



MODELAGEM E HISTÓRIA DA CIÊNCIA: UMA ABORDAGEM PEDAGÓGICA PARA A ESTRUTURA ATÔMICA NO 9º ANO DO ENSINO FUNDAMENTAL

MODELING AND THE HISTORY OF SCIENCE: A PEDAGOGICAL APPROACH TO THE ATOMIC STRUCTURE IN THE 9TH GRADE OF ELEMENTARY SCHOOL

MODELACIÓN E HISTORIA DE LA CIENCIA: UNA PERSPECTIVA PEDAGÓGICA PARA LA ESTRUCTURA ATÓMICA EN NOVENO GRADO DE EDUCACIÓN BÁSICA

Lucas Pereira Gandra*, Geilson Rodrigues da Silva**

Cómo citar este artículo: Pereira Gandra, L., Rodrigues da Silva, G. (2018). Modelagem e história da ciência: uma abordagem pedagógica para a estrutura atômica no 9º ano do ensino fundamental. *Góndola, Enseñ Aprend Cienc*, 13(1), 14-32. doi: <http://doi.org/10.14483/23464712.11585>.

Resumo

A estrutura atômica é um dos conceitos mais abstratos e mais difíceis de ensinar e aprender, sendo assim o presente trabalho teve como objetivo aplicar e avaliar uma estratégia didática fundamentada em modelagem aliado aos pressupostos de paradigmas de Thomas Kuhn, de forma a demonstrar que os modelos são representações parciais, sem a necessidade de lhes atribuir todas as propriedades macroscópicas. A abordagem pedagógica foi realizada no decorrer de seis aulas com duração de cinquenta minutos em uma turma do 9º ano do ensino fundamental de um colégio particular do Brasil, ao todo participaram desta pesquisa 27 alunos. Para a coleta de dados, utilizou-se dos modelos produzidos para o experimento da caixa preta, assim como, os modelos produzidos pelos discentes para a teoria atômica de Dalton, Thomson, Rutherford e Bohr; utilizou-se ao final do processo de modelagem um questionário contendo cinco questões dissertativas. No tratamento dos dados inicialmente avaliou-se a “Caixa Preta” e os modelos confeccionados de acordo com as orientações do modelo TWA (Teaching With Analogies), além disso seguiu-se as

Recibido: 2 de febrero de 2017; aprobado: 12 de julio de 2017

* Professor da Fundação Educacional de Coxim, da Escola Estadual Viriato Bandeira e Coordenador de Aulas Práticas da Universidade Norte do Paraná - Pólo Coxim/MS. Correio eletrônico: luca.gandra@hotmail.com

** Graduado em Licenciatura Plena em Química Pela Instituto Federal de Mato Grosso do Sul, foi aluno de iniciação científica PIBIC-CNPq, por quatro anos. Participou do grupo de pesquisa TAQUARI: Estudos e Pesquisas em Ensino, Tecnologias e Desenvolvimento Regional, do(a) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul, por dois anos. Ministra aulas de Ciências da Natureza na rede pública e particular de Coxim- MS, desde 2014. Atua principalmente nos seguintes Temas: Ensino de Ciências e Divulgação Científica. Correio eletrônico: geilsonrodrigues367@gmail.com

orientações da análise de conteúdo para avaliar o questionário. Os discentes elaboraram diversas representações pictóricas para a atividade 1, que propiciou estabelecer paralelos entre o processo de aprendizagem de forma semelhante ao processo de desenvolvimento da própria ciência. No que tange a análise dos modelos produzidos verificou-se que os discentes compreenderam as limitações e abrangências dos modelos. Diante disso a abordagem pedagógica de modelagem em um contexto de História da Ciência permitiu aos discentes a formulação de concepções sobre a estrutura atômica, reconhecendo o papel fundamental de cada uma delas ao longo da história da ciência.

Palavras chaves: aprendizagem pela experiência, história da ciência, modelo didático.

Abstract

The atomic structure is one of the most abstract and hardest concepts to teach and learn, and therefore this project had as an objective to apply and to evaluate didactic strategies based on modeling together with the paradigm assumptions of Thomas Kuhn, in a way so as to demonstrate that the models are partial representations, that do not have the need to contain all of the macroscopic properties of what they represent. The pedagogical approach was made during six classes, each of them lasting for fifty minutes, in the Ninth Grade of Elementary School of a private school in Brazil, and twenty-seven students participated in the research altogether. For data collection, some models created by the students were used in the Black Box experiment, as well as the models made by them so as to represent the atomic theories of Dalton, Thomson, Rutherford, and Bohr. By the end of the process of modeling, a questionnaire was used containing five questions. During the data analysis, the "Black Box" and the models created were evaluated accordingly to the guidance of the TWA model (Teaching with Analogies), and furthermore, the content analysis guidelines were used to evaluate the questionnaire. The students formulated several image representations for the first activity, which contributed so as to make the learning process similar to the developing process of science itself. Regarding the analysis of the models produced, the students were able to understand the limitations and coverage of the models in question. Faced with that, the pedagogical approach of modeling in a context related to the History of Science allowed the students to formulate understandings on the nature of the atomic structure, acknowledging the central role of each one of the models during the history of science.

Keywords: experiential learning, history of science, teaching model.

Resumen

La estructura atómica es uno de los conceptos más abstractos y difíciles de enseñar y aprender, por esta razón en este trabajo nos proponemos a aplicar y evaluar una estrategia didáctica fundamentada en la modelación relacionada con los presupuestos de paradigmas de Thomas Kunh, de tal forma que podamos demostrar que los modelos son representaciones parciales, a los cuales no necesariamente se le atribuyen todas las propiedades macroscópicas. La perspectiva pedagógica fue desarrollada en el transcurso de seis clases con duración de 50 minutos cada una, en un curso de noveno grado de educación básica secundaria de un colegio particular del Brasil, en total participaron 27 estudiantes. Para la toma de datos, utilizamos los modelos producidos para el experimento de la caja negra, así como, los modelos producidos por los estudiantes para la teoría atómica de Dalton, Thomson, Rutherford y Bohr; al final del proceso de modelación aplicamos un cuestionario con cinco preguntas abiertas. Para analizar los datos, evaluamos inicialmente la “caja negra” y los modelos elaborados de acuerdo con las orientaciones del modelo TWA (Teaching With Analogies), además seguimos las orientaciones del análisis de contenido para evaluar el cuestionario. Los estudiantes elaboraron diversas representaciones pictóricas para la actividad I, que ofreció la oportunidad de establecer paralelos entre el proceso de aprendizaje de forma similar al proceso de desarrollo de la propia ciencia. En lo que corresponde al análisis de los modelos producidos, verificamos que los estudiantes comprendieron las limitaciones y potencia de los modelos. De esta forma la perspectiva pedagógica de modelación en un contexto de Historia de la Ciencia les permitió a los estudiantes la formulación de concepciones sobre la estructura atómica, reconociendo el papel fundamental de cada una de ellas a lo largo de la historia de la ciencia.

Palabras clave: aprendizaje por experiencia, historia de la ciencia, modelo didáctico.



Atribucion, no comercial, sin derivados

Introdução

O conceito de estrutura atômica, comumente denominado de modelos atômicos é de difícil compreensão para alunos do ensino médio e fundamental, pelo fato de utilizar conceitos que exigem noções abstratas. Para superar tais dificuldades, professores utilizam de analogias e outras ferramentas pedagógicas, que remetem aspectos relacionados diretamente ao imaginário discente, o que por muitas vezes implicam em uma fixação por parte dos estudantes na ferramenta, que passa então de apoio pedagógico a objeto de estudo, não apresentando resultados satisfatórios quando o foco é o processo de ensino-aprendizagem da estrutura atômica (FRANÇA, MARCONDES, CARMO, 2009).

