordo com a quantidade de urânio existente no metal analisado, de forma que o fenômeno não fosse influenciado pelo estado de composição da amostra de urânio. Com isso Marie percebeu a diferença desses raios em relação aos outros, que Becquerel tinha afirmado. Ela percebe que mesmo em pequenas proporções de intensidade nada os afetava, nem o ambiente, a luminosidade ou a temperatura. Com a ideia em mente que o urânio não necessariamente poderia ser o único a emitir raios dessa natureza, ela se dispõe a verificar se outros corpos químicos também emitiam esses raios. Para isso mantém a metodologia utilizada no experimento anterior (PLUGIESE, 2007).

Marie analisa então todos os minérios disponíveis na escola de Física, e percebe que esses raios não eram privilégio somente do urânio, o tório, por exemplo, também os emitia. Porém essa observação de Marie não era algo novo, pois semanas anteriores as suas evidências, Carl Schmid, afirmou em uma comunicação na Alemanha que o tório emitia raios de becquerel. Desta maneira ela testa o seu experimento com outros minerais que continham tório e urânio, a pechblenda (óxido de urânio) e a calcolita (fosfato de cobre e uranila), esses minerais foram doados a Marie por Eugène Dermaçay, um funcionário da Escola. Ela atesta que a pechblenda e a calcolita possuem uma atividade mais intensa que o urânio, o que a levou a crer que existisse nelas um elemento mais ativo que o mesmo (PLUGIESE, 2007). Marie naquela época tinha dificuldade para divulgar as suas conclusões, uma vez que não pertencia a Academia de Ciências e por ser mulher. Assim convence seu professor e

orientador dos tempos de faculdade, Gabriel Lippman, a ler seus trabalhos na Academia. A princípio suas ideias não são bem aceitas, e são muito contestadas pela Academia, até porque eles não queriam admitir que uma mulher havia chegado a tais conclusões sobre os raios de becquerel. Marie ciente de seus estudos continua a afirmar que o “fenômeno” observado poderia ser algo geral e que outros elementos também o emitiam, isso só foi possível de deduzir porque ela percebeu que a pechblenda emitia uma quantidade muito maior de raios de becquerel, e acreditava que ali poderia ter outro elemento químico (PLUGIESE, 2007).

Para comprovar o que dizia, Marie, se dedica a aplicar estudos de química analítica a seus experimentos, pois seus opositores afirmavam que esses elementos poderiam ser o chumbo, o bismuto, o cobre, o arsênio e o antimônio, elementos conhecidos na época. Assim coloca para reagir a mistura de pechblenda com ácidos, o que lhe resultou em uma substância aquosa, que, tratada com o hidrogênio sulfurado, mantinha o urânio e o tório na solução, e um precipitado desconhecido como um sulfureto. Esse precipitado era muito mais ativo que os outros, porém ela ainda não conseguia separá-lo do bismuto pelos métodos usuais. Com isso, Marie, lança sua segunda comunicação na Academia, agora junto com o seu marido, Pierre, anunciam que existe nesta amostra um outro elemento “vizinho” ou próximo ao bismuto que emitem raios de becquerel 400 vezes mais que o urânio. Se comprovada sua existência sugerem a ele o nome de Polônio, em homenagem a terra natal de Marie (PLUGIESE, 2007).

O casal Curie se lança em estudos profundos sobre o encontrado com a ajuda de um auxiliar, Gustav Bémont, desta forma começam a separar os elementos existentes na amostra, e percebem que não se tratava apenas de um elemento, mais de dois. Lançam então outra comunicação, desta vez na *Actas* em 26 de dezembro de 1898, em que estudos os levaram a crer na existência de um novo elemento, o Rádio, e sua “atividade”¹³ é muito considerável. Com a ajuda de Eugene Demarçay, especialista em raias espectrais, conseguem identificar uma raia desconhecida na análise espectroscópica. Marie começa a contestar assim a teoria de Becquerel, e põem a prova:

Os raios urânicos foram frequentemente chamados de raios becquerel. Pode-se generalizar esse nome, aplicando-o não apenas aos raios urânicos, mas também aos raios tóricos e a todas as radiações semelhantes. Chamarei de radioativas as substâncias que emitem os raios becquerel. O nome de hiperfosforescência que foi proposto para o fenômeno me parece uma falsa ideia de sua natureza. (CURIE, 1899, apud PLUGIESE, 2007, p. 362).

¹³ Marie Curie passou a chamar a emissão dos raios de becquerel de “atividade”.

Marie Curie com seus trabalhos foi ganhando evidência dentro da academia, mais ainda sofria com o preconceito de ser mulher. Continuando suas pesquisas, ela resolve isolar seus elementos encontrados e definir seus pesos atômicos. Contudo precisaria de quantidades consideráveis de amostras de pechblenda, que suas condições financeiras ainda permitiam obtê-las. Pierre sabendo da importância desses estudos para sua esposa, descobre que a pechblenda era subproduto da extração de sais de urânio para a fabricação de vidro na Boêmia. Ele entra em contato com seu amigo, o professor Suess, que era membro da Academia de Ciências em Viena, que consegue intervir ao governo e auferir uma generosa amostra desse material para os Curie. Desta forma continuaram seus trabalhos, passando os anos de 1899 e 1900, Marie isolando os radio-elementos, e Pierre fazendo as análises das propriedades físicas desses materiais. Enquanto isso as afirmações dos Curie despertam os interesses de outros cientistas a pesquisarem sobre a existência de novos radio-elementos. Em 1900 aparece um químico da Sorbonne chamado, Andre-Louis Debierne, que utiliza dos restos de pechblenda de Marie, e evidencia um outro novo radio-elemento, denominado de Actínio (PLUGIESE, 2007). Em 1901 Debierne, também apresentou um gás com propriedades radioativas originárias do rádio, denominado na época de emanação de rádio, hoje, o conhecemos por gás nobre Radônio (PINTO E MARQUES, 2010).

Com as pesquisas em evidências os Curie começam a ter oportunidades acadêmicas e profissionais, Marie em 1900 se torna a primeira mulher a lecionar no ensino superior, *Escola Normal Superior de Sevrès*, e Pierre a lecionar na Sorbonne, como professor de física, química e ciências naturais. Mais tarde os Curie e Becquerel fazem uma comunicação sobre a “ação fisiológica da radiação do rádio”, isso foi possível porque Pierre e Becquerel se expuseram a radiação do rádio e tiveram algumas lesões. Com isso essa “técnica” passou a ser conhecida e utilizada na França como a cura do câncer e de outras doenças, denominada de curieterapia.¹⁴ Após longos cinco anos de trabalho e dedicação, Marie Curie, em 1903 recebe o seu título de doutoramento na Sorbonne, com a tese intitulada “Pesquisa de substâncias radioativas”. Meses depois recebe juntamente com Pierre e Becquerel o prêmio Nobel de Física, ficando conhecida como Madame Curie¹⁵ (PUGLIESE, 2007).

¹⁴ Conhecemos hoje essa técnica por radioterapia.

¹⁵ O prêmio Nobel foi indicado a Becquerel e Pierre pela descoberta da radioatividade, Pierre ciente que ele apenas auxiliou Marie, e todo o mérito dessa descoberta era dela, se recusa a aceitar se ela também não fosse condecorada com o prêmio. Desta forma eles a incluem, porém ainda é vista como auxiliar de seu marido.

Figura 10 - Becquerel, Pierre e Marie Curie



Fonte: Blog Núcleo de Divulgação Científica.¹⁶

No final de 1897, nasce sua primeira filha, Irène, que tempos depois segue seus passos e se dedica a pesquisa (MARTINS, 2003). E em 1904 nasce sua segunda filha Ève. Em 1906 com a morte acidental de Pierre, Marie assume sua cadeira na Sorbonne, como professora de Física. Por fim Marie ganha sozinha o prêmio Nobel de Química em 1911, por ter encontrado a massa atômica do rádio e algumas de suas propriedades, tornando-se agora literalmente a primeira mulher a ganhar essa honraria sozinha. Morre no ano de 1934, aos 67 anos, em decorrência de leucemia (XAVIER, *et al.*, 2007). Muito pouco falamos aqui dos feitos de Marie para a ciência, mas enfatizamos a sua excepcional contribuição para a história da radioatividade, daremos sequência a nossa história com outro personagem que muito utilizou dos trabalhos de Marie.

4.3.4 Rutherford e a radioatividade

Em 30 de agosto de 1871, nasce entre as colônias de Brightwater e Spring Grover, próximo a cidade de Nelson na Nova Zelândia, Ernest Rutherford. Rutherford era filho de um mecânico escocês, James Rutherford, e de Martha, que era professora de inglês, e que também já havia sido diretora de uma escola (TRANCOSO, 2016). Ele inicia seus estudos aos 5 anos em uma escola pública, aos 16 anos ganha uma bolsa de estudo no *Nelson College*, aos 18 anos entra para a Universidade mais próxima, *Canterbury College*, em Christchurch, onde se forma em Matemática e Ciências Físicas, com o trabalho sobre a magnetização do ferro por descarga de alta frequência (LOPES, 2009).

¹⁶ Disponível em: <http://nucleocienciafra.blogspot.com/2017/05/atividade-curie-uma-familia-cinco.html>. Acesso em: 12 jul. 2019.

Em 1895 Rutherford ganha uma bolsa de estudo na Universidade de Cambridge, para trabalhar no Laboratório Cavendish, se tornando o primeiro estrangeiro a entrar para essa Universidade¹⁷. Lá começou os seus trabalhos ajudando Joseph John Thomson, nos estudos dos raios X com a elaboração de tubos de descargas de gás, a partir disso ele se dedica aos estudos envolvendo radiações. Em 1898 é indicado por J. J. Thomson a ocupar o cargo de professor de Física Experimental na Universidade de McGill, Canadá (MARQUES, 2006).

Universidade que possuía um laboratório bem equipado e com diversos reagentes, entre eles brometo de rádio, uma substância rara, cara e muito utilizada em experimentos radioativos. Neste mesmo ano Rutherford começa suas pesquisas utilizando dois equipamentos que o acompanharam por muito tempo. Um deles era o Eletroscópio de Folha de Ouro, capaz de medir quantidades mínimas de radiação, e o Eletrômetro de Quadrante ou Eletrômetro de Dolezalek, que recebeu o nome de seu inventor, Friedrich Dolezalek, que media a diferença de potencial através de forças de atração e repulsão elétrica (TRANCOSO, 2016).

Figura 11 - Ernest Rutherford



Fonte: Trancoso, 2016, p. 42.

Em 1899 Rutherford tem um de seus primeiros trabalhos divulgado em um artigo, “*Radiação do Urânio e a Condução Elétrica Produzida*”, publicado na *Philosophical Magazine*. Neste artigo Rutherford estabelece a existência de dois tipos de radiação provenientes do urânio. Uma delas era rapidamente absorvida, radiação alfa (α), e uma outra mais penetrante, radiação beta (β). No ano seguinte na França, quando Madame Curie já havia descoberto o rádio, Paul Ulrich Villard, estudando o mesmo constata um outro tipo de

¹⁷A Universidade de Cambridge até então não aceitava alunos que não tivessem cursado a graduação na Instituição.

radiação, análoga as radiações alfa e beta, porém mais penetrante e com capacidade de atravessar lâminas metálicas, esta foi denominada de radiação gama (γ) (MARQUES, 2006).

Em 1900 Rutherford publica um artigo, “*Uma substância radioativa emitida a partir de Compostos de Tório*”, neste ele narra que uma substância exposta por algum tempo ao tório, tornava-se radioativa. Sua justificativa para isso era a deposição de uma camada invisível de material radioativo na superfície da substância exposta. Observa também que essa radioatividade desaparecia em poucos dias. Essa nova substância, Rutherford, chamou de “emanação” que de acordo com ele poderia ser vapor de tório. Ainda em 1900, Rutherford, divulga outro artigo também sobre o tório, no qual cita que os compostos de tório em condições específicas, possuíam a propriedade de produzir uma radioatividade temporária em todas as substâncias sólidas que estiverem próximas. Ele evidenciou que a intensidade da radiação emitida por essas substâncias decaía, com o tempo, em uma progressão geométrica, diminuindo metade do seu valor em um tempo específico. Essa diminuição da emanação não dependia da quantidade de matéria da substância e nem da sua natureza. Em 28 de junho, de 1900, Rutherford casou-se com Mary Georgina Newton, em Nova Zelândia (MARQUES, 2006).

No ano seguinte 1901, ele publica em uma importante revista, *Nature*, o artigo *Emanações das Substâncias Radioativas*, no qual cita os estudos do casal Curie e Debiere, sobre as emanações do rádio (TRANCOSO, 2016). A descoberta dos tipos de radiação possibilitou diversas discussões, entre elas sobre as partículas alfa e beta. Experimentos realizados mostraram que as partículas beta quando submetidas a um campo magnético eram desviadas na mesma direção dos raios catódicos, assim concluem que deveriam ser partículas carregadas de cargas negativas. Becquerel mostra que essas partículas possuíam pouca massa como os elétrons dos raios catódicos, e eram arremessadas com a velocidade comparada a da luz. Já as partículas alfa, Rutherford, concluiu que elas são carregadas positivamente, pois quando em um campo elétrico são desviadas para o lado do polo negativo. Esses resultados foram publicados no artigo “*O Desvio Magnético e Elétrico dos Raios Facilmente Absorvidos do Rádio*” (MARQUES, 2006).

Ainda neste ano, Rutherford começa a trabalhar e desenvolver estudos substanciais para o desenvolvimento da radioatividade com o químico, Frederick Soddy, que também trabalhava na Universidade de McGill. Em 1902 publicaram na *Philosophical Magazine*, o artigo “*A Causa e a Natureza da Radioatividade*”, em que expõem que maior parte do elemento tório vem de outro tipo de matéria, que eles denominaram de tório X (ThX), este por sua vez possuía propriedades químicas distintas. Assim, eles mostraram que o tório se

decompunha em outros elementos, até adquirir uma forma estável, discorrendo o conceito de meia-vida¹⁸. Com nove anos de trabalhos na Universidade de McGill, Rutherford, disponibilizou aos estudos da radioatividade conceitos importantes como, a desintegração atômica dos elementos, os tipos de emissões radioativas, alfa e beta, e o conceito de meia-vida. Além de ter publicado 69 artigos, e proferidos diversas palestras, o que fez aquela Universidade ter grande prestígio na época, e assim parte de volta a Inglaterra (TRANCOSO, 2016).

Na Inglaterra assume o Laboratório de Física, da Universidade de Manchester, um laboratório bem equipado, porém Rutherford ainda prefere utilizar os equipamentos elaborados por ele seus assistentes. Lá teve como assistente, Johannes Wilhelm Geiger, um físico alemão que ficou conhecido por Hans Geiger. Ele desenvolveu o contador Geiger, um aparelho usado para detectar emissões radioativas. A princípio Rutherford continua a desenvolver suas pesquisas iniciadas em Montreal, com a parceria de Geiger escreveram vários trabalhos importantes, entre eles um publicado em 1908 na *Proceedings of the Royal Society of London*, “Um Método Elétrico de Contagem de Partículas de Substâncias Radioativas”. Em que descrevem os métodos elétrico e de cintilações para contagem de partículas alfa. Foi neste ano também que Rutherford recebeu o Prêmio Nobel de Química, por seus estudos sobre radioatividade e teoria nuclear (TRANCOSO, 2016).

No ano seguinte Rutherford tem mais um integrante para sua equipe, Ernest Marsden, um jovem inglês estudante de Física, que foi indicado a Rutherford por Geiger. De início eles estudavam o comportamento das partículas alfa e beta quando eram arremessadas sobre finíssimas lâminas de outros materiais, os quais utilizaram papel, mica, alumínio, chumbo, cobre, estanho, ferro, platina, prata, ouro e outros. Observam algo e refazem o experimento utilizando agora apenas folhas de ouro, pois conseguiam com esse metal fazer finas folhas uniformes, que tinha um poder de dispersão maior que outro material (MARQUES, 2006). Desta forma evidenciam que algumas partículas eram desviadas a um ângulo de 90°:

Em nossas experiências, em torno da metade das partículas refletidas foram de uma camada equivalente a aproximadamente 2 milímetros do ar. Se considerado a elevada velocidade e a massa das partículas alfa parece surpreendente que algumas das partículas alfa, como mostra a experiência, podem ser giradas dentro da folha de ouro de 6×10^{-5} cm em um ângulo de 90°, ou mais. Para produzir um efeito similar por um campo magnético, é necessário um intenso campo de 109 unidades absolutas (GEIGER E MARSDEN, apud MARQUES, 2006, p. 100).

¹⁸ Meia-vida é o tempo necessário para que uma substância radioativa decaia à metade de sua atividade inicial.

Naquele tempo como tinham em mente o modelo atômico sugerido por Thomson, esses desvios não seriam possíveis. Rutherford analisa os resultados de Geiger e Marsden e não concorda, pois, para aquele fato ocorrer as partículas teriam que encontrar pelo caminho algo em torno de dez mil colisões para terem aquele efeito. E, também, que o modelo de Thomson sugeria que as partículas não sofreriam nenhum desvio devido à grande carga e energia de cada uma delas. Ainda em 1908 Rutherford e Thomas Royds, publicam um artigo onde falam que a partícula alfa é um átomo de Hélio, e que os compostos radioativos, como urânio, tório e rádio, são compostos desse elemento (MARQUES, 2006).

Assim com o objetivo de tentar explicar o fato observado por Geiger e Marsden, Rutherford escreve um artigo em 1911, “O Espalhamento das Partículas alfa e beta pela Matéria e a Estrutura do Átomo”, em que “sem ter a intenção” propõem uma nova estrutura para o átomo (MARQUES, 2006).

Encerramos aqui a grandiosa participação de Rutherford na História da Radioatividade, uma vez que conceitos importantes que sabemos e utilizamos foram propostos por ele. Poderíamos continuar a falar de suas outras contribuições para a ciência, mas como são inúmeras, precisaríamos ter um trabalho exclusivo para ele, assim como para os outros personagens aqui já citados, e também para os personagens que estão presentes na História da Radioatividade que não abordamos aqui, mas que temos ciência de que fizeram trabalhos significativos. Daremos continuidade a nossa história mostrando a contribuição de Rutherford ao propor um modelo para o átomo.

4.4 RUTHERFORD E SEU MODELO ATÔMICO

Retomando a história, temos que Rutherford, não concorda com as observações de seus assistentes, sobre o experimento realizado por eles. Assim publica como já citado um artigo em 1911 em que tenta justificar as observações feitas por eles. Inicialmente Rutherford expõem que as deflexões são melhor observadas com as partículas alfa, por conta de sua energia e velocidade, e acreditava que isso ocorria porque elas se chocavam com os átomos que compunham a matéria. Thomson diante desse fato, propõem que isso ocorria porque as partículas chocavam com vários átomos, assumindo que o ângulo formado era devido a esses choques com os inúmeros átomos da matéria, uma vez que uma única colisão causava um ângulo mínimo de deflexão. Porém, Rutherford não concordava, pois isso era improvável devido a espessura do metal utilizado, e para sustentar essa teoria, de que uma partícula colidia com apenas um átomo, a teoria atômica deveria ser modificada (MARQUES, 2006).

Desta forma Rutherford se lança a estudar a natureza desses desvios, fazendo estudos complexos com cálculos matemáticos para justificar o observado por Marsden e Geiger. Ao final de seus estudos elabora o seu modelo de átomo para legitimar os seus cálculos e os desvios sofridos pelas partículas:

Considerando a evidência como um todo, parece mais simples supor que o átomo contém uma carga central distribuída através de um volume muito pequeno, e que os grandes ângulos de desvios são devido à carga central como um todo, e não a seus constituintes. Ao mesmo tempo, evidências experimentais não são precisas o bastante para negar a possibilidade que uma pequena fração da carga positiva possa ser carregada por “*satellites*” estendendo a alguma distância do centro. Evidência neste aspecto poderia ser obtida examinando se a mesma carga central é exigida para explicar uma única grande deflexão de partículas alfa e beta; para partícula alfa deve haver uma aproximação muito maior ao centro do átomo que a partícula de beta de velocidade proporcional para sofrer a mesma grande deflexão (RUTHERFORD, 1911 apud MARQUES, 2006, p. 113-114).

Percebemos que Rutherford não menciona a palavra núcleo para o centro do átomo, como também não define se esse centro possui cargas positivas ou negativas. Ainda neste artigo faz menção ao trabalho do físico japonês, Hamtaro Nagaoka, que trabalhava no Laboratório Cavendish. Nagaoka havia proposto um modelo atômico muito conhecido pelo nome de “sistema saturniano”:

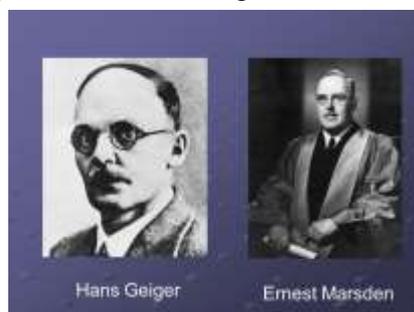
Segundo Rutherford (1911, p. 688), Nagaoka considerou matematicamente as propriedades do átomo saturniano, suposto consistir em uma massa central cercada por anéis de elétrons giratórios. Ele mostrou que esse sistema era estável se a força de atração fosse grande. Do ponto de vista de Nagaoka, a chance de uma grande deflexão estaria praticamente inalterada, se o átomo é considerado como um disco ou uma esfera (MARQUES, 2006, p. 114).

Ainda no artigo de 1911, Rutherford indica que o modelo atômico de Thomson não justifica os desvios das partículas, e que a sua proposta para um novo modelo atômico é mais aceitável diante dos fatos observados. Assim orienta Geiger e Marsden a testar sua teoria (MARQUES, 2006).

Lembrando, então, que o modelo atômico de Rutherford é do átomo com uma carga central positiva ou negativa dentro de uma esfera cercada por eletricidade de sinal oposto distribuída ao longo do resto do átomo. Esse átomo tem espaços vazios e a maior parte da sua massa encontra-se no seu centro, representando a milésima parte do seu diâmetro. Marsden e Geiger começam os experimentos para testar esta teoria, já tinham orientações de Rutherford sobre o que analisar. Os testes eram feitos a partir do experimento que ficou conhecido por

“experimento do espalhamento de partículas alfas de Rutherford”, que sabemos agora que não foi realizado por Rutherford (MARQUES, 2006).

Figura 12 - Hans Geiger e Ernest Marsden

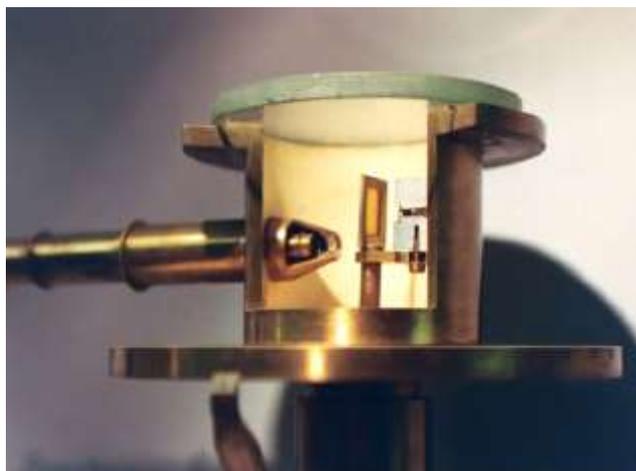


Fonte: Site Socratic¹⁹

O aparelho utilizado por Marsden e Geiger, consistia em uma caixa cilíndrica de metal espessa, onde continha uma fonte de partículas alfa, um tubo pequeno de vidro contendo uma quantidade grande de emanção de rádio, em que as partículas alfa atravessavam as paredes do tubo com facilidade. Havia um metal (ouro ou prata), que serviria para o espalhamento das partículas, um microscópio com uma tela de sulfeto de zinco presa a ele. Uma caixa foi fixada em uma plataforma circular graduada, que girava por meio de uma junta cônica hermética. Essa caixa estava fechada por um vidro opaco. Por meio de um diafragma colocado entre a fonte de partículas alfa e a placa de sulfeto de zinco, um feixe de partículas alfa se dirigia a folha de metal (ouro ou prata) girando o microscópio, as partículas alfa se espalhavam em diferentes direções, eram observadas na tela de sulfeto de zinco. Marsden e Geiger utilizaram esse experimento fazendo diversos testes, modificando a distância entre a fonte e a folha do metal. E vale ressaltar que eles levaram horas e horas para executar o mesmo, onde se revezavam nas observações (MARQUES, 2006). A partir dessas pesquisas que amplia suas discussões, Rutherford, publica um novo artigo em 1914, intitulado “A Estrutura do Átomo”, sobre a constituição do núcleo bem como sua carga.

¹⁹Disponível em: <https://socratic.org/questions/who-were-hans-geiger-and-ernest-marsden>. Acesso em 19 jul. 2019.

Figura 13 - Equipamento utilizado por Marsden e Geiger no experimento de espalhamento de partículas alfa

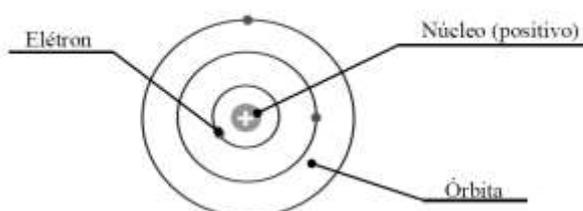


Fonte: Marques, 2006, p. 119.

Neste artigo, Rutherford já se refere ao centro do átomo de núcleo, e cita que o átomo de hélio tivesse quatro elétrons positivos e dois negativos. Elétrons positivos, porque somente em 1918 ele sugere o nome próton para a partícula com carga positiva do átomo, como também diz que ele (próton) é um átomo de hidrogênio que perdeu um elétron. Ainda neste artigo diz que as características físicas e químicas dos átomos dependiam das partículas positivas e negativas que o constituíam. O átomo proposto por Rutherford parecia perfeito se não fosse por um problema levantado em 1913 por Niels Bohr, sua estabilidade (MARQUES, 2006). Porém isso será um assunto que abordaremos adiante.

O modelo de Rutherford ficou conhecido como modelo planetário, ou do sistema solar, que popularmente é formado por um núcleo positivo, muito pequeno, com elétrons bem menores, girando ao seu redor, em órbitas circulares, que ele próprio nomeou “eletrosfera” ou “esfera de elétrons” (TRANCOSO, 2016).

Figura 14 - Modelo atômico de Rutherford



Fonte: Trancoso, 2016, p. 54.

Em 1914 retorna à sua terra natal, porém com a Primeira Guerra Mundial em ascensão volta à Inglaterra, e começa a trabalhar com métodos acústicos para detecção de submarinos. Após a Guerra, ele retoma seus estudos sobre o núcleo atômico. Em 1919 faz a conversão artificial, ou transmutação do nitrogênio em oxigênio, entre vários outros trabalhos desenvolvidos por ele, que lhe rendeu prêmios e honrarias, uma delas é o título de Lorde, assim, começou a ser chamado de Lorde Rutherford. Morreu em outubro de 1937 por complicações de uma hérnia. Como foi um grande contribuinte para a ciência tem suas cinzas enterradas na Abadia de Westminster, junto ao túmulo de Newton (MARQUES, 2006). Em 1994, foi dado ao elemento químico, de número atômico 104, o nome de Rutherfordio (Rf), em homenagem a sua representatividade no meio científico (TRANCOSO, 2016).

Percebemos ao longo dessa história que Rutherford foi um personagem que contribuiu significativamente para o desenvolvimento dos estudos da radioatividade, e que sem intenções acaba criando um modelo para o átomo, deixando também grandes estudos acerca dele.

4.4.1 Outras propostas de modelos atômicos planetários

Vimos anteriormente que o modelo atômico de Rutherford é um modelo considerado planetário porque faz uma analogia ao sistema solar. Porém antes mesmo de Rutherford alvidrar seu modelo atômico, existiam outros com essa mesma ideia. Mostraremos aqui as outras propostas desse modelo para o átomo.

Em uma época em que se dividiam opiniões sobre a existência ou não do átomo, haviam grupos que defendiam a ideia, atomistas, e grupos que a sacrificavam, antiatomistas. Surge, Jean-Baptiste Perrin um cientista francês, que ficou conhecido pela sua execução ao determinar o número de Avogadro²⁰ utilizando diversos métodos (MOURA, 2014). Ele em 1901 socializa sua ideia de como seria o átomo:

Cada átomo será constituído, de uma parte, por uma ou várias massas muito carregadas com eletricidade positiva, como sóis positivos cujas cargas serão bem superiores àquelas de um corpúsculo, e, de outro lado, por uma multiplicidade de corpúsculos, como pequenos planetas negativos, [...] com a carga total negativa exatamente equivalente à carga positiva total, de tal forma que o átomo é eletricamente neutro (PERRIN apud KRAGH, 2010 apud MOURA, 2014, p. 50).

²⁰ A constante ou número de Avogadro é definida como sendo o número de átomos por mol de uma determinada substância, em que o mol é uma das sete unidades básicas do Sistema Internacional de Unidades. A constante de Avogadro tem dimensões de mol recíprocas e seu valor é igual a $6,022\ 140\ 76 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

Assim consideramos que ele tenha sido o primeiro modelo de átomo planetário com essa ideia de um núcleo, cargas positivas e negativas, em um contexto no qual os estudos em evidências eram aqueles que usavam a ampola de Crookes. Ele dá ênfase ao seu modelo explicando os tão famosos raios catódicos da época, como também a radioatividade e uma possível aplicação na espectroscopia. Acredita-se que esse modelo não passou apenas de um esboço, pois Perrin não se habilitou a calcular as configurações de seus pequenos planetas negativos, nem como a estabilidade de suas orbitas. Mesmo não aprofundando seus estudos em relação ao seu modelo atômico, Perrin se dedica a outros trabalhos que lhe rende o Prêmio Nobel de Física em 1926, sobre os movimentos browniano²¹ (MOURA, 2014).

Figura 15 - Jean-Baptiste Perrin



Fonte: Site Pinterest.²²

O próximo, cronologicamente, que aparece sugerindo um modelo planetário é o japonês, Hamtaro Nagaoka, que se formou em Física na Universidade de Tóquio, como também se doutorou na mesma. Nagaoka em sua vida acadêmica sempre teve professores europeus, decorrente da política científica japonesa daquela época. Sendo assim, foi para a Alemanha para fazer o seu pós-doutorado (MOURA, 2014).

De volta ao Japão, no mesmo ano em que J.J. Thomson sugere seu modelo atômico, Nagaoka, também propõe o seu modelo atômico saturniano:

Consiste de um grande número de partículas de massa igual arranjadas em um círculo a intervalos angulares iguais e repelindo umas às outras com forças inversamente proporcionais ao quadrado da distância; no centro do círculo, há uma partícula de grande massa atraindo as outras partículas de acordo com a mesma lei de força. Se estas partículas mantêm-se girando em torno do centro atrativo com aproximadamente a mesma velocidade, o sistema se manterá geralmente estável, para pequenas perturbações, desde que a força de atração seja suficientemente grande (NAGAOKA apud KRAGH, 2010 apud MOURA, 2014, p. 51-52).

²¹ Movimento Browniano é o movimento aleatório das partículas suspensas num fluido, resultante da sua colisão com átomos rápidos ou moléculas no gás ou líquido.

²² Disponível em: <https://br.pinterest.com/pin/453034043739454292/>. Acesso em: 20 jul. 2019.

Nagaoka ao sugerir o seu modelo tem como base os estudos de Maxwell, de 1856 sobre a estabilidade mecânica dos satélites presentes nos anéis de Saturno, por isso o seu modelo é conhecido como modelo atômico saturniano. Tinha como objetivo explicar as frequências de bandas espectrais de espectros de emissão tão conhecidos na época. Ele também acreditava que esse modelo teria implicações na radioatividade, luminescência, ressonância, afinidade química e valência, eletrólise e muitos outros temas ligados a átomos e moléculas. Nagaoka foi fortemente criticado por vários cientistas da época, que afirmavam que seu modelo era instável para várias aplicações, como também foi censurado por Thomson. Diante dos fatos Nagaoka abandona em 1908 o seu modelo atômico deixando-o cair no esquecimento (MOURA, 2014).

Figura 16 - Hamtaro Nagaoka



Fonte: Site wikipedia.²³

John William Nicholson, será o próximo personagem desta história. Cientista inglês que se dedicou a estudar física, matemática e astroquímica. Seu modelo foi disposto em 1911, com referência aos modelos atômicos de Thomson e Nagaoka. Pode ainda ser considerado como uma adaptação do modelo de Thomson, em que tem uma carga positiva no centro com elétrons em órbitas, tornando-se assim, também, um modelo planetário. Nicholson diferente de Rutherford na época utiliza o termo núcleo²⁴ para o seu modelo. Essa proposta para o átomo tem grande visibilidade pois é o primeiro a utilizar da teoria de Max Planck, sobre a quantização de energia, mesmo tendo seus cálculos baseados em leis clássicas. E, também, porque ele consegue prever com o seu modelo a próxima linha espectral que faltava em suas análises. Apesar de ser citado por Bohr em um de seus estudos, o modelo atômico de Nicholson não tem muita evidência na época (MOURA, 2014).

²³ Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Hamtaro_Nagaoka. Acesso em: 20 jul. 2019.

²⁴ Nicholson não é o idealizador da palavra núcleo.

4.5 OS ESTUDOS DE BOHR ACERCA DO ÁTOMO

Filho do médico, e professor da Universidade de Copenhague, Christian Harald Lauritz Peter Emil Bohr, e de Ellen Adler Bohr, originária de uma rica família judia, Niels Henrik David Bohr, nasceu em 7 de outubro de 1885, em Copenhague, na Dinamarca. Vindo de uma família unida, intelectual e com influências, Bohr e seu irmão sempre foram influenciados a estudar. O irmão de Bohr, Harald, que ele tinha como melhor amigo, sempre teve mais destaque nos estudos, tendo se tornado um matemático que contribuiu de forma significativa para a área. Bohr, seu irmão e seu pai eram amantes do futebol, tanto que ambos os irmãos se tornaram jogadores de futebol de um time fundado por universitários (TRANCOSO, 2016).

Bohr, iniciou a escola secundária em *Grammelholms Latim og Realskole*, no ano de 1891, e em 1897 foi estudar no *Sortedam Gymnasium*. Em 1903 inicia o curso de Física na Universidade de Copenhague, onde teve como professor e depois orientador, Christian Christiansen, físico de grande importância, que o influenciou em sua vida acadêmica (TRANCOSO, 2016). O primeiro trabalho de Bohr na Universidade foi a precisa determinação da tensão superficial da água, o que lhe rendeu uma medalha de ouro na Academia de Ciências (LOPES, 2009). Ele concluiu a graduação, o mestrado em 1909, e o doutorado com a tese sobre a Teoria Elétrica dos Metais, em 1911, na Universidade de Copenhague. Ainda em 1911, ele recebeu uma bolsa de estudos da Fundação Carlsberg²⁵ que apoiava estudos científicos, ajudando nas despesas de muitos estudantes daquela cidade. Com essa ajuda foi trabalhar no Laboratório de Cavendish, sobre orientação de J.J. Thomson (TRANCOSO, 2016).

Figura 17 - Niels Bohr



Fonte: Trancoso, 2016. p. 58.

²⁵Essa fundação foi criada pelo dinamarquês, filantropo Jacob Christian Jacobsen, que fundou também a Cervejaria Carlsberg.

Ao chegar em Cambridge Bohr, muito feliz em trabalhar com Thomson, a quem ele tinha como referência, não é muito bem recebido por ele. Isso se deve talvez, ao fato de Bohr ter exposto inicialmente que não concordava totalmente com o modelo atômico proposto por ele, e assim, ele não demonstra interesse nas teorias de Bohr (TRANCOSO, 2016). Seu trabalho no Laboratório de Cavendish, lhe rendeu várias oportunidades de conhecer e ter contato com nomes importantes da ciência. Um deles foi Rutherford, com quem teve seu primeiro contato em um encontro na casa da Professora Lorrain Smith, que havia sido aluna do pai de Bohr e naquela época trabalhava na Universidade de Manchester. Bohr reencontra Rutherford no jantar anual do Laboratório de Cavendish, e lá surge o convite para ir fazer um curso com Rutherford e seus assistentes em Manchester (LOPES, 2009).

Em março de 1912, Bohr começa a trabalhar com Rutherford, muito feliz pois o admirava e haviam se tornado grandes amigos. Lá efetivou um trabalho envolvendo absorção de partículas alfa em metais, estudou mais sobre radioatividade e sobre o modelo atômico planetário de Rutherford (TRANCOSO, 2016). Com seus estudos sobre o átomo escreve o artigo, sobre a Constituição de Átomos e Moléculas, que foi publicado na *Philosophical Magazine*, no qual mostra as dificuldades eletrostáticas do modelo proposto por Rutherford²⁶ (MARQUES, 2006). O problema, de acordo com Bohr, estava na teoria do eletromagnetismo clássico, em que toda partícula com carga elétrica submetida a uma aceleração, emite uma onda eletromagnética. Desta forma, o elétron com seu movimento ao redor do núcleo estaria sujeito a uma aceleração centrípeta, que perderia energia e possivelmente iria cair no núcleo do átomo (TRANCOSO, 2016). Bohr para tentar explicar a instabilidade do átomo se propõem a estudar diversos temas diferentes, no qual acabará criando o seu modelo atômico.

