

Jadson Borges de Oliveira¹
Juliana M. Hidalgo^{2,*}

¹Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais e Matemática, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil.
²Departamento de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil.

RESUMO

Na disciplina de física, o modelo atômico de Thomson, conhecido como “pudim de passas”, costuma ser apresentado em tópicos relacionados à estrutura da matéria, juntamente com os modelos de Rutherford e de Bohr, em livros didáticos do Ensino Médio. O presente artigo traz uma proposta didática de cunho histórico-filosófico, dinâmica e diversificada, sugerida como alternativa para o ensino do modelo de Thomson. Elaboramos uma sequência didática fundamentada nos seguintes pilares: estudos historiográficos, fundamentos para a transposição didática da história da ciência, referenciais relativos ao uso didático contextualizado de fontes primárias e inserção de novas tecnologias no ensino de física. A abordagem histórico-filosófica, nesse caso, contempla a utilização de diferentes recursos, como trechos originais escritos por Thomson, vídeos de conteúdo histórico e um game interativo, elaborados pelos autores da proposta didática a partir das fontes históricas consultadas. Busca-se a participação ativa do estudante tendo em vista uma compreensão contextualizada do conteúdo científico, afastando noções equivocadas que emergem de um uso acríptico da expressão “pudim de passas”.

Palavras-chave: modelo atômico de Thomson; “pudim de passas”; abordagem histórico-filosófica

1. Considerações iniciais

Há décadas, a importância da história da ciência para o ensino de disciplinas científicas vem sendo reconhecida pela literatura acadêmica [1-5]. Trabalhos recentes a ratificam com afirmações do tipo:

A abordagem histórico-filosófica não pode ser entendida como a solução de todos os problemas da educação científica, mas sua inserção se mostra como um recurso útil de diversas maneiras [...] mostra como o pensamento científico se modifica ao longo do tempo. [6, p. e20190114-5]

A história da ciência (HC) pode ser utilizada como um excelente recurso pedagógico para ensinar disciplinas de cunho científico, pois com ela é possível tornar as aulas mais desafiadoras e reflexivas, ao passo que ela permite que o aluno compreenda melhor o significado dos conceitos trabalhados em sala de aula. A história da ciência pode contribuir para o entendimento de como o empreendimento científico é humano. [7, p. e2583-5-11]

Essas recomendações há décadas permeiam também a legislação educacional brasileira. No início dos anos 2000, os Parâmetros Nacionais Curriculares preconizavam que o conhecimento físico deveria ser “explicitado como um processo histórico, objeto de contínua transformação”, [8, p. 24] levando “à compreensão de que modelos explicativos não são únicos nem finais, tendo se sucedido ao longo dos tempos” [8,

p. 27]. Quase 20 anos depois, a versão em vigor da Base Nacional Comum Curricular postula que a contextualização histórica é fundamental para que a ciência seja compreendida como empreendimento humano e social [9].

À luz das referidas considerações, elaboramos uma sequência didática, de cunho histórico-filosófico, que busca trabalhar adequadamente o modelo atômico de Thomson, sob o ponto de vista físico conceitual, ao mesmo tempo que inclui referências ao desenvolvimento histórico do modelo consistentes com a historiografia especializada.

Consultamos fontes históricas originais e trabalhos oriundos de pesquisas em história da ciência, bem como produções acadêmicas voltadas para a inserção didática do episódio histórico do desenvolvimento do modelo de Thomson. Essas últimas, por seu turno, baseiam-se em estudos históricos específicos e podem também se constituir como boas referências de síntese do tema em questão [10-18].

À luz das fontes consultadas, a seção 2 subsequente apresenta aspectos históricos relacionados ao desenvolvimento do modelo de Thomson, discute sobre o percurso do pesquisador e as influências de diversos cientistas para a composição de diferentes ideias sobre o átomo sustentadas por Thomson ao longo de sua carreira. Essa seção, tomando como base o modo como o próprio Thomson descreveu seu modelo, questiona o uso didático da analogia “pudim de passas”, ao mesmo tempo em que explicita a origem histórica dessa expressão.

A seção 3 apresenta a sequência didática proposta em quatro etapas, as quais incluem o uso em sala de aula de um trecho original escrito por Thomson, bem como vídeos de conteúdo histórico e um jogo interativo virtual ela-

*Autor de correspondência. E-mail: julianahidalgo@fisica.ufrn.br.

borado pelos autores do presente trabalho. Ao longo dessa seção, referências relativas ao uso didático de fontes primárias da história da ciência, bem como à inserção de novas tecnologias no ensino, são citadas. Por fim, trazemos considerações adicionais sobre essa proposta.

2. O desenvolvimento histórico do modelo de Thomson

Joseph John Thomson nasceu em 1856, próximo à cidade de Manchester, na Inglaterra. Com 14 anos, J.J. Thomson iniciou sua vida acadêmica no Colégio Owens, em Manchester, onde ingressou para cursar engenharia. A instituição tinha uma ótima estrutura de laboratórios e excelentes professores. Havia aulas diretamente no laboratório, o que constituía uma inovação no período.

Thomson tinha interesse pela física, pelas teorias atômicas da matéria e, principalmente, pelas ideias de John Dalton (1766-1844). Essa etapa de formação inicial parece ter sido marcante para a sua carreira futura, notadamente influenciando os tipos de modelos atômicos que viria a desenvolver:

Em sua formação em Owens, as analogias mecânicas e teorias especulativas foram componentes essenciais do pensamento físico mostrado a Thomson. Essas aprendizagens foram incorporadas à sua produção teórica como um valioso instrumental para compreender o “invisível” [12, p. 25].

O jovem Thomson realizou uma primeira tentativa, sem sucesso, de conseguir uma bolsa de estudos no Trinity College, em Cambridge, em 1875. Contudo, ele não desistiu. Um ano depois, aos 19 anos, conseguiu entrar no Trinity para dar continuidade aos seus estudos em matemática e física. Permaneceu em Cambridge até o final de sua vida. Nessa instituição, em 1884, foi nomeado para a cátedra Cavendish de Física Experimental (Fig. 1), na qual seria sucedido pelo seu pupilo Ernest Rutherford (1871-1937), em 1919.

Em 1882, J.J. Thomson publicou seu primeiro livro, intitulado *Um tratado sobre o movimento dos anéis de vórtices*. Thomson havia tomado como base ideias de Dalton e aplicara ao problema das combinações químicas o modelo do átomo de vórtices.

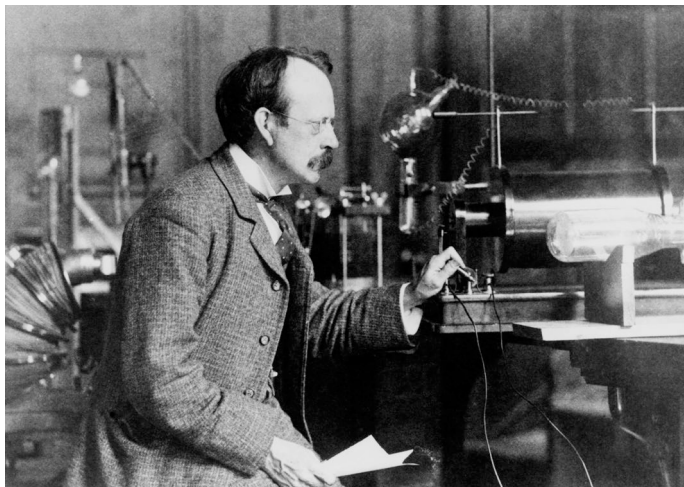


Figura 1 - J.J. Thomson (1856-1940) trabalhando no laboratório Cavendish. Fonte: Ref. [11, p. 328].