Nessa linha, Gomes e Oliveira (2007) em sua análise buscaram identificar possíveis obstáculos epistemológicos presentes em alunos do 9º ano do ensino fundamental e 1º ano do ensino médio após a abordagem do conteúdo de estruturas atômicas. Segundo os autores a dificuldade de compreensão dos modelos abordados, leva em consideração, que muitos deles, apresentam aspectos inconsistentes com a teoria atômica aceita no presente, mas são mostrados com a finalidade de fazer uma abordagem histórica. Ainda no campo das dificuldades no ensino da estrutura atômica Melo e Lima-Neto (2013) apontam que não existe uma preocupação com a discussão de como os modelos científicos são construídos, assim como, sua importância na compreensão da construção do conhecimento. O fato de não se discutir o que são modelos e o porquê utilizá-los pode gerar concepções alternativas da realidade.

Nesse sentido Mortimer (1995) ao realizar uma investigação sobre as concepções atomistas dos discentes, inferiu que a História da Ciência permite o paralelismo, entre a concepção vigente para época e as propriedades químicas da matéria. Diante disso, evidenciamos nesse trabalho, uma possibilidade de mostrarmos aos discentes, por meio da História da Ciência, que os modelos são representações

parciais, sem a necessidade de lhes atribuir todas as propriedades macroscópicas.

Por fim, o objetivo do presente trabalho é aplicar e avaliar uma abordagem pedagógica para o conteúdo de estruturas atômicas em uma turma do 9º ano do Ensino Fundamental, utilizando a modelagem como estratégia didática, em um contexto de História da Ciência, bem como, responder a seguinte questão de pesquisa: quais as compreensões mais comuns entre estudantes do 9º Ano do Ensino Fundamental sobre as estruturas atômicas após a abordagem pedagógica?

Referencial Teórico

Modelagem como estratégia didática no Ensino de Ciências

O ensino de ciências na contemporaneidade requer uma ruptura com as metodologias tradicionais de ensino que tratam o estudante como sujeito passivo do processo de ensino e aprendizagem, enquanto o docente é o único detentor do conhecimento incumbido de transmiti-lo aos discentes, além de buscar por estratégias didáticas que encarem o estudante como sujeito ativo do processo de ensino e aprendizagem, ao qual o professor possui o papel fundamental de auxiliá-lo na construção do conhecimento (DARROZ, ROSA, GHIGGI, 2015; SOUSA, et al 2014).

Essa busca por novas estratégias está em consonância com os principais documentos norteadores da Educação Básica no Brasil que defendem princípios como a aproximação entre os saberes escolares e os vivenciados cotidianamente, bem como, a integração dos discentes com o trabalho, a ciência, a tecnologia e a cultura, propiciando ao estudante um ambiente que permita o desenvolvimento da autonomia na busca pelo conhecimento (BRASIL, 1999; BRASIL, 2013).

Considerando então as recomendações da literatura atual acerca do Ensino de Ciências, bem como, as orientações dos documentos oficiais do Brasil, podemos considerar a modelagem como uma boa

estratégia didática, pois para Mendonça (2008) esta leva em consideração os conhecimentos prévios dos discentes e a característica limitada dos modelos, apresenta ao estudante um caráter investigativo, podendo aguçar sua curiosidade e servir como mote para que o discente exerça sua função de sujeito ativo no processo de ensino e aprendizagem.

Dessa forma, neste trabalho entende-se por modelagem no Ensino de Ciências como uma estratégia didática em que o docente proporciona atividades para o discente produzir, validar e utilizar seus próprios modelos, que pode ser trabalhada por diferentes perspectivas teóricas, concordando com a peculiaridade de cada cientista, e reiterando a ideia de que não existe apenas uma forma de se “fazer ciência” e construir modelos (JUSTI, 2015).

Um dos trabalhos pioneiros na construção de modelos é o de Clement (1989) que apesar de investigar a aprendizagem durante a construção de modelos pelos cientistas, evidencia importantes contribuições com possíveis implicações educacionais, como três grandes objetivos possíveis de serem atingidos com o ensino fundamentado em modelagem que são de compreender o conteúdo científico, o processo de ensino e aprendizagem para a resolução de problemas e até mesmo a aprendizagem do método científico e o desenvolvimento de habilidades investigativas. Outra característica inerente ao processo de modelagem apontado por HALLOUN (2004) é que na medida em que o modelo em desenvolvimento é acrescido de detalhes, concomitantemente também há uma progressão da compreensão conceitual dos conceitos científicos abordados, corroborando com a perspectiva de construção do conhecimento.

Tratando-se mais especificamente sobre os pressupostos teóricos que subsidiem abordagens pedagógicas fundamentadas em modelagem, encontramos um modelo cognitivo simples para a construção de modelos proposto inicialmente por CLEMENT (1989) e com a inclusão de alguns elementos e etapas com JUSTI, GILBERT (2002) com o diagrama “Modelo de Modelagem” (Figura 1). Os detalhes de cada etapa deste diagrama podem ser conferidos nas

publicações originais dos autores (JUSTI, GILBERT, 2002; JUSTI, 2006), bem como, em outros trabalhos que analisaram e aplicaram o diagrama (FERREIRA, 2006; MENDONÇA, JUSTI, 2009) sendo que em todos eles, os resultados se mostraram eficientes. Tal eficiência a que se refere MENDONÇA, JUSTI (2009) refere-se a estratégia didática fundamentada em modelagem para o ensino de ligações iônicas propiciarem uma aprendizagem significativa, pois quando o estudante elabora, modifica e avalia seus modelos, passa a compreender melhor a importância dos modelos na ciência, bem como, se aproxima do trabalho dos cientistas.

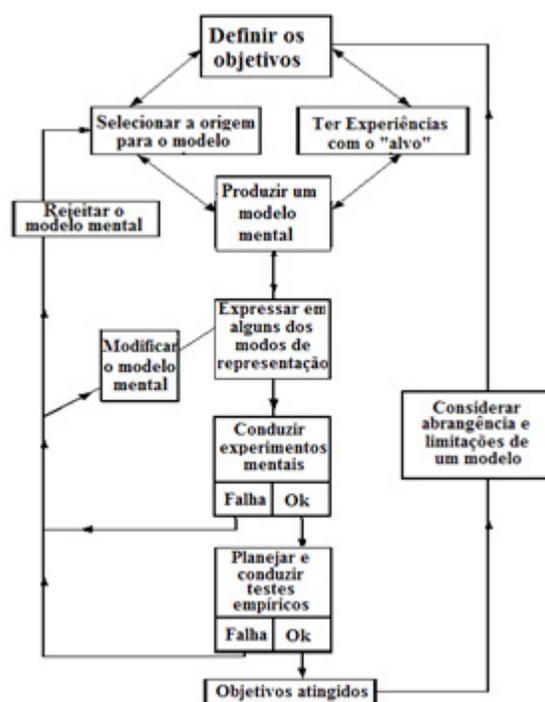


Figura 1. Diagrama “Modelo de Modelagem”.

Fonte: Justi, Gilbert (2002 pp. 357).