Um dos temas que Bohr estudou foi o espectro²⁷ do átomo de hidrogênio. Esse espectro foi estudado anteriormente pelo sueco, Carl Wilhelm Scheele, em 1777, que visualizou que as diferentes cores que compõe o espectro da luz solar tinham energias diferentes. Ele percebe isso quando coloca amostras de cloreto de prata em cada uma das diversas regiões do espectro obtido com um prisma. Observando o escurecimento intensivo do material próximo a extremidade violeta, significando que a luz violeta era mais energética do espectro, pois acelerava a reação (FILGUEIRAS, 1996). Esses espectros foram melhor compreendidos quando o químico Robert Wilhelm Bunsen, criador do Bico de Bunsen²⁸, se

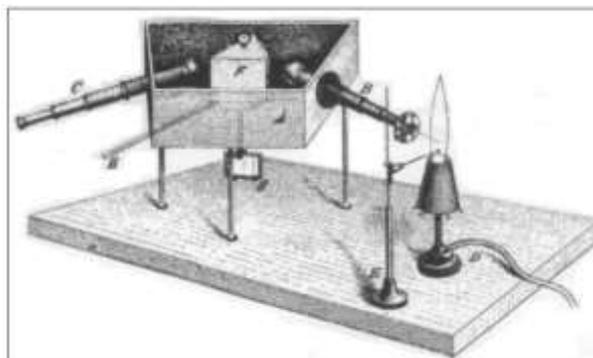
²⁶ Rutherford tinha conhecimento das críticas de Bohr a seu átomo, porém ele não concordava.

²⁷ O espectro eletromagnético é o intervalo completo de todas as possíveis frequências da radiação eletromagnética. O espectro eletromagnético se estende desde as ondas de baixa frequência, ondas de rádio, até as de maior frequência como as da radiação gama.

²⁸ Queimador de gás utilizados nos laboratórios de química.

juntou em 1859 ao físico, Gustav Robert Kirchhoff, para a criação do espectroscópio, e desenvolveram a técnica conhecida como espectroscopia²⁹. Ambos inicialmente tinham como objetivo compreender os espectros emitidos pelos diferentes elementos químicos, para isso expuseram diversos materiais a chama do bico de Bunsen, em que as altas temperaturas emitiam um espectro característico, que era analisado no espectroscópico (PINHEIRO et al., 2011, apud TRANCOSO, 2016).

Figura 18 - Espectroscópio



Fonte: Filgueiras, 1996, p. 23.

Já o espectro do átomo de hidrogênio foi estudado pelo físico suíço, Johann Balmer, que em 1885, propõe uma equação matemática que consegue identificar por que as linhas do espectro do hidrogênio apareciam em uma série de comprimentos de onda específicos. Essa série elaborada por Balmer foi aperfeiçoada em 1890, por Johannes Robert Rydberg, físico sueco, que possibilitou calcular os comprimentos de onda de todas as linhas espectrais do hidrogênio em outras regiões do espectro que não fosse a região do visível (RONAN, 2001 apud TRANCOSO, 2016).

Outra teoria de grande importância para Bohr propor o seu modelo atômico, foi elaborado pelo físico alemão, Max Planck, que em, 1900, propõe que a radiação não é emitida de forma contínua, mas sim em discretos pacotes, que ele chamou de “*quanta*” de energia, sendo o número de *quanta* a quantidade total de energia. Outro alemão de grande relevância, é o também físico Albert Einstein, que utiliza da teoria de Planck, em 1905, para explicar outro fenômeno em estudo na época, o efeito fotoelétrico. No qual pode-se observar a emissão de elétrons a partir de uma placa metálica na incidência de luz (TRANCOSO, 2016).

²⁹Técnica de análises de substâncias químicas, que possibilitou naquela época identificar diversos novos elementos químicos.

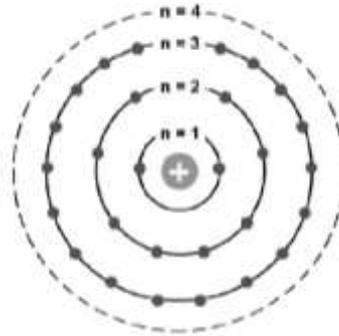
Em seu primeiro artigo, Bohr critica o modelo atômico de Rutherford. Logo após ele escreve outros dois, também publicados na mesma revista em meses diferentes. Assim, esses três artigos ficam conhecidos como “Trilogia de Bohr”. No primeiro artigo ele apresenta o seu modelo atômico, exemplificando-o com o átomo de hidrogênio. No segundo amplia seus conceitos para átomos com mais de um elétron. E no terceiro vai além comentando sobre moléculas e ligações entre os átomos (TRANCOSO, 2016). No último artigo aparece também o que conhecemos como “Postulado de Bohr”:

1. Um sistema atômico emite (ou absorve) energia apenas quando passa de um estado estacionário (estado de energia fixa) a outro.
2. Nos estados estacionários, o equilíbrio dinâmico de um sistema é regido pelas leis da mecânica clássica. Essas leis não são válidas nas transições entre diferentes estados.
3. A radiação emitida durante a transição de um sistema de um estado estacionário a outro é homogênea. A relação entre a frequência, ν , e a energia emitida, E , é $E = h\nu$, onde h ³⁰ é a constante de Planck.
4. Os diferentes estados estacionários de um sistema simples, como o de um elétron que gira em torno de um núcleo positivo, são determinados pela condição de que a razão entre a energia total emitida na formação da configuração e a frequência de revolução do elétron seja um múltiplo inteiro de $h/2$. Admitindo que a órbita do elétron é circular, essa hipótese equivale a supor que o momento angular do elétron em torno do núcleo é um múltiplo inteiro de $h/2\pi$.
5. O estado permanente de um sistema atômico, isto é, o estado no qual a energia emitida é máxima, é determinado pela condição de que o momento angular de cada elétron em torno do centro de sua órbita seja igual a $h/2\pi$ (PEDUZZI, 2008 apud TRANCOSO, 2016, p. 66).

O modelo de Bohr ficou conhecido como, Rutherford-Bohr, pois ele não considerou totalmente errado o modelo atômico planetário proposto por seu amigo. Desta forma mantém as principais características, como elétrons em órbitas circulares ao redor do núcleo positivo, mas se propõe a resolver a questão da instabilidade gerada no modelo planetário de Rutherford (TRANCOSO, 2016).

³⁰ A constante h , conhecida como constante de Planck, tem valor de $6,63 \times 10^{-34}$ joule vezes segundo (J s).

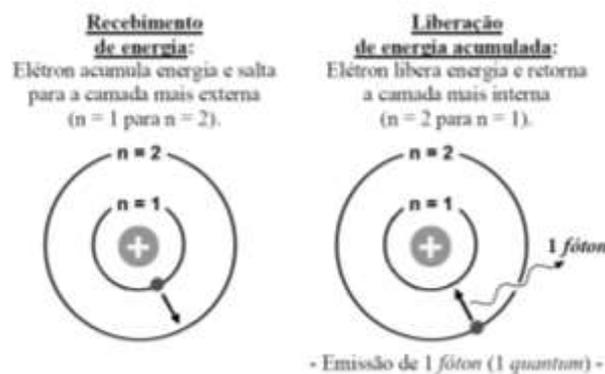
Figura 19 - Modelo atômico Rutherford-Bohr



Fonte: Trancoso, 2016, p. 71.

O modelo atômico de Bohr, relaciona a distribuição dos elétrons na eletrosfera com a sua quantidade de energia. Cada órbita era identificada por um número, que Bohr chamou de “*número quântico n principal*”³¹. Ainda determina que essas órbitas³² são específicas e tem energias determinadas, e que o elétron não emite energia quando está na mesma órbita. Porém, se o átomo receber energia por aquecimento ou radiação eletromagnética, cada elétron acumula uma quantidade de energia equivalente a 1 *quantum*³³, saltando assim para uma órbita mais externa. Em frações de segundos, o mesmo elétron retorna para sua órbita de origem, liberando um valor igual de energia que estava acumulada (1 *quantum*), em forma de luz, 1 *fóton* (TRANCOSO, 2016).

Figura 20 - Salto quântico



Fonte: Trancoso, 2016, p. 68.

³¹O número quântico principal (n) serve para identificar a órbita e a energia do elétron, a órbita particular depende do valor de n , em que, n , é sempre um número inteiro.

³²As órbitas podem ser designadas também de camadas eletrônicas, ou níveis de energia.

³³Quantum é o singular de quanta.

Bohr desta forma consegue explicar a origem da luz emitida quando os materiais são aquecidos, ou os espectros já conhecidos naquela época e ainda sem explicação. Essa luz emitida na região do visível pode ser testada experimentalmente em um experimento chamando teste de chama³⁴, que de forma simplificada reproduz o experimento realizado por Bussen e Kirchoff já mencionado. O átomo de Bohr foi muito criticado, pois era aplicável apenas ao átomo de hidrogênio, e ao íon do hélio. Porém esse mesmo modelo atômico traz um divisor de águas entre a física clássica, na qual a energia poderia ser transferida de forma contínua e a física quântica, que prevê apenas trocas de quantidades discretas de energia, que era um paradigma³⁵ ainda em consolidação nessa época. Seu modelo também contribuiu para diversos outros estudos e evidências, como o aperfeiçoamento da tabela periódica (TRANCOSO, 2016).

Uma modificação do modelo de Bohr nessa época é proposta pelo físico alemão, Arnold Johannes Wilhelm Sommerfeld, em 1916, que sugeriu que o átomo não teria somente órbitas circulares, como postulou Bohr, mas também, órbitas elípticas. Propondo a existência de um novo número quântico, que ele chamou de “*número quântico secundário (l)*”, que seriam compostos por subníveis s, p, d, f, em que as letras indicam respectivamente, os nomes: sharp, principal, difusse e fundamental. (SANTOS, 2011 apud TRANCOSO, 2016).

Com a consolidação da Mecânica Quântica como paradigma em meados dos anos 1920, o modelo atômico de Bohr acaba sendo aperfeiçoado com outros elementos dessa teoria com a dualidade onda-partícula e o princípio da incerteza. Mas não iremos avançar nessa discussão, pois não será necessária para nossa proposta.

Bohr casou-se, em 1912, com Margrethe Norlund, com quem teve seis filhos. De 1914 a 1916 trabalhou junto com Rutherford em Manchester. Em 1916 volta a Copenhague, com o avanço da Primeira Guerra. Recebe vários prêmios pelos seus estudos, entre eles em 1922, o Prêmio Nobel de Física, pelas pesquisas sobre a estrutura do átomo e a radiação emitida por eles. E em 1930 ganhou a medalha Max Planck³⁶, devido aos trabalhos realizados em física teórica, no ano anterior Planck e Einstein também ganharam essa medalha. Já em 1933, juntamente com o seu aluno John Archibald Wheeler, estudam a teoria da fissão do urânio-

³⁴Nesse experimento a substância é aquecida e emite uma luz de cor característica do elemento químico.

³⁵Na perspectiva de Thomas Kuhn, podemos dizer que um paradigma é um conceito de conhecimentos considerados como válidos numa dada época, por uma dada comunidade, que indica os princípios que orientam a prática e o fazer científico dessa comunidade.

³⁶Medalha concedida anualmente pela Sociedade Alemã de Física, àqueles que desenvolveram feitos considerados extraordinário para a física teórica. Teve início em 1929, quando o próprio Max Planck foi premiado juntamente com Albert Einstein (TRANCOSO, 2016).

235. Em 1937 perde seu grande amigo e companheiro de trabalho, Rutherford, quem Bohr fez questão de homenagear com um discurso (TRANCOSO, 2016).

Era 1940 quando Adolf Hitler invade a Dinamarca, com a Segunda Guerra em ascensão. Bohr ajuda cientistas perseguidos a fugir. E logo em, 1943, também se sente pressionado a sair de seu país devido a sua origem judaica, indo para a Inglaterra com sua família e depois seguindo para os Estados Unidos, como outros físicos judeus já haviam feito. Lá cientistas estavam trabalhando no Projeto Manhattan, para a construção da bomba atômica. Bohr os físicos Otto Robert Frisch, Klaus Emil Julius Fuchs, Rudolph Ernst Peierls e, Ernest William Titterton se juntam a outros cientistas, para continuar a desenvolver a bomba atômica, no Laboratório de Energia Atômica de Los Alamos, no Novo México, Estados Unidos. Esse laboratório era chefiado por um ex-assistente de Bohr, Julius Robert Oppenheimer, onde teve também o privilégio de ter o seu filho, Aage, como seu assistente. Bohr contribuiu muito pouco na elaboração da bomba, pois ele e os outros cientistas defendiam a construção da bomba apenas para conter a expansão dos nazistas. Ao perceber o perigo que a bomba causaria a humanidade, em 1944, ele pede ao presidente dos Estados Unidos o cancelamento do Projeto, mas o pedido é negado. Assim, Bohr abandona o projeto, e começa a defender a utilização da energia nuclear para fins pacíficos (TRANCOSO, 2016).

Com o término da Guerra, Bohr, volta a Dinamarca, se aposenta da Universidade em 1955. Ele foi considerado um dos maiores físicos do Século XX, não somente pelas pesquisas que desenvolveu, mas principalmente por ser crítico, incentivar a pesquisa por onde ia, e por lutar contra o uso de armas nucleares. Ele era referência de muitos cientistas, um deles, o brasileiro e físico Cesare Mansueto Giulio Lattes, co-descobridor do meson pí. Bohr morreu em 18 de novembro de 1962, de um ataque cardíaco em sua casa. Em 1976, foi sintetizado por um grupo de cientistas soviéticos, o elemento químico de número atômico 107, que foi nomeado de Bóhrrio (Bh) em sua homenagem (TRANCOSO, 2016).

Vimos que Bohr foi um grande físico, e que influenciou pessoas a estudar diferentes assuntos a partir das suas propostas e contribuições para a ciência, o nosso próximo personagem também foi instigado por ele, e veremos qual foi sua colaboração para a ciência.

4.6 UMA NOVA PARTÍCULA PARA O ÁTOMO

Em Cheshire, Inglaterra, nasceu James Chadwick, em 20 de outubro de 1891. Veio de uma família simples, e sem condições financeiras. Era filho único de um gerente de lavanderia, John Joseph Chadwick, com a empregada doméstica, Anne Mary Knowles.

Chadwick, desde criança, sempre gostou muito de matemática e física. Sendo assim, aos 11 anos recebeu uma bolsa de estudos em um colégio tradicional e renomado em sua cidade, mas não conseguiu estudar lá pois seus pais não puderam pagar uma taxa de entrada solicitada. Assim ele continua seus estudos na Escola Secundária de Manchester. E em 1908 entrou para a Universidade de Manchester. A princípio, sua vontade era fazer matemática, mas na entrevista de ingresso para a Universidade foi entrevistado por um físico, que “deduziu” que ele queria cursar física. Chadwick era muito tímido e não teve coragem de expor sua vontade em cursar matemática (TRANCOSO, 2016).

Figura 21 - James Chadwick



Fonte: TRANCOSO, 2016, p. 80.

Assim começa a estudar física, e ainda naquele ano estuda radioatividade no Laboratório de Rutherford, sendo supervisionado pelo mesmo, que o influenciou cientificamente. Em 1911, Chadwick, se forma com grandes honrarias devido ao seu bom desempenho acadêmico e continuou a trabalhar com Rutherford até 1913. Neste mesmo ano ganha uma bolsa de estudo para o *Physical-Technical Reichsanstalt* (Instituto Imperial de Física Técnica), Berlim. Lá trabalhou com Hans Geiger, no qual o auxiliou nos trabalhos de bombardeamento de elementos químicos por partículas alfa. Tal bombardeamento tinha o objetivo de determinar a carga positiva dos núcleos a partir do espalhamento dessas partículas, seguindo assim com os trabalhos já realizados por Rutherford. Contudo, os resultados não eram compatíveis com a consideração de que o átomo fosse constituído apenas de prótons e elétrons, como se conhecia na época. Foi a partir destes estudos que Chadwick passou a considerar que existia uma outra partícula no átomo sem carga, o que poderia explicar os resultados por eles obtidos (TRANCOSO, 2016).

Chadwick tem seus estudos interrompidos em 1914, devido a Primeira Guerra Mundial. Foi preso junto com outros cientistas e passaram um bom tempo como prisioneiros

em uma cidade nos arredores de Berlim. Por sorte, aqueles que estavam presos juntos com ele tiveram liberdade para continuar seus estudos. Assim, juntamente com seu companheiro de prisão, Charles Drummond Ellis, físico inglês, construíram um laboratório em um estabulo, onde realizavam seus experimentos. Ao término da Guerra retornou ao laboratório de Rutherford, iniciando seus estudos para sua tese de doutorado. Junto a Rutherford produziram a desintegração de elementos leves, por meio do bombardeamento com partículas alfa. Em 1921 recebeu o título de doutor com a tese sobre números atômicos e forças nucleares. Quatro anos depois se casa com Aileen Stewart-Brown, com quem teve duas filhas gêmeas em 1927. Em 1930 publica um livro junto com Rutherford e Ellis, *Radiations from Radioactive Substances* (Radiações provenientes das substâncias radioativas, em tradução livre). Chadwick dedica seus estudos por um tempo a tentar descobrir a terceira partícula do átomo, mas ele não era o único nessa tentativa naquela época (TRANCOSO, 2016).

Para evidenciar a nova partícula do átomo, Chadwick se baseia em estudos de outros cientistas. Entre eles estão os físicos alemães, Walther Wilhelm Georg Bothe e Herbert Becker, que estudavam o bombardeamento de vários elementos, como lítio (Li), berílio (Be), carbono (C) e outros, com partículas alfa emitidas por uma fonte de polônio (Po). Nesses testes eles observam que existe uma radiação neutra muito penetrante, e achavam que eram raios gama (γ). Mas algo ainda os intrigavam, os fótons produzidos continham uma energia muito maior do que aquelas que vinham direto da fonte radioativa (PEDUZZI, 2010 apud TRANCOSO, 2016). Então o casal de físicos franceses, Jean Frédéric Joliot e Irène Curie³⁷, o casal Joliot - Curie, executam o experimento de Bothe e Becker, utilizando uma fonte de partículas alfa com maior intensidade, e colocam também um pedaço de parafina após a placa de berílio. Com isso concluem que a radiação era realmente neutra, raios gama, como já havia sido dito por Bothe e Becker, porém afirmam que essa radiação era capaz de arrancar os prótons da parafina (PINHEIRO et al., 2011 apud TRANCOSO, 2016).

Chadwick não concordava com os resultados desses cientistas, e passa a discutir com Rutherford o experimento realizado por eles. Ambos chegam a conclusão de era improvável que aquela radiação fosse a gama, e que muito menos tivesse energia para arrancar um próton da parafina. Chadwick pensa na possibilidade dessa partícula que foi arrancada da parafina ser uma partícula sem carga elétrica. Assim com o intuito de verificar sua hipótese ele modifica os experimentos realizados por Bothe e Becker e pelo casal Joliot – Curie, introduzindo ao experimento uma câmara de ionização, para detectar o tipo de partícula emitida, e um

³⁷ Ela era filha de Pierre e Marie Curie, iniciou suas pesquisas junto com sua mãe.

oscilógrafo, para medir a quantidade de deflexões, decorrentes dos pulsos produzidos na emissão dessas partículas. Esses dispositivos foram colocados depois do alvo de parafina, como no esquema mostrado na figura 22 (PINHEIRO et al., 2011 apud TRANCOSO, 2016). Monta então sua aparelhagem e começa a fazer suas observações, primeiro ele reproduz o teste feito por Bothe e Becker, e percebe que a radiação era de fato muito penetrante (TRANCOSO, 2016).

Figura 22 - Experimento de Chadwick sem a parafina



Fonte: Trancoso, 2016, p. 84.

Em um segundo momento, ele realiza o experimento feito pelo casal Joliot – Curie, e observa que o oscilógrafo aumenta seis vezes mais comparado ao experimento anterior. Deduz que a radiação desconhecida emitida pelo berílio, produzia um outro tipo de radiação quando atravessava a parafina. Em testes posteriores ele confirma que essa outra radiação era composta por prótons. Ao estudar a energia desses prótons, ele observa que eles não poderiam ser produzidos pelos raios gama. Assim os prótons arrancados da parafina seriam hidrogênio ionizados, pois a parafina é um tipo de hidrocarboneto, composto orgânico que contém muitos hidrogênios (TRANCOSO, 2016).

Figura 23 - Experimento de Chadwick com a parafina



Fonte: TRANCOSO, 2016, p. 84.

[...] propôs que essa radiação fosse composta por partículas neutras de peso semelhante ao do próton. Para verificar essa hipótese, Chadwick usou esta radiação neutra para bombardear vários gases diferentes e, medindo a energia dos átomos desses gases após a interação, calculou a massa dessas partículas e obteve um valor um pouco maior que a massa do próton [...] (PINHEIRO, 2011 apud TRANCOSO, 2016, p. 85).

Com isso, ele elucidou a reação de transmutação do berílio, em que ocorreu a formação do carbono e de uma partícula neutra.

[...] Chadwick chamou essa nova partícula de nêutron. As propriedades atribuídas ao nêutron por Chadwick justificam-se na medida em que: a) não tendo carga, o nêutron não interage com os campos elétricos da matéria. Sujeito apenas a ação de forças nucleares de curto alcance (ainda não conhecidas), apresenta uma grande capacidade de penetração, o que está de acordo com a experiência; b) possuindo massa bastante próxima a do próton, a colisão de um nêutron com um próton em repouso resulta em uma transferência máxima de energia para o próton (PEDUZZI, 2010 apud TRANCOSO, 2016, p. 86).

Publicou em 27 de fevereiro um artigo de meia página na *Nature*, com o título de *Possible Existence Of Neutron* (Possível Existência do Nêutron, em tradução livre), em 1935 ganha o Prêmio Nobel de Física, por esse trabalho. A evidência do nêutron abriu possibilidades para a discussão de diversos assuntos entre eles a composição do núcleo do átomo, composto por prótons, e nêutrons, o que gerou uma linha de pesquisa específica (TRANCOSO, 2016).

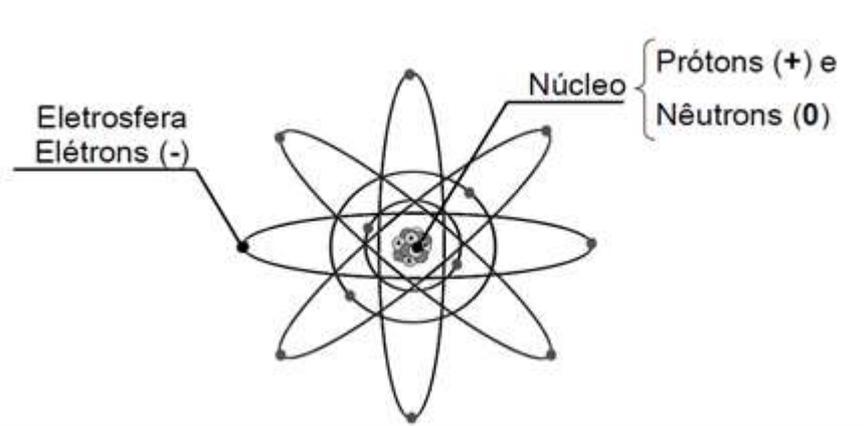
Em 1935, Chadwick foi trabalhar na Universidade de Liverpool, e fazia parte de um grupo de pesquisa de física nuclear, que precisava de um acelerador de partículas, cíclotron. Como a Universidade não tinha dinheiro, Chadwick usa parte do dinheiro que ganhou com o Nobel para comprá-lo. Com a Segunda Guerra Mundial acontecendo, em 1939, o governo britânico, procura-o para pedir informações sobre a construção de uma arma nuclear. Chadwick, informa que seria um trabalho difícil, porém não impossível, assim assume a liderança de um grupo de cientistas, *The Maud Committee - Military Application of Uranium Detonation* (Comitê MAUD - Aplicação Militar de Detonação do Urânio, em tradução livre), para desenvolver a bomba. O grupo teve muita dificuldade para a elaboração do projeto, pois o bairro onde estava localizada a Universidade de Liverpool foi atacado diversas vezes pelo exército alemão. Em 1941, o grupo de Chadwick descobre a quantidade necessária de urânio-235 para desencadear o processo de reação em cadeia, assim escreve um relatório e envia ao presidente dos Estados Unidos. Em 1944, tendo ciência do *Projeto Manhattan*, ele se muda para Los Alamos para ajudar na construção da bomba atômica. Participou também do teste com a bomba Trinity, uma das que foi desenvolvida nesse projeto, e da reunião que os governos americano e britânico decidiram bombardear o Japão (TRANCOSO, 2016).

Com o fim da Guerra, Chadwick volta a Universidade de Liverpool e para suas pesquisas sobre radioatividade. Em 1945 ganha o título de cavaleiro do governo britânico, por suas feitorias na guerra, passando a ser conhecido como Sir James Chadwick. Em 1948 deixa a Universidade de Liverpool e vai para a Universidade de Cambridge. Recebe vários prêmio e títulos, entre eles o título de Doutor Honoris Causa de várias Universidades da Inglaterra. Se aposenta em 1958, e foi com sua mulher morar em uma casa no campo, onde levou por muito

tempo uma vida simples de camponês. Retorna para a cidade em 1969 para ficar mais próximo de suas filhas. Morreu em 24 de julho de 1974, com 82 anos por complicações da idade avançada (TRANCOSO, 2016).

O átomo após a descoberta dos nêutrons e das proposições de Sommerfeld, que complementaram o modelo atômico de Bohr, passa a ser considerado com um núcleo, e uma eletrosfera de órbitas circulares e elípticas (TRANCOSO, 2016).

Figura 24 - Átomo com prótons, nêutrons e elétrons



Fonte: TRANCOSO, 2016, p. 88.

Finalizamos nossa envolvente história do átomo e da radioatividade, em que conhecemos um pouco da vida, dos fatores sociais, políticos e econômicos que esses personagens passaram na época em que viveram. E que de certa forma os influenciaram em muitos aspectos, dificultando ou facilitando suas contribuições para a ciência. Percebemos também que a história do átomo se logra com a utilização da radioatividade, o que nos faz acreditar que essas histórias (átomo e radioatividade) estão mais do que interligadas, estão entrelaçadas.

5 METODOLOGIA

O trabalho desenvolvido por meio desta pesquisa tem caráter qualitativo, uma vez que possui as características básicas que constituem esse tipo de pesquisa. Que de acordo com as ideias de Bogdan e Biklen (1982) e da releitura desses autores por Lüdke e André (1986) são, “a pesquisa qualitativa envolve a obtenção de dados descritivos, obtidos no contexto direto do pesquisador com a situação estudada, enfatiza mais o processo do que o produto e se preocupa em retratar a perspectiva dos participantes” (LÜDKE E ANDRÉ, 1986, p. 13).

Assim, como a nossa pesquisa ocorre na escola onde trabalha a pesquisadora, ela terá um papel ativo e decisivo na construção dos dados, pois terá como sujeitos da pesquisa seus alunos. A forma como nossa pesquisa se desenvolve é caracterizada como um estudo de caso, em que podemos identificar, de acordo com Lüdke e André (1986), os seguintes elementos:

Os estudos de casos enfatizam a interpretação em contexto; buscam retratar a realidade de forma completa e profunda; usam uma variedade de fontes de informações; e utilizam uma linguagem e uma forma mais acessível do que os outros relatórios de pesquisa (LÜDKE E ANDRÉ, 1986, p. 18-20).

Um instrumento fundamental na nossa pesquisa para a construção dos nossos dados é a observação, pois será a partir dela que iremos ter condições de analisar e discutir o estudo aqui proposto. Encontramos respaldo em Lüdke e André (1982), quando consideramos que a pesquisadora atuou como observadora participante já que nossa identidade e nossos objetivos foram revelados ao grupo pesquisado (alunos). Quando dessa posição, podemos ter diversas informações do grupo, que serão quem nos permitirá o que poderá ser tornado público ou não em nossa pesquisa. Alguns critérios para desenvolver essa tarefa de observação são sistematizados por Ludke e André (1986), a partir das considerações de outros autores, são: “descrição dos sujeitos; reconstrução de diálogos; descrição do local, eventos especiais e das atividades; e os comportamentos do observador” (LÜDKE E ANDRÉ, 1986, p. 30-21).

Neste papel de observador participante nossos dados se fazem dos registros da pesquisadora e da análise documental a partir dos documentos produzidos pelos alunos durante a proposta de ensino. De forma específica o material a ser analisado são 5 atividades realizadas pelos alunos, que pode ser visualizado no apêndice A, página 116, assim como uma avaliação bimestral e um questionário, que se encontram no apêndice C, página 196, que foi aplicado ao final da sequência de ensino. Todas essas atividades estão disponíveis nos apêndices dessa dissertação e comporão o nosso produto educacional.

A organização e análise dos nossos dados se dará conforme Lüdke e André sugerem:

Depois de organizar os dados, num processo de inúmeras leituras e releituras, o pesquisador pode voltar a examiná-los para tentar detectar temas e temáticas mais frequentes. Esse procedimento, essencialmente indutivo, vai culminar na construção de categorias ou tipologias (LÜDKE E ANDRÉ, 1986, p. 42).

Desta maneira nossos dados foram separados em categorias prévias tanto para as respostas dadas pelos alunos, que poderiam ser “adequadas”, “parcialmente adequadas” e “não adequadas”, quanto para a natureza das questões presentes nas atividades que foram classificadas como questões sobre o “contexto histórico”, o “contexto científico” e as que envolviam ambos, os “contextos histórico e científico. E como orienta Guba e Lincoln *apud* Lüdke e André (1986), “baseado naquilo que já se obteve, o pesquisador volta a examinar o material no intuito de aumentar o seu conhecimento, descobrir novos ângulos e aprofundar sua visão” (LÜDKE E ANDRÉ, 1986, p. 43). E assim o fizemos como pode ser visualizado no capítulo 6 de apresentação e discussão dos dados.

Para além da discussão sobre nosso referencial metodológico, cabe também indicar que a nossa pesquisa se evolui por etapas que são descritas a seguir:

Etapa 1: Analisar e revisar os documentos oficiais e diretrizes curriculares, livros didáticos, e artigos de Ensino de Química/Ciências sobre os temas dessa pesquisa. Essa etapa teve como objetivo nos fornecer subsídios para construirmos a proposta de ensino.

Etapa 2: Selecionar atividades complementares como, experimentos, simulações, textos de apoio, vídeos entre outros, sobre essa temática que podiam subsidiar a construção da sequência de ensino. Tais atividades foram escolhidas a partir das análises da etapa anterior e, também da nossa experiência como docente do Ensino Médio.

Etapa 3: Construir, como produto educacional, uma sequência de ensino sobre modelos atômicos e radioatividade com abordagem histórica que estava atrelada ao planejamento anual da escola em questão.

Etapa 4: Aplicar a sequência de ensino para os alunos do 1º ano do Ensino Médio, e coletar dados para a análise desta.

Etapa 5: Analisar os resultados obtidos na etapa 4 e reconstruir a sequência de ensino para compor o produto educacional final dessa pesquisa.

Cabe destacar que as etapas 1 e 2, descritas aqui, além dos auxiliarem no desenvolvimento do produto educacional, também se materializaram, nessa dissertação, nos capítulos 2 e 3. Ou seja, tais levantamentos e estudos nos permitiram construir uma discussão tanto sobre como os conceitos científicos escolhidos para essa pesquisa são apresentados nos

documentos oficiais e Livros Didáticos do Ensino Médio, quanto também sobre o episódio histórico que envolve a construção dos modelos atômicos.

6 DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Este capítulo está destinado a apresentação do local onde realizamos a pesquisa, em uma Escola da Rede Estadual de Minas Gerais, como também o perfil dos sujeitos envolvidos na mesma. Descrevemos o cronograma da nossa sequência de ensino, e detalhamos como as atividades foram realizadas.

6.1 DESCRIÇÃO DO CONTEXTO DA APLICAÇÃO DA PESQUISA

Nossa pesquisa foi desenvolvida em uma Escola Estadual situada em um bairro central da cidade de Uberaba. Nos arredores da escola há muitos estabelecimentos comerciais, o que faz com que a maioria dos alunos sejam de bairros vizinhos, ou de bairros novos que ainda não possuem escolas. A escola possui 12 salas de aula, uma biblioteca, uma sala de informática, um laboratório de ciências, uma sala onde funciona a secretaria, um refeitório, uma quadra coberta, e ainda possui uma sala para a direção, uma para a supervisão e uma para os professores. A escola tem uma estrutura física boa. Todas as salas de aulas possuem um quadro branco, mesa e cadeira para o professor e mesas e cadeiras para os alunos, todos mobiliários novos, e a partir de 2018 elas foram equipadas com aparelhos de ar condicionado. A biblioteca contém um pequeno acervo de livros de literatura, mas a grande parte desse acervo é de livros didáticos. Essa sala conta com mesas e cadeiras para trabalhos em grupos, dispõem de um computador, um data show, uma televisão e um aparelho de DVD. Este espaço é bastante utilizado pelos professores, principalmente quando a aula utiliza recursos audiovisuais. O laboratório de ciências contém uma bancada onde os experimentos são realizados e dispõem de uma quantidade razoável de vidrarias, como proveta, pipeta, balão de fundo chato, béquer, vidro de relógio, condensador, entre outros materiais. Os reagentes são poucos, e a maioria foram doados por instituições particulares. O laboratório é sempre utilizado quando há aulas práticas, porém o espaço do laboratório não é muito grande, o que faz com que turmas com um número grande de alunos não fiquem confortáveis durante as atividades realizadas ali.

A escola funciona nos três turnos. No matutino temos turmas do Ensino Médio, em 2018, ano de nossa pesquisa, havia cinco turmas de 1º ano, quatro turmas de 2º ano e três turmas de 3º ano. No turno vespertino, temos o funcionamento do Ensino fundamental II e médio, com uma turma de 6º ano, uma de 7º ano, duas turmas de 8º e 9º anos, três turmas de

1º ano, duas turmas de 2º ano e uma turma de 3º ano. No noturno temos uma turma de cada ano do ensino médio, e duas turmas de magistério que foi encerada no meio deste mesmo ano. A escola conta ainda com duas escolas anexa, nas zonas rurais da cidade, onde funcionam uma turma de cada ano do Ensino Médio. Ao todo tivemos 1320 alunos no ensino fundamental e médio no ano de 2018. A maioria dos professores são efetivos, e temos cerca de 40 professores, contamos ainda com o pessoal da supervisão, da secretaria, administração, serviços gerais, bibliotecárias e direção, o que totaliza 81 funcionários.

Os alunos que participaram da nossa pesquisa fazem parte do 1º ano dos turnos matutino e vespertino. No turno matutino a maioria dos alunos eram novatos e vieram de outras escolas do município, a minoria eram alunos da nossa escola. No turno vespertino apenas duas turmas participaram, em uma delas a maioria dos alunos já era da escola, e na outra os alunos eram de outras escolas. De forma geral, as turmas eram heterogêneas com alunos de diferentes níveis de conhecimento. Tínhamos em média 35 alunos por sala. Algumas turmas eram bem agitadas, com poucos alunos comprometidos, e vários faltosos. Apenas uma sala possuía uma quantidade maior de alunos que sempre interagiam e faziam perguntas.

A escola avalia o aluno no que eles chamam de sistema de promoção, no qual são distribuídos 100 pontos divididos em 4 bimestre no valor de 25 pontos cada um. Dentro do bimestre esses 25 pontos são distribuídos entre avaliação, trabalhos e participação. A Escola possui ainda dois projetos que envolvem muito os alunos, um deles acontece sempre no 2º bimestre e é denominado Festival de Talentos. Os alunos adoram, porque eles organizam apresentações teatrais, danças entre outras do tipo. E o outro projeto é a Feira de Conhecimentos, em que os alunos apresentam trabalhos de cunho científico. Na disciplina de química os alunos possuem 80 aulas anuais, distribuídas em duas aulas semanais para cada turma.

6.2 DESCRIÇÃO DA SEQUÊNCIA DE ENSINO E SUA APLICAÇÃO

O nosso trabalho teve início no 3º bimestre do ano letivo de 2018. A primeira aula foi destinada a conversar com os alunos sobre a sequência de ensino. O objetivo foi apresentar aos alunos tanto o contexto da pesquisa como das atividades que seriam utilizadas. Assim, distribuimos aos alunos o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) conscientizando-os sobre as atividades que seriam realizadas para abordar o conteúdo de

Modelos Atômicos e Radioatividade. Distribuímos os termos para todas as salas em que as atividades foram desenvolvidas, ou seja, em sete turmas de 1º ano do Ensino Médio.

Nosso objetivo foi desenvolver e aplicar uma sequência de ensino que utilizasse a história da ciência ao trabalharmos os conteúdos de modelos atômicos e radioatividade, com a finalidade de fazer o aluno compreender que a ciência não desenvolve sozinha, e nem tão pouco isolada de fatores políticos, históricos e sociais. A sequência de ensino previa para cada aula atividades para contextualizar os conceitos abordados. A expectativa foi apresentar aos alunos um pouco dos conhecimentos da época na qual iríamos discutir os conceitos. Para isso utilizamos diferentes atividades, tais como, atividades práticas demonstrativas, textos com informações científicas e históricas, vídeos, que geravam ao final uma discussão em pequenos grupos. Para facilitar o desenvolvimento do nosso trabalho e adequá-lo ao cronograma da escola separamos essa sequência em duas etapas que pode ser visualizada no quadro abaixo. A primeira etapa consiste nas atividades desenvolvidas antes da atividade avaliativa, e a segunda etapa atividades realizadas após esta. Mas ressaltamos que a sequência pode ser desenvolvida em uma única etapa, dependendo da quantidade de aulas semanais da escola. Ao final dessa dissertação apresentaremos uma versão consolidada do produto educacional para que outros professores possam adequá-la a sua rotina. Mas neste capítulo, pretendemos apresentar como ocorreu a aplicação na nossa primeira versão dessa sequência de ensino.