O modelo de vórtices, usado pelo cientista britânico William Thomson (1824-1907), o Lorde Kelvin, havia exercido uma influência acentuada nessa publicação (Fig. 2).

Os átomos seriam formados por um conjunto de tubos de vórtices no éter, um fluido incompressível, homogêneo e sem atrito, que a tudo permeava. Era um modelo de característico dinamismo. Influenciou o pensamento de Thomson sobre a complexidade da estrutura do átomo, de modo que ele sugeriu uma relação entre a valência e o número de anéis vórtices de que o átomo

era composto [13].

J.J. Thomson não estava apenas especulando qualitativamente sobre átomos, mas buscava entender sobre configurações de equilíbrio estável para um número de corpúsculos iguais agindo uns sobre os outros. Nesse sentido, os experimentos conduzidos pelo físico norte-americano Alfred Marshal Mayer (1836-1897) com imãs flutuantes eram fonte de inspiração para ele, assim como haviam sido para Lorde Kelvin. Forneciam uma ilustração mecânica do equilíbrio cinético de grupos de colunas vórtices girando em torno de

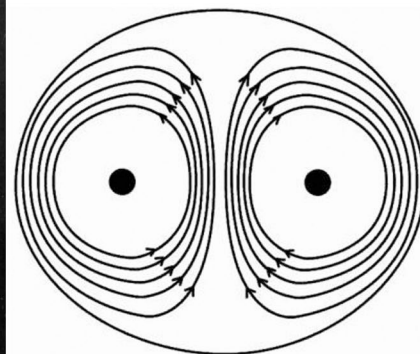
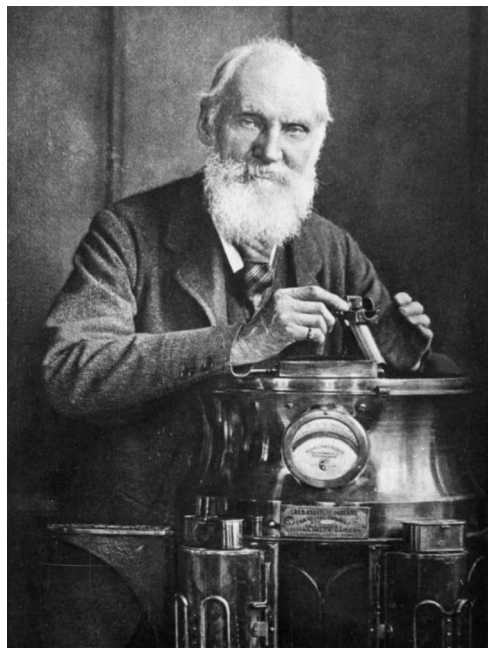


Figura 2 - Lorde Kelvin (1824-1907) e sua representação para os anéis de vórtices, em artigo de 1867. Fontes: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2b/Baron-Kelvin-William-Thomson-compass-1902.jpg>; <http://www.astrosiences.info/qv.htm>.

um centro de gravidade comum:

Neste experimento os pequenos ímãs (agindo efetivamente como monopolos) corresponderiam aos elétrons [melhor dizendo “corpúsculos”, uma vez que Thomson não utilizava o termo “elétrons”] e o grande ímã central, à força central necessária para evitar a explosão do átomo. Thomson dedicou uma página inteira de seu artigo na *Philosophical Magazine* para descrever o experimento de Mayer, que claramente o atraía. [11, p. 329].

Agulhas igualmente magnetizadas dispunham-se em posições de equilíbrio, nas quais a força atrativa do eletroímã central era balanceada pelas forças repulsivas entre os ímãs. Mayer observou algumas configurações de equilíbrio, bem como outras de caráter instável. Por exemplo, um pequeno distúrbio mecânico podia fazer com que se transformasse na configuração de um pentágono estável, uma configuração inicial de cinco agulhas dispostas em um quadrado com uma agulha central (Fig. 3).

A estabilização dos vórtices organizados em intervalos iguais em torno de uma circunferência de um círculo era uma questão de pesquisa para J.J. Thomson e, nesse contexto, ele considerou a possibilidade de analogia entre as configurações de Mayer das agulhas

magnetizadas e os arranjos de vórtices.

Mudanças metodológicas no trabalho de Thomson viriam na década de 1890. As críticas ao modelo de vórtices, bem como novas influências contextuais advindas da ciência da época, impulsionariam pesquisas e modificações em suas ideias. No artigo “A relação entre o átomo e a carga de eletricidade carregada por ele”, em 1895, Thomson descreveu um novo tipo de estrutura. Os átomos seriam representados por pequenos girostatos, uma espécie de objeto sólido dotado de um movimento de rotação rápido em torno de seu eixo, permitindo a estabilização. Os sentidos de giro garantiam carga positiva ou negativa ao átomo.

As influências contextuais eram marcantes nas propostas de Thomson. Um importante precedente para novos direcionamentos foi o trabalho do químico William Crookes

(1832-1919) sobre raios catódicos. Por volta de 1875, Crookes investigou uma luminescência esverdeada na montagem que ficou conhecida como “ampola de Crookes”. No interior de um tubo, um gás rarefeito era submetido a uma descarga elétrica superior a 10 000 V. Do cátodo partiam os chamados “raios catódicos”, que se dirigiam à parede oposta do tubo, produzindo uma luminescência esverdeada (Fig. 4).

Na época, diversos pesquisadores

engajaram-se nas investigações. Em meados da década de 1890, o francês Jean Baptiste Perrin (1870-1942) passou a se dedicar ao estudo dos raios catódicos e sugeriu, em 1895, que partículas de carga elétrica negativa os constituíam. Havia então um debate intenso sobre os raios catódicos: “os alemães acreditavam que os raios catódicos eram um tipo de onda, os franceses e ingleses em sua maior parte acreditavam que esses raios eram constituídos de partículas” [13, p. 4].

Como se propagavam os raios catódicos? Eles tinham massa? Observou-se que quando incidiam sobre um anteparo, produziam uma sombra na parede oposta do tubo. Notou-se também que movimentavam um catavento de mica e que eram desviados por um campo de carga elétrica positiva. Assim, pareciam propagar-se em linha reta, eram dotados de massa e de carga elétrica negativa.

J.J. Thomson considerava que era necessário estudar as estruturas subatômicas para que se compreendessem valências e propriedades periódicas dos elementos. Seguiu essa linha de pesquisa e, em 1897, publicou o artigo “Raios catódicos” que o levou ao prêmio Nobel de Física. Thomson realizou testes com tubos contendo tipos diferentes de gases. Testou também o que ocorria quando metais diferentes eram empregados na constituição dos eletrodos. Em todos os casos, chegou aos mesmos valores para a relação e/m .