Apesar de não existir um método único de se construir modelos ficaram evidentes que as etapas do digrama “Modelo de Modelagem” costumam ser realizadas por diversos cientistas que fazem alterações na ordem, ou incluem etapas conforme suas particularidades, entretanto tratam essas etapas como elementares. Sendo assim, neste trabalho buscaremos fundamentar nossa abordagem pedagógica nestas etapas.

Epistemologia de Thomas Kuhn e o Ensino de Ciências

Considerado um marco para a História da Ciência a publicação do livro “A Estrutura das Revoluções Científicas”, constitui-se uma verdadeira revolução na forma de discutir questões epistemológicas que subsidiam o desenvolvimento da ciência. Apesar de intensamente criticada a teoria proposta por Kuhn é um dos principais pilares de investigação de História da Ciência. Com isso fica evidente na obra desse cientista que a ciência é uma construção humana passíveis de erros, acertos, influências econômicas e sociais. Portanto partindo das discussões de OSTERMANN (1996), o modelo kuhniano encara o desenvolvimento científico em quatro grandes etapas que são: Paradigma, Ciência Normal, Revolução Científica e a Incomensurabilidade.

O termo paradigma possui diversas conotações, contudo a definição para KUHN (1962), relata que os avanços científicos que são aceitos universalmente e que possuem comprovação experimental fornecendo soluções a diversos problemas para uma comunidade de cientistas representa o paradigma que é comumente aceito. Nesse sentido MENDONÇA, VIDEIRA (2007) afirma que o paradigma induz o desenvolvimento de pesquisas mais especializadas, ou seja, voltada apenas para alguns fenômenos específicos em detrimento dos demais. Com isso restringe-se o desenvolvimento de uma teoria mais ampla para explicar o funcionamento da natureza. Segundo OLIVEIRA (2012), no período de validade de um paradigma, a comunidade científica vivencia um equilíbrio ou mesmo uma acomodação com os resultados experimentais na qual apresentam função primordial de apenas reafirmar a teoria já estabelecida. Para sustentar os paradigmas SANTOS (2004) elenca três constituintes fundamentais, que são o uso de exemplos, as generalizações simbólicas, e o uso de modelos, que juntos norteiam a prática científica de determinados grupos de pesquisadores. Os paradigmas quando atingem uma aceitabilidade inspiram nos cientistas grande confiança nos seus resultados e na sua teoria que são solidificados pela ciência normal.

Para KUHN (2010), a ciência normal é uma tentativa de encapsular as observações experimentais em determinados limites preestabelecidos e inflexíveis fornecidos pelo paradigma, ou seja, a pesquisa nessa etapa é dirigida para a estruturação dos fenômenos observados no laboratório para que se encaixem na teoria já existente, não perturbando o paradigma aceito. Nessa linha SOUZA (2012) afirmou que a ciência normal parte de um quebra-cabeça no qual conhecemos todas as peças que constituem, contudo, o acúmulo de resultados no qual a teoria vigente fracassa em responder, cria anomalias no paradigma, gerando um estado de crise na pesquisa científica, quando chega-se a esse momento não é mais possível acumular conhecimentos desenvolvidos anteriormente é necessária uma ruptura com o paradigma estabelecido. Segundo OSTERMANN (1996), as comunidades de cientistas não abandonam paradigmas simplesmente por que se defrontaram com anomalias, uma teoria científica após ter passado por todos os testes até atingir o status de paradigma apresentam grande resistência para ser substituída.

Com isso as revoluções científicas emergem sobretudo devido a preocupação com a reprodutividade e precisão das técnicas de laboratório, pois quanto maior for a precisão de um método, este aumentará a sensibilidade do indicador de anomalias e conseqüentemente a necessidade da mudança de paradigmas, que passará a nortear a emergência de novas teorias contribuindo para a orientação e rearticulação de conhecimentos caracterizando uma reconstrução da matriz de conhecimentos (CONDÉ e FORTE, 2013). Na visão de SPERANDIO (2014) para ocorrer uma revolução científica a mudança não pode ser fragmentada, a transformação é radical rearranjando o fluxo de experimentos de maneira que exiba padrões que antes não eram explicados. Porém essa transição encontra-se barreiras principalmente entre os cientistas mais experientes que tentam refutar as novas teorias ou mesmo forçar uma adaptação com o paradigma vigente.

A incomensurabilidade de acordo com OKI (2004) relata a dificuldade de comparar os componentes

teóricos e padrões que caracterizam o desenvolvimento da ciência, essas características direcionam para paradigmas diferentes, sustentados em bases racionais distintos, KUHN (1962) parte da premissa das dificuldades de uma linguagem científica neutra, pois, quando o paradigma é mudado a sua linguagem também deve ser adequada isso ocorre devido a mudança do conhecimento.

Em relação ao ensino de ciências o modelo kuhniano influenciou diversos estudos acerca de mudança conceitual, porém seu espectro mais relevante encontra-se no estudo da problematização do conhecimento, de modo a subsidiar o estudo histórico do desenvolvimento científico corroborando para a formulação de concepções mais adequadas acerca dos fenômenos e conceitos comumente estudado (OSTERMANN, 1996).

Metodologia

Contexto da Pesquisa

A intervenção didática foi realizada ao longo de seis aulas com duração de cinquenta minutos cada em uma turma do 9º Ano do ensino fundamental de um colégio particular do Brasil, na qual um dos autores deste trabalho é o docente da disciplina

de Química. Durante a abordagem pedagógica do conteúdo de estrutura atômica o docente utilizou a modelagem como estratégia didática aliada aos pressupostos de paradigmas da ciência de Thomas Kuhn. Ao todo participaram desta pesquisa 27 alunos, divididos em 5 grupos, sendo 3 contendo 5 alunos e 2 com 6 alunos.

As aulas ministradas estão descritas de forma sucinta no Quadro 1, bem como, suas relações com o diagrama “Modelo de Modelagem”.

O experimento da Caixa Preta foi proposto inicialmente por RIBEIRO (1986) e trata-se de uma atividade pedagógica que trabalha a criatividade, a capacidade de abstração do discente e ainda contribui para a compreensão de elementos pertencentes à natureza da ciência, como a experimentação e a elaboração de modelos. Diante disso, para que os discentes tivessem uma experiência inicial com a modelagem, forneceu-se aos 5 grupos uma caixa preta lacrada contendo um objeto desconhecido em seu interior. Sendo assim, os discentes realizaram algumas experiências com a caixa sem abri-la e produziram um modelo bidimensional na forma de um desenho em folha de sulfite A4, contendo as principais características evidenciadas durante a experimentação do objeto desconhecido.

Quadro 1. Organização das aulas.

Aula	Descrição	Relação com o Diagrama “Modelo de Modelagem”
1	Experimento da Caixa Preta.	“Ter experiência com o fenômeno alvo”.
2	Discussão sobre o experimento da combustão em sistemas fechados (Lavoisier), dos tubos de Crookes, o experimento de Geiger e Marsden e os experimentos de Balmer e Rydberg.	“Ter experiência com o fenômeno alvo”. “Definir os objetivos”.
3	Abordagem da História da Ciência e da origem de cada modelo atômico.	“Selecionar a origem para o modelo”.
4	Discussões acerca da ciência normal e das revoluções científicas diante de cada evidência experimental supracitada.	“Produzir um modelo mental”.
5	Construção dos modelos atômicos de Dalton, Thomson, Rutherford e Bohr.	“Expressar em alguns dos modos de representação”.
6	Apresentação oral dos modelos construídos.	“Conduzir experimentos mentais”. “Considerar abrangência e as limitações de um modelo”.