Quadro 2 - Cronograma da sequência de ensino

(Continua)

| ETAPA | AULA | TEMA | ATIVIDADE REALIZADA |
|-------|------------|--------------------------|--|
| 1 | Aula 1 | Apresentando a proposta | Conversamos com os alunos sobre as atividades a serem desenvolvidas no 3º bimestre e a pesquisa relacionada. E entregamos o termo. |
| 1 | Aula 2 | O Fazer Científico | Aplicação da atividade prática da “caixa preta”. |
| 1 | Aula 3 e 4 | Modelo atômico de Dalton | Problematização inicial conduzida pela professora sobre a compreensão da constituição da matéria. Apresentação das primeiras propostas sobre a constituição da matéria. E leitura do texto sobre Dalton e sua construção de um modelo para o átomo. E finalização da leitura do texto sobre Dalton e seu modelo para o átomo e discussão sobre seus postulados em dupla. |

(Continuação)

| | | | |
|---|--------------|--|--|
| 1 | Aula 5 e 6 | Modelo atômico de Thomson | Problematização inicial através de experimentos com canudos e folha de seda sobre eletrização dos corpos em grupos, seguido de discussão da atividade realizada. Leitura e discussão em duplas ou grupos do texto sobre Thomson e seu modelo para o átomo. |
| 1 | Aula 7 | História da Radioatividade | Exposição do contexto histórico da descoberta dos raios x, e da radioatividade. |
| 1 | Aula 8 e 9 | Modelo atômico de Rutherford | Apresentação do contexto histórico dos experimentos de Rutherford sobre os tipos de emissões radioativas, e apresentação e discussão do experimento realizado pelos assistentes de Rutherford usando uma simulação do PHET. Leitura e discussão em duplas do texto sobre Rutherford e seu modelo para o átomo. |
| 1 | Aula 10 e 11 | Revisão do Conteúdo | Atividades de revisão do conteúdo trabalhado para a avaliação bimestral. Correção das atividades e discussões sobre o conteúdo para sanar dúvidas que ainda existiam. |
| 1 | Aula 12 | Avaliação bimestral | Aplicação da avaliação bimestral. |
| 2 | Aula 13 e 14 | Modelo atômico de Bohr | Leitura e discussão de um texto sobre o contexto histórico do modelo atômico proposto por Bohr. Realização do experimento do teste de chama e discussão em dupla ou grupo sobre o mesmo. |
| 2 | Aula 15 | A descoberta do Nêutron. | Leitura e discussões sobre a descoberta do nêutron. |
| 2 | Aula 16 e 17 | Alguns conceitos importantes. | Aula teórica e expositiva sobre alguns conceitos importantes para continuidade da sequência de ensino. Conceitos: átomo neutro, íons, isótopos, isótonos, números quânticos.... Aula dialogada sobre o modelo quântico para o átomo, e a distribuição eletrônica. |
| 2 | Aula 18 | Compreendendo o núcleo e os processos radioativos. | Vídeo-aula sobre as partículas subatômicas, a composição do núcleo e os processos radioativos, após discussões sobre o tema. |

(Conclusão)

| | | | |
|---|------------|--------------|---|
| 2 | Aula 19 | Questionário | Aplicação do questionário sobre a sequência de ensino trabalhada. |
|---|------------|--------------|---|

Fonte: elaborado pela autora, 2018.

6.3 DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES DA NOSSA SEQUÊNCIA DE ENSINO

Nesse tópico iremos relatar cada uma das atividades desenvolvidas para nossa sequência e como se deu sua aplicação em sala de aula. Para facilitar as análises, vamos nomear cada uma pelos temas indicados no quadro 2. Assim, quando no capítulo 6 formos apresentar as discussões usaremos a mesma nomenclatura. Ao longo desse relato, sempre que possível ilustraremos as atividades ou indicaremos sua localização no apêndice que contém o nosso produto educacional. Cabe lembrar, porém, que pode haver diferenças entre o que consta no produto, uma vez que ele já é a versão revisada dessas atividades. Contudo, quando isso ocorrer iremos informar no texto.

Atividade da Caixa Preta

A primeira atividade tem com o objetivo de fazer o aluno compreender e vivenciar como ocorre o fazer científico. Esta primeira aula da primeira etapa foi desenvolvida com uma atividade prática denominada “caixa preta”. Para isso produzimos uma caixa encapada com papel preto, com quatro pequenos furos e um objeto desconhecido dentro dela. Os alunos trabalharam em grupos para analisar a caixa recebida, e identificar e descrever o objeto desconhecido dentro da caixa.

Figura 25 - Caixa Preta



Fonte: da autora, 2018.

Após este momento questionamos a eles, como comprovariam que o objeto descrito por eles era realmente o que havia dentro da caixa, uma vez que a mesma não poderia ser violada. Alguns disseram “porque eu vi”, outros “não tem como comprovar”, e foi neste

contexto que iniciamos a discussão de como o fazer científico ocorre. Muitas vezes por meio de observações, deduções e nem sempre com comprovações diretas e por isso é muito comum trabalharmos com modelos na ciência. Após o encerramento dessa aula, os alunos quiseram saber o que havia dentro da caixa, porém isso não foi revelado a eles, já que foi objetivo da atividade também, discutir os momentos em que a ciência convive com suas “caixas pretas” sem violá-las. É o caso por exemplo do estudo sobre a estrutura do átomo, tema das próximas atividades, pois tudo que conhecemos vem de observações indiretas dessa pequena e importante unidade da matéria que conhecemos.

Atividade sobre Dalton

Iniciamos as atividades diretamente relacionadas aos modelos atômicos indagando aos alunos do que a matéria seria constituída. Esta discussão não teve muita repercussão, pois os alunos já tinham ouvido falar em átomo, mas não sabiam de onde tinha surgido tal nome ou informações específicas sobre isso. Apresentamos na lousa e dialogamos com os alunos a origem da palavra átomo, e os primeiros filósofos gregos que discutiram sobre isso. Na sequência apresentamos as ideias de Dalton, que foi quem resgatou essas ideias vários séculos após. Por fim os alunos receberam um texto construído a partir de outros presentes na literatura (FERREIRA, 1987 e FILGUEIRAS, 2004). O texto traz uma contextualização histórica da época, e o que supostamente o levou a propor seu modelo para o átomo. Na aula seguinte formalizamos os conceitos envolvidos no modelo atômico proposto por Dalton e seus postulados. Ao final os alunos, em grupos, discutiram e responderam algumas questões sobre o texto. O texto revisado compõe o produto educacional e está no apêndice A, página 127, veja a ilustração dele na figura 26. Um cuidado que tomamos para todos os textos utilizados é evitar que ficassem longos e inviáveis para discussão em sala de aula.

Figura 26 - Texto sobre Dalton



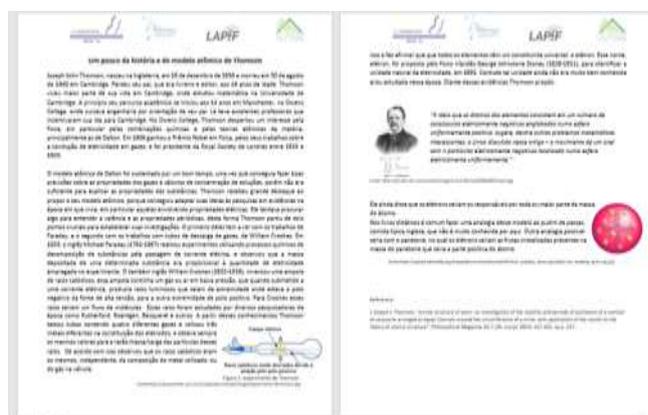
Fonte: da autora, 2018.

Atividade sobre Thomson

Para trazer à tona que na época do desenvolvimento destes modelos atômicos várias propriedades elétricas da matéria já eram conhecidas, realizamos uma atividade prática sobre eletrização por atrito com canudos e papel de seda. Novamente os alunos trabalharam em grupo e após a realização do experimento, pedimos para que eles descrevessem e tentassem explicar suas observações. Queríamos com essa atividade que os alunos relacionassem tais observações com à constituição da matéria. Desta forma poderíamos problematizar se o modelo atômico de Dalton poderia explicar o fato observado por eles durante o experimento.

Logo na próxima aula, retomamos a indagação da aula anterior, se o modelo atômico de Dalton, explicava o fenômeno observado por eles. Disponibilizamos, assim, aos alunos um texto organizado a partir de Lopes (2009) e Oliveira (2018). Em que trazemos um pouco da história de Joseph Jon Thomson, suas influências e inquietações, principalmente sobre a natureza elétrica da matéria, até sua proposição de um novo modelo para o átomo. Ao final da leitura e discussão do texto, os alunos responderam algumas questões sobre o que havíamos discutido. A versão final desse texto está no apêndice A, página 132, e a figura 27 apresenta uma ilustração dele.

Figura 27 - Texto sobre Thomson



Fonte: da autora, 2018.

Atividade sobre História da Radioatividade

A próxima aula, ministrada aos alunos, foi sobre a história da radioatividade, tema que surge com a exploração da ampola de Crookes, que também foi utilizado por Thomson, e estava em evidência naquela época. Essa história é apresentada por meio de slides criados a partir dos trabalhos de Marques (2006), Pinto e Marques (2010), e Moura (2014). A história conta um pouco de Röntgen, de Becquerel, do casal Curie, de Rutherford, entre outros. Junto a essa aula, também apresentamos materiais fluorescente e fosforescentes para fazer

uma analogia ao “brilho” que os cientistas na época viam nos materiais radioativos. Ao final da aula os alunos responderam algumas perguntas sobre o tema discutido. Essa é uma aula chave na nossa sequência de ensino, pois é a partir dela que começamos a relacionar os dois conteúdos escolhidos para essa pesquisa, os modelos atômicos e a radioatividade. A apresentação do contexto histórico envolvendo os estudos sobre átomos nos indica que os estudos sobre radioatividade ocorrem na mesma época, envolvendo os mesmos cientistas o que faz com que o conhecimento sobre esses dois temas possa ser tratado de forma não fragmentada.

Figura 28 - Atividade com a luz negra e materiais fluorescentes



Fonte: da autora, 2018.

Atividade sobre Rutherford

Na sequência os alunos conheceram um pouco do trabalho desenvolvido por Ernest Rutherford, que possibilitou diferenciar dois tipos de emissões radioativas: alfa e beta. A partir daí Rutherford se lança a fazer experimentos, bombardeando elementos químicos com radiação alfa. Que também são realizados pelos seus assistentes Geiger e Marsden, assim os alunos puderam visualizar por meio de simulação computacional do PHET, o experimento realizado pelos assistentes de Rutherford. Nesta aula discutimos se o modelo atômico de Thomson era condizente com o que eles visualizaram no experimento. Na aula seguinte, nós fizemos a leitura de um texto estruturado a partir de Marques (2006), e Moura (2014), onde puderam conhecer um pouco da sua história que perfaz o início acadêmico de Rutherford, até sua proposta para o átomo. A versão final dele está no apêndice A, página 159, e a figura 29 o ilustra.

Figura 29 - Texto sobre Rutherford



Fonte: da autora, 2018.

Atividade avaliativa bimestral

Para que nossa sequência se adequasse ao cronograma da escola, precisamos incluir aqui a avaliação do bimestre. Então, nas aulas seguintes realizamos uma revisão e aplicamos atividades do conteúdo trabalhado até o momento, ou seja, modelos atômicos de Dalton, Thomson e Rutherford, junto com a história da radioatividade. Isso foi feito com o intuito de sanar possíveis dúvidas desses conteúdos, para que os alunos realizassem a avaliação bimestral. Na aula seguinte fizemos a correção dessas atividades, e na aula seguinte a esta aplicamos a avaliação. Vale destacar que nesse momento os alunos tiveram a oportunidade de realizar exercícios e discussões presentes no Livro Didático adotado na escola. A figura 30 mostra a visão geral dessa avaliação e ela está disponível no apêndice C, página 201.

Figura 30 - Atividade Avaliação bimestral



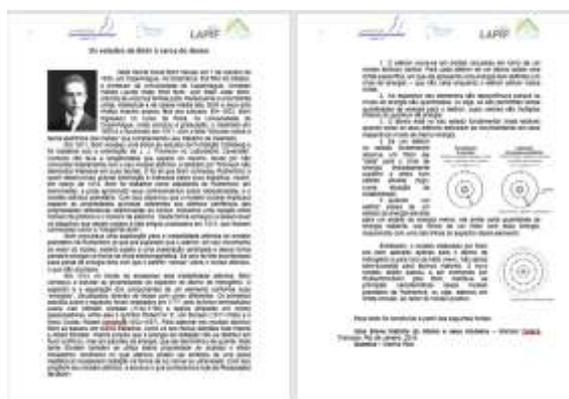
Fonte: da autora, 2018.

Atividade sobre Bohr

Dando continuidade à sequência de ensino, iniciamos a segunda etapa perguntando aos alunos se eles achavam que o modelo atômico de Rutherford seria o modelo que temos como

referência hoje. Ou seja, se esse modelo já responde ao que conhecemos sobre a matéria atualmente. E se não fosse esse o modelo atual, o que eles consideravam que precisaria ter de diferente, e como seria esse modelo. Após essas indagações apresentamos um texto reestruturado de Trancoso (2016), contendo a história de Niels Henrik David Bohr. Ele tinha dúvidas em relação a instabilidade do modelo atômico de Rutherford, principalmente devido à instabilidade que ele possuía a partir dos conhecimentos do eletromagnetismo da época. Com isso surge mais um modelo para o átomo, apresentamos-lhes esse novo modelo. A versão final desse texto está no apêndice A, página 163, que está ilustrado na figura 31.

Figura 31 - Texto sobre Bohr



Fonte: da autora, 2018.

Na aula seguinte expomos slides que associavam o modelo atômico de Bohr com dados de espectroscopia já conhecidos na época e que, de uma forma bem simplificada, poderiam ser reproduzidas pelo experimento do teste de chama, como mostrado na figura a seguir.

Figura 32 - Experimento teste de Chamas, com os sais NaCl , CuSO_4 e SrCl_2



Fonte: da autora, 2018.

Para isso falamos um pouco do espectro eletromagnético, e da relação entre as diferentes cores presentes nele e suas diferentes energias³⁸, e que foi constatado por Carl Wilhelm Scheele. Também citamos Robert Wilhelm Eberhard von Bunsen e Gustav Robert Kirchhoff, que estudaram os espectros emitidos por diferentes elementos químicos. Ao final da explicação realizamos o teste de chama, em que discutimos, e disponibilizamos, depois, algumas questões para os alunos responderem sobre o assunto.

Atividade sobre Chadwick

Na sequência, apresentamos a eles um texto recriado, também de Trancoso (2016), contendo a história de James Chadwick, que evidenciou que o átomo possuía uma partícula neutra em seu núcleo. A versão final desse texto encontra-se no apêndice A, página 175, e a figura 33 mostra como ele ficou. Desta forma para fechar as ideias do modelo atômico mais conhecido citamos Arnold Johannes Wilhelm Sommerfeld que propõem que o átomo possui orbitas elípticas. A partir dessa aula, propomos algo que costumeiramente não é feito nas aulas de química do 1º ano do Ensino Médio, no conteúdo de modelos atômicos. Que é compreender o núcleo do átomo, falando do fenômeno de radioatividade. Tivemos condições de adentrar nesse assunto, porque tivemos a contribuição da história da ciência, que nos possibilitou conectar esses conteúdos. Assim sendo, apresentamos alguns conceitos importantes para darmos continuidade a nossa sequência. Dentre eles, falamos sobre os números quânticos principal e secundário, distribuição eletrônica, isótopo, entre outros.

Figura 33 - Texto sobre Chadwick



Fonte: da autora, 2018.

³⁸ Não foi nosso objetivo aprofundar os conhecimentos sobre as ondas eletromagnéticas. Por isso evitamos o uso de termos como frequência e comprimento de onda e usamos apenas o termo “cor” para diferenciar as diferentes partes do espectro eletromagnético.

Para encermos a sequência, passamos um vídeo denominado, mergulhando no mundo do átomo, do Telecurso 2000³⁹. Esse vídeo, mesmo não sendo atual, explica, com a simplicidade e clareza que precisávamos, que as partículas nucleares, os prótons e nêutrons, são formados por subpartículas chamadas de quarks que se mantêm unidas no núcleo pela interação nuclear forte que é mediada pelos glúons. Como também, descreve o fenômeno da radioatividade, que ocorre quando a interação nuclear não é suficiente para manter a estabilidade do núcleo, citando, ainda, algumas de suas aplicações, assim como seus benefícios e malefícios. Apresentamos a eles também slides que complementavam o vídeo, mostrando como ocorre a interação entre os prótons no núcleo que não os deixam ser repelidos, e ainda expomos o material feito por nós, figura 34, para exemplificar o próton e o nêutron com suas partículas, quark down e quark up. Por fim, aplicamos um questionário para sabermos a opinião dos alunos em relação a essa nossa proposta de ensino, e termos ciência se conseguimos consolidar a aprendizagem desses alunos utilizando a mesma. Esse questionário está no apêndice C, página 205.

Figura 34 - Representação do próton e do nêutron, com suas partículas quark down e quark up



Fonte: da autora, 2018.

³⁹ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=X0xfIKfXNsk>. Acesso em: 06 maio 2019.

7 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS DADOS

Neste capítulo iremos apresentar e discutir os dados que foram construídos ao longo desta pesquisa. Inicialmente abordaremos os critérios utilizados para a seleção da amostra, que aparentemente é pequena diante da quantidade de alunos que participaram da nossa proposta, porém foi o suficiente para nos trazer informações relevantes para a discussão deste trabalho. A seguir procuramos organizar os dados por conjuntos de instrumentos de natureza semelhante. Desta forma começaremos com os registros da pesquisadora e depois passaremos para os documentos produzidos pelos sujeitos da pesquisa. Tais documentos estão separados por atividades realizadas durante a sequência didática, avaliação bimestral e questionário final. Os dados foram organizados por categorias prévias, que foram analisadas possibilitando a criação de novas categorias, que nos permitiram um estudo específico das mesmas, o que constitui o último tópico desse capítulo.

7.1 A CONSTRUÇÃO DA AMOSTRA

A sequência de ensino foi aplicada a sete turmas de 1º ano no Ensino Médio, envolvendo cerca de 250 alunos. Como já citado, entregamos os termos de consentimento (TCLE), aos alunos para que os seus responsáveis assinassem tendo ciência da nossa pesquisa. Começamos a recolher os termos na semana seguinte à sua entrega e o fizemos durante toda a execução da sequência, pois os alunos não se comprometeram tanto com a busca da assinatura dos pais para os mesmos. Desta forma tivemos apenas 68 termos assinados e entregues nesse prazo. Utilizamos dois critérios para a seleção da nossa amostra: o primeiro critério seria o aluno que havia entregado o TCLE; e segundo, o aluno que teria realizado todas as atividades propostas durante a aplicação da sequência. Isso foi importante, pois como já mencionado no tópico 5.1 que apresentou informações sobre a escola em que ocorreu essa pesquisa, as turmas envolvidas apresentavam poucos alunos comprometidos e vários faltosos. Nestas condições nossa amostra consiste em 15 alunos, de cinco das sete turmas que participaram da pesquisa, e estes foram identificados por nós como A1, A2, A3, A4, ..., A15. Mas reforçamos que, independente do tamanho da amostra, que aliás só foi definida ao final do desenvolvimento da sequência de ensino, as atividades foram realizadas com todas as turmas indicadas sem nenhuma distinção.

A amostra selecionada, 15 alunos, representa aqueles alunos que são mais comprometidos e responsáveis, uma vez que entregaram o termo e fizeram todas as atividades propostas. Porém temos alunos com perfis diferenciados, ou seja, temos alunos com alto, médio e baixo rendimento quando nos referimos a aprendizagem, o que faz nossa amostra ser bem heterogênea. Esse era nosso objetivo inicial ao incluir todas as turmas nas quais a pesquisadora dá aulas nessa escola, compor uma amostra aleatória com alunos de diferentes salas e perfis. Contudo nossa expectativa era ter uma amostra maior, mas entendemos que o tamanho não comprometerá nossa análise, pois ainda é representativa da nossa população.

7.2 RELATOS DOS REGISTROS DA PESQUISADORA

A partir das observações e registros da pesquisadora, apresentamos aqui um relato sobre alguns aspectos que nos chamaram atenção. Analisando o envolvimento dos alunos durante a aplicação da sequência didática, consideramos que houve maior envolvimento e participação quando alguns fatos históricos despertavam a curiosidade de certos alunos. As aulas permitiram também diversos momentos de diálogos entre o professor e os alunos, fato que na maioria das vezes não ocorre. O que parece indicar que o uso da História da Ciência contribui para um maior envolvimento dos alunos com as aulas.

Ressaltamos quatro momentos que consideramos exitosos na nossa sequência. O primeiro foi a aula com a caixa preta, uma atividade que despertou a curiosidade dos alunos, fazendo com que eles se envolvessem totalmente na aula. A princípio alguns grupos disseram que era impossível visualizar o que havia dentro da caixa, outros tentavam descobrir maneiras de ver o que havia lá dentro. Até que um determinado grupo decide colocar os furos em direção a luz solar, o que possibilitou a visualização do objeto com maior facilidade, esse momento foi de muita euforia, eles ficaram bem animados, e discutiram com os outros grupos que também começaram a utilizar do mesmo “método” para visualizar o objeto.

O segundo momento se refere a aula da História da Radioatividade, os alunos se interessaram muito com o assunto, ficando atentos aos slides. Como também adoraram a exposição dos materiais fluorescentes, em que ficaram procurando objetos em seus pertences que pudessem emitir aquela luz.

O terceiro foi a aula em que realizamos o experimento de teste de chama, para contextualizar o modelo atômico proposto por Bohr. Os alunos ficaram maravilhados com “o fogo colorido”, como eles chamavam. Acharam lindas as cores que eram emitidas por cada

sal, e ficavam na expectativa de qual seria a próxima cor. Eles gostaram tanto que pediram permissão para filmar e tirar fotos.

E o último momento foi coincidentemente a última aula, em que abordamos um pouquinho mais de radioatividade e a composição dos prótons e dos nêutrons. Nesta aula ficou visível o interesse dos alunos pela temática radioatividade, fizeram várias perguntas sobre o tema, o que foi muito envolvente, no qual não percebemos nem a aula passar. Consideramos assim, que a sequência de ensino aplicada foi efetiva em relação ao envolvimento e participação dos alunos com as aulas propostas.

7.3 A ANÁLISE DAS ATIVIDADES REALIZADAS: UM PANORAMA GERAL

Como já indicamos no capítulo da metodologia, os nossos dados se fazem das atividades referente a cada personagem, de uma avaliação, e de um questionário final. Como sugere Lüdke e André (1986), para organizar os dados fizemos diversas leituras o que resultou em duas categorizações a priori: primeiro categorizamos os tipos de questões das atividades por sua natureza, sendo elas questões de caráter histórico; questões de caráter científico; e questões de contexto histórico e científico; e para as respostas dadas pelos alunos verificamos se eles haviam respondido as questões de maneira adequada, conforme especificamos adiante.

Começaremos nossa análise apresentando separadamente as atividades realizadas durante o desenvolvimento da sequência de ensino. De forma geral, como já foi comentado no capítulo 5, organizamos as atividades a partir de personagens históricos centrais. Então inicialmente seguem os quadros relativos às nossas análises dessas atividades na sequência em que foram utilizadas.

Atividade sobre Dalton

Essa atividade foi realizada na aula sobre Dalton e contava com 3 questões, conforme mostra o quadro 3 que também contém os dados relativos às respostas dos alunos.

Quadro 3 – Categorização da Atividade sobre Dalton

(Continua)

| ATIVIDADE SOBRE DALTON | | |
|--------------------------------|---|----------------------------------|
| Questões de caráter histórico | 1) O que você acha que motivou Dalton a criar um modelo atômico? | RESPOSTAS |
| | | Adequada: 02 alunos |
| | | Parcialmente adequada: 02 alunos |
| | | Não adequada: 11 alunos |
| Questões de caráter científico | 2) A partir do que você estudou sobre, diga como o modelo de Dalton explica | RESPOSTAS |
| | | Adequada: 06 alunos |

(Conclusão)

| | | |
|---|--|----------------------------------|
| | as Leis Ponderais. | Parcialmente adequada: 02 alunos |
| | | Não adequada: 06 alunos |
| | | Em branco: 01 aluno |
| Questão de contexto histórico e científico. | 3) Você acha que o modelo atômico de Dalton é útil? Por quê? | RESPOSTAS |
| | | Adequada: 13 alunos |
| | | Parcialmente adequada: -- |
| | | Não adequada: 2 aluno |

Fonte: elaborado pela autora, 2019.

Na primeira questão queríamos identificar se os alunos haviam compreendido o contexto histórico desse episódio, ou seja, o que o motivou a propor um modelo para o átomo. Esperávamos que eles comentassem sobre a ascensão e utilização das máquinas a vapor e seus estudos sobre a solubilidade dos gases em água e meteorologia, ou ainda, de forma geral dos seus estudos sobre os gases. Apenas 13% dos alunos responderam de forma adequada, esta primeira questão. Outros 13% responderam parcialmente adequado, citando alguma informação que estava na resposta esperada. E 74% não responderam da forma que nós esperávamos, um número muito alto. Destacamos como exemplo de resposta adequada a dada pelo aluno A4, e a resposta não adequada do aluno A8:

Ele observa os gases, como eles agiam ele percebeu que havia um conjunto de algo que formava a matéria, assim, com base em suas observações percebeu-se o átomo (ALUNO A4).

Acho que o que motivou foi uma possível discordância com as teorias da época (com seus estudos e pensamentos elaborou sistemas diferentes). Acredito também que ele queria ter em base mais firme para depositar suas crenças (buscava a “constituição da existência” e queria uma resposta exata) (ALUNO A8).

A questão de caráter científico tínhamos como objetivo identificar se os alunos conseguiram associar a teoria de Dalton as Leis Ponderais. Assim estimávamos que os alunos respondessem que, para Dalton, o fato dos átomos serem indestrutíveis, em uma reação química eles se conservavam, e o que ocorria era apenas um rearranjo dos átomos dando novas substâncias. Desta forma conservavam suas massas, e se dobrasse a quantidade dos átomos usados o resultando também dobraria, fazendo valer assim as Leis de conservação das massas, e proporções constantes. Nesta questão tivemos 40% dos alunos com respostas adequadas, 13% com respostas parcialmente adequadas, 40% que não responderam adequadamente e 7% representa um aluno que deixou a questão em branco. O aluno A8, como exemplo de resposta adequada, respondeu:

Ele explica a Lei da Conservação das Massas (“Na natureza, nada se perde, nada se cria, tudo se transforma”) com a proposta de que a matéria é formada por átomos que não podem ser criados nem destruídos, sendo assim, se o número de átomos durante uma reação é constante, então a massa do sistema também se manterá constante. Ele explica a Lei das proporções constantes (“Toda substância apresenta uma proporção em massa constante na sua composição”) ao citar que como a proporção em números de átomos é constante, a proporção em massa também é constante (ALUNO A8).

Na terceira questão tínhamos como objetivo analisar se o aluno percebeu a importância das proposições de Dalton sobre o átomo, tanto no passado como na atualidade. Ou seja, se ele conseguiu relacionar a importância do conhecimento científico para o contexto da época. Tivemos que 93% dos alunos responderam de forma adequada, dizendo que sim o átomo de Dalton teve sim uma utilidade. 7% não respondeu de acordo com o que esperávamos, dizendo que o átomo de Dalton não foi útil. As respostas dos alunos A7 e A15 foram consideradas adequadas, e a resposta do aluno A9 considerada inadequada:

Sim, um modelo serve para explicar alguma coisa sobre um determinado assunto, muitas coisas sobre substâncias químicas e estrutura podem ainda ser explicado com um modelo simples como o de Dalton (ALUNO A7).

Sim, o modelo de Dalton foi muito importante para o conceito de átomos, moléculas e substâncias simples e compostas (ALUNO A15).

Não, porque da na mesma e não muda nada no material. (ALUNO A9).

Atividade sobre Thomson

A atividade a seguir compõe a aula sobre Thomson, ela é composta de questões como especificado na tabela abaixo:

Quadro 4 - Categorização da Atividade sobre Thomson

| ATIVIDADE SOBRE THOMSON | | |
|--|--|----------------------------------|
| Questões de caráter histórico | 1) Você acha que o modelo atômico de Dalton poderia explicar as propriedades da matéria que Thomson pesquisava? | RESPOSTAS |
| | | Adequada: 06 alunos |
| | | Parcialmente adequada: 06 alunos |
| | | Não adequada: 03 alunos |
| Questões de caráter científico | 2) Diga com suas palavras as diferenças dos modelos atômicos propostos por Dalton e Thomson. | RESPOSTAS |
| | | Adequada: 09 alunos |
| | | Parcialmente adequada: 05 alunos |
| | | Não adequada: - alunos |
| Questão de contexto histórico e científico | 3) A partir do que você estudou até aqui, qual foi a contribuição para a ciência do modelo atômico proposto por Thomson? | RESPOSTAS |
| | | Adequada: 07 alunos |
| | | Parcialmente adequada: 02 alunos |
| | | Não adequada: 06 alunos |

Na primeira questão de caráter histórico tínhamos como objetivo verificar se o aluno conseguiria fazer uma conexão do que ele havia observado na atividade prática dos canudos e folhas de seda, com o átomo de Dalton. O modelo atômico de Dalton explica tal fenômeno, de repulsão e atração? E desejávamos que o aluno respondesse que não, uma vez que Thomson procurava uma explicação para a natureza elétrica da matéria, e o modelo proposto por Dalton não diz nada sobre essa propriedade, sendo ele apenas esférico, maciço e indivisível. Tivemos 40% dos alunos respondendo de acordo com o que esperávamos. Temos que 40% responderam parcialmente correto, eles afirmam que não, porém as explicações para isso não são satisfatórias. E 20% não responderam o que foi perguntado na questão. Resposta que consideramos adequada do aluno A13, e a resposta do aluno A15 foi considerada não adequada:

O modelo atômico de Dalton foi sustentado por um bom tempo, uma vez que conseguia fazer boas previsões sobre as propriedades dos gases e cálculos de concentração de soluções, porém não era suficiente para explicar as propriedades de Thomson (ALUNO A13).

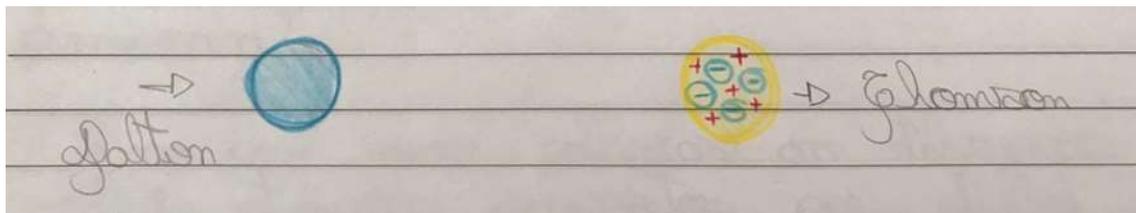
O modelo atômico de Dalton serviu para que Thomson pudesse comprovar e complementar sua teoria de que o átomo fosse semelhante à um pudim de passas (ALUNO A15).

Na segunda questão tínhamos o intuito de analisar se o aluno havia compreendido a diferença do modelo atômico proposto por Dalton, e o proposto por Thomson. Queríamos que eles tivessem respondido que para Dalton o átomo seria esférico, maciço e indivisível, já para Thomson o átomo seria esférico de carga elétrica positiva, com cargas elétricas negativas (elétrons) incrustadas. Tivemos aqui 60% de respostas adequadas, os alunos conseguiram visualizar as diferenças de um modelo para o outro. 33% dos alunos responderam parcialmente à questão de forma adequada. E 7% não respondeu à questão. Vejamos a resposta do aluno A10 que consideramos parcialmente adequada, e do A15 que está adequada:

Dalton, modelo de bola de bilhar, imaginava o átomo sendo uma bola maciça e indivisível. Thomson, inclusão dos elétrons no modelo (ALUNO A10).

Dalton propôs que o átomo seria parecido com uma bola de bilhar, esférico maciço e indivisível. Já Thomson provou que o átomo possui elétrons negativos e partículas positivas. Thomson propôs que o átomo é uma esfera, mas não maciça como o modelo de Dalton. Ele associou o seu modelo a um pudim de passas (ALUNO A15).

Figura 35 - Desenho que complementa a resposta do aluno A15



Fonte: reprodução, feita pelo autor da atividade, aluno A15, 2018.

Na última questão desta atividade o objetivo era que o aluno reconhecesse que Thomson fez uma grande descoberta para a Ciência, que seriam os elétrons. 47% dos alunos responderam de forma adequada, 13% acertarem parcialmente esta questão. E 40% não responderam de forma adequada. A resposta do aluno A13 é um modelo do que esperávamos dos alunos:

Foi a descoberta do que ele chamou de corpúsculos negativos, mas que hoje conhecemos como elétrons (ALUNO A13).

Já a reposta do aluno A4 foi considerada não adequada diante do que esperávamos:

A descoberta do campo de energia em volta do átomo, que está em toda a matéria, isso perto da descoberta da energia elétrica (ALUNO 4).

Atividade sobre a História da Radioatividade

A atividade especificada a seguir no quadro 5 foi aplicada ao final da aula em que contamos a História da Radioatividade.

Quadro 5 - Categorização da Atividade sobre História da Radioatividade (Continua)

| ATIVIDADE SOBRE A HISTÓRIA DA RADIOATIVIDADE | | |
|--|---|----------------------------------|
| Questões de caráter histórico | 2) O casal Curie estudando a plechblenda, que é um minério de urânio, desconfiaram da existência de outro elemento radioativo nesta. Por quê? | RESPOSTAS |
| | | Adequada: 04 alunos |
| | | Parcialmente adequada: 07 alunos |
| | | Não adequada: 04 alunos |
| | 4) No texto cita que Marie Curie ganhou o Prêmio Nobel de Física e Química. Você acha que o estudo dos modelos atômicos tem alguma relação com a física, uma vez que vocês os estudam na disciplina de química? | RESPOSTAS |
| Adequada: 11 alunos | | |
| Parcialmente adequada: 02 alunos | | |
| Não adequada: 01 aluno | | |
| | Em branco: 01 aluno | |
| Questões de | 3) Pode-se relacionar a luminosidade dos | RESPOSTAS |

| | | |
|--|--|----------------------------------|
| caráter científico | ponteiros de um relógio a algum fenômeno descrito no texto? | Adequada: 02 alunos |
| | | Parcialmente adequada: - alunos |
| | | Não adequada: 12 alunos |
| | | Em branco: 01 aluno |
| Questão de contexto histórico e científico | 1) Após o conhecimento desta história, o que mudou no seu conceito no que diz respeito a radioatividade? | RESPOSTAS |
| | | Adequada: 02 alunos |
| | | Parcialmente adequada: 04 alunos |
| | | Não adequada: 09 alunos |

Fonte: elaborado pela autora, 2019.

Nesta primeira questão nosso objetivo era perceber se o aluno havia compreendido o que é radioatividade, e esperávamos que eles respondessem que radioatividade é um fenômeno natural que ocorre em alguns elementos químicos que emitem partículas e energia provenientes do núcleo com o intuito de se tornarem estáveis. Nesta questão tivemos que 13% responderam de forma adequada, 27% responderam de forma que suas respostas ficaram parcialmente adequada. E 60% não responderam da forma que esperávamos, fugindo da pergunta. Abaixo temos a resposta do aluno A10, em que avaliamos como adequada, a do aluno A3 como parcialmente adequada, e do A8 não adequada:

Antes a radioatividade para mim era apenas experimentos onde poderiam ser utilizados em humanos ou até mesmo em animas. Mas agora depois da História, a radioatividade pode ser definida como a capacidade que alguns elementos fisicamente instáveis possuem de emitir energia sob forma de partículas ou radiação eletromagnética, ou até mesmo como a fluorescência (ALUNO A10).

De acordo com Thomson que toda matéria possui energia, foi descoberto adiante que a radiação é a emissão de ondas e partículas (ALUNO A3).

Sendo específico não houve alterações, apenas esclarecimentos (descobri algumas razões) (ALUNO A8).

Na segunda questão queríamos ver se os alunos haviam compreendido um pouco da história da radioatividade e a importância do casal Curie neste cenário. Com isso esperávamos que eles respondessem que, o casal Curie estudava o minério de urânio, e acharam que este era composto de urânio, bismuto, bário e chumbo. Ao analisarem esses elementos separadamente perceberam que o urânio, bário e bismuto tinham uma atividade de emissão de raios. Como já conheciam as propriedades do bário e do bismuto, que não emitem raios, supuseram que havia novos elementos naquela amostra. Assim quando foram isolados receberam o nome de Rádio e Polônio. Tivemos 27% de alunos que responderam de acordo com o esperado. 46% responderam parcialmente de forma adequada, e 27% não responderam o que desejávamos. Percebemos aqui que os alunos copiaram muitas respostas de fontes que

não foram trabalhadas, e alguns deles ainda citaram que o rádio era o elemento presente nos ponteiros dos relógios.

Na próxima questão pretendíamos que o aluno associasse o fenômeno da fosforescência, ao seu cotidiano. Consideramos adequado se o aluno respondesse algo concordando com a pergunta e justificando que o fenômeno que ocorre nos ponteiros de relógios é o da fosforescência, pois os ponteiros continuam a emitir luz durante um tempo, mesmo sem a presença de uma luz. Conseguiram responder de forma adequada apenas 13%, e 80% responderam de forma inadequada. E 7% não respondeu à questão. Percebemos que os alunos não associaram o fenômeno com o seu cotidiano. Consideramos, também, que possíveis fatores para esse alto percentual de respostas inadequadas sejam: a forma como foi abordado o assunto, por meio de slides e apenas explicando e comentando com os alunos; e a grande quantidade de informações em apenas uma aula, o que pode ter gerado dúvidas que não foram esclarecidas.

Na última questão queríamos verificar se os alunos conseguiriam fazer uma análise, de que os conteúdos de química e física se complementam, e que há a possibilidade de se trabalhar as duas disciplinas de forma interdisciplinar. 73% acreditam que isso seja possível, assim responderam de forma adequada. 13% responderam que sim é possível, porém não conseguiram justificar a resposta, desta forma consideramos a resposta parcialmente correta. Por fim 7% não respondeu de acordo com o esperado, e também 7% deixou a questão em branco.