Atualmente, os raios catódicos são considerados feixes de elétrons e explica-se que a luminescência observada decorre do choque dos elétrons que partiram do cátodo com os átomos do vidro da ampola. A interpretação de Thomson, na época, para a emissão dos raios catódicos era um pouco diferente da atual:

Em vez de considerar os elétrons como sendo liberados do cátodo de metal, ele pensou que eles resultavam da dissociação das moléculas do gás no intenso campo elétrico próximo ao cátodo. Isto é, o tubo de raios catódicos agia como um dilacerador atômico, e por essa razão um gás re-

J.J. Thomson mudou de ideia sobre o átomo ao longo de sua carreira, sendo influenciado pelas contribuições de diversos pesquisadores da época, como Alfred Mayer e William Crookes

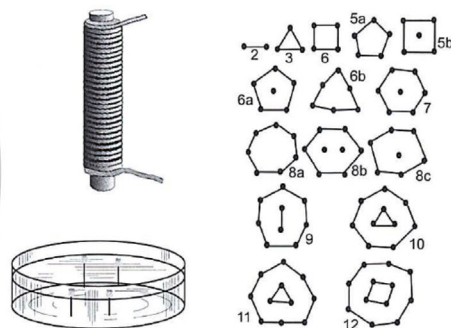
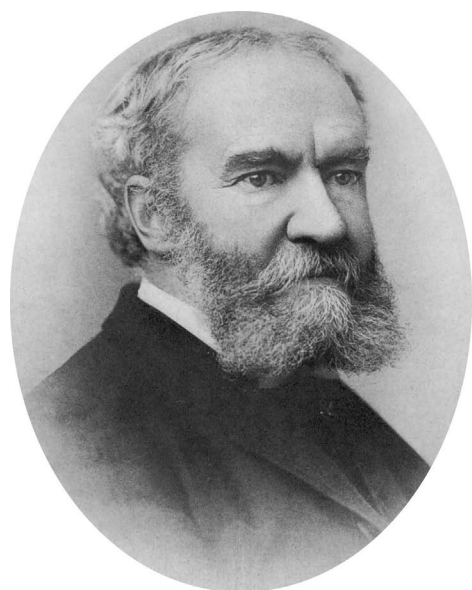


Figura 3 - Alfred Mayer (1836-1897) e seu experimento de 1878. Fontes: <https://science.sciencemag.org/content/6/138/261>; Ref. [11, p. 329].

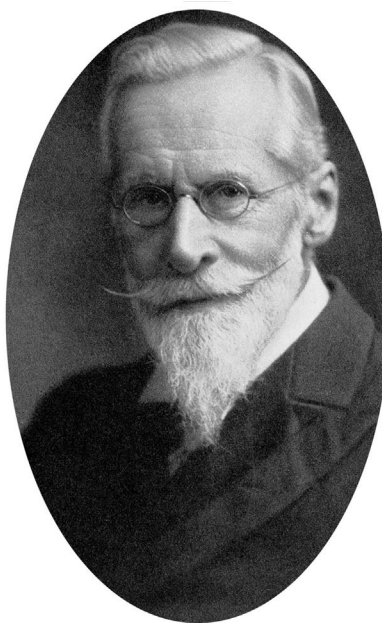
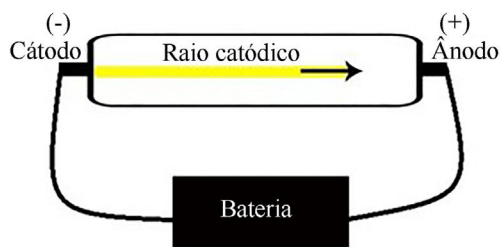


Figura 4 - Tubo de raios catódicos e imagem de William Crookes. Fontes: <https://brasilcola.uol.com.br/quimica/o-atomo-thomson.htm>; <https://www.npg.org.uk/collections/search/portrait/mw179108/Sir-William-Crookes?LinkID=mp01118&role=sit&rNo=2>.

sidual era necessário [11, p. 329].

Thomson demonstrou que, qualquer que fosse o gás rarefeito contido no tubo, o comportamento do fluxo luminoso era o mesmo, permitindo concluir que os raios catódicos (ou elétrons) eram iguais para todos os átomos. Importante destacar que o termo “elétron” já existia na época: “foi introduzido por George J. Stoney em 1891, e em 1894 foi adotado pelo teórico britânico Joseph Larmor para indicar uma singularidade no éter eletromagnético” [11, p. 328]. No entanto, Thomson, em lugar de “elétron”, utilizou o termo “corpúsculo” até por volta de 1910.

Em 1899, J.J. Thomson descreveu uma estrutura na qual os átomos eram compostos fundamentalmente por corpúsculos negativos:

Eu considero que o átomo contém um grande número de corpos menores que chamarei de corpúsculos; [...] No átomo normal, essa reunião de corpúsculos forma um sistema eletricamente neutro. Embora os corpúsculos individuais comportem-se como íons negativos, quando, contudo, eles são reunidos em um átomo neutro, o efeito negativo é balanceado por algo que faz o espaço através do

qual os corpúsculos estão espalhados agir como se tivesse uma carga de eletricidade positiva igual em quantidade à soma das cargas negativas nos corpúsculos. [11, p. 331]

Como se pode notar, para Thomson, na época, *o espaço agia como se tivesse uma carga positiva*. Ao pensar em uma esfera, podemos entender que essa, na visão de Thomson naquele momento, era hipotética, postulada para exercer uma força atrativa sobre os elétrons. Além disso, pelas indicações precedentes, o termo “espalhados”, não indica que Thomson pensava em corpúsculos estáticos e dispersos aleatoriamente, muito pelo contrário.

Em 1904, J.J. Thomson publicou o trabalho “Sobre a estrutura do átomo: uma investigação da estabilidade e dos períodos de oscilação de um número de corpúsculos arranjados em intervalos iguais em torno da circunferência de um círculo; com aplicação dos resultados para a teoria da estrutura atômica”. Nele escreveu sobre os átomos:

Nós temos primeiramente uma esfera positiva unifor-

memente eletrificada, e dentro dessa esfera um número de corpúsculos distribuídos numa série de anéis paralelos, o número de corpúsculos varia de anel para anel: cada corpúsculo está girando em alta velocidade na circunferência do anel em que está situado, e os anéis estão distribuídos de forma que os com maior número de corpúsculos estão mais próximos da superfície da esfera, enquanto aqueles com menor número de corpúsculos estão mais internos. [10, p. 254-255]

Na descrição de Thomson, temos um átomo dinâmico e organizado: dentro de uma esfera positiva, os corpúsculos estão organizados em anéis e giram em alta velocidade. Um ano antes, em 1903, ele já sinalizava essas mesmas características de dinamicidade e ordenação ao publicar o artigo intitulado “As propriedades magnéticas de sistemas de corpúsculos descrevendo órbitas circulares”.

Considerando que os livros didáticos costumam se referir ao modelo de Thomson como modelo “pudim de passas”, podemos nos questionar se a imagem promovida pela descrição de Thomson é bem representada por essa analogia. E, afinal, o que seria um “pudim de passas”?

O *plum pudding* é uma sobremesa tradicional britânica que geralmente não conhecemos no Brasil. Sua conformação se assemelha à de um panetone, aproximadamente, esse sim familiar aos brasileiros. Ao se depararmos com a expressão “pudim de passas”, nossos alunos possivelmente irão imaginar algo como a Fig. 5 traz

Thomson propôs um modelo atômico dinâmico e organizado. Em uma esfera positiva, os corpúsculos negativos estavam organizados em anéis concêntricos e giravam em alta velocidade

em seu lado esquerdo, e não no lado direito. De qualquer forma, nenhuma das duas sobremesas é adequada como analogia para o que Thomson propôs, uma vez que seu átomo tinha um caráter dinâmico e organizado.