Fonte: autoria própria.

Delineamentos da pesquisa

A pesquisa apresenta uma abordagem qualitativa por reunir dados descritivos por meio da relação direta entre o pesquisador e o contexto de estudo, primando pelo processo em detrimento do produto, atentando-se em retratar a ótica dos participantes da pesquisa (BOGDAN, BIKLEN, 2003), a opção por esta abordagem seu deu pela necessidade de analisar as compreensões dos discentes sobre a estrutura atômica, bem como, sobre a relação de aspectos da natureza da ciência como os modelos e sua relevância dentro da história da ciência. Entretanto para complementaridade da pesquisa, também se utilizou aspectos quantitativos para ampliar a compreensão sobre o objeto de estudo, que é viável para VICTORA, KNAUTH, HASSEN (2000) que afirmam que os resultados de uma questão produzida a partir da perspectiva qualitativa, pode originar outras questões que só podem ser respondidas por um viés quantitativo, ou seja, a pesquisa qualitativa e quantitativa são diferentes, mas não excludentes, podendo ser trabalhadas em situação de complementaridade.

Nesta pesquisa, por exemplo, após a análise da qualidade das respostas dos discentes sobre a estrutura atômica, para inferir quais observações referentes

a eficácia da abordagem pedagógica emergiu o questionamento de quantos discentes atingiram uma qualidade satisfatória de compreensão acerca da estrutura atômica. A opção da complementaridade do tratamento quantitativo foi devido a necessidade de identificar se a abordagem pedagógica contribuiu efetivamente para a maioria dos discentes.

Quanto aos objetivos, trata-se de uma pesquisa descritiva, que para GIL (2008) consiste na descrição das características obtidas no estudo, assim como, a proposição de relações entre as variáveis estudadas. A escolha da pesquisa descritiva se deu pela finalidade da descrição das compreensões desenvolvidas pelos discentes sobre a estrutura atômica.

Coleta de Dados

Para a coleta de dados, utilizou-se dos modelos produzidos na atividade 1 que diz respeito ao experimento da caixa preta, bem como, os modelos produzidos pelos discentes para a elucidação da teoria atômica de Dalton, Thomson, Rutherford e Bohr. E ainda aplicou-se ao final do processo de modelagem um questionário contendo cinco questões dissertativas conforme Quadro 2, com o intuito de avaliar as concepções dos estudantes sobre as teorias atômicas e a História da Ciência.

Quadro 2. Questionário.

1. Com base nas experiências de Lavoisier e Proust o primeiro modelo atômico foi proposto por John Dalton em 1803. Cite quais as principais características do modelo de Dalton.
2. Na década de 1850 foi inventada a ampola de Crookes, também chamada de tubos de raios catódicos, que obteve feixe de partículas carregadas de carga elétrica negativa. O experimento de Crookes permitiu a outro cientista J. J. Thomson em 1897 propor seu modelo atômico, também conhecido como “modelo do pudim de passas”. Quais foram as características para o átomo proposto por Thomson?
3. Em 1911, os estudantes do professor Rutherford realizaram um experimento que apresentou resultados que não podiam ser explicados apenas pelo modelo atômico de Thomson, o que necessitou que Rutherford propusesse um novo modelo atômico que ficou conhecido popularmente como planetário. Dessa forma, para Rutherford o que era o átomo?
4. Em 1913 Niels Bohr propôs seu modelo atômico aperfeiçoando as falhas que existia no modelo de Rutherford. Quais foram as contribuições de Bohr para o entendimento do átomo?
5. Desde o modelo de Dalton, a teoria atômica foi sofrendo modificações ao longo da história da ciência, por Thomson, Rutherford, e Bohr até chegar no que entendemos como átomo no presente que é bem mais complexo do que o próprio modelo de Bohr. Sendo assim, ainda há conceitos sobre o átomo propostos por cada um destes cientistas que são considerados como corretos hoje? Ou a cada novo modelo lançado, descartavam totalmente o anterior?

Fonte: autoria própria.

Análise de Dados

Tratando-se da análise de dados para avaliar os modelos confeccionados e a atividade 1 da “Caixa Preta” utilizou-se o modelo TWA (Teaching With Analogies) proposto por GLYNN (1995) no qual o autor propõe seis etapas que devem ser levadas em conta, na utilização de analogias no ensino, entretanto como analogias e modelos são comparações explícitas (MÓL, 1999) podemos utilizar o TWA também para a análise de modelos. Sendo assim as etapas do TWA são:

1. Introdução do conceito-alvo.
2. Propor uma experiência ou ideia análoga a anterior.
3. Identificar os pontos de semelhança do conceito alvo e análogo.
4. Relacionar as semelhanças entre os domínios; alvo e análogo.
5. Esboçar as conclusões sobre o conceito-alvo.
6. Identificar os aspectos em que a analogia não se explica.

No que tange o tratamento dos dados obtidos por meio do questionário (Quadro 2) utilizou-se da Análise de Conteúdo de Bardin (2009), mais especificamente pela Categorização, que é um conjunto de técnicas utilizadas para analisar a comunicação. Esse método textual tem uma organização bem definida em torno de três fases: a pré-análise, exploração do material e o tratamento dos resultados, que se dividem entre a inferência e a interpretação.

A pré-análise é a fase na qual os dados passam por uma leitura flutuante, onde o pesquisador possui o intuito de conhecer as respostas obtidas. Em seguida a exploração do material define as categorias (sistemas de codificação) a partir do material já selecionado; a identificação das unidades de registro (unidade de significação a codificar), visando à categorização e a contagem frequencial, bem como, as unidades de contexto nos documentos (unidade de compreensão para codificar a unidade de registro) a fim de compreender a significação exata da unidade

de registro. Esta fase é orientada pelas hipóteses e referenciais teóricos, assim como, a codificação, a classificação e a categorização. Por fim, a exploração do material consiste no cerne da análise, pois é por meio desta, que vai possibilitar ou não a riqueza das interpretações e inferências (BARDIN, 2009).

Dessa forma, a partir da análise de conteúdo, nos quadros 3, 4, 5, 6 e 7 surgiram-se três categorias. Sendo que a categoria abrangente é oriunda a partir da unidade de registro que representa a utilização de um conceito para explicar corretamente uma teoria. Enquanto a categoria “Reduccionista” surgiu das unidades de contexto que é composta por respostas muitas vezes vagas e que parecem ter sentido por si só. Já a categoria “concepções alternativas” emergiu a partir da fase de interpretação e inferências, na qual as respostas dos estudantes apresentarão divergências conceituais em relação as teorias científicas compreendidas.

Resultados e Discussões

Experimento da Caixa Preta

Como os discentes ficaram livres para realizarem as experiências com a caixa, cada grupo elaborou suas próprias técnicas para a experimentação indireta do objeto, que no geral observaram o modo, como o objeto deslizava no interior da caixa, a quantidade de objetos pelos sons emitidos, características olfativas, e ferromagnéticas por meio da utilização de um ímã. Dessa maneira, os modelos produzidos para o objeto desconhecido seguem nas figuras de 2 a 6.



Figura 2. Modelo 1 do Objeto.

Fonte: autoria própria.