Atividade sobre Rutherford

Ao final da leitura do texto sobre Rutherford, os alunos responderam à duas questões como especificado no quadro 6:

Quadro 6 - Categorização da Atividade sobre Rutherford

(Continua)

| ATIVIDADE SOBRE RUTHERFORD | | |
|--------------------------------|--|----------------------------------|
| Questões de caráter histórico | | RESPOSTAS |
| | | Adequada: alunos |
| | | Parcialmente adequada: alunos |
| | | Não adequada: alunos |
| Questões de caráter científico | 1) Agora que você conhece a proposta de Rutherford para o átomo, desenhe ou esquematize um modelo para esse átomo. | RESPOSTAS |
| | | Adequada: 08 alunos |
| | | Parcialmente adequada: 03 alunos |
| | | Não adequada: 04 alunos |
| | 2) – Você acha que o modelo atômico de Rutherford explica todas as propriedades da | RESPOSTAS |
| | | Adequada: 02 alunos |

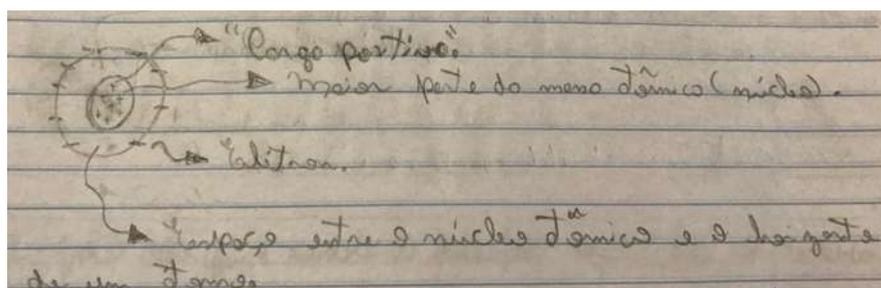
(Conclusão)

| | | |
|--|----------|----------------------------------|
| | matéria? | Parcialmente adequada: 03 alunos |
| | | Não adequada: 10 alunos |

Fonte: elaborado pela autora, 2019.

Na primeira questão desta atividade tínhamos o objetivo de verificar se o aluno havia aprendido, com as aulas anteriores, como era o modelo atômico proposto por Rutherford. Esperávamos que o aluno escreve em sua resposta algo do tipo, o átomo contém um núcleo pequeno, denso com cargas positivas, em volta desse núcleo possui elétrons em movimento numa região periférica denominada eletrosfera, e ainda podemos encontrar imensos espaços vazios. Ou fizesse um esquema, desenho com essas características. Consideramos que 53% dos alunos responderam da forma que esperávamos. A seguir temos a resposta do aluno A5 que avaliamos como adequada:

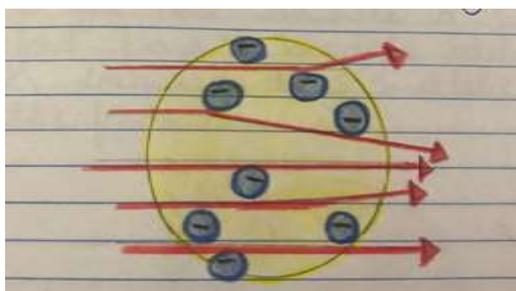
Figura 36 - Esquema do átomo de Rutherford do aluno A5



Fonte: reprodução, feita pelo autor da atividade, aluno A5, 2018.

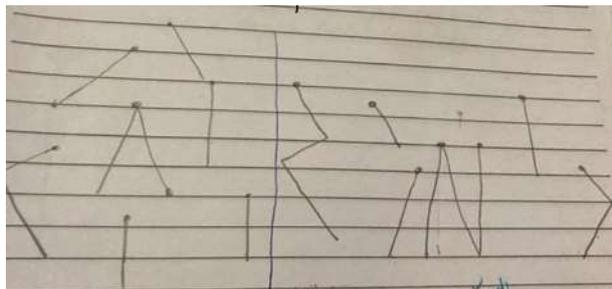
20% dos alunos responderam parcialmente de acordo com o esperado, e 27% não responderam de forma adequada. Vejamos nos esquemas das figuras 37 e 38 que consideramos inadequados:

Figura 37 - Esquema do átomo de Rutherford do aluno A12



Fonte: reprodução, feita pelo autor da atividade, aluno A12, 2018.

Figura 38 - Esquema do átomo de Rutherford do aluno A1



Fonte: reprodução, feita pelo autor da atividade, aluno A1, 2018.

Percebemos que nesta questão muitos alunos recorreram ao livro didático para responder, tendo várias respostas copiadas do livro. Como também os esquemas que vimos acima em que o aluno A12 representa os resultados observados pelos assistentes de Rutherford no experimento, consideramos inadequado pois o aluno não descreve como é o átomo, deixando sua resposta vaga. Já o aluno A1, desenha os desvios sofridos pelas partículas alfa. Ambos os desenhos estão no livro, o que nos mostra que eles realmente não compreenderam esse conceito.

Na segunda questão nosso propósito era ver se o aluno conseguiria associar algumas propriedades da matéria com o átomo proposto por Rutherford, e se o mesmo explicaria todas as propriedades da matéria. Esperamos que os alunos respondessem que sim, já que Rutherford consegue mostrar por meio do experimento com a folha de ouro que o átomo de Thomson não era satisfatório para os resultados obtidos, propondo um átomo com núcleo de carga positiva e em volta dele elétrons de carga negativa. Assim tivemos 13% de alunos que responderam da forma como esperávamos, 20% responderam de forma parcialmente adequada, e 67% responderam de forma inadequada. Segue resposta do aluno A14 que foi considerada adequada, e a resposta do aluno A6 não adequada:

Sim, porque o modelo atômico que explicaria as propriedades da matéria seria que o átomo é composto de um pequeno núcleo positivo (constituído por prótons e nêutrons) onde está inserida a massa praticamente total do átomo envolta uma região denominada eletrosfera onde os elétrons ficam girando (ALUNO A14).

Não porque o modelo de John Willian Nicholson explica melhor as propriedades da matéria (ALUNO A6).

Identificamos quando fomos analisar dos dados que não elaboramos questões de caráter histórico e nem de contexto histórico e científico para as atividades de Rutherford, uma falha que cometemos na correria do desenvolvimento e aplicação da sequência didática

que ocorreu de forma concomitante. Contudo, para o produto educacional final, tal falha foi corrigida com a inclusão da questão de caráter histórico. A versão corrigida dessa atividade está na página 161 do apêndice A.

Atividade sobre Bohr.

A Atividade especificada no quadro 7, foi proposta ao final da aula sobre o átomo de Bohr e o teste de chama.

Quadro 7 - Categorização das Atividades sobre Bohr

| ATIVIDADE SOBRE BOHR | | |
|--|--|----------------------------------|
| Questões de caráter histórico | 1) Conforme o seu conhecimento, o que motivou Bohr a propor um novo modelo atômico? | RESPOSTAS |
| | | Adequada: 03 alunos |
| | | Parcialmente adequada: 06 alunos |
| | | Não adequada: 06 alunos |
| Questões de caráter científico | 2) Depois da leitura do texto sobre Bohr diga quais as diferenças do modelo atômico de Bohr e Rutherford. | RESPOSTAS |
| | | Adequada: 07 alunos |
| | | Parcialmente adequada: 01 alunos |
| | | Não adequada: 07 alunos |
| Questão de contexto histórico e científico | 3) De acordo com o teste de chama realizado em sala de aula, utilize o modelo atômico de Bohr para explicar o que foi observado. | RESPOSTAS |
| | | Adequada: 07 alunos |
| | | Parcialmente adequada: 05 alunos |
| | | Não adequada: 03 alunos |

Fonte: elaborado pela autora, 2019.

Com a primeira questão desta atividade objetivávamos analisar se o aluno havia feito uma ligação do átomo de Rutherford com o texto lido em sala de aula sobre a história de Bohr. E esperávamos que eles respondessem que Bohr procurava uma explicação para a instabilidade atômica do modelo planetário de Rutherford, já que era esperado que o elétron, em seu movimento ao redor do núcleo, estaria sujeito a uma aceleração centrípeta e dessa forma perderia energia na forma de onda eletromagnética. Se isso de fato acontecesse, essa perda de energia faria com que o elétron “caísse” sobre o núcleo atômico, o que não acontece. Tivemos que 20% dos alunos responderam o que esperávamos, 40% responderam parcialmente o que desejávamos. E 40% não responderam de forma adequada. A resposta do aluno A5, é um modelo do que consideramos não adequada para esta pergunta:

A convivência com os Físicos desenvolvedores de Teorias diante Bohr recebeu uma bolsa de estudos da Fundação Carlsberg em 1911 e também por sua área de Física já alocado desde 1903 na Universidade de Copenhague, onde levantou uma tese de estudos sobre a “teoria eletrônica dos metais”. Mas o motivo que mais motivou foi a

convivência com outro Físico onde já tinha uma teoria em mão, Rutherford. A sua área, apenas seria como uma base (ALUNO A5).

Na segunda questão queríamos ver se o aluno tinha consciência de que o átomo de Bohr era o átomo de Rutherford com algumas modificações. Desta forma a resposta considerada adequada seria aquela que, diz que ambos os modelos propostos por Rutherford e Bohr possuem um núcleo central de carga positiva com elétrons (carga negativa) em órbitas ao seu redor, a diferença entre estes modelos é que Bohr propõem que as órbitas possuem quantidades definidas de energia, ou seja, elas são quantizadas, e que os elétrons conseguem saltar de uma órbita para a outra. Se ele saltar de uma órbita de menor energia para uma de maior energia o elétron irá absorver energia, este mesmo elétron quando retornar para sua órbita de origem liberará a energia absorvida em forma de fóton. Nesta questão 47% responderam de forma adequada, 6% de forma parcialmente adequada, e 47% não responderam de forma adequada. Um modelo de resposta que consideramos adequada foi a do aluno A5:

O modelo atômico de Bohr é apenas uma implementação ao de Rutherford, tanto que o nome dado ao modelo de Bohr é Rutherford – Bohr. O modelo de Bohr se difere nas seguintes implementações: a implementação de “camadas” onde foi nomeado por Bohr, órbitas; os elétrons recebem energia e dependendo dessa energia se a mais do que o necessário na camada mais próxima ao núcleo o átomo salta (transita) para a camada mais próxima se distanciando do núcleo, é liberado uma “determinada” cor (energia), e assim foi nomeado o fóton (pacotes energéticos); quanto mais longe as “órbitas” do núcleo, maior o armazenamento energético será (ALUNO A5).

E na última questão, tínhamos o objetivo de averiguar se o aluno havia entendido o átomo de Bohr, e sua aplicabilidade no teste de chama. O que esperávamos era algo do tipo, o observado em sala de aula é que sais de diferentes metais quando colocados na chama produzem cores variadas, e isso pode ser explicado pelo modelo atômico proposto por Bohr. Ele diz que quando o átomo recebe energia por aquecimento ou radiação eletromagnética, cada elétron acumula uma quantidade de energia que equivale a 1 “quantum” e salta para uma órbita mais externa. Em seguida, após uma fração mínima de segundo, o elétron retorna a sua órbita original e libera igual valor da energia acumulada (1 quantum). Essa energia é liberada na forma de luz que equivale a 1 “fóton”, que será característico de cada elemento. O cobre, por exemplo, com uma chama de cor verde, e o sódio de cor amarela. 47% responderam o que esperávamos, 33% responderam de forma que a resposta ficou parcialmente adequada, e por

fim 20% não responderam de forma adequada. Desta forma temos a colocação do aluno A13 que avaliamos como adequada, a do aluno A3 parcialmente adequada e aluno A1 inadequada:

Quando colocamos algum elemento no fogo os elétrons do átomo absorvem a energia que tem nesse elemento, pula para outra orbita e depois quando volta eles emitem essa energia em cores (ALUNO 13).

O teste de chama baseia-se no fato de que quando uma certa quantidade de energia é fornecida a um determinado elemento químico, alguns desses elétrons da última camada de valência absorvem esta energia passando para um nível de energia mais elevado, produzindo o estado excitado (ALUNO A3).

O átomo recebe energia do átomo (ALUNO A1).

O que percebemos dessas análises

Examinando as atividades aplicadas, observamos que no decorrer da aplicação da sequência, a quantidade de acertos referente as questões de caráter histórico, melhora e se mantém em um nível razoável. Acreditamos que isso se deu devido ao contato dos alunos com esse tipo de texto, que envolve parte da história da ciência, que era novidade no início e com o qual foram se acostumando. O índice do que consideramos parcialmente adequado sempre foi alto, mostrando que a compreensão da maioria dos alunos foi parcial referente ao que foi exposto. Também não podemos deixar de considerar que isso pode indicar que o aluno compreendeu o conteúdo, porém, não soube se expressar ao responder à questão.

As questões de caráter científico mostraram um efeito contrário as de caráter histórico. Inicialmente tivemos uma quantidade razoável de acertos que se mantém, e depois decaí nas últimas atividades. Concebemos que seja pela complexidade dos conceitos científicos, que foram aumentando no decorrer da sequência, o que pode ter dificultado a compreensão de alguns deles. Já as questões de contexto histórico e científico sempre se mantém em um nível consideravelmente bom.

Chamamos a atenção para a atividade da História da Radioatividade, em que tivemos um número considerável de respostas inadequadas de caráter histórico e contexto histórico e científico. Cremos que isso aconteceu pela forma como a aula foi elaborada, por meio de slides, a maioria deles com imagens e poucas informações sobre o conteúdo. Pois o intuito era fazer com que a maioria das informações fossem passadas verbalmente, como se estivéssemos “contando uma história”, e os slides eram apenas para ilustrar. Desta formam concordamos com Moura (2014), que fomenta as ideias de Martins e Pietrocola (2011), quando dizem que um desafio desse trabalho, de inserir abordagens histórico-filosóficas nas aulas, é a pressão

entre a compreensibilidade e o rigor histórico. E esta pode ter sido uma aula em que isso aconteceu, muita informação o que prejudicou a compreensão dos alunos.

7.4 ANALISANDO A AVALIAÇÃO

A avaliação foi aplicada no meio da nossa sequência, devido ao calendário escolar. Assim os conteúdos que foram abrangidos são modelos atômicos de Dalton, Thomson e Rutherford, e História da Radioatividade. Todas as questões foram trabalhadas em sala de aula com os alunos, e retiradas das atividades aplicadas e do livro didático. As questões também são de caráter histórico, científico e contexto histórico e científico. No quadro 8 abaixo podemos ver detalhes da avaliação com a organização das questões quanto ao contexto a que se refere. Também é possível perceber que a avaliação foi composta de questões dissertativas e de múltipla escolha.

Quadro 8 - Categorização das questões da avaliação

(Continua)

| QUESTÕES DE CARÁTER CIENTÍFICO | QUESTÕES DE CARÁTER HISTÓRICO | QUESTÕES DE CONTEXTO HISTÓRICO E CIENTÍFICO |
|---|---|---|
| <p>4) (UEMG) – O modelo de átomo conhecido como modelo de Rutherford foi idealizado a partir de experiências realizadas em 1909. Várias conclusões foram tiradas a partir dessas experiências, EXCETO:</p> <p>A) O átomo apresenta, predominantemente, espaços vazios.</p> <p>B) O núcleo é a região mais densa do átomo.</p> <p>C) O núcleo atômico apresenta carga elétrica positiva.</p> <p>D) O núcleo é praticamente do tamanho do átomo todo.</p> | <p>01) (UEL –PR) Observe a charge a seguir:</p>  <p>A charge remete à ausência de um procedimento necessário na concepção de métodos de conhecimento científico fundamental na corrente empirista que é:</p> <p>A) O recuso à dedução lógica.</p> <p>B) A formulação de uma hipótese</p> <p>C) O uso da intuição.</p> <p>D) A prática da generalização.</p> <p>E) A verificação de evidências fatuais.</p> | <p>02) A partir do que você estudou diga qual a contribuição para a ciência do modelo atômico proposto por Thomson. Descreva esse modelo.</p> |
| <p>6) (UFJF-MG) Associe as afirmações a seus respectivos responsáveis.</p> <p>I. O átomo não é indivisível e a matéria possui propriedades</p> | <p>5) O casal Curie estudando a plechblenda, que é um minério de urânio, desconfiaram da existência de outro elemento radioativo nesta. Por quê?</p> | <p>3) A reação de síntese de cloreto de hidrogênio é feita em condições constantes de pressão e temperatura.</p> |

(Conclusão)

| | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------|--|---|--|--|-----------------|-----------------|---|---|---|-----------|
| <p>elétricas (1897).</p> <p>II.O átomo é uma esfera maciça. (1808).</p> <p>III.O átomo é formado por duas regiões denominadas de núcleo e eletrosfera (1911).</p> <p>A) I- Dalton, II- Rutherford e III- Thomson. B) I- Thomson, II- Dalton e III- Rutherford. C) I-Dalton, II-Thomson e III- Rutherford. D) I-Rutherford, II-Thomson e III- Dalton. E) I-Thomson, II-Rutherford e III- Dalton.</p> | | <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">HIDROGENIO + CLORO → CLORETO DE HIDROGÊNIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">7 grama s</td> <td style="text-align: center;">7 grama s</td> <td style="text-align: center;">A</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">C</td> <td style="text-align: center;">15 gramas</td> </tr> </table> <p>a) Encontre os valores de A, B e C.</p> <p>b) Dê acordo com os cálculos que você realizou na alternativa anterior, diga qual a relação que eles têm com as Leis Ponderais e a Teoria Atômica de Dalton.</p> | HIDROGENIO + CLORO → CLORETO DE HIDROGÊNIO | | | 7 grama s | 7 grama s | A | B | C | 15 gramas |
| HIDROGENIO + CLORO → CLORETO DE HIDROGÊNIO | | | | | | | | | | | |
| 7 grama s | 7 grama s | A | | | | | | | | | |
| B | C | 15 gramas | | | | | | | | | |

Fonte: elaborado pela autora, 2019.

O quadro 9 apresenta, juntamente com uma síntese das características e natureza de cada questão, os dados sobre as respostas dos sujeitos da nossa amostra.

Quadro 9 - Análise das questões da avaliação

| QUESTÕES DA ATIVIDADE AVALIATIVA | | |
|----------------------------------|---|----------------------------------|
| Tipo de questão | Características da questão | RESPOSTAS |
| Caráter histórico | 01) Questão de múltipla escolha. | Adequada: 11 alunos |
| | | Não adequada: 04 alunos |
| | 05) Questão discursiva | Adequada: 02 alunos |
| | | Parcialmente adequada: 03 alunos |
| | | Não adequada: 09 alunos |
| Em branco: 01 aluno | | |
| Caráter científico | 04) Questão de múltipla escolha | Adequada: 11 alunos |
| | | Não adequada: 04 alunos |
| | 06) Questão de múltipla | Adequada: 14 alunos |
| | | Não adequada: 01 aluno |
| Contexto histórico e científico | 02) Questão discursiva | Adequada: 02 alunos |
| | | Parcialmente adequada: 11 alunos |
| | | Não adequada: 02 alunos |
| | 03) Questão discursiva que contém uma alternativa de cálculo simples de matemática. | Adequada: 03 alunos |
| | | Parcialmente adequada: 11 alunos |
| | Não adequada: 01 aluno | |
| | | Adequada: 03 alunos |

Fonte: elaborado pela autora, 2019.

Destacamos que a avaliação é composta de três questões de múltipla escolha, uma de caráter histórico e duas de caráter científico. E três questões discursivas, uma de caráter histórico, e duas de contexto histórico e científico. Considerando as questões de múltipla escolha temos um número considerável de acertos em todas elas. As duas questões discursivas de contexto histórico e científico possuem um alto índice de respostas parcialmente adequadas, ou seja, não estavam totalmente corretas, mas indicam que os alunos se aproximaram dos conceitos abordados nelas. E a única questão de caráter histórico, que também era discursiva, tivemos um alto índice de respostas inadequadas. Associamos este fato por se tratar de uma questão sobre a História da Radioatividade, que como já foi explanado anteriormente, foi um conteúdo denso abordado em uma aula apenas. O que pode ter prejudicado a compreensão deste.

Vale ressaltar que os alunos se mostraram, no decorrer da sequência, preocupados com o conteúdo e a forma que este seria cobrado na avaliação. Isso também foi observado por Moura (2014), quando também utilizou a história da ciência em suas aulas. Talvez essa preocupação dos alunos se deve ao fato de estarem acostumados com aulas de ciências, no geral, transmissivas e com conceitos, fórmulas e cálculos, e sem uso de contexto histórico e discussões, como fizemos nessa sequência de ensino.

De forma geral consideramos que os alunos tiveram um bom desempenho nas avaliações, considerando as notas alcançadas. Aqui, ressaltamos que essa observação também corresponde à população geral, se consideramos apenas as notas obtidas pelos alunos nessa avaliação. Ainda que não seja o objetivo dessa pesquisa olhar para o todo, não podemos deixar de registrar tal informação.

7.5 ANALISANDO O QUESTIONÁRIO

Ao final da nossa sequência de ensino aplicamos um questionário, com o intuito de verificar a opinião dos alunos sobre a nossa proposta, como também, de apurar o quão efetivo foi a aprendizagem deles, sobre os temas abordados. Podemos visualizar, no quadro 10 a seguir, a categorização das perguntas que continham nele.

Quadro 10 - Categorização do questionário

(Continua)

| QUESTIONÁRIO | |
|---|--|
| Na sua opinião qual aula foi mais interessante? OBS: os alunos podiam marcar mais de uma | RESPOSTAS |
| | Aulas com contexto histórico: 05 alunos |
| | Aulas práticas demonstrativas: 08 alunos |

(Continuação)

| | |
|--|--|
| alternativa. | Aulas com vídeo/slides: 06 alunos |
| O que lhe chamou mais atenção nessas aulas? | RESPOSTAS |
| | A experiência realizada (teste de chama): 08 alunos |
| | A história da radioatividade: 02 alunos A forma como era abordado o conteúdo e as conexões que facilitavam o entendimento: 01 aluno |
| | A evolução do sistema de acordo com as descobertas, claramente demonstrado neste método: 02 alunos |
| | Os modelos de Dalton, Thomson e Rutherford: 01 aluno |
| | A história de grandes cientistas: 01 aluno |
| Qual fato histórico você achou mais curioso? | REPOSTAS |
| | A Família Curie: 03 alunos |
| | A descoberta da radioatividade: 02 alunos |
| | A evolução histórica do atomismo: 01 aluno |
| | A bexiga com canudos: 01 aluno |
| | A descoberta da pechblenda: 01 aluno |
| | O fato de pessoas dedicarem suas vidas ou parte delas pela ciência: 01 aluno |
| | A luz fluorescente: 01 aluno |
| | Os átomos e suas eletrosferas: 01 aluno |
| | As cores dos elementos: 01 aluno |
| | A aula do bingo da tabela periódica: 01 aluno |
| Em branco: 01 aluno | |
| Qual personagem/ cientista você mais gostou? | RESPOSTAS |
| | Thomson: 02 alunos |
| | Rutherford: 05 alunos |
| | Marie Curie: 04 alunos |
| | Marie Curie e Dalton: 01 aluno |
| | Dalton, Rutherford, Marie Curie: 01 aluno |
| | Thomson e Dalton: 01 aluno |
| | Lise Meitner: 01 aluno |
| De acordo com sua resposta anterior, como o personagem que você escolheu contribuiu com a ciência? | RESPOSTAS |
| | Thomson Descoberta dos elétrons. O átomo é uma esfera maciça. Rutherford Expandiu mais os estudos do átomo em relação ao núcleo atômico, espaçamento entre os átomos. O átomo proposto por ele foi o mais aceitável. Descobrimos os raios gama, beta e alfa. Planetário sistema solar. Ele apresentou o átomo diferente dos outros. Marie Curie Com o descobrimento da pechblenda. A descoberta da radiação e contribuiu para a humanidade. |

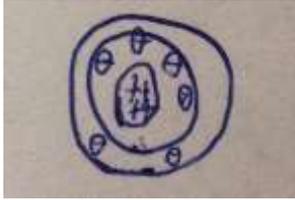
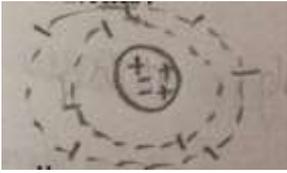
(Continuação)

| | |
|--|--|
| | <p>Com seus estudos sobre a radiação. Ela descobriu a radiação e isso foi muito importante para a humanidade.</p> <p>Marie Curie e Dalton Dalton se propôs no modelo atômico. Marie Curie estudo da radiação.</p> <p>Dalton, Rutherford, Marie Curie Porque Dalton propôs que a matéria era constituída de minúsculas partículas denominadas átomos.</p> <p>Dalton e Thomson Dalton: o átomo é indivisível e maciço. Thomson: esférico com cargas positivas e negativas em seu interior.</p> <p>Lise Meitner: Ela contribuiu com a descoberta da fissão atômica do átomo de uranio, e com a fórmula de Einstein constatou a grande quantidade de energia liberada.</p> |
| O que você entende sobre radioatividade? | <p>RESPOSTAS</p> <p>Que é muito importante para as usinas, mas ao mesmo tempo é perigoso para o mundo.</p> <p>Radioatividade de três tipos: alfa, beta e gama.</p> <p>Foi descoberto com as várias ondas de radiação emitidas cada vez mais forte e logo em seguida vem o polônio.</p> <p>Dependendo do material como a pechblenda, ela tem níveis nocivos a saúde sendo que emite radiação.</p> <p>A radiação pode ser definida a partir de reações que acontecem em certa propriedade emitindo luz, e essa “radiação” pode ser emitida em proporções diferentes dependendo da energia do átomo.</p> <p>Ela não é ruim para a maioria das coisas, pelo contrário ela também nos ajuda a sobreviver.</p> <p>A descoberta da radiação contribuiu para a humanidade.</p> <p>É um tema interessante, contudo perigoso, se desenvolveu bastante, mas acredito que ainda haja o que se explorar e descobrir.</p> <p>Um fenômeno nuclear.</p> |

(Continuação)

| | |
|---------------------------|---|
| | <p>É uma matéria radioativa que possui partículas alfas, beta para que manda para a atmosfera, pois eles possuem muita energia de elétrons, prótons e nêutrons.</p> <p>Radiação alfa e beta.</p> <p>O que desencadeou a descoberta da radioatividade foi outra descoberta, a dos raios X. Hipótese da reciprocidade: “se os raios X podem tornar certas substâncias fluorescentes, então as substâncias fluorescentes podem emitir raios X.</p> <p>Que uma parte da radioatividade é boa para nós como os raios X, e outra pode prejudicar.</p> <p>Entendo pouco, mas nas aulas que tivemos aprimorou meus conhecimentos.</p> <p>Elas possuem elementos químicos que brilham e podem ser usados para o bem na sociedade ou o mau.</p> |
| Para você como é o átomo? | <p>RESPOSTAS</p> <p>O átomo é tipo uma pizza com partículas de menos e mais.</p> <p>A carga positiva e negativa com prótons, nêutrons, massa e número atômico.</p> <p>Que possui várias cargas como positivo, negativa e neutras.</p> <p>É um modelo que se baseia no nosso sistema solar, temos o núcleo e os elétrons circulando em voltas elípticas, além disso temos os quarks que se vê dentro do átomo.</p> <p>O átomo contém um núcleo (parte mais densa) com “camadas” circulares ao redor, e essas camadas existem um padrão no qual a energia reage dentro do átomo.</p> <p>O átomo é uma esfera maciça elétrons positivos.</p> <p>Uma resposta em branco</p> <p>É uma partícula linda e misteriosa, tudo que acreditamos saber sobre ela pode ser apenas uma hipótese, nós que somos dela constituído não entendemos totalmente sua real importância, isso acontece porque seu motivo</p> |

(Continuação)

| | |
|--|--|
| | <p>é nosso motivo. “Por quê e para que existimos”.</p>   <p>Átomo é uma esfera com núcleo, elétrons – e + .</p> <p>Hoje o átomo já é uma realidade “visível” o instrumento que nos permite ver o átomo é o microscópio eletrônico.</p>  <p>Esférico com o núcleo com cargas positivas e neutras e com orbitas circulares com cargas negativas.</p> <p>O átomo é uma esfera maciça com cargas negativas e positivas.</p> <p>O átomo possui um núcleo e é representado como um sol em um sistema solar com elétrons e nêutrons ao seu redor</p> |
| De forma geral avalie as aulas que você teve durante o 3º bimestre em: | <p>RESPOSTAS</p> <p>Ótima: 08 alunos</p> <p>Muita boa: 04 alunos</p> <p>Boa: 03 alunos</p> <p>Ruim: - aluno</p> |
| Deixe algum comentário ou alguma sugestão | <p>Gostei muito das aulas e achei interessante bastante coisa durante as aulas.</p> <p>Achei muito interessante essas matérias que estudamos, durante este 3º bimestre vi matéria que não sabia mais gostei muito!</p> <p>De sugestão eu tenho a expansão das aulas práticas mais aulas que mostre a teoria em prática.</p> <p>Indico mais questões buscando assunto</p> |

(Conclusão)

| | |
|--|--|
| | <p>teórico.</p> <p>Acredito que as aulas seriam ainda mais interessantes se possuísemos ainda mais aulas práticas e se adentrássemos em alguns assuntos ligados a radioatividade que viríamos a estudar somente em outros anos.</p> <p>Os experimentos foram legais.</p> <p>Professora muito obrigado por seus ensinamentos durante esses bimestres. Das suas aulas te agradeço por ter paciência, na hora das nossas dúvidas, e quando nós estávamos lá sentadas naquela cadeira, você explicava aquela matéria e nos deixava de boca aberta, por não termos nenhuma dúvida. Professora você para mim é um oxigênio, porque sem você não tem como viver.</p> <p>Continue assim.</p> <p>Evolução dos modelos atômicos: modelos atômicos de Thomson, Rutherford e Dalton.</p> <p>Nenhum comentário a declarar, as aulas foram ótimas.</p> <p>Achei as aulas muito boas e educativas. As aulas do 3º bimestre foram as melhores e tornou as aulas de química mais interessantes.</p> |
|--|--|

Fonte: elaborado pela autora, 2019.

O questionário é o nosso instrumento com maior quantidade de informações, no qual conseguimos fazer várias outras observações além das perguntas que estão nele. Em uma visão geral, podemos dizer que os alunos gostaram da forma com que as aulas foram expostas, mas que há uma preferência para as aulas práticas demonstrativas, em especial o teste de chama. De toda a história que expomos, dos modelos atômicos e da radioatividade, temos vários fatos que chamaram a atenção dos alunos, o que apareceu com mais frequência foi a Família Curie, como pode ser visto na tabela. Os personagens que mais agradaram os alunos foram Rutherford e Marie Curie. Os alunos avaliaram as aulas como ótima, muito boa e boa. Sugerem aumentar os números de aulas práticas, e um deles aprofundar nos assuntos ligados a radioatividade. Desta forma podemos dizer que a sequência de ensino proposta foi aprovada pelos alunos, avaliaremos no próximo tópico a efetividade da aprendizagem desses conteúdos, a partir de uma releitura das questões categorizadas.

7.6 CATEGORIZAÇÃO: NOVAS ANÁLISES

De acordo com o referencial metodológico utilizado em nossa pesquisa, Lüdke e André (1986), após a classificação inicial de categorias, a próxima etapa da análise dos dados consiste em um aprofundamento, ligação e ampliação destes. Desta forma quando exploramos nossas categorias, vimos que era possível criar outras categorias a partir das categorias existentes. Essas novas categorias surgiram das atividades de alguns personagens, e eram aquelas de caráter histórico, e de contexto histórico e científico. O questionário também nos permitiu fazer várias categorias, vejamos adiante.

Atividade sobre Dalton

No quadro 11 detalhamos a nova categorização a partir das respostas dos alunos para a questão especificada.

Quadro 11 - Uma nova análise da atividade sobre Dalton

| ATIVIDADE SOBRE DALTON | | | |
|--|--------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| 3) Você acha que o modelo atômico de Dalton é útil? Por quê? | | | |
| CONTEXTO ATUAL | CONTEXTO HISTÓRICO | NOS DOIS CONTEXTO ATUAL/HISTÓRICO | NÃO RESPONDEU O ESPERADO: |
| 06 alunos | 01 aluno. | 5 alunos. | 2 alunos. |

Fonte: elaborado pela autora, 2019.

Esta pergunta de contexto histórico e científico nos permitiu, agrupar as respostas dadas pelos alunos em quatro grupos, em que percebemos que a maioria dos alunos acharam o modelo de Dalton útil no contexto tanto atual, quanto nos dois, histórico e atual. Uma preocupação de quando utilizamos a História da Ciência no Ensino de Ciências é evitar o anacronismo, ou seja, usar conhecimentos atuais para discutir algo que aconteceu em outra época e contexto. Nessa nova análise percebemos que mesmo ao responder essa questão fora do seu contexto histórico eles não fizeram tal inadequação. Até porque em algumas situações do Ensino de Química atual, ainda é útil pensar num átomo como o proposto por Dalton. Ou seja, quando representamos as ligações químicas, especificamente as ligações covalentes, utilizamos desse modelo de átomo para representá-las. Também o empregamos para

exemplificar as moléculas, entre outras finalidades, desta forma, não há problema pensar que o átomo é uma “bolinha indivisível”.

Atividade sobre a História da Radioatividade

A atividade especificada a seguir foi aplicada ao final da aula em que contamos a História da Radioatividade, após análises agrupamos as respostas de acordo com sua frequência, como mostra o quadro 12:

Quadro 12 - Uma nova análise da atividade História da Radioatividade

| ATIVIDADE SOBRE A HISTÓRIA DA RADIOATIVIDADE | | | |
|---|--|---|----------------------------------|
| 4) No texto cita que Marie Curie ganhou o Prêmio Nobel de Física e Química. Você acha que o estudo dos modelos atômicos tem alguma relação com a física, uma vez que vocês os estudam na disciplina de química? | | | |
| O ÁTOMO É OBJETO DE ESTUDO DA FÍSICA E DA QUÍMICA | FÍSICA E QUÍMICA (MATEMÁTICA) ESTÃO INTERLIGADAS | NÃO TEM RELAÇÃO, JUSTIFICANDO COM OS NOBEL DE MARIE CURIE | NÃO RESPONDEU |
| 08 alunos | 05 alunos | 1 aluno | 01 aluno |
| 1) Após o conhecimento desta história, o que mudou no seu conceito no que diz respeito a radioatividade? | | | |
| DEFINEM O QUE É RADIOATIVIDADE | PERCEBE QUE A RADIOATIVIDADE PODE SER BENÉFICA: | ASSOCIA A RADIOATIVIDADE COM COISAS RUINS E PERIGOSAS | NÃO SATISFAZ A RESPOSTA ESPERADA |
| 2 alunos | 04 alunos | 05 alunos | 08 alunos. |

Fonte: elaborado pela autora, 2019.

Ao refazermos as análises desta atividade percebemos que ela foi a que nos possibilitou elaborar duas novas categorias, enquanto as outras apenas uma. A questão quatro é de caráter histórico, e queríamos saber se os alunos conseguiam ter uma visão interdisciplinar do conteúdo trabalho. Temos que a maioria dos alunos considera o átomo um tema das duas disciplinas, alguns ainda dizem que física e química estão interligadas com a matemática. E uma minoria não conseguiu ver a interdisciplinaridade do conteúdo.

A questão número um, de contexto histórico e científico, tinha o intuito de verificar se os alunos haviam compreendido o que era radioatividade. Nesta questão percebemos que os

alunos não compreenderam o que é o fenômeno, e que ainda o associam com coisas ruins e perigosas. Uma minoria compreendeu o que era radioatividade, e percebeu que ela pode ser utilizada para fins benéficos. O que nos mostra que essa parte deve ser melhor desenvolvida na nossa sequência.

Questionário

O questionário foi aplicado no final da sequência, os quadros 13, 14 e 15, que estão a seguir, especificam as novas categorias que conseguimos fazer de acordo com a resposta do aluno.

Quadro 13 – Uma nova análise do Questionário, personagens (Continua)

| QUESTIONÁRIO | | |
|--|---|---|
| De acordo com sua resposta anterior, como o personagem que você escolheu contribuiu com a ciência? | | |
| PERSONAGEM E CITAÇÃO ADEQUADA. | PERSONAGEM E CITAÇÃO INADEQUADA. | PERSONAGEM E CITAÇÃO PARCIALMENTE ADEQUADA |
| <p>Thomson Descoberta dos elétrons. Esférico com cargas positivas e negativas em seu interior.</p> | <p>Thomson O átomo é uma esfera maciça.</p> | <p>Rutherford Expandiu mais os estudos do átomo em relação ao núcleo atômico, espaçamento entre os átomos.</p> <p>Descobrimo os raios gama, beta e alfa.</p> |
| <p>Rutherford Planetário sistema solar.</p> | <p>Rutherford O átomo proposto por ele foi o mais aceitável.</p> <p>Ele apresentou o átomo diferente dos outros.</p> | |
| <p>Marie Curie A descoberta da radiação e contribuiu para a humanidade.</p> | <p>Dalton Se propôs no modelo atômico.</p> | |
| <p>Com seus estudos sobre a radiação.</p> <p>Ela descobriu a radiação e isso foi muito importante para a humanidade. Estudo da radiação.</p> | <p>Marie Curie Com o descobrimento da pechblenda.</p> | |

(Conclusão)

| | | |
|--|--|--|
| <p>Dalton Propôs que a matéria era constituída de minúsculas partículas denominadas átomos. O átomo é indivisível e maciço.</p> | | |
| <p>Lise Meitner Ela contribuiu com a descoberta da fissão atômica do átomo de urânio, e com a fórmula de Einstein constatou a grande quantidade de energia liberada.</p> | | |

Fonte: elaborado pela autora, 2019.