Ao longo de sua trajetória, Thomson pensou em diferentes estruturas para o átomo. Dos anéis de vórtices, passando pelos girostatos, até os corpúsculos girando em alta velocidade em anéis concêntricos e coplanares. Em



Figura 5 - Pudim brasileiro (esq.) e Pudim de passas inglês (dir). Fontes: <https://www.youtube.com/watch?v=0ngsK7vtCcs>; <https://www.dishymama.com/divine-christmas-pudding/>.

todas as estruturas atômicas adotadas por Thomson havia características comuns: organização e movimento. Essas definitivamente não são bem representadas por um pudim de passas, quer pensado por um brasileiro ou por um britânico.

De onde teria vindo essa analogia, então? Será que Thomson chamou o seu modelo de “pudim de passas”?

Há uma longa tradição de repetição no contexto didático dessa analogia, cuja origem remonta ao início do século XX [15]. A primeira evidência de que se tem notícia do uso da expressão “plum pudding” em referência ao modelo de Thomson ocorreu na revista *Merck's report*, destinada a farmacêuticos, em um ensaio de 1906 intitulado “O que é a matéria?”. Um repórter anônimo, que havia assistido a uma série de palestras de J.J. Thomson, naquele mesmo ano, usou a expressão na publicação: “corpúsculos negativos, nadando em uma esfera de eletrificação positiva, como passas em um *plum pudding* parcimonioso” [15, p. A131]. O uso pelo repórter derivaria de um equívoco na compreensão do modelo de Thomson. A partir daí, o uso da analogia se popularizou.

A sequência didática proposta na seção subsequente tem como objetivo que o estudante se aproxime de aspectos do desenvolvimento histórico do modelo de Thomson; compreenda de

modo mais adequado o próprio modelo, levando em consideração a descrição do próprio Thomson, e, em decorrência, seja sensibilizado para uma visão crítica da expressão “pudim de passas”, não se deixando confundir pela analogia falaciosa mesmo ao observá-la em materiais instrucionais.

3. Apresentação da sequência didática

Elaboramos uma proposta didática para o Ensino Médio cujo objetivo é promover uma compreensão historicamente contextualizada do modelo atômico de Thomson, evitando noções equivocadas que emergem de um uso acrítico da expressão “pudim de passas”, comum em livros didáticos e na divulgação científica. Trata-se de uma proposta dinâmica e diversificada que traz uma abordagem histórico-filosófica para o referido conteúdo. É dividida em quatro etapas que contemplam a utilização de diferentes recursos: vídeos de conteúdo histórico e um game interativo, elaborados pelos autores da proposta, e um trecho original escrito por J.J. Thomson.

Em artigo relativamente recente, o pesquisador Marco Antônio Moreira registra como um dos grandes desafios para o ensino de física:

[O] Abandono do ensino tradicional, centrado no profes-

sor “dando a matéria”, em favor de um ensino centrado no aluno, na aprendizagem ativa e significativa, na qual os alunos trabalham em pequenos grupos com a mediação do professor que os ajuda a aplicar conceitos e procedimentos físicos em situações que lhes façam sentido. Isso não exclui que em determinados momentos o professor faça breves apresentações e explicações ao grande grupo. [19, p. 78]

A sequência didática cujas etapas são sinalizadas no **Quadro 1** parte dessa perspectiva de ensino centrado no aluno. Mesmo em momentos expositivos, trazidos pelos vídeos, promove-se diálogo com os alunos. Esses momentos conjugam-se a situações nas quais o professor atua como mediador em atividades que propõem o engajamento ativo dos estudantes.

3.1. Vídeo “O modelo atômico de Thomson: um doce de modelo” - Parte 1

Para a primeira etapa, a partir das fontes consultadas [10-18], produzimos o vídeo “O modelo atômico de Thomson: um doce de modelo” - Parte 1 (Fig. 6). Inicialmente, elaboramos slides no programa *PowerPoint*. Em seguida, para a gravação da tela e edição do vídeo, utilizamos o *Filmora*, um programa de edição de vídeos para computador.¹

No processo de elaboração desse recurso didático, levamos em conta considerações da literatura acadêmica a respeito da transposição didática da história da ciência [20]. Quanto à *seleção do conteúdo histórico*, os recortes históricos foram realizados à luz dos propósitos pedagógicos almejados, bem como tendo em vista a adequação ao ambiente educacional. O *nível de profundamento dos aspectos históricos e epistemológicos* foi cuidadosamente

Quadro 1: Etapas da sequência didática

Recurso didático	Atividade
Vídeo “O modelo atômico de Thomson: um doce de modelo” - Parte 1.	Apresentação inicial de questões, exibição do vídeo, discussão coletiva.
Utilização de Fonte Primária: trecho original de Thomson.	Construção de representação imagética do modelo pelos estudantes a partir da descrição realizada por Thomson; interpretação coletiva do documento histórico.
Vídeo “O modelo atômico de Thomson: um doce de modelo” - Parte 2.	Exibição do vídeo, discussão coletiva.
Game interativo “Tabuleiro do Thomson”.	Retomada dos conteúdos em rodada de jogo, na qual os estudantes participam individualmente ou organizados em grupos



Figura 6 - Quadro do vídeo “O modelo atômico de Thomson: um doce de modelo” - Parte 1.

avaliado. A linguagem foi ajustada ao contexto educacional visado, isto é, ao Ensino Médio. Considerando limitações no *tempo didático*, buscamos elaborar um vídeo relativamente curto, de cerca de 10 min, que pudesse ser apresentado em aula, de modo a suscitar discussões pertinentes e compatíveis com o tempo usual disponível para o professor. *Simplificações e omissões* foram, então, necessárias. Apesar de curto, o roteiro do vídeo foi elaborado de modo a não comprometer a qualidade da narrativa histórica, tendo em vista a fundamentação na historiografia atual das ciências.

O vídeo apresenta elementos biográficos de J.J. Thomson e destaca o percurso do pesquisador até a proposição de suas ideias para o átomo. São apresentados aspectos da formação e do ingresso do cientista na vida acadêmica. Ao contrário dos recortes biográficos essencialmente laudatórios, optou-se por citar, por exemplo, a reprovação de Thomson em tentativa de obter uma bolsa de estudos na Universidade de Cambridge. Falhas são importantes e podem contribuir para ressaltar o caráter humano do pesquisador. Obstáculos foram enfrentados por Thomson no prosseguimento de sua formação inicial. Essa pode ser, inclusive, uma realidade enfrentada pelo próprio aluno.

O aspecto colaborativo, não individualista, da construção do conhecimento científico emerge na apresentação do episódio histórico. Tomamos como base a consideração de que: “A ciência

(o empreendimento científico) é uma construção coletiva; o esquecimento ou mesmo o anonimato de muitos de seus personagens é injustificável” [21, p. 36]. Assim, no vídeo, o desenvolvimento do modelo de Thomson dá-se a partir de influências de contribuições de diversos outros cientistas famosos, como Lorde Kelvin e William Crookes, bem como do menos conhecido Alfred Mayer. Desse modo, o estudante pode perceber que Thomson produziu conhecimentos em um determinado contexto científico marcado por influências imprescindíveis para que isso ocorresse. Importante registrar, ainda, que

Questões relacionadas à Natureza da Ciência, como a construção coletiva do conhecimento científico e a provisoriedade da ciência, podem ser abordadas por meio do episódio histórico

os experimentos de Mayer com os ímãs flutuantes não costumam ser citados em livros didáticos no contexto dos modelos atômicos. Em contraste, a narrativa do vídeo enfatiza a relevância, para Thomson, da conexão que ele estabeleceu entre esses experimentos e o modelo do átomo vórtice.²

Ao longo da apresentação do vídeo elaborado, há um *link* para que o estudante acompanhe a visualização de trecho de um vídeo curto, disponível online, intitulado “Ímãs flutuantes”, que remete ao estudo realizado por Alfred Mayer.³ Esse recurso didático complementar contribui para o esclarecimento desses aspectos específicos.