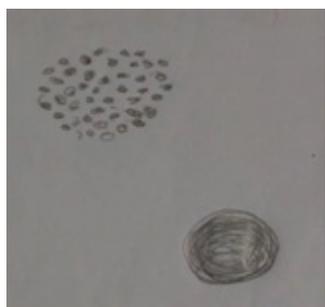


Figura 3. Modelo 2 do Objeto.

Fonte: autoria própria.

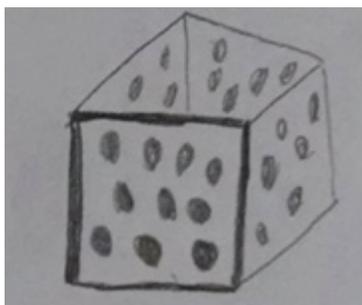


Figura 4. Modelo 3 do Objeto.

Fonte: autoria própria.

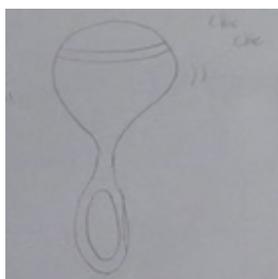


Figura 5. Modelo 4 do Objeto.

Fonte: autoria própria.

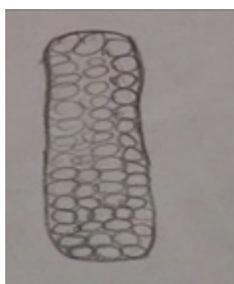


Figura 6. Modelo 5 do Objeto.

Fonte: autoria própria.

Devido a diversidade de técnicas utilizadas percebeu-se como resultado diferentes modelos, mas que concordam entre si quanto a existência de um objeto que contém alguns fragmentos em seu interior, esta informação pode ser obtida pelo som emitido. Além disso os modelos 1, 4 e 5 apontaram traços curvilíneos no objeto desconhecido, oriundo da experiência de como ele se deslizava no interior da caixa.

Portanto essa atividade contribuiu para uma experiência inicial com a modelagem para os estudantes e propiciou um momento de reflexão sobre a importância da experimentação na elaboração de modelos científicos, bem como, ao final não revelou-se o objeto desconhecido, de maneira a estimular os discentes a confiarem no poder de previsão de seus modelos com base nos resultados experimentais. Cabe ressaltar que ao final de todo o processo de modelagem do conteúdo de atomística, um discente lembrou desta atividade da caixa preta e estabeleceu uma analogia com o estudo dos átomos, afirmando que da mesma forma que os cientistas nunca visualizavam os átomos, eles também não tinham tido contato visual com o objeto desconhecido.

Análise dos Modelos

Como eram 5 grupos, foram produzidos 5 modelos para a explicação dos conceitos propostos por Dalton para o átomo. Dalton, conforme apontado na literatura atribuiu ao átomo como principais características, ser uma partícula indivisível, maciça e indestrutível e também a questão de que átomos de um mesmo elemento apresentam propriedades iguais e átomos de elementos diferentes apresentam propriedades diferentes. Nas figuras de 7 a 11 apresentamos os 5 modelos propostos pelos estudantes para a explicação do átomo de Dalton.

Diante da teoria proposta por Dalton, podemos verificar que os modelos elaborados pelos discentes possuem um bom poder de previsão, visto que todos os modelos contemplaram o aspecto maciço, e também que átomos de um mesmo elemento possuem

propriedades idênticas e átomos de elementos diferentes apresentam propriedades diferentes. O Modelo 2 abordou também o aspecto indivisível pelo fato utilizarem bolinhas de chumbada, já os demais utilizaram isopor que pode ser dividido e destruído. Nesse sentido, é perceptivo que os modelos construídos cumprem seu papel como representações parciais contendo falhas e limitações que foram todas elucidadas pelos próprios estudantes durante a apresentação de seus modelos para o professor e os demais discentes da sala.

Para o átomo de Thomson, podemos destacar como principais características ser uma esfera positiva com cargas elétricas “incrustadas”. Nas figuras de 12 a 16 representamos todos os modelos construídos pelos estudantes para a explicação dos conceitos que envolvem o átomo para Thomson.



Figura 7. Modelo 1 de Dalton.

Fonte: autoria própria.



Figura 8. Modelo 2 de Dalton.

Fonte: autoria própria.



Figura 9. Modelo 3 de Dalton.

Fonte: autoria própria.



Figura 10. Modelo 4 de Dalton.

Fonte: autoria própria.



Figura 11. Modelo 5 de Dalton.

Fonte: autoria própria.

Diante da teoria proposta por Dalton, podemos verificar que os modelos elaborados pelos discentes possuem um bom poder de previsão, visto que todos os modelos contemplaram o aspecto maciço, e também que átomos de um mesmo elemento possuem propriedades idênticas e átomos de elementos diferentes apresentam propriedades diferentes. O Modelo 2 abordou também o aspecto indivisível pelo fato utilizarem bolinhas de chumbada, já os demais utilizaram isopor que pode ser dividido e destruído. Nesse sentido, é perceptivo que os modelos construídos cumprem seu papel como representações parciais contendo falhas e limitações que foram todas elucidadas pelos próprios estudantes durante a apresentação de seus modelos para o professor e os demais discentes da sala.

Para o átomo de Thomson, podemos destacar como principais características ser uma esfera positiva com cargas elétricas “incrustadas”. Nas figuras de 12 a 16 representamos todos os modelos construídos pelos estudantes para a explicação dos conceitos que envolvem o átomo para Thomson.

Todos os modelos propostos pelos estudantes para o átomo de Thomson apresentaram a mesma abrangência, ou seja, contemplaram o átomo como uma esfera positiva com cargas elétricas negativas incrustadas, cabe ressaltar que nenhum deles utilizou

a analogia do “pudim de passas” conforme mencionado na fundamentação teórica em suas representações. Entretanto como modelos são representações parciais, estes apresentaram como falha o fato de serem estáticos e o modelo de Thomson considerar as contribuições da eletrodinâmica clássica.

O átomo de Rutherford apresenta como principais características um núcleo pequeno e positivo, com os elétrons orbitando em sua volta na eletrosfera, nas figuras de 17 a 21 apresentamos os 5 modelos para o átomo de Rutherford propostos pelos discentes.



Figura 12. Modelo 1 de Thomson.

Fonte: autoria própria.



Figura 16. Modelo 5 de Thomson.

Fonte: autoria própria.



Figura 13. Modelo 2 de Thomson

Fonte: autoria própria.



Figura 17. Modelo 1 de Rutherford.

Fonte: autoria própria.



Figura 14. Modelo 3 de Thomson.

Fonte: autoria própria.



Figura 18. Modelo 2 de Rutherford.

Fonte: autoria própria.



Figura 15. Modelo 4 de Thomson.

Fonte: autoria própria.

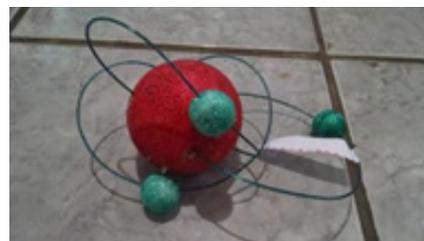


Figura 19. Modelo 3 de Rutherford.

Fonte: autoria própria.



Figura 20. Modelo 4 de Rutherford.

Fonte: autoria própria.



Figura 21. Modelo 5 de Rutherford.

Fonte: autoria própria.