Nesta pergunta tínhamos no intuito de verificar se o aluno conseguia associar o personagem que ele mais gostou, com a sua contribuição para a ciência. As respostas nos possibilitaram organizar três categorias, personagem e citação adequada, personagem e citação inadequada, e personagem e citação parcialmente adequada. Temos que os alunos que escolheram Thomson, um faz a citação adequada, e o outro não. Os que escolheram Rutherford, um apenas cita de forma adequada, dois inadequada e dois parcialmente adequada. Para os que escolheram Marie Curie, três fizeram a associação adequada, e um aluno apenas inadequada. Já dos alunos que escolheram Dalton, tivemos uma citação adequada e uma inadequada. Ainda dispomos de um aluno que cita um personagem que não foi discutido em nossa proposta, porém se relaciona com o tema da radioatividade, que é Lise Meitner, o aluno faz a citação adequada. De forma geral consideramos que a maioria dos alunos conseguiram associar o personagem com sua contribuição para a ciência. O que nos parece indicar, mais uma vez, que discussões envolvendo o contexto histórico foram significativas para esses alunos.

Quadro 14 - Uma nova análise do questionário, radioatividade

(Continua)

| QUESTIONÁRIO | | |
|---|--|--|
| O que você entende sobre radioatividade? | | |
| ASSOCIAÇÃO COM A TEORIA OU CONTEXTO HISTÓRICO | ASSOCIAÇÃO COM A PERICULOSIDADE OU APLICAÇÕES | NÃO FAZ ASSOCIAÇÃO COM OS TEMAS TRABALHADOS |
| Radioatividade de três tipos: alfa, beta e gama Foi descoberto com as várias | Que é muito importante para as usinas, mas ao mesmo tempo é perigoso para o mundo. | A descoberta da radiação contribuiu para a humanidade. |

(Conclusão)

| | | |
|---|--|--|
| <p>ondas de radiação emitidas cada vez mais forte e logo em seguida vem o polônio.</p> <p>Dependendo do material como a pechblenda, ela tem níveis nocivos a saúde sendo que emite radiação.</p> <p>Um fenômeno nuclear.</p> <p>É uma matéria radioativa que possui partículas alfas, beta para que manda para a atmosfera, pois eles possuem muita energia de elétrons, prótons e nêutrons.</p> <p>Radiação alfa e beta.</p> <p>O que desencadeou a descoberta da radioatividade foi outra descoberta, a dos raios X. Hipótese da reciprocidade: “se os raios X podem tornar certas substâncias fluorescentes, então as substâncias fluorescentes podem emitir raios X.</p> <p>A radiação pode ser definida a partir de reações que acontecem em certa propriedade emitindo luz, e essa “radiação” pode ser emitida em proporções diferentes dependendo da energia do átomo.</p> | <p>Dependendo do material como a pechblenda, ela tem níveis nocivos a saúde sendo que emite radiação.</p> <p>É um tema interessante, contudo perigoso, se desenvolveu bastante, mas acredito que ainda haja o que se explorar e descobrir</p> <p>Que uma parte da radioatividade é boa para nós como os raios X, e outra pode prejudicar.</p> <p>Elas possuem elementos químicos que brilham e podem ser usados para o bem na sociedade ou o mau.</p> <p>Ela não é ruim para a maioria das coisas, pelo contrário ela também nos ajuda a sobreviver.</p> | <p>Entendo pouco, mas nas aulas que tivermos aprimorou meus conhecimentos.</p> |
|---|--|--|

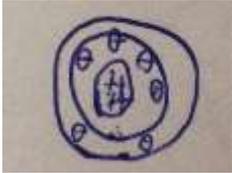
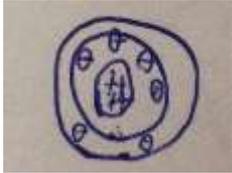
Fonte: elaborado pela autora, 2019.

Ao fazermos esta pergunta para os alunos nosso objetivo era visualizar se eles tinham compreendido o fenômeno da radioatividade. Observamos que quase metade dos alunos associaram a radioatividade a teoria ou à algum fato histórico. A outra metade, fizeram associações com a aplicabilidade e a periculosidade desta, e dois alunos não associaram com os temas trabalhados. Com essas respostas percebemos que o conceito de radioatividade não foi efetivamente consolidado por parte dos alunos, porém visualizamos de forma geral, que eles possuem consciência de que a radioatividade envolve radiação, que está associado ao

átomo, e que possuem conhecimento de algumas de suas aplicações e sua periculosidade. O que nos indica que esse é um conteúdo que deve ser melhor explorado em nossa sequência.

Quadro 15 - Uma nova análise do Questionário, átomo

(Continua)

| QUESTIONÁRIO | | |
|---|---|--|
| Para você como é o átomo? | | |
| CARACTERÍSTICAS DO MODELO ATÔMICO DE THOMSON | CARACTERÍSTICAS DO MODELO ATÔMICO DE RUTHERFORD | CARACTERÍSTICAS DO MODELO ATÔMICO DE BOHR |
| <p>O átomo é tipo uma pizza com partículas de menos e mais.</p> |  <p>O átomo possui um núcleo e é representado como um sol em um sistema solar com elétrons e nêutrons ao seu redor</p>  |   <p>O átomo contém um núcleo (parte mais densa) com “camadas” circulares ao redor, e essas camadas existem um padrão no qual a energia reage dentro do átomo.</p> <p>Esférico com o núcleo com cargas positivas e neutras e com orbitas circulares com cargas negativas.</p> |
| MODELO HÍBRIDO – MISTURA DE DOIS MODELOS | NÃO É POSSÍVEL IDENTIFICAR COM QUAL MODELO SE RELACIONA | CARACTERÍSTICAS DO MODELO DE SOMMERFELD |
| <p>O átomo é uma esfera maciça elétrons positivos.</p> <p>O átomo é uma esfera maciça com cargas negativas e positivas.</p> | <p>A carga positiva e negativa com prótons, nêutrons, massa e número atômico.</p> <p>Que possui várias cargas como positivo, negativa e neutras.</p> <p>Átomo é uma esfera com núcleo, elétrons – e +.</p> | <p>É um modelo que se baseia no nosso sistema solar, temos o núcleo e os elétrons circulando em voltas elípticas, além disso temos os quarks que se vê dentro do átomo</p> |
| | | OUTROS |

(Conclusão)

| | | |
|--|---|--|
| | <p>Hoje o átomo já é uma realidade “visível” o instrumento que nos permite ver o átomo é o microscópio eletrônico</p>  | <p>É uma partícula linda e misteriosa, tudo que acreditamos saber sobre ela pode ser apenas uma hipótese, nós que somos dela constituído não entendemos totalmente sua real importância, isso acontece porque seu motivo é nosso motivo. “Por quê e para que existimos”.</p> |
|--|---|--|

Fonte: elaborado pela autora, 2019.

Nosso objetivo nesta pergunta era visualizar a compreensão que eles tiveram sobre o átomo, e como ele era para eles. Pela tabela percebemos várias respostas, em que parte dos alunos acham que o átomo é parecido com o modelo de Rutherford, outros com o de Bohr, dois esquemas servem, também, para os dois modelos. Um aluno menciona um átomo com características do modelo de Thomson, dois alunos fazem uma mistura de dois modelos atômicos, no qual denominamos de modelo híbrido. Quatro alunos caracterizam seus átomos de forma que não conseguimos associá-los a nenhum modelo. Um aluno descreve seu átomo com características de Sommerfeld, e um aluno com uma visão contemporânea do assunto não responde ao que perguntamos. Vimos no geral que os alunos não possuem mentalmente um modelo específico para o átomo, uma vez que deram características de diversos modelos, e em suas citações não mencionam o nome de nenhum modelo específico. Acreditamos que isso se deve a complexidade que é estudar o átomo, algo muito abstrato para os alunos.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nessa pesquisa nos propusemos a construir uma sequência de ensino que abordasse, a partir da História da Ciência, os conteúdos de Modelos Atômicos e Radioatividade de forma não fragmentada. Nossa opção por essa abordagem se deu pois consideramos importante para o aluno compreender o que é o átomo, sua história e proposições à cerca do mesmo. Tanto quanto, entender um fenômeno que ocorre com o núcleo do átomo. Baseado no que os documentos oficiais norteadores do ensino de química nos orientam, principalmente sobre a não fragmentação do conhecimento, é que decidimos elaborar uma sequência de ensino que interligasse os conteúdos focos deste trabalho.

Desenvolvemos, e apresentamos como produto educacional dessa dissertação, um conjunto de atividades que pode ser desenvolvido ao longo de pouco mais de um bimestre tais conteúdos. A estrutura geral da nossa sequência é guiada pela História da Ciência. Assim, propomos sempre atividades que permitam contextualizar o período em que o conhecimento em foco estava em construção antes de apresentá-lo. Para isso utilizamos de textos históricos, atividades experimentais, aulas expositivas utilizando slides e/ou simulações computacionais.

Aplicamos essa proposta em sete salas do primeiro ano do Ensino Médio e analisamos os dados levantados em uma amostra dessa população a partir de atividades realizadas pelos alunos e de registros das observações da pesquisadora. Com isso pudemos perceber potencialidades e fragilidades desta. A versão final do nosso produto já é uma reconstrução com relação à algumas dessas fragilidades.

Comtemplando a proposta da nossa sequência de ensino, julgamos exitosa a sua aplicação, uma vez que nos possibilitou dialogar com os alunos em diversos momentos, em que eles se sentiram à vontade para expor suas curiosidades à cerca do tema abordado. Consideramos que a nossa sequência de ensino ficou extensa, devido a junção dos conteúdos de modelos atômicos e radioatividade, mas isso não nos atrapalhou a cumprir o planejamento anual da escola. Apesar de termos utilizados diferentes materiais no decorrer das aulas, o que prevaleceu foram os textos históricos centrados nos personagens. E ao final da sequência percebemos que os alunos estavam achando cansativo a forma como estávamos lendo os textos. Devido a isso em uma possível reaplicação da sequência pensaremos em formas diferentes de utilizar esses textos aos alunos. Os alunos também gostaram da proposta, principalmente das aulas demonstrativas. Apesar deles terem se envolvido bastante com a atividade da caixa preta, a aula prática com o teste de chama foi a preferida segundo nos

indicou o questionário final. Talvez tenham ficado decepcionados com o fato de não termos aberto a caixa preta para comprovar o que havia dentro dela, ou porque o experimento teve um efeito visual mais atrativo. Mas nos parece que o uso de ambas atividades cumpriu bem o papel de instigá-los a conhecer um pouco sobre o fazer científico, um dos objetivos dessa proposta.

Analisando as atividades realizadas pelos alunos, em específico as questões de caráter histórico, percebemos que ao longo da aplicação da sequência a quantidade de alunos que respondem adequadamente e parcialmente adequada as questões, vão aumentando. Isso nos mostra que os alunos se adaptaram a inserção da História da Ciência no conteúdo que estava sendo trabalhado, levando em consideração que esses alunos não tinham contato com esse tipo de questão. A utilização da História da Ciência permitiu um envolvimento maior dos alunos nas aulas, uma vez que eles demonstraram maior interesse pelo conteúdo.

A aula sobre História da Radioatividade foi considerada por nós muito densa, o que pode ter acarretado os baixos índices de respostas adequadas nas atividades que propomos aos alunos sobre esse tópico. Porém esta aula foi uma das que os alunos mais interagiram, nos mostrando extremo interesse pelo assunto. Quando retornamos com o tema trazendo especificamente o fenômeno radioatividade, o interesse dos alunos pelo assunto foi evidente novamente. Se dispuséssemos de mais tempo em nossa sequência teríamos aprofundado e discutido sobre o assunto, e utilizado duas aulas para cada assunto (História da Radioatividade/ Radioatividade).

Analisando a eficácia da sequência de ensino aplicada em relação a aprendizagem dos alunos com referência ao conteúdo, avaliamos de acordo com os resultados obtidos tanto nas atividades, quanto na avaliação, que foi uma atividade realizada sem consulta ao material, que a aprendizagem foi satisfatória. Resolvemos fazer uma comparação das notas da avaliação desses alunos, do segundo bimestre com o terceiro bimestre (aplicação da proposta), aparentemente pelos resultados os alunos tiveram um melhor desempenho no terceiro bimestre. Contudo, deixamos claro que essa comparação de fato não é justa, pois temos ciência de que os conteúdos abordados, e a metodologia utilizada não foram os mesmos. E que aparentemente o uso da História da Ciência estimulou a participação e interesse dos alunos nas aulas, refletindo no bom desempenho deles. Quando nos referimos ao conteúdo de Radioatividade, não obtivemos um bom resultado, possíveis fatores já foram discutidos, em que consideramos uma falha na elaboração da aula, o tipo de aula, e até mesmo tempo insuficiente para discutir e sanar as dúvidas dos alunos. Este fato não desmerece a nossa ideia de ter juntado os dois conteúdos, pois foram nessas aulas que surgiram maior interesse por

parte dos alunos, o que pode ser percebido quando mostramos que os personagens que eles mais gostaram são aqueles que estão envolvidos nos estudos da radioatividade (Rutherford e Marie Curie).

Ponderamos também o fato da quantidade de alunos que não nos entregaram os termos, e nem fizeram as atividades. Isso foi algo que nos fez refletir em algum momento sobre as fragilidades da educação, o que estaria provocando esse desinteresse nos alunos pela escola e pelos estudos em geral. Consideramos várias as possibilidades para isso, porém não é pertinente discutimos elas aqui, pois esse não era o objetivo deste trabalho, queríamos apenas deixar nossa observação sobre este ocorrido. Mas, ainda assim, considero que no bimestre de desenvolvimento da sequência o envolvimento deles pareceu maior do que nos anteriores.

Enfatizando a nossa proposta de ensino, que foi interligar os conteúdos de modelos Atômicos e Radioatividade, utilizando a História da Ciência, percebemos que a História da Ciência foi de fundamental importância para essa conexão, pois foi por meio dela que construímos uma sequência de ensino atrativa, em que conectamos os conteúdos de interesse naturalmente. Uma vez que a história do átomo se faz da utilização da radioatividade, que por fim, é um fenômeno nuclear que está intimamente ligado ao estudo do átomo. Cremos que a sequência de ensino teve algumas falhas como na aula da História da Radioatividade, como também na atividade de Rutherford, contudo consideramos que foi efetiva na interação dos alunos com a professora, na participação dos alunos nas aulas, e de forma geral na aprendizagem deles. A partir da nossa proposta percebemos que a ligação entre os dois conteúdos é possível sem mesmo utilizar a História da Ciência, mas também reconhecemos que para nós ela foi, muito importante não só na junção dos temas, mas também porque tínhamos o intuito de fazer o aluno compreender como é o fazer científico, quais as influências e fatores que os cientistas da época sofreram para propor o que tínhamos naquela época, e o que temos hoje. Mostramos com esse trabalho que é possível essa articulação dentre os conteúdos, se tivéssemos de um tempo maior para a elaboração da sequência, as propostas de atividades e a maneira como foram expostos os conteúdos poderiam ter sido diferentes. A aula sobre História da Radioatividade seria uma delas, que a princípio a ideia era criar um vídeo no lugar dos slides. Enfim, fica aqui essa possibilidade de abordagem diferente para estes conteúdos, cabendo a nossa imaginação e criatividade a responsabilidade de criar propostas diversas para tal.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio: Ciências da natureza, Matemática e suas tecnologias.** Brasília: MEC, 2002.
- BELTRAN, Maria Helena Roxo; SAITO, Fumikazu; TRINDADE, Lais dos Santos Pinto. **História da Ciência para formação de professores.** São Paulo: Livraria da Física, 2014. 128 p.
- CISCATO, Carlos Alberto Mattoso et al. **Química: Ensino Médio.** São Paulo: Moderna, 2016.
- CORTEZ, Jucelino. **O Legado de Madame Curie: Uma abordagem CTS para o Ensino da Radioatividade.** 2014. 66 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Ensino de Física, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.
- FERREIRA, Ricardo. Nota sobre as origens da Teoria Atômica de Dalton. **Química Nova**, São Paulo, v. 10, n. 03, p. 204-207, 01 fev. 1987.
- FILGUEIRAS, Carlos Alberto L. A Espectroscopia e a Química: Da descoberta de novos elementos ao limiar da teoria quântica. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 3, n. 1, p. 22-25, maio 1996.
- FILGUEIRAS, Carlos Alberto L. Duzentos anos da Teoria Atômica de Dalton. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 20, n. 7, p. 38-44, nov. 2004.
- FONSECA, Martha Reis Marques da. **Química: Ensino Médio.** 2. ed. São Paulo: Ática, 2016. 3 v.
- FORATO, Thaís Cyrino de Mello; PIETROCOLA, Maurício; MARTINS, Roberto de Andrade. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. DOI: 10.5007/2175-7941.2011v28n1p27. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, São Paulo, v. 28, n. 1, p. 27-59, 5 jul. 2011. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2011v28n1p27>. Acesso em: 05 maio 2019.
- FRANCISCO, Fabiano Celli *et al.* Radiologia: 110 anos de história. **Revista Imagem**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 27, p. 281-286, 4 jan. 2005.
- LISBOA, Julio Cezar Foschini *et al.* **Ser Protagonista: Química.** 3. ed. São Paulo: Sm, 2016. 3 v.
- LOBATO, César de Barros. **Misturas e Combinações Químicas dos gases: Estudos e aplicações atômicas de John Dalton (1766 - 1844).** 2007. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em História da Ciência, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2007.

LOPES, Cesar Valmor Machado. **Modelos Atômicos no início do século XX: da física clássica à introdução da teoria quântica.** 2009. 173 f. Tese (Doutorado) - Curso de História da Ciência, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2009.

LÜDKE, Menga; ANDRÉ, Marli E. A. **Pesquisa em Educação: Abordagens Qualitativas.** São Paulo: Epu, 1986.

MALDANER, Otávio, Aloísio. *et al.* **Currículo contextualizado na área de ciências da natureza e suas tecnologias: a situação de estudo.** In: ZANON, Lenir Basso; MALDANER, Otávio. Aloísio (Org.). Fundamentos e propostas de ensino de química para a educação básica no Brasil. Ijuí: Editora Unijuí, 2007. p. 109-138.

MARQUES, Deividi Marcio. **As investigações de Ernest Rutherford sobre a estrutura da matéria: Contribuições para o ensino de Química.** 2006. 182 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Educação para A Ciência, Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2006.

MARTINS, Roberto de Andrade. Como Becquerel não descobriu a radioatividade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 7, n. 4, p. 27-45, jun. 1990.

MARTINS, Roberto de Andrade. As primeiras investigações de Marie Curie sobre elementos radioativos. **Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência**, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 29-41, jan. 2003.

MARTINS, Roberto de Andrade. Hipóteses e interpretação experimental: A conjectura de Poincaré e a descoberta da hiperfosforescência por Becquerel e Thompson. **Ciência e Educação**, Bauru, v. 10, n. 3, p. 501-516, dez. 2004.

MARTINS, Roberto de Andrade. **A história das ciências e seus usos na educação.** In: SILVA, Cibelle Celestino. Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no Ensino. 1ª ed. São Paulo. Livraria da Física, 2006.p.17-30

MARTINS, Wilson Denis. Wilhelm Conrad Roentgen: e a descoberta dos raios-X. **Revista Clínica de Pesquisa Odontológica**, Curitiba, v. 3, n. 1, p. 59-63, mar. 2005.

MATTHEWS, Michael R.. História, Filosofia e Ensino de Ciências: A tendência atual de reaproximação. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 3, n. 12, p.164-214, dez. 1995.

MATOS, Clarianna Ferreira de; SCHUINDT, Claudia Celeste; LORENZETTI, Leonir. Recursos didáticos no Ensino de Química: analisando a temática radioatividade nos livros didáticos. In: Atas do **XVIII Encontro Nacional de Ensino de Química, XVIII ENEQ**, 2016, Florianópolis, SC. Divisão de Ensino de Química da Sociedade Brasileira de Química - ED/SBQ.

MERGULHANDO no núcleo do átomo - Aula 48 de física - Telecurso. São Paulo: Tv N, 2012. Son., color. Legendado. Disponível em:
<https://www.youtube.com/watch?v=X0xfIKfXNsk>. Acesso em: 06 maio 2019.

MINAS GERAIS 2007, CBC Ensino Médio: **Proposta Curricular – Conteúdo Básico Comum – Química**. Secretária de Educação do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

MORE: Mecanismo online para referências, versão 2.0. Florianópolis: UFSC Rexlab, 2013. Disponível em: <http://www.more.ufsc.br/>. Acesso em: 05 jan. 2019.

MORTINER, Eduardo Fleury; MACHADO, Andréa Horta. **Química: Ensino Médio**. 3. ed. São Paulo: Scipione, 2016. 3 v.

MOURA, Cristiano Barbosa de. **Discutindo a natureza da Ciência no Ensino Médio: Um Caminho a partir de desenvolvimento dos Modelos Atômicos**. 2014. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Ciência, Tecnologia e Educação, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, 2014.

NOVAIS, Vera Lúcia Duarte de; ANTUNES, Murilo Tissoni. **Vivá: Química**. Curitiba: Positivo, 2016. 3 v.

NUNES, Luiz Antônio Oliveira; ARANTES, Alessandra Riposati. **Física em Casa**. São Carlos: Instituto de Física de São Carlos, 2009.

OLIVEIRA, Gustavo Santana de. **História da ciência e ensino: análise do seu uso e incentivo a utilização**. 2018. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

PINTO, Giovana Teixeira; MARQUES, Deividi Marcio. Uma Proposta Didática na Utilização da História da Ciência para a Primeira Série do Ensino Médio: A Radioatividade e o cotidiano. **História da Ciência e Ensino: Construindo Interfaces**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 27-57, 2010.

PUGLIESE, Gabriel. Um sobrevoo no “Caso Marie Curie”: um experimento de antropologia, gênero e ciência. **Revista de Antropologia**: 1, São Paulo, v. 50, n. 1, p. 347-385, dez. 2007.

RICARDO, Elio Carlos. Implementação dos PCN em Sala de Aula: Dificuldades e Possibilidades. **Ciência na Mão: Física em Casa**, São Paulo, v. 4, n. 1, p. 8-11, maio 2003.

SANTOS, Wildson Luiz Pereira dos et al. **Química: Cidadã**. 3. ed. São Paulo: Ajs, 2016. 3 v.

SILVA, Nara Fernandes Leite da; SALES, Nilva Lúcia Lombardi. Modelos atômicos e a radioatividade nos Livros Didáticos do PNLD 2018: análise sobre possíveis articulações. In: Atas do **XV Evento de Educação Química, XV EVEQ**, 2018, Araraquara, SP. Instituto de Química – UNESP.

TRANCOSO, Marcelo Delena. **A História das Ciências colaborando no estudo da estrutura atômica e dos Modelos Atômicos no Ensino Médio**. 2016. 202 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Ensino de Química, Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

VIANA, Hélio Elael Bonini. **A Construção da Teoria Atômica de Dalton como estudo de caso: e algumas reflexões para o ensino de química**. 2007. 98 f. Dissertação (Mestrado) -

Curso de Mestrado em Ensino de Ciências, Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biociências e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

XAVIER, Allan Moreira *et al.* Marcos da História da Radioatividade e tendências atuais. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 1, p. 83-91, jan. 2007.

WARSAW, Maria Skłodowska-curie Museum In (Org.). **Maria Skłodowska-Curie**. Disponível em: <http://en.muzeum-msc.pl/maria-sklodowska-curie>. Acesso em: 08 jul. 2019.

APÊNDICE A – Produto Educacional

Sequência didática para o Ensino de Modelos Atômicos e Radioatividade interligados pela História da Ciência



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO TRIÂNGULO MINEIRO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS, NATURAIS E EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM QUÍMICA EM REDE
NACIONAL

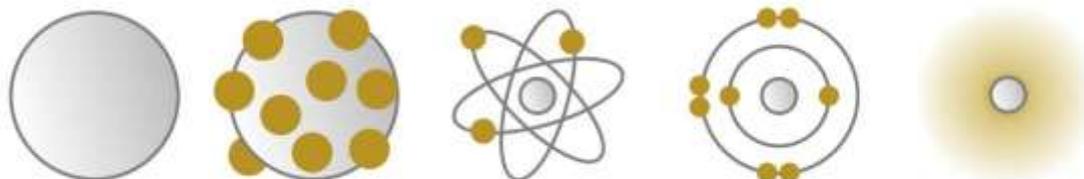
Uma abordagem para o Ensino de Modelos Atômicos e Radioatividade a partir da História da Ciência

Nara Fernandes Leite da Silva

Nilva Lúcia Lombardi Sales

Valéria Almeida Alves

40



⁴⁰ Disponível em: <https://i.pinimg.com/originals/7b/81/b6/7b81b625e7b52732fc5aa3c6ae06eb7e.png>. Acesso em: 11 maio de 2019.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO TRIÂNGULO MINEIRO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS, NATURAIS E EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM QUÍMICA EM REDE
NACIONAL

Uma abordagem para o Ensino de Modelos Atômicos e Radioatividade a partir da História da Ciência

Nara Fernandes Leite da Silva

Produto Educacional resultante da dissertação de Mestrado realizada sob orientação da Prof.^a Dra. Nilva Lúcia Lombardi Sales, e coorientação Prof.^a Dra. Valéria Almeida Alves, apresentada ao Instituto de Ciências Exatas, Naturais e Educação (ICENE/UFTM), Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI/UFTM-Uberaba), como requisito para obtenção do título de Mestre em Química.

Uberaba – MG

Agosto

2019

Apresentação do Produto Educacional:
Sequência didática para o Ensino de Modelos Atômicos e Radioatividade
interligados pela História da Ciência

O material aqui apresentado é fruto do trabalho desenvolvido em um Programa de Mestrado Profissional, e tem o intuito de auxiliar os professores de química a utilizar a História da Ciência em suas aulas, a partir inicialmente de duas temáticas. Incentivando, assim, o professor empregar a História da Ciência em outros momentos, e em outros conteúdos.

A sequência didática foi elaborada para os conteúdos de modelos atômicos e radioatividade. Uma vez que esses conteúdos são trabalhados de forma fragmentada e em anos distintos do Ensino Médio, nosso objetivo foi criar a possibilidade de uma abordagem diferente para esses temas, utilizando a História da Ciência.

Ficou curioso?

Então venha conosco descobrir como elaborar e ministrar aulas desses conteúdos sem fragmentá-los.

Sequência didática para o Ensino de Modelos atômicos e Radioatividade

Ao desenvolver e aplicar essa sequência didática, temos como objetivo salientar a História da Ciência ao trabalharmos os conteúdos de modelos atômicos e radioatividade, com a finalidade de fazer o aluno compreender que a ciência não desenvolve sozinha, e nem tão pouco isolada de fatores políticos, históricos e sociais.

A sequência didática foi desenvolvida para alunos do 1º ano do Ensino Médio, e deverá ser aplicada quando o conteúdo de Modelos Atômicos for apresentado a eles. Prevê para cada aula, atividades para contextualizar os conceitos abordados, tais como, atividades práticas demonstrativas, textos com informações científicas e históricas, vídeos, e discussões, a partir de questões, sobre tais conceitos.

Os textos que aparecem ao longo da sequência foram estruturados com base em trabalhos e artigos já existentes na literatura sobre os referidos personagens abordados. Da mesma forma, as atividades usadas nas aulas demonstrativas e os vídeos também já estão disponíveis na internet e em revistas da área de Ensino de Ciências.

A sequência está distribuída em 12 tópicos que contém orientações sobre as aulas, que podem ser desenvolvidas individualmente, em grupos, ou da forma como o professor desejar. Enfatizamos que essa sequência é apenas uma maneira de se trabalhar esses conteúdos, podendo então sofrer alterações de acordo com a necessidade de cada cenário escolar, ficando também a critério do professor a forma como aplicar e avaliar as atividades propostas.

Tópico 1: O Fazer Científico – Atividade com a caixa preta.

Esta aula tem como objetivo fazer o aluno compreender e vivenciar como ocorre o fazer científico. Para isso produzimos uma caixa encapada com papel preto, com quatro pequenos furos e um objeto dentro dela (utilizamos uma tampa de marca texto, mas podem ser utilizados qualquer material), como mostramos a seguir:

Figura 1 - Caixa preta



Fonte: da autora, 2018.

Sugerimos que a atividade seja feita em grupo, e em qualquer espaço da escola (fizemos no laboratório de ciências). Com a sala em ordem distribuimos uma caixa para cada grupo analisar e identificar qual o objeto havia dentro dela sem violá-la. Utilizamos como argumento que “a partir daquele momento, eles deveriam se portar como cientistas que viviam no passado, e por isso detinham somente do tato, visão, olfato e paladar para identificar o objeto”. Após essa análise pedimos para que os grupos desenhassem em um papel o objeto por eles observado e descrevessem suas características. Em seguida começamos a socializar qual objeto estava dentro da caixa. Ao final sugerimos ao professor fazer as seguintes perguntas ao aluno:

- Vocês possuem certeza que o objeto que está dentro da caixa é o que vocês desenharam no papel?
- Vocês não conseguem e nem podem abrir ou violar a caixa, assim como comprovariam para alguém que o objeto que vocês afirmam estar dentro da caixa, é realmente o que vocês dizem?

Essas perguntas servem para auxiliar o professor na discussão com os alunos sobre o fazer científico, que de acordo com o diálogo gerado tem condições de mostrar ao aluno que a ciência convive com as incertezas, e que nem sempre consegue violar suas “caixas pretas”.

Trazendo o aluno para o contexto do estudo do átomo, uma vez que mesmo ainda é um mistério para todos nós.

NOTA AO PROFESSOR: O discurso acima é sugerido para darmos continuidade na sequência de ensino. Duração desta aula 50 minutos. Como a atividade foi realizada em grupo confeccionamos quatro caixas pretas.

Tópico 2: O átomo e o modelo atômico de Dalton

Para esta aula sugerimos que o professor inicie uma conversa com os alunos perguntando se eles sabem do que é constituído a matéria, fazendo um diagnóstico do conhecimento prévio dos alunos sobre o assunto. Após começamos a aula expositiva com a origem da palavra átomo, e apresentação dos primeiros filósofos gregos que discutiram sobre a constituição da matéria. Os filósofos que citamos foram Leucipo e Demócrito, Epicuro e Lucrécio, Tales de Mileto, Anaxímenes, Heráclito e Aristóteles. Em seguida apresentamos a eles Dalton, que foi a primeira pessoa a retomar esses estudos muitos séculos depois. Nesta parte da aula trabalhamos com um texto que conta um pouco do contexto vivido por Dalton naquela época. Apresentamos o texto a seguir na página 127.

Para a leitura do texto os alunos podem se revezar, e quando necessário intervimos com alguma explicação ou comentário. Terminado a leitura do texto explicamos como Dalton propõem o seu modelo para o átomo, seguido de seus postulados. Para encerrarmos, pode-se aplicar uma atividade em grupo, dupla ou individualmente para os alunos, a atividade está inserida no final do texto.

NOTA AO PROFESSOR: As aulas em que falamos sobre os filósofos gregos, o modelo, e postulados de Dalton foram expositivas e utilizamos informações do livro didático utilizado pela escola. Para a realização desta aula foram necessárias duas aulas de 50 minutos cada.

Dalton e suas ideias sobre os átomos



Imagem 1: Dalton

Iremos entrar no túnel do tempo para entendermos como surgiu a Teoria Atômica de Dalton.

John Dalton, inglês, nasceu em 6 de setembro de 1766, em uma casa de sólida formação religiosa. Aos 6 anos de idade foi matriculado na única escola da vila, onde tinha aulas de ciências. Aos 12 anos começou a dar aulas em uma escola montada em sua casa. Aos 14 anos fechou sua escola e foi dar aulas de Ciências Naturais na cidade de Kendal.

Aos 26 anos descobriu que sofria de uma anomalia visual da qual enxergava tudo em tons azulados, devido a seus intensos estudos sobre esta anomalia, que recebeu o nome de daltonismo.

Os estudos de Dalton foram focados inicialmente em Meteorologia, tal interesse se deu devido ao clima inconstante de onde vivia. Ele se interessava por temas como a solubilidade dos gases na água, a água contida como vapor na atmosfera e pela expansão do vapor por ação do calor.

Após Kendal, Dalton se mudou para Manchester, cidade já dominada pela máquina a vapor (máquina que utiliza o vapor, liberado pela queima de combustível, em trabalho mecânico). Isto influenciou Dalton a escrever um dos seus primeiros trabalhos na Sociedade Literária e Filosófica de Manchester, intitulado de “Ensaio experimental para determinar a expansão de gases pelo calor, (...), com observações sobre os motores a vapor comuns e aprimorados”. A partir de 1801, depois dos seus estudos sobre as diferentes solubilidades dos gases na água, é que Dalton vai construir sua proposta sobre o átomo.

Sua primeira proposta foi apresentada em 1803. Em 1804 o químico, Dr. Thomas Thomson, visitou Dalton se inteirou de sua teoria, e viu a importância que tinha para a Química, uma vez que a partir dela se conseguia explicar a Leis Ponderais propostas por Lavoisier e Proust. Assim Dalton tem sua teoria publicada no livro de Thomson, “Um sistema de química”, em que tem a partir daí sua teoria expandida. Com essa repercussão Dalton fez conferência em Glasgow e Edinburgo, no Reino Unido, e escreveu o livro “A new System of Chemical Philosophy” (Novo Sistema de Filosofia Química), que foi publicado em 1808.

A aceitação do modelo atômico de Dalton ilustra a influência de fatores sociais e políticos da época que eram presentes nas decisões da comunidade científica. O químico francês

Marcelin Pierre Eugène Berthelot (1827-1907), era um político influente que ocupava cargos de destaque no governo, e combateu o atomismo. No Boletim da Sociedade de Química de Paris, registrava-se que os químicos franceses se dividiam entre os atomistas e os contrários ao atomismo. No congresso de Karlsruhe, Alemanha, havia o predomínio da rivalidade entre nacionalidades, os franceses tinham uma posição conservadora contra o atomismo, e os químicos alemães tinham posturas progressistas aceitando as ideias atomistas. Apesar dessa divergência de ideias, ao longo do século XIX a teoria de Dalton sobre o átomo começa a ganhar mais adeptos sendo então ampliada. Assim, no final do século XIX, a teoria do modelo atômico de Dalton passou a constituir a base dos demais modelos usados na química, e a partir dela ocorre a dinamização das indústrias químicas dos corantes, fármacos e dos explosivos na Alemanha contra as velhas indústrias de Manchester, na Inglaterra.

O texto foi elaborado de acordo com as referências:

FERREIRA, Ricardo. Nota sobre as origens da Teoria Atômica de Dalton. **Química Nova**, São Paulo, v. 10, n. 03, p.204-207, 01 fev. 1987.

FILGUEIRAS, Carlos Alberto L.. Duzentos anos da Teoria Atômica de Dalton. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 20, n. 7, p.38-44, nov. 2004.

LOBATO, César de Barros. **Misturas e combinações químicas dos gases**: Estudos e aplicações atômicas de John Dalton (1766 - 1844). 2007. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em História da Ciência, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2007.

VIANA, Hélio Elael Bonini. **A Construção da Teoria Atômica de Dalton como estudo de caso**: e algumas reflexões para o ensino de química. 2007. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Ensino de Ciências, Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biociências e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

FONTE DA IMAGEM:

Imagem1: Fonte:<https://seuhistory.com/hoje-na-historia/nasce-john-dalton-o-precursor-da-teoria-atmica>

ATIVIDADE SOBRE DALTON

Considere as discussões realizadas na aula e as informações presentes nesse texto para discutir e responder, coletivamente, as questões a seguir:

- 1) O que você acha que motivou Dalton a criar um modelo atômico?
- 2) A partir do que você estudou sobre, diga como o modelo de Dalton explica as Leis Ponderais.
- 3) Você acha que o modelo atômico de Dalton é útil? Por quê?

Tópico 3: Atividade prática de eletrização da matéria

Para introduzir as discussões sobre o modelo atômico de Thomson propomos a, realização de uma atividade prática de eletrização da matéria. Com isso mantemos a proposta de apresentar aos alunos os conhecimentos do contexto da época em que o modelo atômico foi desenvolvido. Sugerimos organizar os alunos em grupos na sala de aula e distribuir o material abaixo:

MATERIAIS:

- Canudos de plásticos;
- Um pedaço de folha de seda;
- Um pedaço de barbante;
- Pedacinhos bem pequenos de folhas de seda.

Distribuído o material orientamos os grupos com as ações que deveriam executar:

1. Atritem o pedaço maior de folha de seda em um canudo, após, aproxime o canudo dos pedaços pequenos de papel de seda e observe.

Figura 2a

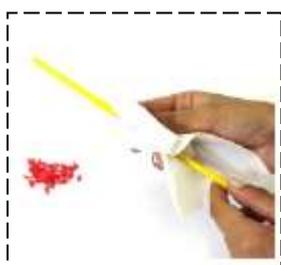
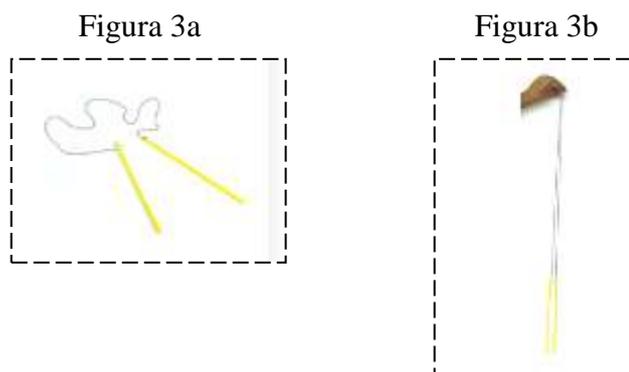


Figura 2b



Fonte: Nunes e Arantes, 2009, p. 1.

2. Amarre dois canudos no pedaço de barbante, cada um em uma ponta. Agora esfregue a folha de seda nos dois canudos, feito isso, segure no meio do barbante com a finalidade de tentar juntar os canudos. Observe.