Sugerimos que o professor mediador de antemão solicite que os estudantes direcionem sua atenção para algumas questões durante a apresentação do vídeo:

- Que aspectos da formação de Thomson chamam sua atenção?
- Em que contexto científico Thomson desenvolveu seus trabalhos?
- Ele trabalhou isoladamente ou foi influenciado por outros pesquisadores? O que você destacaria sobre isso?
- Ao longo de sua carreira, Thomson mudou de ideia sobre o átomo? O que você observou a esse respeito?
- Que características estão presentes nas propostas de Thomson sobre o átomo?
- O que mais chamou sua atenção ao longo do vídeo?
- Há algum aspecto sobre o qual você teve dificuldade e gostaria que fosse discutido?

É interessante que as questões sejam retomadas ao final da exibição dessa primeira parte do vídeo, em discussão coletiva. Se necessário, o professor pode realizar uma nova exibição do vídeo antes dessa discussão. Consideramos que o vídeo, como recurso didático, contribui com elementos contextuais essenciais para uma compreensão mais adequada da proposta de Thomson. De modo a completar esse objetivo, a primeira parte do vídeo é finalizada com um convite aos estudantes para que se engajem na etapa subsequente da sequência didática, na qual vão refletir sobre escritos originais de Thomson. A segunda parte do vídeo será retomada após essa etapa.

3.2. Utilização de fonte primária: trecho original de Thomson

Costuma ser rara, em livros didáticos, a presença de trechos de fontes primárias da história da ciência. Contudo, diversas possibilidades vêm sendo apontadas pela literatura acadêmica atual no que concerne à utilização didática de trechos originais escritos por cientistas do passado. O engajamento de estudantes em processo “investigativo” de interpretação de excertos de fontes primárias vem sendo explorado em iniciativas voltadas para o ensino de física [22-25].

À luz desses referenciais, na segunda etapa da sequência didática tem-se a utilização de um trecho original escrito por J.J. Thomson. Busca-se abordar o conteúdo científico de forma integrada ao seu processo de construção histórica. Considera-se, especialmente, o sentido de colaborar para a compreensão do modelo de Thomson trazendo à tona um *recorte histórico* do seu processo de

construção. Considerando que a primeira parte do vídeo “O modelo atômico de Thomson: um doce de modelo” trouxe elementos para uma contextualização histórica, tem-se, nessa nova etapa, o contato do estudante com a escrita original de Thomson em atividade interpretativa de cunho diacrônico, mediada pelo professor.

Trata-se, particularmente, de um recorte do trabalho “Sobre a estrutura do átomo: uma investigação da estabilidade e dos períodos de oscilação de um número de corpúsculos arranjados em intervalos iguais em torno da circunferência de um círculo, com aplicação dos resultados para a teoria da estrutura atômica” [10], publicado por J.J. Thomson em 1904 (Fig. 7).

O próprio (longo!) título do trabalho de Thomson indica uma estrutura atômica organizada e dinâmica, que contrasta fortemente com a imagem de um pudim de passas. Essas características são reforçadas pelo seguinte trecho extraído do referido trabalho, apresentado no quadro final da primeira parte do vídeo “O modelo atômico de Thomson: um doce de modelo”, o qual convida os estudantes a se engajarem na ta-

refa de interpretá-lo:

Nós temos primeiramente uma esfera positiva uniformemente eletrificada, e dentro dessa esfera um número de corpúsculos distribuídos numa série de anéis paralelos; o número de corpúsculos varia de anel para anel: cada corpúsculo está girando em alta velocidade na circunferência do anel em que está situado, e os anéis estão distribuídos de forma que os com maior número de corpúsculos estão mais próximos da superfície da esfera, enquanto aqueles com menor número de corpúsculos estão mais internos.” [10, p. 254-255]

O trecho é acompanhado de uma solicitação do narrador do vídeo para que os estudantes tentem representar em forma de desenho o modelo de Thomson a partir da descrição do próprio pesquisador.

Sugerimos que o professor estimule os estudantes, organizados em grupos,

a envolverem-se de modo ativo na leitura e interpretação do excerto da fonte primária, bem como a ensaiarem uma proposta inicial de desenho.

Em seguida, o professor pode mediar a interpretação coletiva do documento:

- No modelo descrito por Thomson, os corpúsculos estão espalhados de modo desorganizado na esfera? O que vocês observam sobre isso? O que ele afirma?
- Segundo, Thomson, esses corpúsculos estão em movimento ou parados? O que vocês notam?

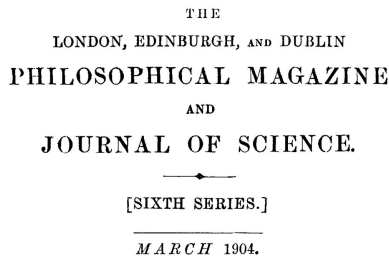
O professor deve estimular a turma a alcançar a percepção de que Thomson descreve um modelo no qual os corpúsculos estão organizados e há uma forma de organização específica, descrita pelo cientista. Além disso, os corpúsculos não estão parados. Pelo contrário, executam um tipo particular de movimento, em alta velocidade.

Havendo a conclusão de que se trata de um modelo bem-organizado e dinâmico,⁴ o professor deve solicitar que os grupos reavaliem suas representações e, se necessário, modifiquem-nas para que se tornem adequadas a essa percepção. Essa etapa da sequência didática tem como objetivo não exatamente *exibir* aos alunos uma representação imagética pronta do que seria o modelo de Thomson, mas sim estimular que eles próprios a construam a partir da interlocução com a fonte histórica. Tem-se, assim, mais uma vez a concepção de que os alunos devem ser agentes ativos na construção do conhecimento. O documento histórico é inserido para fins de investigação, tal como na pesquisa histórica, ao contrário de servir a uma mera constatação da verdade.

3.3. Vídeo “O modelo atômico de Thomson: um doce de modelo” - Parte 2

Considerando-se que a turma tenha chegado a uma compreensão adequada da estrutura proposta por Thomson, deseja-se que os estudantes alcancem uma percepção crítica sobre a expressão “pudim de passas”, com a qual possivelmente vão se deparar em materiais didáticos usuais e na divulgação científica.

A segunda parte do vídeo “O modelo atômico de Thomson: um doce de modelo”⁵ tem início com uma representação do modelo de Thomson em forma de desenho que ressalta o caráter dinâmico.



XXIV. On the Structure of the Atom: an Investigation of the Stability and Periods of Oscillation of a number of Corpuscles arranged at equal intervals around the Circumference of a Circle: with Application of the results to the Theory of Atomic Structure. By J. J. THOMSON, F.R.S., Cavendish Professor of Experimental Physics, Cambridge*.