Durante a apresentação destes modelos, os autores dos modelos 02 e 05 argumentaram terem ciência de que os núcleos estavam muito grandes comparados a representação dos elétrons e que isso era uma falha, entretanto conseguiram construir uma representação parcial contemplando aspectos como o núcleo positivo e os elétrons na esfera. A representação do núcleo grande foi pela facilidade de utilizar uma esfera de isopor grande em relação a uma pequena. Os autores do modelo 5 ainda representaram um átomo do elemento hidrogênio com apenas um próton e um elétron. Outro aspecto em que os modelos falharam é a dinamicidade do átomo na qual os elétrons orbitam em torno do núcleo na região da eletrosfera.

Como as diferenças entre os modelos atômicos de Bohr e Rutherford envolvem conceitos demasiadamente abstratos como energia quantizada e os níveis energéticos, fisicamente os discentes não conseguiram diferenciá-los. Entretanto se referiram ao modelo construído como Rutherford-Bohr e explicaram a partir dele os postulados de Bohr.

Análise do Questionário

A priori as questões de 1 a 4 do Quadro 2 foram elaboradas com o propósito de avaliar a aprendizagem

dos discentes no que tange a teoria atômica. A partir de uma análise prévia das respostas, produziu-se as seguintes categorias:

1. Abrangente. Categoria que associa de maneira adequada os diversos aspectos de cada teoria atômica com os cientistas que as propuseram, levando em consideração também as evidências experimentais encontradas ao longo de cada período histórico;
2. Reducionista. Nesta categoria as respostas reduzem toda a teoria atômica a uma ou duas características principais sem realizar quaisquer menções as evidências experimentais históricas;
3. Concepções Alternativas. Esta categoria engloba as respostas na qual a teoria atômica é associada de maneira incorreta ao cientista que a formulou, ou ainda respostas que apresentam conceitos alternativos.

A partir disso iniciamos a análise com a categorização das respostas para a primeira questão respeitando a escrita original dos estudantes conforme apresentado no Quadro 3.

As respostas enquadradas na categoria 1 para o átomo de Dalton apresentaram as principais características do modelo, levaram em consideração os postulados de Dalton e ainda as evidências experimentais que balizaram tais formulações como a Lei da Conservação das Massas de Lavoisier e das Proporções Constantes de Proust.

Na categoria 2, as respostas reduziram toda a concepção de átomo para Dalton como sendo uma esfera maciça. E por fim na categoria 3 estão as concepções alternativas formuladas, na qual o aluno 13 explica o modelo de Dalton a partir de um experimento que contribuiu para Thomson identificar as cargas elétricas do átomo e o aluno 14 que usou de maneira equivocada o termo elétrons ao invés de elementos para explicar um dos postulados de Dalton.

Quanto a segunda questão a respeito da estrutura atômica de Thomson, as respostas foram categorizadas no Quadro 4.

A respeito do átomo de Thomson, as respostas que constituem a categoria 1 contemplam adequadamente as características que são de uma esfera positiva com cargas elétricas incrustadas em sua superfície. Na categoria 2 teve apenas uma resposta que reduziu o modelo de Thomson a uma esfera positiva. Enquanto na categoria 3 o aluno 01 utilizou de maneira equivocada as características do modelo de Rutherford para a explicação do modelo de Thomson.

Tratando-se da questão 3 sobre o átomo de Rutherford, as respostas categorizadas seguem no Quadro 5.

Quanto ao modelo de Rutherford, as respostas da categoria 1 remetem adequadamente as características para o átomo elencadas por Rutherford para explicação do experimento proposto por seus discentes Geiger e Marsden, que consistiu em passar um feixe de partículas α em uma folha de platina com a espessura de poucos átomos.

Quadro 3. Respostas dos discentes para a primeira questão e suas relações com as categorias elaboradas.

Questão	Resposta	Categoria	Quantidade de respostas
1	“Os átomos são esféricos, maciços e indivisíveis, os átomos de elementos diferentes têm massas e tamanhos diferentes e vice-versa”. Aluno 03 “Era uma esfera maciça, indivisível, indestrutível, sem carga. Átomos de elementos iguais possuíam propriedades, massa, e tamanhos iguais, assim como, átomos de elementos diferentes possuíam propriedades, massas e tamanhos diferentes”. Aluno 05	1	16
1	“Era uma esfera maciça”. Aluno 19 “Para Dalton o átomo era apenas uma esfera maciça”. Aluno 28	2	8
1	“No qual dizia que os átomos eram energizados, esfregando um ferro em um pano”. Aluno 13 “Uma esfera maciça, indivisível. Elétrons iguais mesma massa e composição e elétrons diferentes massas e composição diferentes”. Aluno 14	3	4

Fonte: autoria própria.

Quadro 4. Respostas dos discentes para a segunda questão e suas relações com as categorias elaboradas.

Questão	Resposta	Categoria	Quantidade de respostas
2	“Seria formado por uma esfera de carga elétrica positiva tendo em sua superfície elétrons incrustados”. Aluno 13 “O átomo é formado por uma esfera de carga do núcleo elétrica positiva tendo elétrons na sua camada superficial”. Aluno 05	1	17
2	“Esfera positiva”. Aluno 26 “Eram cargas positivas maiores, onde encontrava-se outras menores negativas em si”. Aluno 28	2	3
2	“Que o átomo seria formado por uma esfera. Ele falava que os átomos eram como o sistema solar tinha o núcleo que era o sol e os outros que eram os planetas que girava em volta.” Aluno 01 “Ele acreditava que o átomo tinha prótons dentro dele e ficou conhecido com pudim de passas”. Aluno 08	3	4

Fonte: autoria própria.

Quadro 5. Respostas dos discentes para a terceira questão e suas relações com as categorias elaboradas.

Questão	Resposta	Categoria	Quantidade de respostas
3	“O átomo para Rutherford era uma esfera de carga positiva no centro chamada de núcleo e uma região chamada eletrosfera, onde ficavam os elétrons girando ao redor do núcleo. Com o tempo os elétrons perdiam energia e colidiam com o núcleo”. Aluno 05 “Esfera com pequeno núcleo positivo com elétrons em órbita na eletrosfera sem energia definida (Planetário)”. Aluno 07	1	12
3	“Núcleo pequeno e positivo (Proton)”. Aluno 15 “Os elétrons girariam ao redor do núcleo como planetas ao redor do sol”. Aluno 24	2	8
3	“Rutherford acreditava que os prótons ficavam girando em torno do núcleo assim ficou conhecido como planetário”. Aluno 08 “Como era uma coisa pequeninha que não se vê a olho nu”. Aluno 12	3	3

Fonte: autoria própria.

Nesse sentido Geiger e Marsden alunos de Rutherford (1909) estudaram a passagem de partículas radioativas em uma placa, no qual detectaram uma radiação emergindo no mesmo lado da placa na qual as partículas sofrem decaimento. Este tipo de radiação não chamou a atenção de outros pesquisadores que consideravam uma radiação secundária, porém em uma série de experiências os alunos de Rutherford encontraram a existência de um reflexo difuso de partículas α .

Desse modo Geiger e Marsden apontaram como conclusões que uma pequena fração dessas partículas sofrem desvio ao passar pela lâmina metálica. Esses resultados intrigou o Professor Rutherford, que segundo ATKINS, JONES (2012 pp.3) sugeriu para esses resultados a existência de um centro pontual com grande densidade de carga positiva, “o núcleo era envolvido por um volume muito grande de espaço quase vazio que continha os elétrons”.