Fonte: Nunes e Arantes, 2009, p. 1.

3. Sugestão de desafio: enquanto os alunos desenvolviam a prática, atritamos um pedaço de papel de seda em um canudo e colocamos ele na parede, o qual ficou grudado. Assim terminado a prática desafiamos os alunos a “pregarem o canudo na parede” como se fosse “mágica”.

Terminado esse momento de descontração pedimos para os grupos responderem algumas perguntas relacionadas a atividade desenvolvida.

ATIVIDADES

- 1) O que vocês observaram? Descreva o que observaram em cada atividade.
- 2) Como vocês podem explicar os fenômenos observados?
- 3) Vocês acham que esses fenômenos têm alguma relação com a constituição da matéria?
- 4) Considerando sua resposta anterior vocês acham que o modelo atômico proposto por Dalton é o suficiente para explicar esses fenômenos? Em caso afirmativo, justifique, ou em caso negativo proponha uma estrutura para o átomo que possa justificar.

NOTA AO PROFESSOR: A última pergunta dará suporte para continuarmos a sequência didática e introduzirmos o modelo atômico proposto por Thomson. Essa atividade foi realizada em uma aula de 50 minutos. As imagens acima foram retiradas do material de apoio Física em Casa.

Tópico 4: O Modelo Atômico de Thomson

Nesta aula voltamos a pergunta da aula anterior: o modelo atômico proposto por Dalton consegue responder o fenômeno observado na aula prática com os canudos e o papel de seda? Após as opiniões dos alunos expostas, nós, sem comentarmos nada, distribuimos um texto que contém um pouco da história de Joseph Jon Thomson. Organizamos os alunos em dupla para a leitura desse texto que é mostrado adiante na página 132.

Depois da leitura aplicamos uma atividade que é composta por três questões referente ao texto, que se encontra no final do mesmo.

NOTA AO PROFESSOR: Ao final da leitura enfatizamos com os alunos que o modelo de Dalton já não era mais aplicável para os estudos que estavam em evidência, por isso surge um outro modelo, para explicar as propriedades já conhecida da matéria naquela época. Utilizamos uma aula de 50 minutos.

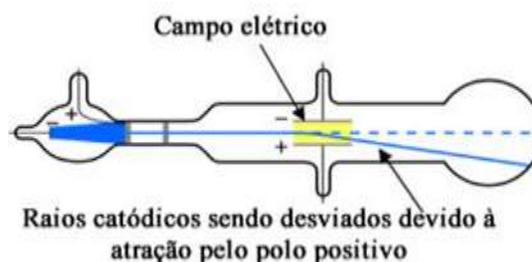
|

Um pouco da história e do modelo atômico de Thomson

Joseph John Thomson, nasceu na Inglaterra, em 18 de dezembro de 1856 e morreu em 30 de agosto de 1940 em Cambridge. Perdeu seu pai, que era livreiro e editor, aos 16 anos de idade. Thomson viveu maior parte de sua vida em Cambridge, onde estudou matemática na Universidade de Cambridge. A princípio seu percurso acadêmico se iniciou aos 14 anos em Manchester, no Owens College, onde cursava engenharia por orientação de seu pai. Lá teve excelentes professores que incentivaram sua ida para Cambridge. No Owens College, Thomson despertou um interesse pela física, em particular pelas combinações químicas e pelas teorias atômicas da matéria, principalmente as de Dalton. Em 1906 ganhou o Prêmio Nobel de Física, pelos seus trabalhos sobre a condução de eletricidade em gases, e foi presidente da Royal Society de Londres entre 1915 e 1920.

O modelo atômico de Dalton foi sustentado por um bom tempo, uma vez que conseguia fazer boas previsões sobre as propriedades dos gases e cálculos de concentração de soluções, porém não era suficiente para explicar as propriedades das substâncias. Thomson recebeu grande destaque ao propor o seu modelo atômico, porque conseguiu adaptar suas ideias às pesquisas em evidências na época em que vivia, em particular aquelas envolvendo propriedades elétricas. Ele tentava procurar algo para entender a valência e as propriedades periódicas, desta forma Thomson busca outros estudos para estabelecer suas investigações. Encontra nos trabalhos com tubos de descarga de gases, de William Crookes, uma base para suas análises. O também inglês William Crookes (1832-1919), inventou uma ampola de raios catódicos, essa ampola continha um gás ou ar em baixa pressão, que quando submetido a uma corrente elétrica, produzia raios luminosos que saíam da extremidade onde estava o polo negativo da fonte de alta tensão, para a outra extremidade de polo positivo. Para Crookes esses raios seriam um fluxo de moléculas. Esses raios foram estudados por diversos pesquisadores da época como Rutherford, Roentgen, Becquerel e outros. A partir desses conhecimentos Thomson testou tubos contendo quatro diferentes gases e utilizou três metais diferentes na constituição dos eletrodos, e obteve sempre os mesmos valores para a razão massa/carga das partículas desses raios. De acordo com isso observou que os raios catódicos eram os mesmos, independente, da composição do metal utilizado, ou do gás na válvula.

Imagem 1: experimento de Thomson



Isso o fez afirmar que todos os elementos têm um constituinte universal, o elétron. Esse nome, elétron, foi proposto pelo físico irlandês George Johnstone Stoney (1826-1911), para identificar a unidade natural da eletricidade, em 1891. Contudo tal unidade ainda não era muito bem conhecida e/ou estudada nessa época. Diante dessas evidências Thomson propôs:



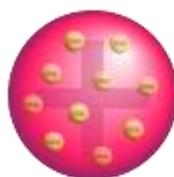
Imagem 2: Thomson

“A ideia que os átomos dos elementos consistem em um número de corpúsculos eletricamente negativos englobados numa esfera uniformemente positiva, sugere, dentre outros problemas matemáticos interessantes, o único discutido nesse artigo – o movimento de um anel com n partículas eletricamente negativas localizado numa esfera eletricamente uniformemente”.

Ele ainda disse que os elétrons seriam os responsáveis por toda ou maior parte da massa do átomo.

Nos livros didáticos é comum fazer uma analogia desse modelo ao pudim de passas, comida típica inglesa, que não é muito conhecida por aqui. Outra analogia possível seria com o panetone, no qual os elétrons seriam as frutas cristalizadas presentes na massa do panetone que seria a parte positiva do átomo.

Imagem 3: “Modelo Atômico de Thomson



O texto foi elaborado de acordo com as referências:

OLIVEIRA, Gustavo Santana de. **História da ciência e ensino**: análise do seu uso e incentivo a utilização. 2018. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

LOPES., Cesar Valmor Machado. **Modelos atômicos no início do século XX**: da física clássica à introdução da física quântica. 2009. 173 f. Tese (Doutorado) - Curso de História da Ciência, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2009.

FONTES DA IMAGEM

IMAGEM 1: <https://alunosonline.uol.com.br/upload/conteudo/images/experimento-de-homson.jpg>

IMAGEM 2: <https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0172219006000573-gr1.jpg>

IMAGEM3: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/ff/Plum_pudding_atom.svg/220px-plum_pudding_atom.svg.png

ATIVIDADE SOBRE THOMSON

- 1) Você acha que o modelo atômico de Dalton poderia explicar as propriedades da matéria que Thomson pesquisava?
- 2) Diga com suas palavras as diferenças dos modelos atômicos propostos por Dalton e Thomson.
- 3) A partir do que você estudou até aqui, qual foi a contribuição para a ciência do modelo atômico proposto por Thomson?

Tópico 5: História da Radioatividade

Consideramos essa aula a peça chave para a integração dos temas de modelos atômicos e radioatividade, é a partir dela que o aluno entenderá o quanto esses conteúdos estão interligados. Para essa aula utilizamos de recursos multimídia como data Show e notebook. Essa aula pode ser desenvolvida em qualquer espaço da escola. Compartilhamos aqui os slides que utilizamos para ilustrar como abordamos essa discussão. Em um determinado momento, quando falávamos do brilho visto pelos cientistas nos materiais que eles estudavam, fizemos uma simulação com luz negra e alguns materiais fluorescentes para que os alunos tivessem, pelo menos, uma ideia do tipo de observação da época. Fica a critério do professor se ele irá ou não incluir nesse momento alguma discussão sobre fenômenos como fluorescência e fosforescência. Nós optamos por diferenciar conceitualmente esses fenômenos de forma simples. Essa atividade é mostrada logo após os slides.



2

ERA UMA VEZ....

WILHELM CONRAD ROENTGEN, UM FÍSICO ALEMÃO QUE EM NOVEMBRO DE 1895, SURPREENDEU O MUNDO AO ANUNCIAR A DESCOBERTA DE UM "NOVO TIPO DE RAIOS" E QUE ERA POSSÍVEL ATRAVÉS DELE "VER" DENTRO DO CORPO HUMANO.



1845 - 1923

Imagem 1

3

TENTAVA....

- DISCUTIR A NATUREZA DOS RAIOS CATÓDICOS, E RESOLVE REPETIR OS EXPERIMENTOS DE PHILIPP LENARD (1862 – 1947) COM TUBOS DE RAIOS CATÓDICOS COBERTOS COM PAPEL NEGRO.
- REALIZANDO SEU EXPERIMENTO POR DIVERSAS VEZES NA TENTATIVA DE FORMAR SOMBRAS NA TELA, ELE CONSEGUE OBSERVAR A IMAGEM DE SEUS OSSOS NO ANTEPARO, A QUAL ELE REGISTRA EM CHAPAS FOTOGRÁFICAS.



Imagem 2

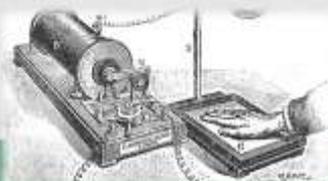


Imagem 3

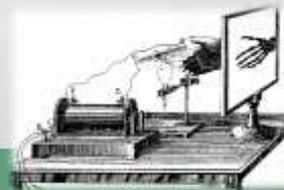


Imagem 4

4



Imagem 5

- ASSIM REGISTRA A FAMOSA IMAGEM DA MÃO DE SUA ESPOSA COM UM ANEL.
- ESSE FATO SEGUNDO ELE ERA PROVOCADO POR RAIOS DESCONHECIDOS QUE ELE PASSOU A CHAMAR DE X.
- GANHOU O NOBEL DE FÍSICA EM 1901 POR ESSES TRABALHOS.

5

SE PASSOU UM ANO.....

- QUANDO ANTONIE HENRI BECQUEREL SE INTERESSOU PELA DESCOBERTA DOS RAIOS X DEVIDO À POSSÍVEL RELAÇÃO ENTRE A FLUORESCÊNCIA E FOSFORESCÊNCIA, QUE SÃO PROCESSOS ONDE UM MATERIAL ABSORVE LUZ EM UMA DETERMINADA "ENERGIA - COR" E A EMITE EM OUTRA "ENERGIA - COR".
- BECQUEREL PROCUROU ESTUDAR O CAMINHO INVERSO AO OBSERVADO POR ROENTGEN, OU SEJA, SE AS SUBSTÂNCIAS FLUORESCENTES OU FOSFORESCENTES SERIAM CAPAZES DE EMITIR POR SI PRÓPRIOS OS RAIOS X.

FOI ASSIM QUE...

6

- NO ANO DE 1886 AO PERCEBER QUE CERTA QUANTIDADE DE SAIS DE URÂNIO CONSEGUIA IMPRESSIONAR CHAPAS FOTOGRÁFICAS, ELE DESCOBRE ALGO MAIS PODEROSO E MISTERIOSO QUE OS RAIOS DE ROENTGEN.



Imagem 6

E...

PORTANTO, OS "RAIOS DE URÂNIO" TINHAM LIGAÇÃO COM UM TIPO DE FOSFORESCÊNCIA INVISÍVEL. E CONCLUIU QUE OS EFEITOS INESPERADOS POR ESSES RAIOS SÓ PODIAM SER DEVIDOS A ESSE FENÔMENO QUE FOI CHAMADO DEPOIS DE RAIOS DE BECQUEREL.

7



Imagem 7

8

EM 1899...

- ERNEST RUTHERFORD, INICIOU SEUS ESTUDOS A FIM DE DESVENDAR A NATUREZA DOS RAIOS DE BECQUEREL.



Imagem 5

9

JUNTAMENTE COM...

- OUTROS CIENTISTAS DA ÉPOCA LANÇARAM-SE NA PESQUISA PARA ENTENDER MELHOR ESSE PROCESSO. EM DESTAQUE O CASAL PIERRE CURIE (1859 – 1906) E MARIE SKŁODOWSKA CURIE (1867 – 1934), NA FRANÇA.



Imagem 9

10

- JUNTOS DESCOBRIRAM QUE A CHAPA FOTOGRÁFICA FICAVA IMPRESSIONADA DEVIDO AOS "RAIOS" QUE OS SAIS DE URÂNIO LIBERAVAM.
- MARIE CURIE ESTUDOU CUIDADOSAMENTE A ATIVIDADE DE DIVERSOS COMPOSTOS DE URÂNIO E DE TÓRIO, CONCLUINDO QUE AS INTENSIDADES DAS RADIAÇÕES EMITIDAS ERAM PROPORCIONAIS ÀS QUANTIDADES DE URÂNIO E DE TÓRIO EXISTENTES NOS COMPOSTOS, NÃO INTERESSANDO A NATUREZA DO COMPOSTO.

11

CONCLUIU ENTÃO

- QUE AQUELE FENÔMENO NÃO ERA PROPRIEDADE DOS COMPOSTOS DAQUELES METAIS, E SIM QUE ERA PRÓPRIO DO URÂNIO, OU SEJA, ERA UM FENÔMENO ATÔMICO, OS QUAIS CERTOS ELEMENTOS QUÍMICOS ESTÃO SUJEITOS A EMITIREM RADIAÇÃO, CARACTERÍSTICO DOS ÁTOMOS DESSES METAIS.
- ESTA RADIAÇÃO, INICIALMENTE CONHECIDA COMO RAIOS DE BECQUEREL, FOI CHAMADA DE RADIOATIVIDADE POR MARIE SKŁODOWSKA CURIE EM 1898.

12

MUITO ENVOLVIDOS COM A PESQUISA...

- DECIDIRAM INVESTIGAR VÁRIOS MINERAIS, E INICIARAM POR UM MINÉRIO CHAMADO PECHBLENDA, TAMBÉM CONHECIDO COMO URANINITA, OU SIMPLEMENTE ÓXIDO DE URÂNIO, QUE CONTÉM URÂNIO, ALÉM DE BISMUTO, BÁRIO E CHUMBO.
- QUANDO SEPARADOS PERCEBERAM QUE O URÂNIO APRESENTAVA UMA ATIVIDADE DE EMISSÃO DE "RAIOS", E QUE O BÁRIO E O BISMUTO TAMBÉM TINHAM UMA ATIVIDADE SEMELHANTE.



Imagem 10

13

PORÉM...

ESSES ELEMENTOS (BÁRIO E BISMUTO) JÁ ERAM CONHECIDOS POR ELES E TINHAM CERTEZA QUE OS MESMOS NÃO APRESENTAVAM ESSE TIPO DE ATIVIDADE. ENTÃO SUPUSERAM QUE HAVIAM NOVOS ELEMENTOS NAQUELA AMOSTRA, QUE APÓS SEREM ISOLADOS FORAM NOMEADOS DE RÁDIO E POLÔNIO.



Imagem 11



Imagem 12

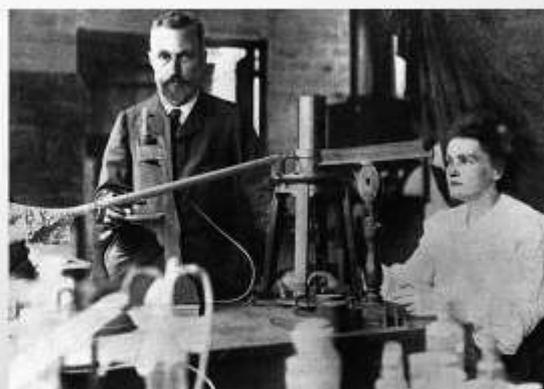


Imagem 13

14

NA MESMA ÉPOCA

- ANDRÉ-LOUIS DEBIERNE DESCOBRIU, TRABALHANDO COM RESÍDUOS DE URÂNIO DO CASAL CURIE, UM NOVO ELEMENTO RADIOATIVO, DENOMINADO ACTÍNIO.

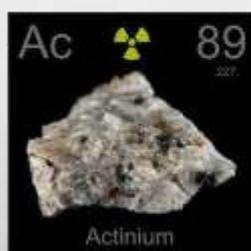


Imagem 14



Imagem 15

15

EM 1901...

- TAMBÉM DEBIERNE VERIFICOU UM GÁS COM PROPRIEDADES RADIOATIVAS ORIGINÁRIAS DO RÁDIO. A ESSE GÁS QUE FORA NOMEADO POR EMANAÇÃO DE RÁDIO, HOJE, SE TRATA DO GÁS NOBRE RADÔNIO.



Imagem 16

16

COM TODOS ESSES TRABALHOS



Imagem 17

- EM 1903 O CASAL CURIE JUNTAMENTE COM HENRI BECQUEREL FORAM LAUREADOS COM O PRÊMIO NOBEL DE FÍSICA. A NATUREZA E A DIVERSIDADE DAS RADIAÇÕES EMITIDAS POR MATERIAIS RADIOATIVOS FOI SENDO GRADUALMENTE ESTABELECIDAS.
- EM 1911 MARIE CURIE GANHOU O NOBEL DE QUÍMICA E SE TORNOU A PRIMEIRA MULHER A GANHAR ESSE PRÊMIO.

17

FIM

18

MATANDO A CURIOSIDADE

- FLUORESCÊNCIA É QUANDO A SUBSTÂNCIA EMITE LUZ ENQUANTO ESTIVER RECEBENDO LUZ DE ALGUMA OUTRA FONTE.
- FOSFORESCÊNCIA É QUANDO A SUBSTÂNCIA CONTINUA A EMITIR LUZ DURANTE UM TEMPO, MESMO DEPOIS DE DEIXAR DE SER ILUMINADA.



Imagem 18



Imagem 19

19

FONTES E BIBLIOGRAFIAS

- MARQUES, DEVIDI MARCIO. **AS INVESTIGAÇÕES DE ERNEST RUTHERFORD SOBRE A ESTRUTURA DA MATÉRIA. CONTRIBUIÇÕES PARA O ENSINO DE QUÍMICA.** 2006. 182 F. DISSERTAÇÃO (MESTRADO) - CURSO DE PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO PARA A CIÊNCIA. FACULDADE DE CIÊNCIAS, UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, BAURU, 2006.
- MOURA, CRISTIANO BARBOSA DE. **DISCUTINDO A NATUREZA DA CIÊNCIA NO ENSINO MÉDIO: UM CAMINHO A PARTIR DO DESENVOLVIMENTO DOS MODELOS ATÔMICOS.** 2014. 155 F. DISSERTAÇÃO (MESTRADO) - CURSO DE PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA, TECNOLOGIA E EDUCAÇÃO, CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO SUCKOW DA FONSECA, RIO DE JANEIRO, 2014.
- PINTO, GIOVANA TEIXEIRA; MARQUES, DEVIDI MARCIO. **UMA PROPOSTA DIDÁTICA NA UTILIZAÇÃO DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA PARA A PRIMEIRA SÉRIE DO ENSINO MÉDIO. A RADIOATIVIDADE E O COTIDIANO.** *HISTÓRIA DA CIÊNCIA E ENSINO: CONSTRUINDO INTERFACES*, SÃO PAULO, V. 1, N. 1, P.27-57, 2010.

20

- IMAGEM 1. WILHELM CONRAD ROENTGEN. DISPONÍVEL EM: [HTTP://WWW.AKISRX.COM/GIFDUE/WILHEL2.GIF](http://www.akisrx.com/gifdue/wilhel2.gif). ACESSO EM: 03 MAIO. 2019.
- IMAGEM 2. TUBOS DE RAIOS CATÓDICOS. CIÊNCIA HOJE, MUITO APLICADA POUCO DIVULGADA. DISPONÍVEL EM: [WWW.CIENCIAHOJE.ORG.BR](http://www.cienciahoje.org.br). ACESSO EM: 03 MAIO. 2019.
- IMAGEM 3. EXPERIMENTO DE ROENTGEN. FÍSICA MODERNA. DISPONÍVEL EM: [HTTPS://BR.PINTEREST.COM/PIN/182114378636673551/](https://br.pinterest.com/pin/182114378636673551/). ACESSO EM: 03 MAIO. 2019.
- IMAGEM 4. RAIOS X. DISPONÍVEL EM: [HTTP://PROYECTOIDIS.ORG/WP-CONTENT/UPLOADS/1895/07/IMG-5.PNG](http://proyectoidis.org/wp-content/uploads/1895/07/img-5.png). ACESSO EM: 03 MAIO. 2019.
- IMAGEM 5. RAIOS X. DISPONÍVEL EM: [HTTPS://WWW.APALADEWALSH.COM/2015/11/O-CINEMA-AOS-RAIOS-X/](https://www.apaladewalsh.com/2015/11/o-cinema-aos-raios-x/). ACESSO EM: 03 MAIO. 2019.
- IMAGEM 6. ANTONIE HENRI BECQUEREL. DISPONÍVEL EM: [HTTP://CABINEDOTEMPO.COM.BR/HISTORIA-2/CABINE-HISTORICA/CABINE-HISTORICA-VIAGEM-AO-PASSADO-DO-DIA-01-DE-MARCO-A-DESCOBERTA-DA-RADIOATIVIDADE/](http://cabinedotempo.com.br/historia-2/cabine-historica/cabine-historica-viagem-ao-passado-do-dia-01-de-marco-a-descoberta-da-radioatividade/). ACESSO EM: 03 MAIO. 2019.

21

- IMAGEM 7. ANTONIE HENRI BECQUEREL. DISPONÍVEL EM: [HTTP://CABINEDOTEMPO.COM.BR/HISTORIA-2/CABINE-HISTORICA/CABINE-HISTORICA-VIAGEM-AO-PASSADO-DO-DIA-01-DE-MARCO-A-DESCOBERTA-DA-RADIOATIVIDADE/](http://cabinedotempo.com.br/historia-2/cabine-historica/cabine-historica-viagem-ao-passado-do-dia-01-de-marco-a-descoberta-da-radioatividade/). ACESSO EM: 03 MAIO. 2019.
- IMAGEM 8. ERNEST RUTHERFORD. DISPONÍVEL EM: [HTTPS://WWW.ODT.CO.NZ/LIFESTYLE/MAGAZINE/RUTHERFORD-HE-CHANGED-WAY-WE-VIEW-NATURE](https://www.odt.co.nz/lifestyle/magazine/rutherford-he-changed-way-we-view-nature). ACESSO EM: 03 MAIO. 2019.
- IMAGEM 9. CASAL CURIE. DISPONÍVEL EM: [HTTPS://QUIMICALIVRE.WORDPRESS.COM/2011/12/18/RADIOATIVIDADE/](https://quimicalivre.wordpress.com/2011/12/18/radioatividade/). ACESSO EM: 03 MAIO. 2019.
- IMAGEM 10. PECHBLENDA. DISPONÍVEL EM: [HTTPS://CA.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/URANINITA](https://ca.wikipedia.org/wiki/uraninita). ACESSO EM: 03 MAIO. 2019.
- IMAGEM 11. POLÔNIO. DISPONÍVEL EM: [HTTPS://WWW.PROFFC.COM.BR/CONTAMINA%C3%A7%C3%A3O_ARAFAT_POL%C3%B4NIO.HTM](https://www.proffc.com.br/contamina%C3%A7%C3%A3o_arafat_pol%C3%B4nio.htm). ACESSO EM: 03 MAIO. 2019.
- IMAGEM 12. RÁDIO. DISPONÍVEL EM: [HTTPS://WWW.MONOGRAFIAS.COM/TRABAJOS52/TABLA-PERIODICA/TABLA-PERIODICA2.SHTML](https://www.monografias.com/trabajos52/tabla-periodica/tabla-periodica2.shtml). ACESSO EM: 03 MAIO. 2019.

22

- IMAGEM 13. CASAL CURIE. DISPONÍVEL EM: [HTTPS://SUPER.ABRIL.COM.BR/HISTORIA/O-CASAL-CURIE/](https://super.abril.com.br/historia/o-casal-curie/). ACESSO EM: 03 MAIO, 2019.
- IMAGEM 14. ACTÍNIO. DISPONÍVEL EM: [HTTPS://BR.PINTEREST.COM/PIN/256001560041948048/](https://br.pinterest.com/pin/256001560041948048/). ACESSO EM: 03 MAIO, 2019.
- IMAGEM 15. ANDRÉ-LOUIS DEBIERNE. DISPONÍVEL EM: [HTTPS://WWW.WORLDOFCHEMICALS.COM/337/CHEMISTRY-ARTICLES/ANDRE-LOUIS-DEBIERNE-DISCOVERER-OF-ACTINIUM-ELEMENT.HTML](https://www.worldofchemicals.com/337/CHEMISTRY-ARTICLES/ANDRE-LOUIS-DEBIERNE-DISCOVERER-OF-ACTINIUM-ELEMENT.HTML). 03 MAIO, 2019.
- IMAGEM 16. RADÔNIO. DISPONÍVEL EM: [HTTPS://PERIODICTABLE.COM/ITEMS/086.4/INDEX.HTML](https://periodictable.com/items/086.4/index.html). ACESSO EM: 03 MAIO, 2019.
- IMAGEM 17. BECQUEREL E O CASAL CURIE. DISPONÍVEL EM: [HTTPS://COMMONS.WIKIMEDIA.ORG/WIKI/FILE:MARIE_AND_PIERRE_CURIE_\(CENTRE\)_IN_THEIR_LABORATORY_Paris_Wellcome_V0030700.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Marie_and_Pierre_Curie_(centre)_in_their_laboratory_Paris_Wellcome_V0030700.jpg). ACESSO EM: 03 MAIO, 2019.
- IMAGEM 18. MATERIAIS FLUORESCENTES. DISPONÍVEL EM: [HTTPS://QUIMICAD07.WORDPRESS.COM/2017/04/12/10-AULA-EXPERIMENTAL-20-ANO-FLUORESCENCIA-DE-MATERIAIS/](https://quimicad07.wordpress.com/2017/04/12/10-AULA-EXPERIMENTAL-20-ANO-FLUORESCENCIA-DE-MATERIAIS/). ACESSO EM: 03 MAIO, 2019.
- IMAGEM 19. MATERIAIS FLUORESCENTES. DISPONÍVEL EM: [HTTPS://PASSEVIP.COM.BR/PRODUTO/BRINDES-LUMINOSOS/FULSEIRA-DE-NEON/](https://passevip.com.br/produto/brindes-luminosos/fulseira-de-neon/). ACESSO EM: 03 MAIO, 2019.

23

ATIVIDADES

01) – APÓS O CONHECIMENTO DESTA HISTÓRIA, O QUE MUDOU NO SEU CONCEITO NO QUE DIZ RESPEITO À RADIOATIVIDADE?

02)- O CASAL CURIE ESTUDANDO A PLECHBLENDA QUE É UM MINÉRIO DE URÂNIO DESCONFIARAM DA EXISTÊNCIA DE OUTRO ELEMENTO RADIOATIVO NESTA. POR QUÊ?

24

03) - PODE-SE RELACIONAR A LUMINOSIDADE DOS PONTEIROS DE UM RELÓGIO A ALGUM DOS FENÔMENOS DESCRITOS NO TEXTO?

04) - NO TEXTO CITA QUE MARIE CURIE GANHOU O PRÊMIO NOBEL DE FÍSICA E QUÍMICA. VOCÊ ACHA QUE O ESTUDO DOS MODELOS ATÔMICOS TEM UMA RELAÇÃO COM A FÍSICA. UMA VEZ QUE VOCÊ OS ESTUDAM NA DISCIPLINA DE QUÍMICA?

Atividade com a luz negra

Material utilizado:

- Lâmpada de Luz negra
- Base com um bocal para a lâmpada
- Água Tônica
- Sabão Líquido para roupas
- Marca texto

Figura 4 - Atividade com a luz negra e materiais fluorescentes



Fonte: da autora, 2018.

NOTA AO PROFESSOR: Como a aula, e os slides foram elaborados para que se “contasse uma história” aos alunos muitas informações não estão nos slides, desta forma sugerimos a leitura das referências citadas no final do material, como também na dissertação deste trabalho. No slide 5 substituímos as palavras comprimento de onda e frequência por “cor” para falar da relação com a energia. Essa escolha foi feita para simplificar a linguagem usada uma vez que os alunos do 1º ano do ensino médio ainda não conhecem tais termos. Vocês verão que essa substituição ocorrerá em outras aulas da sequência de ensino. Nas atividades as três primeiras questões foram retiradas de atividades propostas na referência citada e intitulada, Uma Proposta Didática na Utilização da História da Ciência para a Primeira Série do Ensino Médio: A Radioatividade e o cotidiano, de Giovana Teixeira Pinto e Deividi Marcio Marques. Utilizamos uma aula de 50 minutos, porém se dispuserem de mais tempo sugerimos duas aulas no mínimo para a abordagem do tema.

Tópico 6: Modelo Atômico de Rutherford

Nesta aula vamos dar continuidade a um episódio da história da radioatividade, assim para o desenvolvimento desta aula utilizamos de recursos multimídia. A aula se desenvolve por meio de slides e um vídeo que simula o experimento de Rutherford. Abaixo compartilhamos os slides que utilizamos para essa aula a fim de ilustrar os conceitos que propomos abordar nessa aula.



2



Imagem 1

A princípio...

- Realizou pesquisas sobre os aspectos da radioatividade, incluindo a natureza e as propriedades das emanações produzidas pelos elementos químicos rádio (Ra) e tório (Th).
- E como acontecia os processos radioativos.

3

- Como se dedicou a esse tipo de estudos, e por ter o apoio do químico Frederick Soddy (1877 – 1956), que juntos pesquisaram sobre a causa e a natureza da radioatividade.

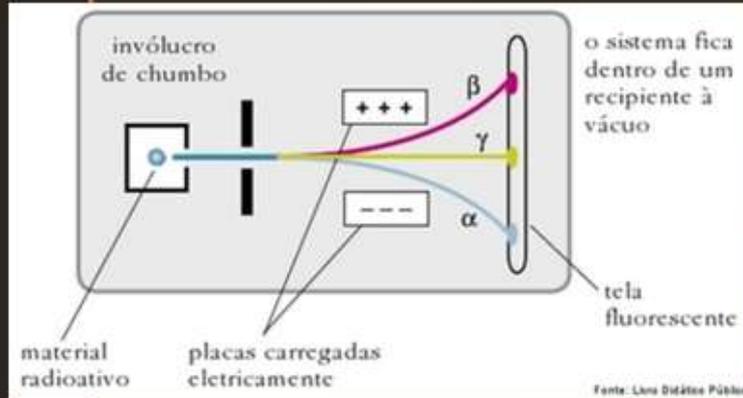


Imagem 2



Imagem 3

4

Eles descobrem...

- Que elementos radioativos emitem 2 tipos de radiação:

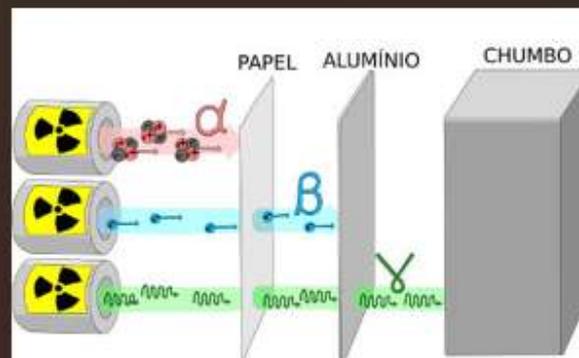


Imagem 4

5



Imagem 5

- Em seguida, determinou a carga e a natureza dos raios alfa, beta e gama (γ).
- Os raios gama, não foram descobertos por Rutherford, mas sim por Paul Villard na França, em 1900.

6

- Por seus trabalhos sobre a radioatividade, que contribuíram para o desenvolvimento desse ramo da Ciência, ganhou o Prêmio Nobel de Química em 1908.

7

↳ Dando continuidade aos seus estudos em 1911...

- Pede para seus assistentes Hans Geiger (1882 – 1945) e Ernest Marsden (1889 –1970) verificar se seus cálculos matemáticos estavam corretos acerca do espalhamento das partículas alfa pela matéria.



Imagem 6

8

↳ Assim executam o famoso “experimento de Rutherford”

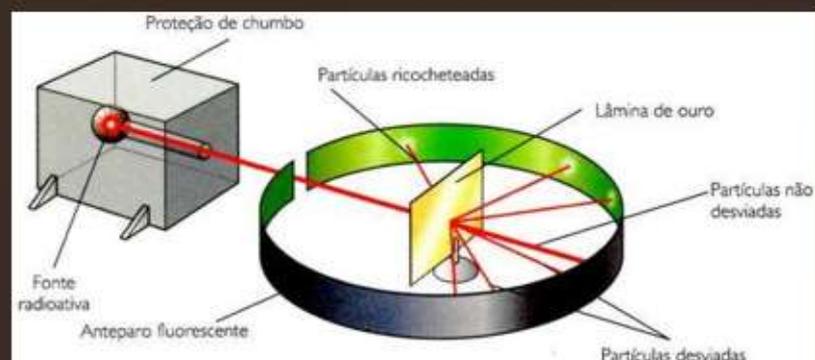


Imagem 7

9

- SIMULAÇÃO DO EXPERIMENTO.

10

Com esse experimento tentavam...

- Explicar os desvios causados pelas partículas alfa ao atravessarem finíssimas folhas de diferentes metais.

11

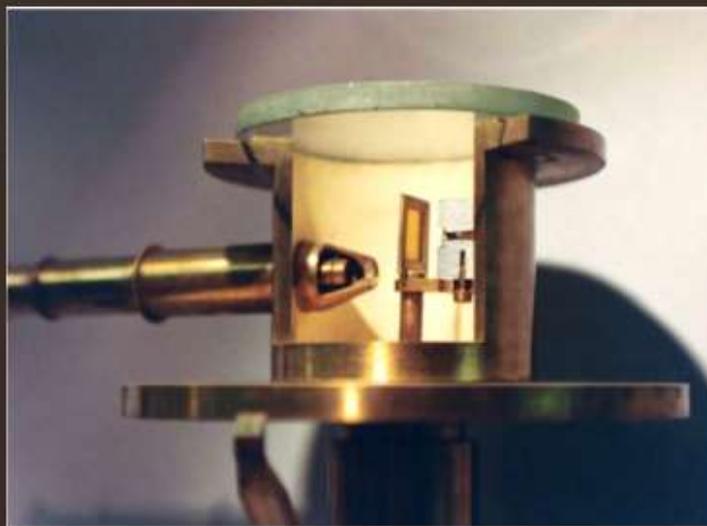


Imagem 8

12

Observaram:

- A maioria das partículas alfa atravessou a placa de ouro sem sofrer desvio considerável em sua trajetória.
- Algumas partículas alfa (poucas) foram rebatidas na direção contrária ao choque.
- Certas partículas alfa (poucas) sofreram um grande desvio em sua trajetória inicial.

13

- Com essas observações Rutherford sugere um modelo atômico.

14

BIBLIOGRAFIA

- MARQUES, Deividi Marcio. **AS INVESTIGAÇÕES DE ERNEST RUTHERFORD SOBRE A ESTRUTURA DA MATÉRIA: CONTRIBUIÇÕES PARA O ENSINO DE QUÍMICA**. 2006. 182 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Educação Para A Ciência, Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2006.
- Simulação do experimento de Rutherford. Phet. University of Colorado Boueder. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/rutherford-scattering. Acesso em: 04 maio. 2019.
- Imagem 1: Rutherford. Disponível em: <http://murov.info/timelines.htm>. Acesso em: 04 maio. 2019.
- Imagem 2: Tipos de emissões radioativas. Disponível em: <http://www.quimica.seed.pr.gov.br/modules/galeria/detalhe.php?foto=1485&evento=4>. Acesso em: 04 maio. 2019.

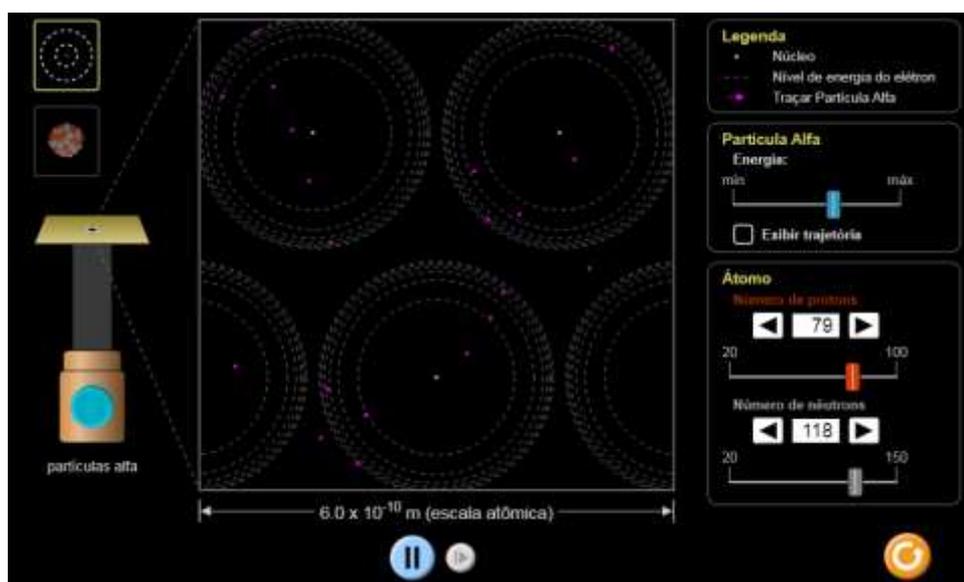
- Imagem 3: Frederick Soddy . Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Frederick_Soddy. Acesso em: 04 maio, 2019.
- Imagem 4: Emissões radioativas. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-sao-raios-gama.htm>. Acesso em: 04 maio, 2019.
- Imagem 5: Paul Villard. Disponível em: <https://edu.glogster.com/glog/gamma-rays/1q392p063qv>. Acesso em: 04 maio, 2019.
- Imagem 6: Assistentes de Rutherford. Disponível em: <https://socratic.org/questions/who-were-hans-geiger-and-ernest-marsden>. Acesso em 19 jul, 2019.
- Imagem 7: "O experimento de Rutherford". Disponível em: <https://www.coladaweb.com/quimica/quimica-geral/modelo-atomico-Rutherford>. Acesso em: 04 maio, 2019.
- Imagem 8: MARQUES, Deividi Marcio. AS INVESTIGAÇÕES DE ERNEST RUTHERFORD SOBRE A ESTRUTURA DA MATÉRIA: CONTRIBUIÇÕES PARA O ENSINO DE QUÍMICA. 2006. 182 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Educação Para A Ciência, Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2006.