THE view that the atoms of the elements consist of a number of negatively electrified corpuscles enclosed in a sphere of uniform positive electrification, suggests, among other interesting mathematical problems, the one discussed in this paper, that of the motion of a ring of n negatively electrified particles placed inside a uniformly electrified sphere. Suppose when in equilibrium the n corpuscles are arranged at equal angular intervals round the circumference of a circle of radius a , each corpuscle carrying a charge e of negative electricity. Let the charge of positive electricity contained within the sphere be ρ , then if b is the radius of this sphere, the radial attraction on a corpuscle due to the positive electrification is equal to $\rho e a / b^2$; if the corpuscles are at rest this attraction must be balanced by the repulsion exerted by the other corpuscles. Now the repulsion along OA, O being the centre of the sphere, exerted on a corpuscle at A by one at B, is equal to $\frac{e^2}{AB^2} \cos OAB$, and, if $OA = OB$,

this is equal to $\frac{e^2}{4OA^2 \sin^2 \frac{1}{2}AOB}$: hence, if we have n corpuscles arranged at equal angular intervals $2\pi/n$ round the circumference of a circle, the radial repulsion on one corpuscle

* Communicated by the Author.

Structure of the Atom. 239

The radial repulsion exerted by the s th corpuscle on the p th is equal to

$$-\frac{e^2}{4a^2} \frac{d}{dr_p} \left\{ \frac{1}{r_p^2 + r_s^2 - 2r_p r_s \cos(\theta_s - \theta_p) + (z_p - z_s)^2} \right\};$$

expanding this, retaining only the first powers of ρ , ϕ , and z , we find that if R_p is this repulsion

$$R_p = \frac{e^2}{4a^2 \sin^2 \psi} \left\{ 1 - \frac{\rho}{a} \left(\frac{3}{2} - \frac{1}{2 \sin^2 \psi} \right) - \frac{\rho_z}{a} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2 \sin^2 \psi} \right) - \frac{1}{2} (\phi_s - \phi_p) \cot \psi \right\},$$

where $\psi = (p-s) \frac{\pi}{n}$.

The tangential force Θ_p tending to increase θ_p is equal to

$$-\frac{e^2}{r_p} \frac{d\theta_p}{dr_p} \left\{ \frac{1}{r_p^2 + r_s^2 - 2r_p r_s \cos(\theta_s - \theta_p) + (z_p - z_s)^2} \right\};$$

expanding this and retaining only the first powers of the small quantities, we get

$$\Theta_p = -\frac{e^2 \cos \psi}{4a^2 \sin^2 \psi} \left\{ 1 - \frac{3}{2} \frac{\rho_p}{a} - \frac{1}{2} \frac{\rho_z}{a} - (\phi_s - \phi_p) (\cot \psi + \frac{1}{2} \tan \psi) \right\}.$$

Z_p , the force at right angles to the undisturbed plane of the orbit, is easily seen to be given by the equation

$$Z_p = \frac{e^2}{8a^2 \sin^2 \psi} (z_p - z_s).$$

The total radial force R_p exerted on the p th corpuscle by all the other corpuscles, is equal to

$$\frac{e^2}{4a^2} S - \rho_p A' - \sum \rho_{p+s} A_{p,p+s} - a \sum \phi_{p+s} B_{p,p+s},$$

where

$$S = \frac{1}{\sin \frac{\pi}{n}} + \frac{1}{\sin \frac{2\pi}{n}} + \dots + \frac{1}{\sin \frac{(n-1)\pi}{n}};$$

$$A' = \frac{e^2}{4a^2} \left(\frac{3}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\pi}{n}} + \frac{1}{\sin \frac{2\pi}{n}} + \dots + \frac{1}{\sin \frac{(n-1)\pi}{n}} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\sin^2 \frac{\pi}{n}} + \frac{1}{\sin^2 \frac{2\pi}{n}} + \dots + \frac{1}{\sin^2 \frac{(n-1)\pi}{n}} \right) \right);$$

S 2

Figura 7 - Folha de rosto de artigo de Thomson. Cálculos complexos sobre as interações dos corpúsculos organizados em anéis concêntricos e coplanares. Ele calculou a frequência de oscilação do sistema, estabelecendo as condições de estabilidade do anel com n corpúsculos [10]. Fonte: https://uni-tuebingen.de/fileadmin/UniTuebingen/Fakultaeten/MathePhysik/Institute/IAP/Forschung/MOettel/GeburtQM/thomson_PhilMag72371904.pdf.

mico e organizado da estrutura proposta pelo cientista (Fig. 8). Em seguida, o narrador do vídeo comenta que o modelo de Thomson costuma ser chamado “pudim de passas”, tendo essa analogia seu uso inicial em publicação de um jornalista do início do século XX, que havia assistido a palestras do cientista.

O vídeo mostra o que aparece no Google quando buscamos a expressão “pudim de passas”. Em interlocução com os espectadores do vídeo, o narrador se dá conta sobre essas serem imagens de sobremesas brasileiras e propõe a busca por “plum pudding”, uma vez que Thomson era britânico. De forma bem-humorada, o narrador questiona se o “plum pudding” seria uma boa representação para o modelo de Thomson. Afinal, as passas estão desorganizadas, espalhadas desordenadamente no doce e obviamente paradas! Representariam adequadamente os corpúsculos pensados por Thomson?

O vídeo termina com esse questionamento, proposto para reflexão coletiva. O professor deve mediar a percepção de que o modelo de Thomson não pode ser chamado de “pudim de passas”. Tanto as imagens da sobremesa brasileira quanto as da britânica representam algo muito diferente daquilo que Thomson propôs.

3.4. Jogo interativo “Tabuleiro do Thomson”

No ensino de física, as potencialidades das tecnologias digitais são grandes. Envolve aquisição de dados por computador, modelização e simulação, animações virtuais e games interativos, dentre outras possibilidades. Esses recursos apresentam características muitas vezes lúdicas e, quando utilizados

adequadamente do ponto de vista didático-pedagógico, podem favorecer a construção do conhecimento, o aprofundamento do conteúdo e a elucidação de conceitos novos ou já assimilados pelo aprendiz [26-28].

Na quarta etapa, propõe-se a gamificação como recurso para a transposição didática da história da ciência. Elaboramos um jogo interativo, intitulado “Tabuleiro do Thomson”,⁶ que busca retomar aspectos conceituais e históricos relacionados ao modelo proposto pelo cientista, bem como reforça a criticidade em relação à expressão “pudim de passas”. Pode servir tanto para retomada dos conteúdos quanto para ações de cunho avaliativo (Fig. 9).

O jogo, elaborado no aplicativo Flippity,⁷ aberto e de uso livre, é um tabuleiro virtual em trilha, com um mecanismo muito semelhante ao dos jogos tradicionais de tabuleiro. Cada aluno ou grupo de alunos é representado por um dos oito peões disponíveis. Ao se clicar no dado virtual, esse objeto gira, sorteando um número aleatório, que corresponde ao número de casas que o peão poderá avançar. Ao se parar em uma das casas com desenhos, deve-se clicar e observar o que está sendo comunicado.

Em algumas casas, solicita-se simplesmente o cumprimento de determinadas ações, sempre em tom bem-humorado. Por exemplo: Casa 34 - “Você está muito perto do fim! Melhor voltar 5 casas para aproveitar mais a brinca-

deira” ou Casa 41 - “Ninguém está olhando, ande mais uma casa!”.