Para a categoria 2, obtivemos apenas a resposta do aluno 15 que reduz o átomo de Rutherford a um núcleo pequeno e positivo. E na categoria 3 o aluno 08 utilizou inadequadamente o termo “próton” para se referir ao elétron que orbita o núcleo.

Quanto a questão 4 sobre os conceitos que envolvem a estrutura atômica proposta por Bohr, as respostas dos discentes foram categorizadas no Quadro 6.

Na categoria 1, as respostas explicaram satisfatoriamente os conceitos atômicos de Bohr que introduz a ideia de os elétrons orbitarem em níveis energéticos definidos, com capacidade limitada de elétrons por níveis, e ainda abordaram a questão da absorção e da emissão de energia pelos elétrons durante as transições entre níveis energéticos. Na categoria 2 tiveram duas respostas dos alunos 06 e 10 que reduziram o modelo atômico de Bohr aos níveis de energia. Já na categoria 3 o aluno 11 manifestou uma concepção alternativa de que o átomo de Bohr era uma esfera com núcleo contendo cargas positivas, e o aluno 1 realiza uma menção equivocada das características do átomo de Dalton como sendo de Bohr.

Em linhas gerais a análise de conteúdo das quatro questões supracitadas, permitiram inferir que a abordagem do conteúdo de atomística fundamentada em modelagem e integrada a História da Ciência contribuiu para uma boa compreensão da teoria atômica, tendo vista, que em todas as questões apesar de existirem respostas reducionistas ou

alternativas a predominância das respostas foram na categoria abrangente.

Após a análise das questões relacionadas ao conteúdo de estrutura atômica, a quinta questão aborda aspectos relacionados a natureza da ciência tais como o papel dos modelos e suas relações com a História da Ciência, cuja categorização segue abaixo no Quadro 7.

As respostas dos alunos 9 e 28 na categoria 1 vão de encontro a uma visão abrangente de ciência, que

concebe um modelo como representação parcial e não total de um fenômeno, sendo inerente a sua utilização a existência de limitações. Outro ponto que pode ser observado por esses discentes é que a ciência normal está intrinsecamente correlacionada com a necessidade da adequação dos novos resultados experimentais aos modelos existentes, de modo a manter o paradigma vigente.

Em relação a categoria 2 os estudantes 5 e 21, minimizam os avanços científicos a apenas algumas

Quadro 6. Respostas dos discentes para a quarta questão e suas relações com as categorias elaboradas.

Questão	Resposta	Categoria	Quantidade de respostas
4	“Conclui que existiam níveis de energia que aceitavam uma quantidade específica de elétrons em cada um deles. Esses níveis eram K, L, M, N, O, P, Q ou 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7. Quando o elétron passava para o estado excitado e retornava para o seu estado fundamental ocorria liberação de energia em forma de luz”. Aluno 07 “O modelo de Bohr foi o de camadas (níveis). Bohr explicou que o átomo ao receber energia, ele se excitava fazendo os elétrons subir de nível. E quando voltava para sua forma normal, emitia luz”. Aluno 09	1	13
4	“Ele afirmava o que todos os outros modelos diziam e acrescentou os níveis de energia”. Aluno 06 “Propôs que na eletrosfera existiam várias camadas energéticas”. Aluno 10	2	7
4	“O átomo era esferas com um núcleo no meio e cargas positivas”. Aluno 11 “Ele falava que os átomos eram de tamanhos e formas diferentes”. Aluno 01	3	3

Fonte: autoria própria.

Quadro 7: Respostas dos discentes para a quinta questão e suas relações com as categorias elaboradas.

Questão	Resposta	Categoria	Quantidade de respostas
5	“Sim, todos os modelos atômicos possuem conceitos certos. Como o nome já diz é um modelo, ou seja sempre haverá erros e acertos”. Aluno 09 “Nenhum dos modelos é perfeito, mesmo o que esteja correto há algumas falhas. Cada novo modelo complementava o outros, não os descartava completamente”. Aluno 28	1	14
5	“Ainda existem conceitos de alguns cientistas que estão certos”. Aluno 5 “Sim. Como por exemplo o de Bohr, alguns do Dalton e etc.”. Aluno 21	2	9
5	“A cada novo modelo lançado descartavam o anterior”. Aluno 22. “Sim ainda há conceitos que são corretos como o átomo ser indestrutível imutável”. Aluno 18	3	3

Fonte: autoria própria.

características sem evidenciar os conceitos que ainda permanecem na teoria atômica vigente, sendo assim a concepção desses alunos remetem a visão restrita do funcionamento da ciência, não apresentando fundamentos experimentais importantes tais como: o experimento de Geiger-Marsden que levaram ao desenvolvimento do modelo de Rutherford, a observação do espectro de linhas, permitindo o surgimento de modelo de Bohr. Portanto essa categoria representa uma visão limitada do funcionamento da ciência.

A resposta do discente 22, apresenta uma visão equivocada da ciência, pois no modelo científico atômico, não se descartava completamente o anterior pois novas evidências experimentais surgem devido a criação de equipamentos cada vez mais precisos e sensíveis que remetem ao período de ciência normal. Enquanto o discente 14 realiza uma associação incorreta com algumas características do átomo como a sua imutabilidade, sendo que o mesmo pode sofrer uma série de decaimentos radioativos transformando o núcleo do átomo.

Pela quantidade de respostas pertencentes à categoria abrangente é possível inferir que a abordagem pedagógica aqui ministrada se mostrou eficaz em resolver os problemas identificados por GOMES, OLIVEIRA (2007) referente ao uso descontextualizado da História da Ciência, oferecendo aos discentes condições para compreender pressupostos de como acontece o desenvolvimento científico frente ao estabelecimento de paradigmas, bem como, os problemas apontados por MELO, LIMA-NETO (2013) que apontam a deficiência na discussão sobre modelos no ensino de estrutura atômica. Além disso, proporcionou-se mecanismos favoráveis a compreensão de aspectos relevantes da natureza da ciência como o “fazer ciência” (FERREIRA e JUSTI, 2008) por meio da construção, adaptação e testes de modelos.

Considerações Finais

A partir da análise qualitativa dos modelos construídos pelos discentes para a representação das estruturas atômicas de Dalton, Thomson e Rutherford-Bohr,

ficou evidente que os discentes apresentaram uma compreensão adequada dos principais aspectos de cada concepção atômica, pois se atentaram em representar os principais detalhes pertencentes a cada modelo, bem como, justificaram quando foi necessário as limitações e falhas dos modelos construídos pelos mesmos.

Outro fator que corrobora para a compreensão dos discentes sobre as estruturas atômicas após a abordagem pedagógica aqui ministrada, foi observado pela análise quantitativa, e trata-se da predominância das respostas enquadradas na categoria abrangente, que corresponde a uma associação correta da teoria atômica, com os respectivos cientistas que as propuseram, assim como, com os experimentos realizados na história que permitiram tais conclusões. Sendo assim, podemos inferir que a abordagem pedagógica fundamentada em modelagem em um contexto de História da Ciência permitiu aos discentes a formulação de boas concepções sobre a estrutura atômica, reconhecendo o papel fundamental de cada uma delas ao longo da História da Ciência.