Simulação do experimento de Rutherford.

Phet. University of Colorado Boulder.

Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/rutherford-scattering.

Figura 5 - Simulação do “experimento de Rutherford”



Fonte: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/rutherford-scattering, 2018.

NOTA AO PROFESSOR: Como na aula anterior sugerimos a leitura do material que foi referência para essa aula ou a dissertação deste trabalho. As referências são as mesmas da aula anterior. No slide 4 mostramos as três emissões, alfa e beta e gama, para propositalmente já falarmos dessa última no slide 5. A simulação do experimento foi apresentada no data show, na forma de experimento demonstrativo, mas nada impeça que os próprios alunos tenham acesso a essa simulação em computadores individuais. Fica a critério do professor a forma de utilizá-la. Durante a simulação pedimos aos alunos para observarem o que eles estavam vendo, e discutimos se o modelo de Thomson poderia explicar aquele fenômeno. Assim ao final quando eles percebem que não, pedimos como atividade que eles propusessem um modelo para o átomo de Rutherford, de acordo com as observações da simulação do experimento. No slide 11 pode ser visto uma foto do instrumento original utilizado por Geiger e Marsden. Utilizamos uma aula de 50 minutos.

Tópico 7: Rutherford e seu Modelo Atômico.

Nesta aula voltamos a pergunta feita para os alunos na aula anterior, como seria para eles o átomo proposto por Rutherford, a partir do experimento com a folha de ouro. Após uma breve discussão apresentamos a eles um texto com um pouco da história de Rutherford e sua proposta de um modelo para o átomo, como pode ser visto na página 159.

Depois da leitura do texto e discussão sobre o modelo proposto por Rutherford, aplicamos a atividade que está ao final do texto.

NOTA AO PROFESSOR: A leitura do texto pode ser realizada da maneira que o professor achar adequado, individualmente, em dupla ou grupos, e durante a leitura sugerimos que seja feito comentários que acrescente alguma outra informação. Foi necessária uma aula de 50 minutos.

Rutherford e seu modelo atômico

Ernest Rutherford nasceu perto de Nelson, na Nova Zelândia em 30 de agosto de 1871, seu pai era um homem enérgico e engenhoso. A princípio Rutherford iniciou seus estudos em Nova Zelândia, onde desenvolveu trabalhos sobre a magnetização do ferro por descarga de alta frequência. Em 1895 foi estudar na Universidade de Cambridge, sendo o primeiro estrangeiro a estudar naquela universidade. Sua primeira colaboração foi na criação de tubos de descargas de gás no estudo de raios X, ao lado de ninguém menos que Joseph John Thomson. No ano de 1898 foi indicado por Thomson a ocupar o cargo de professor de física experimental na Universidade McGill, no Canadá. Nesta Universidade desenvolveu seu primeiro trabalho sobre os tipos de radiações. Rutherford publicou, em 1900, o artigo “Uma Substância Radioativa emitida dos Compostos de Tório”, em que ele cita que uma substância exposta durante algum tempo na presença de tório, torna-se radioativa, e que a mesma desaparecia em poucos dias. Escreve vários outros trabalhos em parceria com McClung e Frederick Soddy.

Em 1907, Rutherford retornou a Inglaterra para chefiar o Laboratório da Universidade de Manchester, onde encontrou o seu assistente o jovem alemão Hans Geiger (1882-1945), famoso por ter criado o Contador Geiger, instrumento utilizado para detectar radioatividade. Ambos publicaram vários trabalhos associados aos estudos das partículas alfa. Entre os anos de 1908 e 1910 Geiger sugere a Rutherford deixar Ernest Marsden, também assistente de Rutherford que estava sendo treinado por Geiger, a começar uma pequena investigação. E é aí que eles desenvolveram um experimento que consistia no bombardeamento de finíssimas lâminas de diversos metais diferentes com partículas do tipo alfa obtidas de um elemento radioativo. Eles monitoraram os desvios sofridos pelas partículas e encontraram resultados surpreendentes. Naquela época o modelo atômico de Thomson era o que tinha evidente, assim Rutherford analisando os resultados obtidos por seus assistentes percebeu que os ângulos formados nos desvios das partículas alfa não eram compatíveis com o modelo de Thomson. De acordo com Rutherford, se o átomo fosse como o sugerido por Thomson, as partículas alfas poderiam atravessar os átomos sem sofrerem qualquer desvio por conta da grande energia e carga de cada partícula.

Em 1911 Rutherford publica um artigo para explicar os resultados obtidos por Geiger e Marsden, “O Espalhamento das Partículas alfa e beta pela Matéria e a Estrutura do Átomo”, dizendo que comparando a sua teoria com os resultados experimentais, era previsível, portanto que o átomo tivesse uma carga central positiva ou negativa concentrada dentro de

uma esfera, e cercado por eletricidade do sinal oposto distribuída ao longo do resto do átomo. E que uma partícula alfa sofre um grande desvio, devido, apenas a um único encontro com essa carga central. Essa carga tempos depois foi chamada por ele de núcleo. Seu modelo é conhecido como o modelo planetário ou do sistema solar, porém alguns personagens aparecem antes dele com essa sugestão de modelo para o átomo.

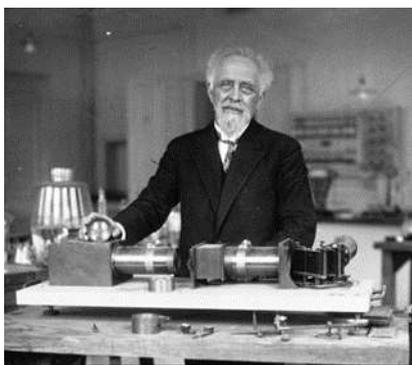


Imagem 1: Perrin

O primeiro a propor esse modelo é Jean Perrin, francês que ficou conhecido principalmente pela sua atuação na determinação do número de Avogadro por meio de vários métodos diferentes. De acordo com ele o átomo seria um sol positivo com pequenos planetas negativos, com cargas positivas iguais as negativas tornando o átomo neutro. No mesmo ano em que Thomson propõem seu modelo atômico, surge o japonês Hamtaro Nagaoka (1865 – 1950), graduado

em física na Universidade de Tóquio, tendo concluído seus estudos de doutorado na mesma universidade, com professores europeus. Seu modelo chamado de saturniano constava de uma grande massa central carregada positivamente que atraía cargas negativas de massas iguais e que se repeliam entre si. Essas cargas negativas giravam em um anel circular e estavam distribuídas a intervalos angulares iguais. Outro nome que aparece neste contexto é, John William Nicholson (1881 – 1955), seu modelo era tido como uma adaptação do modelo de



Imagem 2: Nagaoka

Thomson, e passa a ser um modelo planetário, com uma carga positiva no centro e com elétrons em órbitas. Este modelo teve um destaque na história da ciência pois é o primeiro a citar a hipótese de quantização da energia de Max Planck. O interessante da participação de Rutherford neste cenário foi o seu ataque ao modelo de Thomson, ao mostrar que este modelo, amplamente utilizado até então, não era coerente com os dados obtidos no experimento da folha de ouro.

O texto foi elaborado de acordo com as referências:

MARQUES, Deividi Marcio. **As investigações de Ernest Rutherford sobre a estrutura da matéria:** Contribuições para o Ensino de Química. 2006. 182 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Educação Para A Ciência, Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2006.

MOURA, Cristiano Barbosa de. **Discutindo a Natureza da Ciência no Ensino Médio:** Um Caminho a partir do desenvolvimento dos Modelos Atômicos. 2014. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Ciência, Tecnologia e Educação, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, 2014.

FONTE DAS IMAGENS:

Imagem 1: Fonte:https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Jean_Perrin_1927.jpg

Imagem 2: Fonte:https://pt.wikipedia.org/wiki/Hantaro_Nagaoka

ATIVIDADE SOBRE RUTHERFORD

- 1) Agora que você conhece a proposta de Rutherford para o átomo, desenhe ou esquematize um modelo para esse átomo.
- 2) Você acha que o modelo atômico de Rutherford explica todas as propriedades da matéria?
- 3) Antes de Rutherford propor seu modelo planetário, outras pessoas já haviam proposto algo parecido. Cite quem são elas, e de seu ponto de vista sobre o fato dos modelos propostos por eles não terem sido reconhecidos como o de Rutherford.

Tópico 8: O Modelo Atômico de Bohr

Começamos essa aula perguntando aos alunos, se eles consideravam o modelo atômico de Rutherford o mais aceito na atualidade, e discutimos o porquê no caso afirmativo e negativo. Após essas discussões mostramos a eles um novo personagem nesta história dos modelos atômicos. O texto conta um pouco da história de Bohr, que pode ser visualizado na página 163.

NOTA AO PROFESSOR: Assim como todos os textos que já foram sugeridos aqui, a dinâmica sempre foi a mesma, leitura pelos alunos individual, em dupla ou em grupo, e sempre que necessário interferimos na leitura para esclarecer dúvidas ou algo similar. Para maior conhecimento sobre Bohr, recomendamos a leitura das referências. Utilizamos uma aula de 50 minutos.

Os estudos de Bohr acerca do átomo



Imagem 1: Bohr

Niels Henrik David Bohr nasceu em 7 de outubro de 1885, em Copenhague, na Dinamarca. Era filho do médico, e professor da Universidade de Copenhague, Christian Harald Lauritz Peter Emil Bohr, com Ellen Adler Bohr, oriunda de uma rica família judia. Pertencente a uma família unida, intelectual e de classe média alta, Bohr e seus dois irmãos tiveram acesso fácil aos estudos. Em 1903, Bohr ingressou no curso de física, na Universidade de Copenhague, onde concluiu a graduação, o mestrado em 1909 e o doutorado em 1911, com a tese “Estudos sobre a teoria eletrônica dos metais” que complementou seu trabalho de mestrado.

Em 1911, Bohr recebeu uma bolsa de estudos da Fundação Carlsberg e foi trabalhar sob a orientação de J. J. Thomson no Laboratório Cavendish. Contudo não teve a receptividade que espera do mesmo, talvez por não concordar inteiramente com o seu modelo atômico, e também por Thomson não demonstrar interesse em suas teorias. Foi ali, também, que Bohr conheceu Rutherford, a quem desenvolveu grande admiração e interesse pelos seus trabalhos. Assim, em março de 1912, Bohr foi trabalhar como assistente de Rutherford, em Manchester, e pode aprofundar seus conhecimentos sobre radioatividade, e o modelo atômico planetário. Com isso observou que o modelo nuclear implicava separar as propriedades químicas referentes aos elétrons periféricos das propriedades radioativas relacionadas ao núcleo, indicando uma relação entre número de prótons e o número de elétrons. Desta forma começou a desenvolver os trabalhos que deram origem a três artigos publicados em 1913, que ficaram conhecidos como a “trilogia de Bohr”.

Bohr procurava uma explicação para a instabilidade atômica do modelo planetário de Rutherford, já que era esperado que o elétron, em seu movimento ao redor do núcleo, estaria sujeito a uma aceleração centrípeta e dessa forma perderia energia na forma de onda eletromagnética. Se isso de fato acontecesse essa perda de energia faria com que o elétron “caísse” sobre o núcleo atômico, o que não acontece.

Em 1913, no intuito de esclarecer esta instabilidade atômica, Bohr começou a estudar as propriedades do espectro do átomo de hidrogênio. O espectro é a separação dos níveis de energia de um elemento, visualizados através de faixas com cores diferentes. Os primeiros estudos sobre o espectro foram realizados em 1777, pelo químico farmacêutico sueco Carl Wilhelm Scheele (1742-1786) e depois ampliado por outros pesquisadores, entre eles o

químico Robert W. E. von Bunsen (1811-1899) e o físico Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887). Para elaborar seu modelo atômico Bohr se baseou em outros trabalhos, como os dos físicos alemães Max Planck e Albert Einstein. Planck propôs que a energia da radiação não se distribui em fluxo contínuo, mas em pacotes de energia, que ele denominou de quanta. Mais tarde Einstein também se utiliza dessa propriedade ao analisar o efeito fotoelétrico, fenômeno no qual elétrons podem ser emitidos de uma placa metálica ao receberem radiação na forma de luz visível ou ultravioleta. Com isso propõem seu modelo atômico, e escreve o que conhecemos hoje de *Postulados de Bohr*:

1. O elétron move-se em órbitas circulares em torno de um núcleo atômico central. Para cada elétron de um átomo existe uma órbita específica, em que ele apresenta uma energia bem definida (um nível de energia) – que não varia enquanto o elétron estiver nessa órbita.

2. Os espectros dos elementos são descontínuos porque os níveis de energia são quantizados, ou seja, só são permitidas certas quantidades de energia para o elétron, cujos valores são múltiplos inteiros do quantum de energia.

3. O átomo está no seu estado fundamental (mais estável) quando todos os seus elétrons estiverem se movimentando em seus respectivos níveis de menor energia.

4. Se um elétron no estado fundamental absorve um fóton ele “salta” para o nível de energia imediatamente superior e entra num estado excitado (logo, numa situação de instabilidade).

5. Quando um elétron passa de um estado de energia elevada para um estado de energia menor, ele emite certa quantidade de energia radiante, sob forma de um fóton com essa energia, relacionado com uma das linhas do espectro desse elemento.

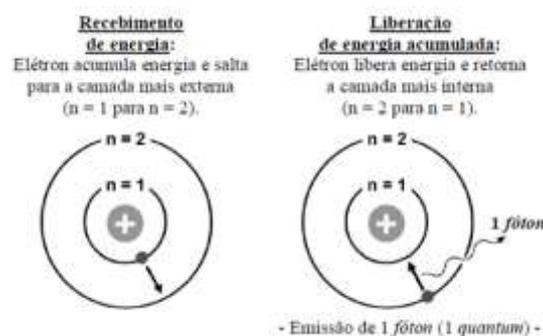
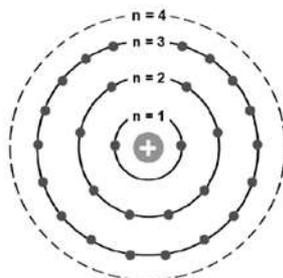


Imagem 2: salto quântico

Entretanto, o modelo elaborado por Bohr era bem aplicado apenas para o átomo de hidrogênio e para íons de hélio (He^+), não sendo bem-sucedido para átomos maiores. O novo modelo obtido passou a ser conhecido por Rutherford-Bohr, pois Bohr, manteve as principais

características desse modelo planetário de Rutherford, ou seja, elétrons em órbita circular, ao redor do núcleo positivo.



Modelo atômico Rutherford-Bohr.

Imagem 3: Modelo atômico Rutherford - Bohr.

Esse texto foi elaborado de acordo com a referência:

FONSECA, Martha Reis Marques da. **Química: Ensino Médio**. 2. ed. São Paulo: Ática, 2016. 3 v.

LOPES., Cesar Valmor Machado. **Modelos Atômicos no início do século XX: da física clássica à introdução da teoria quântica**. 2009. 173 f. Tese (Doutorado) - Curso de História da Ciência, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2009.

TRANCOSO, Marcelo Delena. **A História das Ciências Colaborando no Estudo da Estrutura Atômica e dos Modelos Atômicos no Ensino Médio**. 2016. 202 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Ensino de Química, Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

FONTE DA IMAGEM

IMAGEM 1: <https://www.atomicheritage.org/key-documents/bohrrs-safety>

IMAGEM 2: Trancoso, 2016 p. 68.

IMAGEM 3: Trancoso, 2016 p. 71.

Tópico 9: Contextualizando o modelo atômico de Bohr

Nesta aula detalharemos melhor os postulados de Bohr para o átomo. Antes fizemos uma pequena introdução sobre espectro para os alunos terem um entendimento melhor à cerca do experimento que realizamos, o teste de chama. Compartilhamos novamente nossos slides para ilustrar como abordamos esses conceitos. A seguir apresentamos informações para realização do teste de chama.



2

Espectros

- Carl Wilhelm Scheele foi quem constatou que as diferentes cores que compõe o espectro da luz solar tinham energias diferentes.

Imagem 1

Electromagnetic Spectrum

The diagram shows the electromagnetic spectrum with various types of radiation and their corresponding wavelengths and frequencies. The spectrum is divided into several regions: Radio waves, Infrared, Ultraviolet, X-rays, and Gamma rays. Each region is associated with a specific wavelength and frequency. The visible spectrum is highlighted in a rainbow color bar at the bottom, labeled 'VISIBLE SPECTRUM'. The diagram also includes icons for various types of radiation: AM, FM, TV, Radar, TV Remote, Light Bulb, Sun, X-ray machine, and Radioactive Elements. A scale bar at the bottom shows the relative sizes of buildings and atoms, with 'Building Size' on the left and 'Atom Size' on the right.

Imagem 2

3

Outro grande passo para compreensão dos espectros foi dado:



Imagem 3

- Pelo químico Robert Wilhelm Eberhard von Bunsen (1811-1899) e pelo físico Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887), ao estudarem espectros emitidos por diferentes elementos químicos.

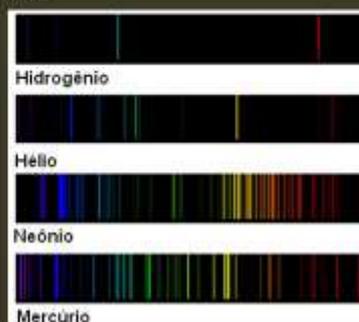


Imagem 4

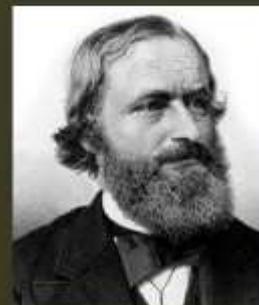


Imagem 5

4

- Tinham como objetivo compreender os espectros emitidos pelos diferentes elementos químicos. Para isso eles desenvolveram, entre os anos de 1855 e 1863, um espectrógrafo óptico e uma técnica de análise de substâncias químicas, denominada espectroscopia. As análises de Bunsen e Kirchhoff consistiam na exposição de diversos materiais à chama do bico de Bunsen, pois, quando submetidos a altas temperaturas, cada material emitia um espectro característico, que era analisado com a ajuda do espectrógrafo óptico.

5

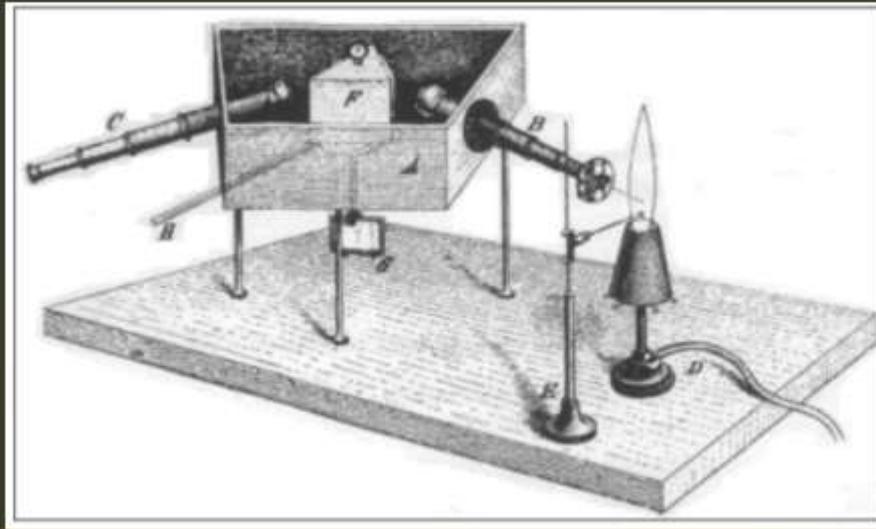


Imagem 6

6

Tabela periódica Espectros de emissão atômica

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|--------------------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|----------------------|----------------------|---------------------|-------------------|-----------------------|------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|------------------------|
| 1 H hidrógeno | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 He hélio | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 Li lítio | 4 Be berílio | | | | | | | | | | | 5 B boro | 6 C carbono | 7 N nitrogênio | 8 O oxigênio | 9 F flúor | 10 Ne néon | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 Na sódio | 12 Mg magnésio | | | | | | | | | | | 13 Al alumínio | 14 Si silício | 15 P fósforo | 16 S enxofre | 17 Cl cloro | 18 Ar argônio | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 K potássio | 20 Ca cálcio | 21 Sc escândio | 22 Ti titânio | 23 V vanádio | 24 Cr cromo | 25 Mn manganês | 26 Fe ferro | 27 Co cobalto | 28 Ni níquel | 29 Cu cúprico | 30 Zn zinco | 31 Ga gálio | 32 Ge germânio | 33 As arsênio | 34 Se selênio | 35 Br bromo | 36 Kr criptônio | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 37 Rb rubídio | 38 Sr estrôncio | 39 Y itríbio | 40 Zr zircônio | 41 Nb nióbio | 42 Mo molibdênio | 43 Tc tecnécio | 44 Ru ródio | 45 Rh ródio | 46 Pd paládio | 47 Ag prata | 48 Cd cádmio | 49 In índio | 50 Sn estanho | 51 Sb antimônio | 52 Te telúrio | 53 I iodo | 54 Xe xenônio | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 55 Cs césio | 56 Ba bário | 57-71 Lantanídeos | 72 Hf hafnânio | 73 Ta tântalo | 74 W tungstênio | 75 Re rênio | 76 Os ostêmio | 77 Ir írio | 78 Pt platina | 79 Au ouro | 80 Hg mercúrio | 81 Tl talâmio | 82 Pb chumbo | 83 Bi bismuto | 84 Po polônio | 85 At astato | 86 Rn radônio | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 87 Fr frâncio | 88 Ra rádio | 89-103 Atinídeos | 104 Rf rênio | 105 Db dubnio | 106 Sg seabórgio | 107 Bh bohrio | 108 Hs hásio | 109 Mt moscóvio | 110 Ds darmstádio | 111 Rg roentgênio | 112 Cn copernício | 113 Nh nihônio | 114 Fl flúviovic | 115 Mc moscovio | 116 Lv livermório | 117 Ts tenessio | 118 Og ogânesso | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <tbody> <tr> <td>57 La lantanídeo</td> <td>58 Ce cério</td> <td>59 Pr praseodímio</td> <td>60 Nd néodímio</td> <td>61 Pm promécio</td> <td>62 Sm samário</td> <td>63 Eu europário</td> <td>64 Gd gadolínio</td> <td>65 Tb terbório</td> <td>66 Dy dissódio</td> <td>67 Ho hólmio</td> <td>68 Er érbio</td> <td>69 Tm túlio</td> <td>70 Yb itérbio</td> <td>71 Lu lutécio</td> </tr> <tr> <td>89 Ac actínio</td> <td>90 Th tório</td> <td>91 Pa protactínio</td> <td>92 U urânio</td> <td>93 Np neptúnio</td> <td>94 Pu plutônio</td> <td>95 Am âmerico</td> <td>96 Cm cúrio</td> <td>97 Bk berquélio</td> <td>98 Cf califórnio</td> <td>99 Es éisio</td> <td>100 Fm fermílio</td> <td>101 Md mendelécio</td> <td>102 No nobélio</td> <td>103 Lr lawrêncio</td> </tr> </tbody> </table> | | | | | | | | | | | | | | | | | | 57 La lantanídeo | 58 Ce cério | 59 Pr praseodímio | 60 Nd néodímio | 61 Pm promécio | 62 Sm samário | 63 Eu europário | 64 Gd gadolínio | 65 Tb terbório | 66 Dy dissódio | 67 Ho hólmio | 68 Er érbio | 69 Tm túlio | 70 Yb itérbio | 71 Lu lutécio | 89 Ac actínio | 90 Th tório | 91 Pa protactínio | 92 U urânio | 93 Np neptúnio | 94 Pu plutônio | 95 Am âmerico | 96 Cm cúrio | 97 Bk berquélio | 98 Cf califórnio | 99 Es éisio | 100 Fm fermílio | 101 Md mendelécio | 102 No nobélio | 103 Lr lawrêncio |
| 57 La lantanídeo | 58 Ce cério | 59 Pr praseodímio | 60 Nd néodímio | 61 Pm promécio | 62 Sm samário | 63 Eu europário | 64 Gd gadolínio | 65 Tb terbório | 66 Dy dissódio | 67 Ho hólmio | 68 Er érbio | 69 Tm túlio | 70 Yb itérbio | 71 Lu lutécio | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 89 Ac actínio | 90 Th tório | 91 Pa protactínio | 92 U urânio | 93 Np neptúnio | 94 Pu plutônio | 95 Am âmerico | 96 Cm cúrio | 97 Bk berquélio | 98 Cf califórnio | 99 Es éisio | 100 Fm fermílio | 101 Md mendelécio | 102 No nobélio | 103 Lr lawrêncio | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Imagem 7

7



Imagem 8

8

De acordo com Bohr:

- quando o átomo recebe energia por aquecimento ou radiação eletromagnética, cada elétron acumula uma quantidade de energia que equivale a 1 "quantum" e salta para uma órbita mais externa. Em seguida, após uma fração mínima de segundo, o elétron retorna a sua órbita original e libera igual valor da energia acumulada (1 quantum). Essa energia é liberada na forma de luz que equivale a 1 "fóton",

9

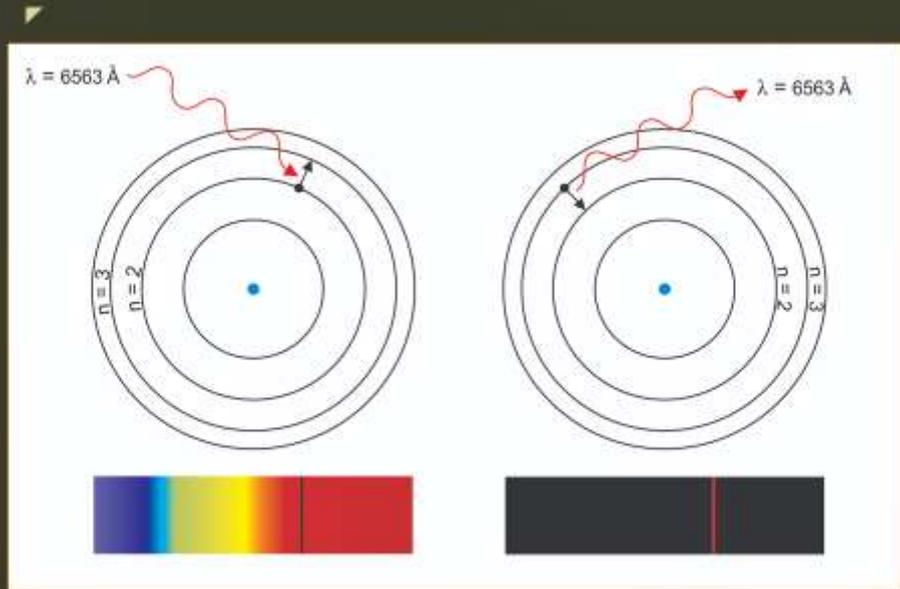


Imagem 9

10



Imagem 10

Max Planck

Albert Einstein

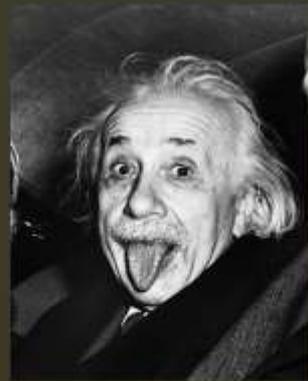


Imagem 11

11

ATIVIDADES

- 1) - Conforme o seu conhecimento, o que motivou Bohr a propor um novo modelo atômico?
- 2) - Depois da leitura do texto sobre Bohr diga quais as diferenças do modelo atômico de Bohr e Rutherford.
- 3) - De acordo com o teste de chama realizado em sala de aula, utilize o modelo atômico de Bohr para explicar o que foi observado.

12

Fontes e Bibliografia:

- TRANCOSO, Marcelo Delena. **A HISTÓRIA DAS CIÊNCIAS COLABORANDO NO ESTUDO DA ESTRUTURA ATÔMICA E DOS MODELOS ATÔMICOS NO ENSINO MÉDIO**. 2016, 202 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Ensino de Química, Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.
- FILGUEIRAS, Carlos A.I. **A ESPECTROSCOPIA E A QUÍMICA DA DESCOBERTA DE NOVOS ELEMENTOS AO LIMÍAR DA TEORIA QUÂNTICA**. Química Nova na Escola, São Paulo, v. 2, n. 1, p.22-25, 03 maio 1996.
- Imagem 1: Carl Wilhelm Scheele. Disponível em: <https://cientistadigital.wordpress.com/2012/05/21/cientista-carl-wilhelm-scheele/>. Acesso em: 05 maio. 2019.
- Imagem 2: Espectro eletromagnético. Disponível em: <https://br.depositphotos.com/181201252/stock-illustration-electromagnetic-spectrum-infographic-diagram.html>. Acesso em: 05 maio. 2019.
- Imagem 3: Robert Wilhelm Eberhard von Bunsen. Disponível em: <https://universequimica.wordpress.com/2018/12/26/robert-bunsen/>. Acesso em: 05 maio. 2019.
- Imagem 4: Espectros eletromagnéticos. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/espectros-eletromagneticos-estrutura-atomo.htm>. Acesso em: 05 maio. 2019.

- Imagem 5: Gustav Robert Kirchhoff. Disponível em: <https://www3.unicentro.br/petfisica/2016/05/15/gustav-robert-kirchhoff/>. Acesso em: 05 maio. 2019.
- Imagem 6: FILGUEIRAS, Carlos A.L. **A ESPECTROSCOPIA E A QUÍMICA DA DESCOBERTA DE NOVOS ELEMENTOS AO LIMAR DA TEORIA QUÂNTICA.** Química Nova na Escola, São Paulo, v. 2, n. 1, p.22-25, 03 maio 1996.
- Imagem 7: Tabela Periódica – espectro atômico. Disponível em: <https://www.tabelaperiodica.org/tabela-periodica-com-espectros-de-emissao-atmica-dos-elementos/>. Acesso em: 05 maio. 2019.
- Imagem 8: Teste de Chama. Disponível em: <https://medium.com/@easyquimica/de-onde-vem-a-cor-29c7af5d38c0>. Acesso em: 05 mai. 2019.
- Imagem 9: Espectroscopia. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/aula_espec.htm. Acesso em: 05 maio. 2019.
- Imagem 10: Max Planck. Disponível em: <https://www.sciencesource.com/archive/Max-Planck--German-Physicist-SS2293743.html>. Acesso em: 05 maio. 2019.
- Imagem 11: Albert Einstein. Disponível em: <https://noticias.bol.uol.com.br/ultimas-noticias/ciencia/2017/12/09/como-ensinar-a-teoria-da-relatividade-de-albert-einstein-para-criancas-de-6-anos.htm>. Acesso em: 05 de maio. 2019.
-

Teste de Chama.

Materiais utilizados:

- Bico de Bunsen ou lamparina;
- Caixa de fósforo;
- 1 fio de níquel-cromo
- HCl concentrado
- SrCl₂
- CaCl₂
- BaCl₂
- CuSO₄
- KCl
- NaCl
- LiNO₃

Procedimento: Acender o bico de Bunsen ou lamparina, após com o fio de níquel pegar uma pequena quantidade de sal e colocar na chama e observar. Lavar o fio em ácido clorídrico (HCl) concentrado e repetir o processo para os outros sais. As cores das chamas observadas dever ser as da figura abaixo:

Figura 6 - Cores das chamas produzidas por diversos sais



Fonte: <http://rpsil.blogspot.com/2013/06/teste-da-chama.html> (2019).

NOTA AO PROFESSOR: Como as aulas estão em slides eles contém apenas algumas informações, aconselhamos a leitura das referências citadas no slide 12. Para explicarmos o espectro substituímos as palavras comprimento de onda e frequência, por “energia e cor”. Nas orientações para a realização da prática recomenda-se utilizar ácido clorídrico para limpar o fio de níquel. Nós não o utilizamos, limpamos com água e sabão, o que também gerou um bom resultado. Chamamos a atenção também ao manusear o fio de níquel, uma vez que ele é um metal e bom condutor de calor, se sua pele estiver em contato direto com ele você poderá sofrer queimaduras. Foi utilizado uma aula de 50 minutos.

Tópico 10: A descoberta do Nêutron

Dando continuidade a sequência de ensino, esta aula será para apresentar aos alunos uma nova descoberta referente ao átomo. Para isso perguntamos aos alunos se eles consideravam o átomo que já conheciam suficiente, e se não estava faltando nada para eles. Após a discussão expomos aos alunos um texto sobre essa descoberta, o mesmo pode ser visto a diante na página 175.

NOTA AO PROFESSOR: Sugerimos a leitura da referência para maiores informações de Chadwick, caso o professor disponha de tempo, seria interessante abordar sua participação na construção da bomba atômica. Utilizamos uma aula de 50 minutos.

Uma nova partícula para o átomo



Imagem 1:
Chadwick

James Chadwick nasceu em 20 de outubro de 1891, na pequena cidade de Cheshire na Inglaterra. Filho único de uma família muito pobre, seu pai era gerente de uma lavanderia, e sua mãe doméstica. Sempre teve interesse nos estudos, principalmente em matemática e física, tanto que aos 11 anos ganhou uma bolsa de estudos em uma escola de renome. Porém não pode ingressar na escola, porque seus pais não tinham o dinheiro da matrícula, assim continuou seus estudos em uma escola secundária em sua cidade. Aos 16 anos ganhou uma bolsa para estudar na Universidade de Manchester. Iniciou seus estudos em física, e em 1908 começou a estudar radioatividade no laboratório de Rutherford, sendo supervisionado pelo próprio cientista que muito influenciou sua vida acadêmica. Em 1913 ganhou outra bolsa de estudos e foi para o Physical-Technical Reichsanstalt (Instituto Imperial de Física Técnica) em Berlim, onde trabalhou com Hans Geiger, que havia chegado àquela cidade em 1912. Lá eles desenvolveram pesquisas bombardeando diferentes elementos com partículas alfa e, medindo a dispersão dessas partículas. Entretanto, com os conhecimentos existentes na época, não conseguiram justificar os resultados obtidos, pois as partículas subatômicas conhecidas, próton e elétron, não explicavam perfeitamente os resultados. Deste fato já surge a ideia de uma outra partícula no átomo que não teria carga e explicaria o seu experimento.

Em 1914 seus estudos foram interrompidos por conta da primeira guerra mundial. Chadwick e todos os britânicos foram presos e mantidos em um presídio nos arredores de Berlim. Lá tinham liberdade e acesso à livros, assim ele continuou seus estudos. Ao término da guerra, Chadwick voltou a trabalhar com Rutherford, e estabeleceu a relação entre o número atômico e a carga do átomo. E junto a Rutherford, produziu a desintegração de elementos leves, através do bombardeamento com partículas alfa. Em 1921, Chadwick apresentou a tese sobre números atômicos e forças nucleares, com a qual recebeu o título de Ph.D., que equivale ao que conhecemos como doutorado.

Durante praticamente toda a década de vinte, Chadwick realizou diversos experimentos no intuito de comprovar a existência de partículas sem carga elétrica, mas todas sem sucesso. Naquela época, vários pesquisadores realizavam experimentos, em busca da terceira partícula subatômica, que seria neutra. Entre eles podemos destacar os físicos alemães Walther Wilhelm Georg Bothe (1891-1957) e Herbert Becker (1887-1955) que bombardearam vários elementos com partículas alfa emitidas por uma fonte de polônio (Po).

E o resultado segundo eles era uma radiação produzida entre as partículas alfa e o berílio (elemento bombardeado) de grande poder de penetração, achavam que eram raios gama. Em 1931, os físicos franceses Jean Frédéric Joliot (1900-1958) e Irène Curie (1897-1956), o casal Joliot-Curie, modificaram o experimento de Bothe e Becker. E observaram que, ao atravessar a parafina, a radiação emitida pelo berílio, provocava a ejeção de prótons.

Chadwick discutiu com Rutherford, e ambos não acreditaram que a radiação emitida fosse os raios gama e nem que esses raios tivessem energia para “arrancar” prótons da parafina, como sugeriu o casal Joliot-Curie. Para Chadwick a afirmação do casal estaria correta se a partícula “arrancada” não tivesse carga elétrica. Com isso ele modifica o experimento realizado pelo casal com o intuito pré-estabelecido da existência da partícula sem carga. E reproduz o experimento com e sem a parafina.