Em outras casas com desenhos, há trechos informativos e questões que retomam aspectos da sequência didática. Por exemplo: Casa 21 - “Na elaboração de seu modelo de átomo vórtice, Lorde Kelvin foi inspirado pelos experimentos de Mayer com imãs flutuantes, que fornecia uma ilustração mecânica do equilíbrio cinético de grupos de colunas de vórtices girando em torno de um centro de gravidade comum”.

Em outras casas, também sinalizadas com desenhos, aparecem questões a serem respondidas: Casa 40 - “O modelo atômico de Thomson também é conhecido como ‘pudim de passas’! Essa é uma sobremesa tradicional inglesa, mas existem certas limitações nessa analogia. Cite-as se quiser permanecer nessa casa.”; Casa 28 - “Colocando um

eletroímã nas proximidades da ampola, percebeu-se que o feixe de raios catódicos era atraído pelo polo positivo e repellido pelo polo negativo. O que foi possível concluir sobre a carga dos raios catódicos? Eles tinham carga? De que tipo?”

A Casa 38 traz o trecho escrito por Thomson interpretado pelos estudantes na segunda etapa da sequência didática, e em seguida questiona: “Na fala do próprio Thomson sobre o seu modelo atômico, onde é possível perceber características de dinamismo e de organização nesse modelo?”

Caso o peão “caia” em uma dessas casas, o aluno ou grupo de alunos deve responder à interação proposta. As perguntas nem sempre são diretas, oportunizando situações para que os alunos argumentem a partir do conteúdo abordado nas etapas anteriores. Cabe ao professor decidir se a resposta é válida. Em caso afirmativo, o peão continua na casa alcançada. Em caso negativo, retrocede à casa em que iniciou a jogada.

Algumas casas são sinalizadas por animações em GIF, as quais buscam facilitar a contextualização dos tópicos abordados pelos textos trazidos como informação ou questionamento nas respectivas casas. Por exemplo, a casa 44 traz a seguinte situação, sendo sinalizada por um GIF correspondente à montagem experimental: “Em outro experimento, uma espécie de catavento foi colocado dentro da ampola. Os raios

O jogo “Tabuleiro do Thomson” permite resgatar diversos aspectos do conteúdo conceitual e histórico-filosófico contemplado pela sequência didática



Figura 8 - Quadro do vídeo “O modelo atômico de Thomson: um doce de modelo” - Parte 2.

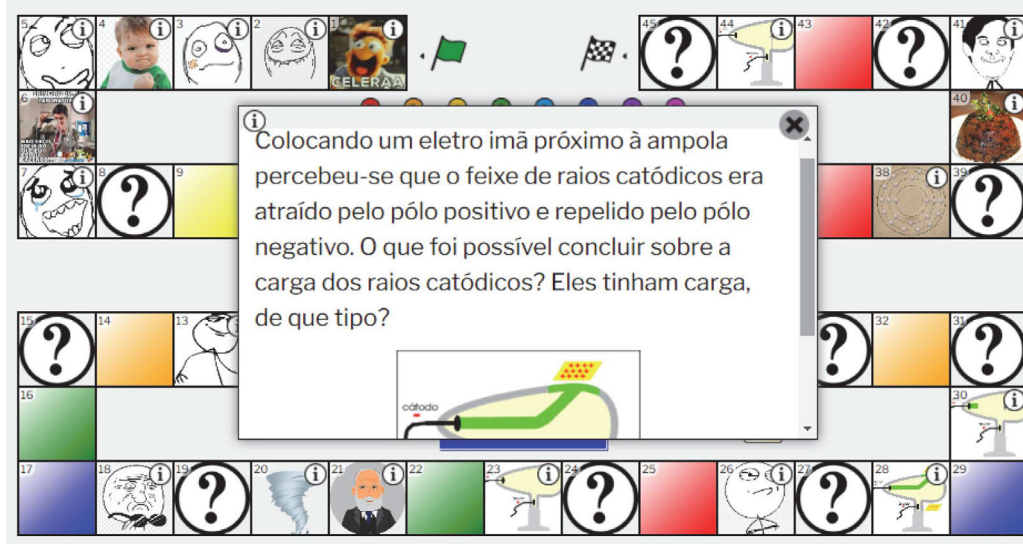
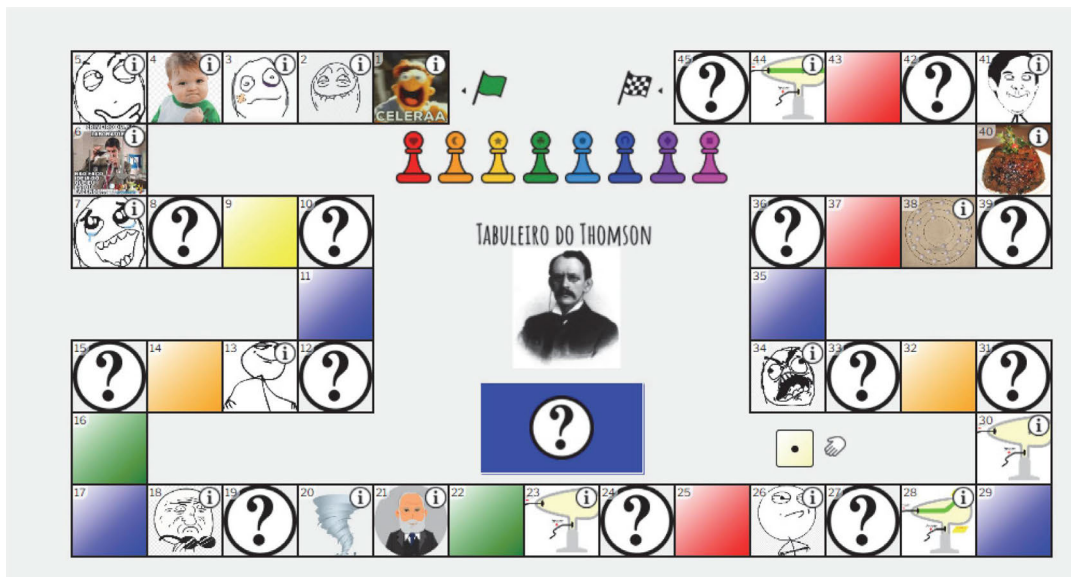


Figura 9 - Tabuleiro de Thomson: na primeira imagem, a abertura do jogo; na segunda imagem, vídeo a ser assistido quando o peão se posiciona em uma das casas; na terceira imagem, questão a ser respondida.

catódicos, ao colidirem com o catavento, faziam com que ele girasse. Esse experimento foi importante por quê?”. Já na casa, também sinalizada por um GIF de caráter ilustrativo, observa-se: “Em 1895, Thomson realizou novos experimentos com a ampola de Crookes, colocando um objeto dentro da ampola, nesse caso uma cruz de Malta. Ele percebeu que os raios catódicos, quando incidiam sobre esse objeto, produziam uma sombra na parede oposta do tubo. Esse experimento foi importante por quê?”

Esse tipo de situação proposta permite o desenvolvimento do aspecto argumentativo, o que inclui eventualmente percepções distintas entre os estudantes.