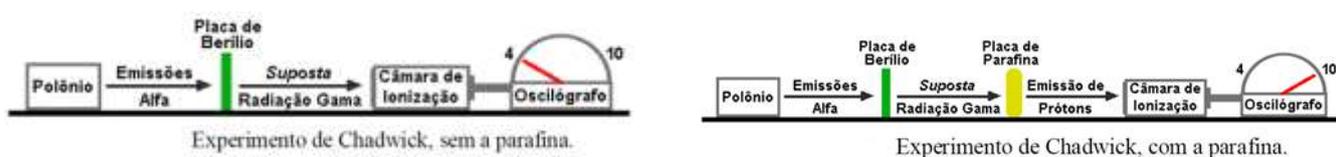


Imagem 2: Experimento de Chadwick

Testes posteriores comprovaram que essa outra radiação, era formada por prótons. Ao medir a energia desses prótons, Chadwick observou que eles não poderiam ser produzidos por raios gama. Os prótons “arrancados” da parafina seriam hidrogênios, pois este hidrocarboneto é rico desses átomos. Assim, Chadwick supôs que a radiação fosse composta por partículas neutras, com massa próxima a do próton. Para comprovar essa massa, ele usou a radiação emitida pelo berílio e bombardeou diversos gases. Então denominou a nova partícula de “nêutron” e apresentou duas justificativas para seus resultados:

- Não tendo carga o nêutron não interage com o campo elétrico da matéria, sujeito apenas a forças nucleares de curto alcance. Possuem grande poder de penetração.
- Sua massa é bem próxima a massa do próton.

Poucas semanas após o início das pesquisas, Chadwick divulgou a comunidade científica o trabalho Possible Existence Of Neutron (Possível Existência do Nêutron) um artigo de meia página, que foi publicado na Nature em 27 de fevereiro de 1932, e lhe conferiu o prêmio Nobel de Física de 1935. Desta forma Chadwick fez uma descoberta de grande

importância para a ciência, uma vez que possibilitou os estudos sobre o núcleo atômico, os isótopos, fissão nuclear, peso atômico, número atômicos e outras questões da tabela periódica.

Após a descoberta do nêutron, os cientistas começaram a preocupar-se com a estrutura nuclear, ou seja, com a forma da qual se encontram distribuídos no núcleo, os prótons e nêutrons. Ressalta-se que em 1916, o físico alemão Arnold Johannes Wilhelm Sommerfeld (1868-1951), antes mesmo de Chadwick evidenciar o nêutron, propôs que o átomo não teria somente órbitas circulares, como postulou Bohr, mas também, órbitas elípticas. Assim, surgiu um novo número quântico, que Sommerfeld chamou de “número quântico secundário”, representado por “ l ” e que seria composto pelos subníveis s, p, d, f, cujas letras indicam respectivamente, os nomes: sharp, principal, diffuse e fundamental. Desta forma após a significativa contribuição de Chadwick, o átomo passou a ser representado como na imagem abaixo.



Imagem 3:
Sommerfeld

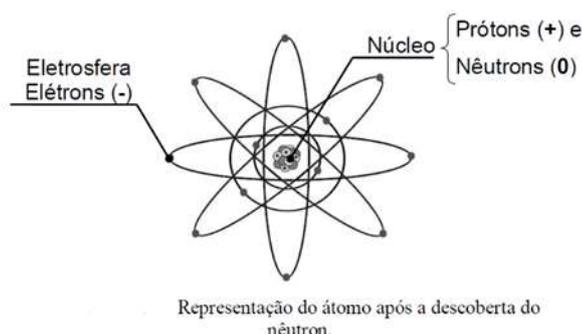


Imagem 4: Representação do átomo após a descoberta do nêutron

Com um núcleo, eletrosfera com órbitas circulares e elípticas.

Este texto foi elaborado de acordo com a referência:

TRANCOSO, Marcelo Delena. **A História das Ciências Colaborando no Estudo da Estrutura Atômica e dos Modelos Atômicos no Ensino Médio**. 2016. 202 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Ensino de Química, Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

FONTE DAS IMAGENS

IMAGEM 1: Fonte: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1935/chadwick/biographical>

IMAGEM 2: Trancoso, 2016, p. 84.

IMAGEM 3: Fonte: <http://estruturadoatomico2013iqunesp.blogspot.com/p/modelo-atomico-de-sommerfeld.html>

IMAGEM 4: Trancoso, 2016, p. 88.

Tópico 11: Alguns conceitos importantes.

Na continuidade das aulas apresentamos aqui, conceitos importantes para que os alunos compreendam as aulas posteriores. As aulas foram expositivas e dialogadas, porém o professor poderá adequar esse conteúdo de acordo com suas necessidades e preferências. Os conceitos trabalhados foram:

- Átomo neutro e íons.
- Número atômico, número de massa;
- Isótopos, isóbaros, isótonos e isoeletrônicos;
- Distribuição eletrônica;
- Princípio da Incerteza de Heisenberg;
- Princípio da Dualidade da Matéria de Louis de Broglie;
- Erwin Schrödinger;
- Números Quânticos principal e secundário.

NOTA AO PROFESSOR: A referência para essa aula foi o livro didático adotado pela escola, assim o professor está livre para escolher uma referência específica de sua preferência. Utilizamos duas aulas de 50 minutos. Os conteúdos sobre o Princípio da Incerteza de Heisenberg, o Princípio da Dualidade da Matéria de Louis de Broglie; a teoria de Erwin Schrödinger; e os Números Quânticos principal e secundário foram abordados de forma superficial e introdutória apenas, pois nossa intenção com esses conceitos eram apenas que os alunos ficassem cientes da existência e importância deles.

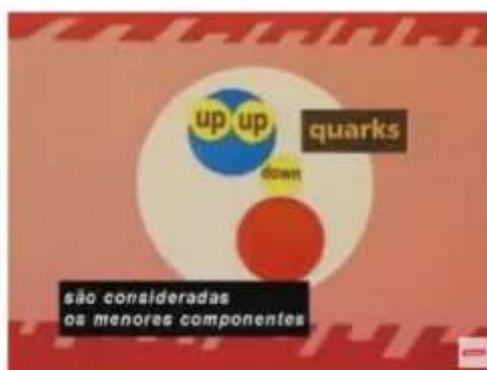
Tópico 12: Por dentro do átomo.

Esta aula finaliza nossa sequência de ensino, e a consideramos como o diferencial, além da história da ciência. Costumeiramente os conceitos que aqui abordaremos não são mostrados aos alunos neste referido ano do ensino médio, nem mesmo no 3º ano quando a radioatividade é discutida. Apresentamos a composição do próton e do nêutron, a interação entre os prótons, e o fenômeno da radioatividade. Para isso utilizamos um vídeo que irá explicar de forma clara e didática o fenômeno da radioatividade, tipos de emissão, aplicabilidade, benefícios, malefícios, e as partículas que compõe o átomo. O vídeo está disponibilizado no link abaixo. Após o vídeo para complementar a aula expomos aos alunos slides.

Vídeo: Mergulhando no mundo do átomo – Telecurso.

Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=X0xfIKfXNsk>.

Figura 7 - Vídeo aula sobre o núcleo do átomo.



48 - Mergulhando no núcleo do átomo - Física - Ens. Médio - Telecurso

Fonte: Da autora, 2018.

Nossos slides:

CONHECENDO MELHOR O ÁTOMO

2

Este é o átomo

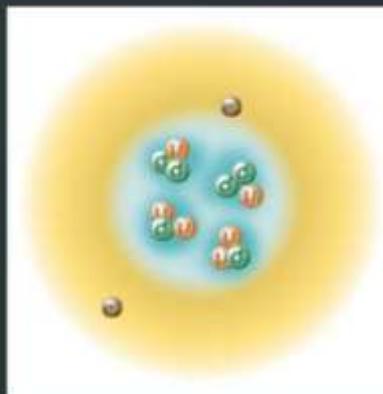


Imagem 1

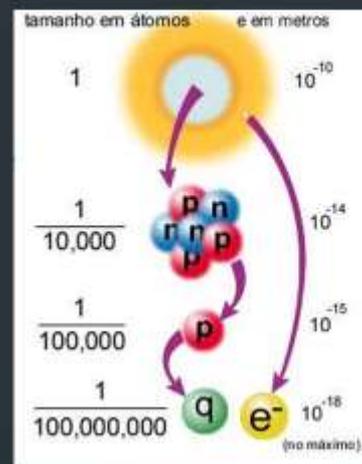


Imagem 2

3

Quarks

- **Quarks** são um tipo de partícula de matéria. A maior parte da matéria que vemos em nossa volta é feita de prótons e nêutrons, os quais são compostos de quarks.



Imagem 3

4

Prótons e Nêutrons

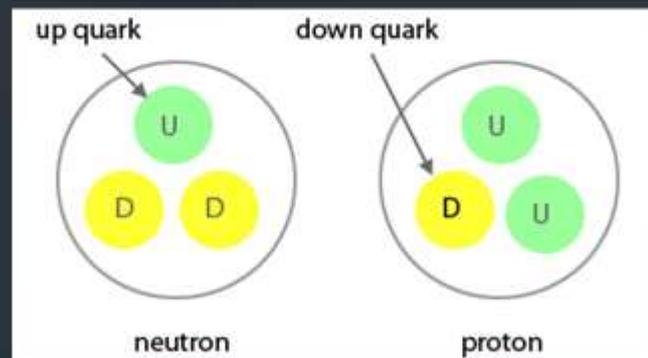


Imagem 4

5

▶ O que mantém essas partículas unidas?

- Os quarks além da carga eletromagnética têm outro tipo de carga, a chamada carga de cor. A força entre partículas carregadas com cor é muito forte, por isso essa força é, criativamente, chamada de FORTE.

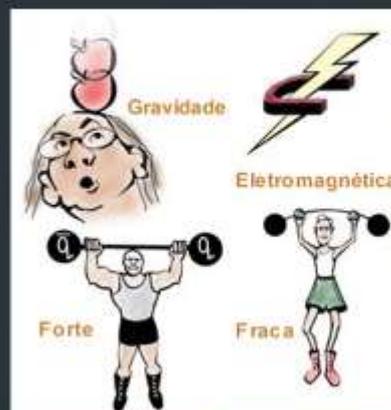


Imagem 5

6

- A força forte segura os quarks grudados para formar hádrons, então, suas partículas transportadoras são caprichosamente chamadas de glúons porque elas "colam" os quarks juntos ("to glue" significa colar em inglês).



Imagem 6

7

- A força forte entre os quarks de um próton e os quarks de outro próton é forte o bastante para superar a força eletromagnética repulsiva.

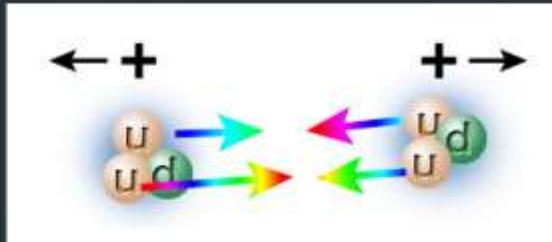
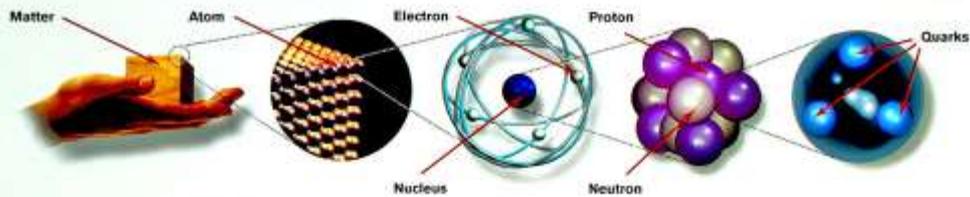


Imagem 7

8



| | LEPTONS | | QUARKS | |
|--|--|---|---|---|
| Matter particles All ordinary particles belong to this group | Electron Responsible for electricity and chemical reactions, it has a charge of -1 | Electron neutrino Particle with no electric charge, and possibly no mass, follows by through your body every second | Up Has an electric charge of plus two-thirds; protons contain two, neutrons contain one | Down Has an electric charge of minus one-third; protons contain one, neutrons contain two |
| These particles started just after the Big Bang. Now they are found only in cosmic rays and accelerators | Muon A heavier relative of the electron, it lives for two millionths of a second | Muon neutrino Created along with muons when some particles decay | Charm A heavier relative of the up; found in 1974 | Strange A heavier relative of the down; found in 1964 |
| Force particles These particles transmit the four fundamental forces of nature, although gravitons have so far not been discovered | Gluons Carriers of the strong force between quarks | Photon Particles that make up light; they carry the electromagnetic force | Intermediate vector bosons Carriers of the weak force | Gravitons Carriers of gravity |
| | The explosive release of nuclear energy is the result of the strong force | Electricity, magnetism and chemistry are all the results of electro-magnetic force | Some forms of radio-activity are the result of the weak force | All the weight we experience is the result of the gravitational force |

Imagem 8

9

CESAR LATTES

08



César Lattes

Área de atuação
Física atômica

Contribuição mais famosa
A descoberta do méson pi

Nascimento
11 de julho de 1924

Alma Mater
Universidade de São Paulo (USP)

Super Trunfo Tecmundo

Imagem 9



Imagem 10

10

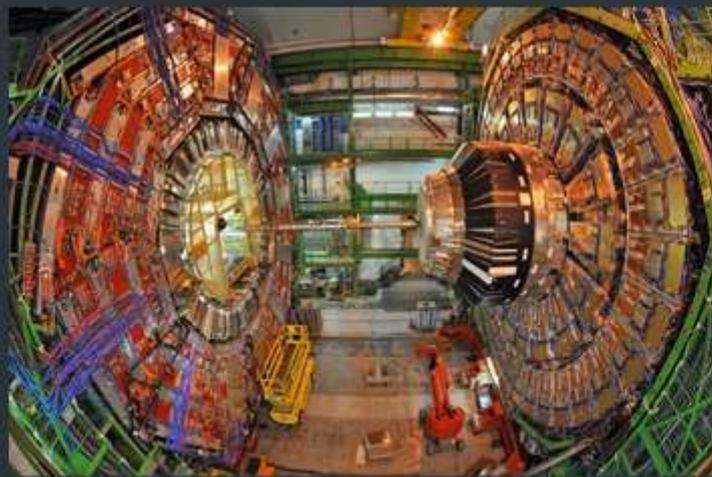
LHC – ACELERADOR DE
PARTÍCULAS

Imagem 11

11

- O Large Hadron Collider (LHC), ou Grande Colisor de Hádrons, é o maior equipamento desse tipo já construído até hoje. Localizado na fronteira entre a Suíça e a França, o LHC tem quase 27 km de circunferência.



Imagem 12

12

SIRIUS – acelerador de elétrons

- Sirius, a nova fonte de luz síncrotron brasileira, será a maior e mais complexa infraestrutura científica já construída no País e uma das primeiras fontes de luz síncrotron de 4ª geração do mundo. É planejada para colocar o Brasil na liderança mundial de produção de luz síncrotron e foi projetada para ter o maior brilho dentre todos os equipamentos na sua classe de energia.

13



Imagem 13

UVX – Luz Síncrotron

Sirius



Imagem 14

14

MAIS CURIOSIDADES....

- Visite o site A aventura das partículas, disponível em:
<https://www.sprace.org.br/AventuraDasParticulas/frames.html>

15

Fontes e bibliografias.

- **MERGULHANDO no núcleo do átomo - Aula 48 de física - Telecurso.** São Paulo: Tv N, 2012. Son., color. Legendado. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=X0xflKfXNsk>. Acesso em: 06 maio 2019.
- **Aventuras das Partículas.** Disponível em: <https://www.sprace.org.br/AventuraDasParticulas/frames.html>. Acesso em: 06 maio. 2019.
- **Imagem 1: O átomo.** Disponível em: <https://www.sprace.org.br/AventuraDasParticulas/frames.html>. Acesso em: 06 maio. 2019.
- **Imagem 2: O átomo.** Disponível em: <https://www.sprace.org.br/AventuraDasParticulas/frames.html>. Acesso em: 06 maio. 2019.
- **Imagem 3: Quarks.** Disponível em: <https://www.sprace.org.br/AventuraDasParticulas/frames.html>. Acesso em: 06 maio. 2019.

16

- **Imagem 4: Próton e Nêutron.** Disponível em: <http://sciexplorer.blogspot.com/2012/10/atoms-part-1-how-atoms-are-made.html>. Acesso em 06 maio. 2019.
- **Imagem 5: Carga Forte.** Disponível em: <https://www.sprace.org.br/AventuraDasParticulas/frames.html>. Acesso em: 06 maio. 2019.
- **Imagem 6: Glúon.** Disponível em: <https://www.sprace.org.br/AventuraDasParticulas/frames.html>. Acesso em: 06 maio. 2019.
- **Imagem 7: Glúon.** Disponível em: <https://www.sprace.org.br/AventuraDasParticulas/frames.html>. Acesso em: 06 maio. 2019.
- **Imagem 8: Representação da matéria.** Disponível em: <https://home.cern/resources/image/physics/infographics-gallery>. Acesso em: 06 maio. 2019.

- Imagem 9: César Lattes. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/ciencia/130039-genios-brasil-8-cesar-lattes-fisico-injusticado-premio-nobel.htm>. Acesso em: 06 maio, 2019.
- Imagem 10: César Lattes. Disponível em: http://www.canalciencia.ibict.br/notaveis/cesar_lattes.html. Acesso em: 06 de maio, 2019.
- Imagem 11: LHC. Disponível em: <http://theconversation.com/explainer-how-does-an-experiment-at-the-large-hadron-collider-work-42846>. Acesso em: 06 maio, 2019.
- Imagem 12: LHC. Disponível em: <http://www.washington.edu/news/2019/03/05/faser-detector-lhc/>. Acesso em: 06 maio, 2019.
- Imagem 13: UVX. Disponível em: <http://cnpem.br/portfolio-item/geral-ins/>. Acesso em 06 maio, 2019.
- Imagem 14: Sirius. Disponível em: <http://cnpem.br/governo-tentara-retomar-negociacoes-com-argentina-para-uso-de-novo-acelerador-de-particulas/>. Acesso em: 06 maio, 2019.

Após essa apresentação mostramos aos alunos um material desenvolvido por nós para similar os prótons e os nêutrons com seus respectivos quarks, como na figura abaixo:

Figura 8 - Próton e Nêutron



Fonte: Da autora, 2018.

Material utilizado para os modelos do próton e nêutron

- Seis bolinhas de isopor;
- Tinta guache de duas cores diferentes;
- Duas bolas de acrílico (são encontradas em lojas que vendem materiais de artesanato).

Procedimento:

- ✓ Pinte três bolinhas de isopor com uma única cor, essas poderão ser os quarks up.
- ✓ Pinte as outras três bolinhas de isopor com a tinta de cor diferente das bolinhas pintadas anteriormente, essas poderão ser os quarks down.
- ✓ Depois que as bolinhas estiverem com a tinta seca, basta separá-las de acordo com a composição de um próton e um nêutron, colocando-as dentro da bola de acrílico.

NOTA AO PROFESSOR: Aconselhamos a visita ao site Aventura das Partículas.

Utilizamos uma aula de 50 minutos.

Desta forma encerramos nossa sequência didática, nas últimas aulas não sugerimos atividades porque não tínhamos carga horária disponível para a aplicação das mesmas. Deixamos bem claro que todas as atividades aqui propostas são apenas um exemplo de como utilizar a História da Ciência como meio de integração dos conteúdos de Modelos Atômicos e Radioatividade. Assim, como já salientamos, o professor que utilizar de nossa ideia poderá adaptar todas as atividades de acordo com sua necessidade, como também as formas de avaliar os seus alunos.

APÊNDICE B - Sugestões de respostas para as atividades propostas

Pensando em como a vida de professor é corrida tentamos aqui otimizar o seu tempo com algumas possíveis respostas para as atividades propostas na sequência de ensino. Confira a seguir:



ATIVIDADE SOBRE DALTON

Fonte: <https://seuhistory.com/hoje-na-historia/nasce-john-dalton-o-precursor-da-teoria-atomica> (2018).

1) – O que você acha que motivou Dalton a criar um modelo atômico?

Resposta esperada: *De acordo com o texto trabalhado espera-se que eles falem sobre a ascensão e utilização das máquinas a vapor e seus estudos sobre a solubilidade dos gases em água e meteorologia, ou de forma geral seus estudos sobre os gases.*

2) - A partir do que você estudou sobre, diga como o modelo de Dalton explica as Leis Ponderais.

Resposta esperada: *Para Dalton o fato dos átomos serem indestrutíveis, em uma reação química eles se conservaram, o que ocorre é apenas um rearranjo dos átomos dando novas substâncias. Por exemplo, 3g de carbono se combinam com 4g de gás oxigênio, para formar 7g de monóxido de carbono. Segundo ele o "átomo composto de monóxido de carbono" é formado por "átomos simples" de oxigênio e carbono. E se dobrasse a quantidade dos átomos usados o resultando também dobraria.*

3) – Você acha que o modelo atômico de Dalton é útil? Por quê?

Resposta esperada: *Aqui são possíveis respostas considerando tanto o uso desse modelo no seu contexto de construção, como no contexto atual. Assim uma possível resposta pode ser que é sim um modelo útil pois ele explicava tanto as leis ponderais como também serviria para interpretar a constituição dos gases usados nas máquinas à vapor. Outra possível resposta seria dizer que é um modelo útil se consideramos o átomo como a unidade fundamental da matéria, pois isso já é suficiente para compreensão de várias propriedades químicas ainda hoje. Ambas são respostas aceitas, mas o ideal para essa atividade é que o aluno focasse no contexto da construção do modelo para falar de sua utilidade.*

MATERIAL DE APOIO:

- ✓ Transposição das Teorias Modernas e Contemporâneas para Sala de Aula - Laboratório de Pesquisa em Ensino de Física da Faculdade de Educação da USP;
- ✓ Química Cidadã – Wildson Santos e Gerson Mól. 1º edição. São Paulo: Editora Nova Geração. 2010. Página: 174.
- ✓ A Natureza da Ciência e a Formação inicial de Professores: Análise de uma Proposta Didática Desenvolvida em um Curso de Licenciatura em Física. Danielle Aparecida Reis Leite e Dayane dos Santos Silva. Disponível em: http://if.ufmt.br/eenci/artigos/Artigo_ID557/v13_n5_a2018.pdf.



ATIVIDADE SOBRE THOMSON

Fonte da imagem: <https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0172219006000573-gr1.jpg> (2018).

1) – Você acha que o modelo atômico de Dalton poderia explicar as propriedades da matéria que Thomson pesquisava?

Resposta esperada: *Não, porque Thomson procurava uma explicação para a natureza elétrica da matéria, e o modelo proposto por Dalton não diz nada sobre essa propriedade, uma vez que o átomo é apenas esférico, maciço e indivisível.*

2) – Diga com suas palavras as diferenças dos modelos atômicos propostos por Dalton e Thomson.

Resposta esperada: *Dalton propõem que o átomo seja esférico, maciço e indivisível, já Thomson propõem que ele seja esférico de carga elétrica positiva, não maciço, com cargas elétricas negativas (elétrons) incrustadas.*

3) – A partir do que você estudou até aqui, qual foi a contribuição para a ciência do modelo atômico proposto por Thomson?

Resposta esperada: *Thomson contribui com a ciência com a descoberta de cargas elétricas negativas no átomo, que hoje conhecemos como elétrons.*

MATERIAL DE APOIO:

- ✓ Química – Eduardo Fleury Mortimer e Andréa Horta machado. 3º edição. São Paulo: Editora Scipione.2017. Página: 139.
- ✓ Física em Casa – Luiz Antônio Oliveira Nunes e Alessandra Riposati Arantes. São Carlos: Instituto de Física de São Carlos. 2009. Páginas:1-4. Esse livro está disponível no repositório de livros abertos da USP através do link: <http://www.livrosabertos.sibi.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/book/100>



ATIVIDADE SOBRE HISTÓRIA DA RADIOATIVIDADE

1) – Após o conhecimento desta história, o que mudou no seu conceito no que diz respeito a radioatividade?

Resposta esperada: Aqui espera-se que o aluno faça uma comparação entre o que conhecia (e se conhecia) de radioatividade com as informações históricas. Respostas possíveis podem levar em consideração, por exemplo, se ele imaginava que esse conhecimento era anterior aos estudos envolvendo armas nucleares. De forma geral, a expectativa é que os alunos não conheçam muito sobre a história desse episódio e que suas respostas indiquem elementos que chamaram sua atenção.

2) – O casal Curie estudando a plechblenda, que é um minério de urânio, desconfiaram da existência de outro elemento radioativo nesta. Por quê?

Resposta esperada: Quando o casal Curie estava estudando o minério de urânio, acharam que ele era composto de urânio, bismuto, bário e chumbo. Ao analisarem esses elementos separadamente perceberam que o urânio, bário e bismuto tinham uma atividade de emissão de raios. Como já conheciam as propriedades do bário e do bismuto, e que os mesmos não emitem raios, supuseram que havia novos elementos naquela amostra. Assim quando foram isolados receberam o nome de Rádio e Polônio.

3) – Pode-se relacionar a luminosidade dos ponteiros de um relógio a algum fenômeno descrito no texto?

Resposta esperada: Sim, o fenômeno que ocorre nos ponteiros de relógios é o da fosforescência, pois os ponteiros continuam a emitir luz durante um tempo, mesmo depois de não estarem sendo iluminados.

4) – No texto cita que Marie Curie ganhou o Prêmio Nobel de Física e Química. Você acha que o estudo dos modelos atômicos tem alguma relação com a física, uma vez que vocês os estudam na disciplina de química?

Resposta esperada: Essa pergunta permite avaliar se o aluno consegue perceber que um mesmo conceito pode ser útil em diferentes áreas do conhecimento. Assim são esperadas respostas que citem o uso do átomo na física, como por exemplo nos processos de eletrização, como também o uso do mesmo na química.

SUGESTÃO DE MATERIAIS:

- ✓ Fluorescência e estrutura atômica: experimentos simples para abordar o tema.
Ana Luiza Petillo Nery e Carmen Fernandez



ATIVIDADE SOBRE RUTHERFORD

Fonte: <https://www.biography.com/scientist/ernest-rutherford> (2019).

1) – Agora que você conhece a proposta de Rutherford para o átomo, desenhe ou esquematize um modelo para esse átomo.

Resposta esperada: *Para Rutherford o átomo contém um núcleo pequeno, denso com cargas positivas, em volta desse núcleo possui elétrons orbitando em uma região periférica denominada eletrosfera, e ainda podemos encontrar imensos espaços vazios.*

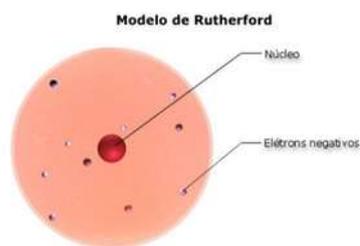


Imagem 1: Modelo do átomo de Rutherford. Fonte: Mesonpi. Disponível em: http://mesonpi.cat.cbpf.br/fisMod/O_atomo/o_atomo-main.htm, 2019.

2) – Você acha que o modelo atômico de Rutherford explica todas as propriedades da matéria?

Resposta esperada: *Esperávamos que eles respondessem que sim, uma vez que Rutherford consegue mostrar por meio do experimento com a folha de ouro que o átomo de Thomson não era satisfatório para os resultados obtidos, propondo um átomo com núcleo de carga positiva e em volta dele elétrons de carga negativa.*

3) - Antes de Rutherford propor seu modelo planetário, outras pessoas já haviam proposto algo parecido. Cite quem são elas, e de seu ponto de vista sobre o fato dos modelos propostos por eles não terem sido reconhecidos como o de Rutherford.

Resposta esperada: *Esperávamos que os alunos citassem os nomes de Jean Perrin, Hamtaro Nagaoaka e John William Nicholson. É uma possível resposta ao não reconhecimento dos modelos sugeridos por eles, pode ser que as convicções deles acerca de seus átomos não convenceram a sociedade científica que de fato eram relevantes,*

como fez Rutherford ao mostrar que o modelo atômico de Thomson, não era suficiente para explicar o experimento de bombardeamento de radiação alfa.



ATIVIDADE SOBRE BOHR

Fonte: <https://www.atomicheritage.org/key-documents/bohrrs-safety>

1) – Conforme o seu conhecimento, o que motivou Bohr a propor um novo modelo atômico?

Resposta esperada: *Bohr procurava uma explicação para a instabilidade atômica do modelo planetário de Rutherford, já que era esperado que o elétron, em seu movimento ao redor do núcleo, estaria sujeito a uma aceleração centrípeta e dessa forma perderia energia na forma de onda eletromagnética. Se isso de fato acontecesse essa perda de energia faria com que o elétron "caísse" sobre o núcleo atômico, o que não acontece.*

2) – Depois da leitura do texto sobre Bohr diga quais as diferenças do modelo atômico de Bohr e Rutherford.

Resposta esperada: *Ambos os modelos propostos por Rutherford e Bohr possuem um núcleo central de carga positiva com elétrons (carga negativa) em órbitas ao seu redor, a diferença entre estes modelos é que Bohr propõem que as órbitas possuem quantidades definidas de energia, ou seja, elas são quantizadas, e que os elétrons conseguem saltar de uma órbita para a outra. Se ele saltar de uma órbita de menor energia para uma de maior energia o elétron irá absorver energia, este mesmo elétron quando retornar para sua órbita de origem liberará a energia absorvida em forma de fóton.*

3) – De acordo com o teste de chama realizado em sala de aula, utilize o modelo atômico de Bohr para explicar o que foi observado.

Resposta esperada: *O observado em sala de aula é que sais de diferentes metais quando colocados na chama produzem cores variadas, e isso pode ser explicado pelo modelo atômico proposto por Bohr. Ele diz que quando o átomo recebe energia por aquecimento ou radiação eletromagnética, cada elétron acumula uma quantidade de energia que equivale a 1 "quantum" e salta para uma órbita mais externa. Em seguida, após uma fração mínima de segundo, o elétron retorna a sua órbita original e libera igual valor da energia acumulada (1 quantum). Essa energia é liberada na forma de luz que equivale a 1 "fóton", que será característico de cada elemento, como o cobre com uma chama de cor verde, e o sódio de cor amarela.*

MATERIAL DE APOIO:

- ✓ A Espectroscopia e a Química da Descoberta de Novos Elementos ao liminar da Teoria Quântica. Carlos A.L. Filgueiras.
- ✓ Combustão, Chamas e Testes de Chamas para os Cátions: uma proposta de experimento. Augusto César Gracetto, Nobuto Hioka e Ourides Santin Filho.
- ✓ A Graça da Química. Teste de chama com spray. Disponível em: <https://agracadaquimica.com.br/teste-de-chama-com-spray/>. Acesso em: 17 set. 2019.

Os materiais sugeridos abaixo são referentes a aula do tópico 12, “**Por dentro do átomo**”.

MATERIAL DE APOIO:

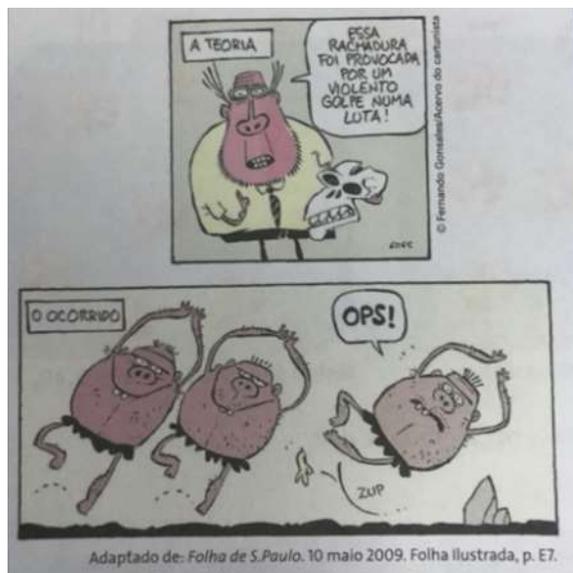
- ✓ O discreto Charme das Partículas elementares. Maria Cristina B. Abdala.
- ✓ O mágico dos quarks. A Física de partículas ao Alcance de Todos. Robert Gilmore.
- ✓ Vídeo: O discreto charme das partículas elementares. Filme produzido pela TV Cultura a partir do livro de mesmo nome. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=2pfEwQq4pzE>
- ✓ Artigo, O Discreto charme das partículas elementares. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol6/Num1/charme.pdf>

APÊNDICE C: Materiais Complementares

Disponibilizamos a seguir como complemento a atividade avaliativa e o questionário caso o professor queira utilizá-los.

ATIVIDADE AVALIATIVA

01.(UEL –PR) Observe a charge a seguir:



A charge remete à ausência de um procedimento necessário na concepção de métodos de conhecimento científico fundamental na corrente empirista que é:

- A) O recuso à dedução lógica.
- B) A formulação de uma hipótese
- C) O uso da intuição.
- D) A prática da generalização.
- E) A verificação de evidências fatuais.

02. A partir do que você estudou diga qual a contribuição para a ciência do modelo atômico proposto por Thomson. Descreva esse modelo.

03. A reação de síntese de cloreto de hidrogênio é feita em condições constantes de pressão e temperatura.

| HIDROGENIO + | CLORO → | CLORETO DE HIDROGÊNIO |
|--------------|----------|-----------------------|
| 7 gramas | 7 gramas | A |
| B | C | 15 gramas |

a) Encontre os valores de A, B e C utilizando as Leis Ponderais.

b) Dê acordo com os cálculos que você realizou na alternativa anterior, diga qual a relação que eles têm com as Leis Ponderais e a Teoria Atômica de Dalton.

04. O que significa a radioatividade ser um fenômeno atômico?

05. O casal Curie estudando a plechblenda, que é um minério de urânio, desconfiaram da existência de outro elemento radioativo nesta. Por quê?

06. (UFJF-MG) Associe as afirmações a seus respectivos responsáveis.

I. O átomo não é indivisível e a matéria possui propriedades elétricas (1897).

II. O átomo é uma esfera maciça. (1808).

III. O átomo é formado por duas regiões denominadas de núcleo e eletrosfera (1911).

A) I- Dalton, II- Rutherford e III- Thomson.

B) I- Thomson, II- Dalton e III- Rutherford.

C) I- Dalton, II- Thomson e III- Rutherford.

D) I- Rutherford, II- Thomson e III- Dalton.

E) I- Thomson, II- Rutherford e III- Dalton.

Referência:

PINTO, Giovana Teixeira; MARQUES, Deividi Marcio. Uma Proposta Didática na Utilização da História da Ciência para a Primeira Série do Ensino Médio: A Radioatividade e o cotidiano. **História da Ciência e Ensino: Construindo Interfaces**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 27-57, 2010.

FONSECA, Martha Reis Marques da. **Química: Ensino Médio**. 2. ed. São Paulo: Ática, 2016. 3 v.

GABARITO DA AVALIAÇÃO

01. E) A verificação de evidências fatuais.

02. A contribuição de Thomson para a ciência foi a descoberta do elétron (partícula negativa do átomo). Thomson propõem que o átomo seja esférico de carga elétrica positiva, não maciço, com cargas elétricas negativas (elétrons) incrustadas.

03.

a) HIDROGÊNIO + CLORO → CLORETO DE HIDROGÊNIO

| | | |
|----------|----------|-----------|
| 7 GRAMAS | 7 GRAMAS | A |
| B | C | 15 GRAMAS |

Segundo a Lei de Lavoisier em uma reação química a massas dos reagentes (hidrogênio e cloro) sempre será igual a dos produtos formados na mesma (cloreto de hidrogênio). Desta forma temos:

$$A = 7 + 7$$

$$A = 14 \text{ gramas}$$

Para encontrar o valor de B aplicamos a Lei de Proust, que nos diz que as substâncias se combinam em uma relação de massas definidas. Assim podemos fazer a seguinte relação:

| | |
|--------------------------|-----------------------|
| Hidrogênio | Cloreto de Hidrogênio |
| 7 g | 14 g |
| B | 15 g |
| ----- | |
| $14 B = 7 \times 15$ | |
| $14 B = 105$ | |
| $B = 105 / 14$ | |
| $B = 7,5 \text{ gramas}$ | |

Como descobrimos o valor de B podemos aplicar a Lei de Lavoisier novamente para encontrarmos o valor de C:

$$B + C = 15$$

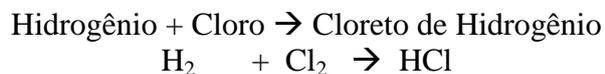
$$7,5 + C = 15$$

$$C = 15 - 7,5$$

$$C = 7,5 \text{ gramas}$$

b) Para Dalton os átomos de elementos químicos iguais, possuem o mesmo tamanho, mesma forma, e a mesma massa. E quando em uma reação química, os átomos das

substâncias envolvidas nos reagentes serão os mesmos átomos que aparecerão nas substâncias formadas nos produtos. O que ocorre de fato é um rearranjo (reorganização) dos átomos das substâncias envolvidas nos reagentes. Desta forma, Dalton, afirma que a massa dos reagentes será igual à massa dos produtos. Veja a reação:



04. A radioatividade é um fenômeno atômico porque ele ocorre devido a instabilidade do núcleo atômico de alguns elementos químicos.

05. Quando o casal Curie estava estudando o minério de urânio, acharam que ele era composto de urânio, bismuto, bário e chumbo. Ao analisarem esses elementos separadamente perceberam que o urânio, bário e bismuto tinham uma atividade de emissão de raios. Como já conheciam as propriedades do bário e do bismuto, e que os mesmos não emitem raios, supuseram que havia novos elementos naquela amostra. Assim quando foram isolados receberam o nome de Rádium e Polônio.

06. B) I- Thomson, II- Dalton e III-Rutherford.

Questionário

DE ACORDO COM AS AULAS QUE VOCÊ TEVE DE MODELOS ATÔMICOS E RADIOATIVIDADE NO 3º BIMESTRE, RESPONDA AS PERGUNTAS ABAIXO:

- Na sua opinião qual aula foi mais interessante?
 - Aulas com contexto histórico
 - Aulas práticas demonstrativas
 - Aulas com vídeo/ slides

- O que lhe chamou mais atenção nessa aula?

- Qual fato histórico você achou curioso?

- Qual personagem/ cientista você mais gostou?

- De acordo com sua resposta anterior, como o personagem que você escolheu contribuiu com a ciência?

- O que você entende sobre radioatividade?

- Para você, como é o átomo?

- De forma geral avalie as aulas que você teve durante o 3º bimestre em:
 - Ótima
 - Muito boa
 - Boa
 - Ruim

- Deixe um comentário ou alguma sugestão.