As casas sinalizadas com ponto de interrogação remetem ao ícone semelhante, apresentado no centro do tabuleiro. Quando o peão para nesse tipo de casa, deve-se clicar no ícone que está assinalado com o ponto de interrogação, o que significa “puxar” uma carta no *deck virtual*. Nesse caso, a carta pode remeter à ação de assistir a um vídeo rápido (sobre os ímãs flutuantes ou sobre os raios catódicos) ou responder a uma pergunta desafiadora. Têm-se, por exemplo, os seguintes questionamentos:

- “O modelo do átomo de vórtices, usa-

do por William Thomson, o Lorde Kelvin, influenciou o pensamento de J.J. Thomson. Que características exibiu o modelo do átomo de vórtices? Que relação Thomson pensou entre essas características e a valência dos elementos?”

- “Como se propagavam os raios catódicos? Como os cientistas chegaram a essa conclusão?”
- “Cite um dos diversos cientistas que contribuíram para o desenvolvimento do modelo atômico de Thomson e explique por que essa influência foi importante.”
- Thomson mudou de ideia sobre o átomo ao longo de sua carreira. Cite pelo menos duas visões que Thomson defendeu sobre o átomo.
- Nos experimentos com ímãs flutuantes de Alfred Mayer, existiam agulhas igualmente magnetizadas que se dispunham em posições de equilíbrio, bem como outras de caráter instável. De que modo esses experimentos contribuíram para as ideias de Thomson?

Em todas as ocorrências sugeridas para reflexão, pretende-se a retomada de algum aspecto conceitual ou histórico da sequência didática em atividade dinâmica, que envolve intensa participação dos estudantes.

4. Considerações Finais

Apresentamos uma sequência didática de cunho histórico-filosófico sugerida como alternativa para o ensino do modelo de Thomson. Dinâmica e diversificada, essa proposta contempla a participação ativa dos estudantes, organizados em pequenos grupos sob a mediação do professor, em atividades que envolvem a utilização de diferentes recursos, como trechos originais escritos por Thomson, vídeo e game interativo, elaborados a partir das fontes históricas consultadas.

Busca-se uma compreensão historicamente contextualizada do conteúdo científico, problematizando noções equivocadas que emergem da expressão “pudim de passas”. Concepções relacionadas à cooperação na ciência e à provisoriabilidade do conhecimento científico também são fomentadas pela alusão ao episódio histórico, caso o professor, em processo de mediação, enfatize também a temática natureza da ciência. Por fim, consideramos importante salientar que o professor pode adaptar a sequência didática levando em conta seu próprio contexto de ensino-aprendizagem.

Recebido em: 21 de Julho de 2021

Aceito em: 10 de Agosto de 2021

Notas

¹Vídeo disponível em <https://youtu.be/GjuSHHRBHNs>.

²Como aponta a Ref. [17], a influência de Mayer para o trabalho de Thomson não é citada em livros didáticos. Nenhum dos estudados por essa referência apresenta o esquema dos ímãs flutuantes de Mayer, que ilustra o equilíbrio mecânico no átomo-vórtice, adotado por Thomson antes da elaboração do seu próprio modelo.

³Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=CpwsKjc5kvs>.

⁴A apresentação do modelo de Thomson como sendo estático é qualificada no item “Apresentação dos mitos científicos na informação histórica” em análise de livros didáticos realizada pela Ref. [17]. Esse estudo aponta que a dinamicidade do modelo de Thomson não é descrita em nenhum dos livros analisados.

⁵O vídeo tem 3 min de duração. Está disponível em <https://youtu.be/LsA7JRmAg8c>.

⁶Disponível em <https://www.flippity.net/bg.php?k=1d7qrBz1XPdwniKaA8LghCz3bi8BITQpRnMbV0wm9R-g>.

⁷<https://www.flippity.net/>.

Referências

- [1] M.R. Matthews, *Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science* (Routledge, New York, 1994).
- [2] R.A. Martins, in *Estudos de História e Filosofia das Ciências*, editado por C.C. Silva (Livraria da Física, São Paulo, 2006).
- [3] P.H.O. Vidal, P.A. Porto, *Ciência & Educação* **18**, 291 (2012).
- [4] A. Bagdonas, J. Zanetic, I. Gurgel, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **39**, e2602 (2017).
- [5] L.M.C. Nardi, C.C. Silva, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **43**, e20200396 (2021).
- [6] F. Damasio, L.O.Q. Peduzzi, *Revista Ensaio* **19**, e2583 (2017).
- [7] D. Ortega, B.A. Moura, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **42**, e20190114 (2020).
- [8] Ministério da Educação, *Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio* (MEC/SEMTEC, Brasília, 2000).
- [9] MEC - Ministério da Educação, *Base Nacional Comum Curricular* (MEC/SEMTEC, Brasília, 2018).
- [10] J.J. Thomson, *Philosophical Magazine* **39**, 237 (1904).
- [11] H. Kragh, *The Physics Teacher* **35**, 328 (1997).

- [12] C.V.M. Lopes. *Modelos Atômicos no Início do Século XX: da Física Clássica à Introdução da Teoria Quântica*. Tese de Doutorado, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2009.
- [13] C.V.M. Lopes, R.A. Martins, in: *Anais do VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, Florianópolis, 2009 (ABRAPEC, Florianópolis, 2009).
- [14] C. Moura, A. Guerra, in *Anais do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, Água de Lindóia, 2013 (ABRAPEC, Águas de Lindóia, 2013).
- [15] G. Hon, B.R.J.J. Goldstein, *Annalen der Physik* **525**, A129 (2013).
- [16] C.B. Moura. *Discutindo a Natureza da Ciência no Ensino Médio: um Caminho a partir do Desenvolvimento dos Modelos Atômicos*. Dissertação de Mestrado, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2014.
- [17] L. Chaves, W. Santos, M. Carneiro, *Química Nova na Escola* **36**, 269 (2014).
- [18] C. Moura, A. Guerra, *Revista Tecnê, Episteme y Didaxis*, v. extra, 797 (2016).
- [19] M.A. Moreira, *Estudos Avançados* **32**, 73 (2018).
- [20] T.C.M. Forato, M. Pietrocola, R.A. Martins, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **28**, 27 (2011).
- [21] L.O.Q. Peduzzi, A.C. Raicik. *Investigações em Ensino de Ciências* **25**, 19 (2020).
- [22] L.H. Sasseron, V. Briccia, A.M.P. Carvalho, in *Aprendendo Ciência e sobre sua Natureza: Abordagens Históricas e Filosóficas*, editado por C. C. Silva, M.E.B. Prestes(Tipographia, São Carlos, 2013).
- [23] M.C.F. Bueno, J.L.A. Pacca, in *Anais do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, Águas de Lindóia, 2013 (ABRAPEC, Águas de Lindóia, 2013).
- [24] G.L.F. Batista, J.M.H.F. Drummond, D.B. Freitas, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **32**, 663 (2015).
- [25] A.P.B. Silva, A. Guerra, *História da Ciência e Ensino: Fontes Primárias e Propostas para Sala de Aula* (Livraria da Física, São Paulo, 2015).
- [26] I.S. Araújo, E.A. Veit, *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências* **4**, 5 (2004).
- [27] V.M. Kenski, *Educação e Tecnologias: o Novo Ritmo da Informação* (Campinas, Papirus, 2007).
- [28] M.T. Schivani, P.G. Luciano, T R. Romero, in *Coleção Professor Inovador*, editado por M. Pietrocola (São Paulo, Editora Livraria da Física, 2017).