Além, de ensinar aspectos relacionados ao conteúdo curricular como a estrutura atômica, esta abordagem pedagógica propiciou aos discentes condições para exercer o papel de sujeito ativo no processo de ensino e aprendizagem por meio da construção e testes de modelos que catalisou o aprendizado de aspectos relativos a natureza da ciência e o ser cientista, motivados pela investigação com base em experimentos científicos. Os resultados obtidos contribuíram para a compreensão do processo histórico de produção de conhecimento científico com reflexos positivos no processo de ensino e aprendizagem dos discentes, tais quais, a visão de natureza da ciência a partir dos modelos como ferramentas para representação parcial de conceitos demasiadamente abstratos, oriundos de resultados obtidos experimentalmente, bem como, de elementos da estrutura atômica.

Por fim, destaca-se aqui o papel fundamental de realizar discussões sobre o conceito de modelos, sua importância para a ciência, e os

processos de elaboração e teste dos mesmos, antes da abordagem propriamente dita do átomo, para que os discentes entendam essa poderosa ferramenta para o desenvolvimento científico, bem como, reiteramos também a necessidade de uma abordagem coerente de História da Ciência a fim de promover aos discentes a compreensão de que cada concepção atômica foi fundamental para a construção do conhecimento que temos hoje acerca do átomo.

Referências

- ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de Química: Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente**. Tradução Ricardo Bicca de Alencastro. 5 ed. Bookman. Porto Alegre: Brasil, 2012.
- BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. 4 ed. Edições 70. Lisboa: 2009.
- BRASIL. MEC. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**. MEC/SEMTEC. Brasília: 1999.
- BRASIL. MEC. **Diretrizes Curriculares Nacionais Gerais da Educação Básica**. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. Diretoria de Currículos e Educação Integral. MEC, SEB, DICEI. Brasília: 2013.
- BOGDAN, R. S.; BIKEN, S. **Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos**. 12 ed. Porto. Porto: 2003.
- CLEMENT, J. Learning via Model Construction and Criticism - Protocol evidence on sources of creativity in science. In: **Handbook of Creativity: assessment, theory and research**. J. A. Glover, R. R. Ronning & C. R. Reynolds (eds.). Editora Plenum. New York: 1989, pp. 341-381. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-5356-1_20
- CONDÉ, M. L. L.; FORTE, M. A. P. **Thomas Kuhn: A estrutura das revoluções científicas [50 anos]**. 1 ed. Fino Traço. Belo Horizonte: 2013.
- DARROZ, L. M.; ROSA, C. W.; GHIGGI, C. M. Método tradicional x aprendizagem significativa: investigação na ação dos professores de física. **Aprendizagem Significativa em Revista**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 70-85, 2015.
- FERREIRA, P. F. M. **Modelagem e suas contribuições para o ensino de ciências: uma análise no estudo de Equilíbrio Químico**. 165p. Dissertação do Mestrado em Educação - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.
- FERREIRA, P. F. M.; JUSTI, R. Modelagem e o "fazer ciência". **Química Nova na Escola**. São Paulo, v. 8, n. 28, p. 32-36, 2008.
- FRANÇA, A. da C. G.; MARCONDES, M. E. R.; CARMO, M. P do. Estrutura atômica e formação dos íons: uma análise das ideias dos alunos do 3º Ano do Ensino Médio. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 31, n. 4, p. 275-282, 2009.
- GAGLIARDI, R.; GIORDAN, A. La Historia de las Ciencias: Una Herramienta para Enseñanza. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 4, n. 3, p. 253-258, 1986.
- GEIGER, H.; MARSDEN, E. On a diffuse reflection of the α particles. **Proceedings the royal of society. Mathematical Physical & Engineering Sciences**. Londres, v. 82, n. 557, p. 495-500, 1909. <https://doi.org/10.1098/rspa.1909.0054>
- GIL, A, C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6 ed. Atlas. São Paulo: 2008.
- GLYNN, S.M. Conceptual bridges: Using analogies to explain scientific concept. **Journal The Science Teacher**, Arlington, VA, v. 62, n. 9, p. 25-27, 1995.
- GOMES, H. J. P.; OLIVEIRA, O. B, de. Obstáculos Epistemológicos no ensino de Ciências: um estudo sobre as suas influências nas concepções de átomo. **Ciência e Cognição**, Rio de Janeiro, v. 12, s/n, p. 96-109, 2007.
- HALLOUN, I. A. **Modeling Theory in Science Education**. 12 ed. Editora Springer. Dordrecht: 2004.
- JUSTI, R. La Enseñanza de ciencias baseada en la elaboración de modelos. **Enseñanza de Las Ciencias**, Barcelona, v. 24, n. 2, p. 173-194, maio/junho, 2006.
- JUSTI, R. Relações entre argumentação e modelagem no contexto da ciência e do Ensino de Ciências. **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v. 17, n. especial, p. 31-48, 2015.

- JUSTI, R.; GILBERT, J. K. Modelling, teacher's views on the nature of modelling, implications for the education of modelers. **International Journal of Science Education**, Londres, v. 24, n. 4, p. 369-387, 2002. <https://doi.org/10.1080/09500690110110142>
- KUHN, T. S. **The Structure of Scientific Revolutions**. 2 ed. The University Of Chicago Press. Chicago: 1962.
- KUHN, T. S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. Tradução. Beatriz Viana Boeira. 10 ed. Perspectiva. São Paulo: 2010.
- MELO, M.R; LIMA-NETO, E.G. Dificuldades de Ensino e Aprendizagem dos Modelos Atômicos em Química. **Química Nova Na Escola**, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 112-122, 2013.
- MENDONÇA, A. L. O.; VIDEIRA, A. A. P. Progresso científico e incomensurabilidade em Thomas Kuhn. **Scientiae Studia**, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 169-183, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1678-31662007000200003>
- MENDONÇA, P. C. C. **'Ligando' as ideias dos alunos à ciência escolar: Análise do ensino de ligação iônica por modelagem**. 241p. Dissertação do Mestrado em Educação - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.
- MENDONÇA, P. C. C.; JUSTI, R. Favorecendo o aprendizado do modelo eletrostático: Análise de um processo de ensino de ligação iônica fundamentado em modelagem - Parte I. **Educación Química**, Ciudad del Mexico, v. 20, n. 3, p. 282-293, 2009.
- MÓL, G, S. **O uso de analogias no ensino de Química**. 254f. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação - Instituto de Química da Universidade de Brasília, Brasília, 1999.
- MORTIMER, E. F. Concepções atomistas dos estudantes. **Química Nova na Escola**. O Aluno em Foco. São Paulo, n. 1, 1995.
- OKI, M. C. M. Paradigmas Crises e Revoluções: A História da Química na perspectiva Kuhniana. **Química Nova Na Escola**, São Paulo, n. 20, p. 32-37, 2004.
- OLIVEIRA, M. R. A. **O Confronto Entre Thomas Kuhn E Imre Lakatos Sobre A Racionalidade Científica**. 83f. Dissertação de Mestrado em Ética e Epistemologia, Centro de Ciências Humanas e Letras - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2012.
- OSTERMANN, F. A Epistemologia de Kuhn. **Caderno Catarinense de ensino de física**, Florianópolis, v. 13, n. 13, p. 184-196, 1996.
- RIBEIRO, V. L. A Caixa Preta. **Revista de Ensino de Ciências**, São Paulo, n. 15, 1986.
- SANTOS, N. B. A Aprendizagem segundo Karl Popper e Thomas Kuhn. **Revista do serviço de psiquiatria do hospital Fernando Fonseca**, Amadora, v. 1, n. 1, p. 62-74, 2004.
- SPERANDIO, C. S. **Incomensurabilidade: Uma Questão Epistemológica Ou de Linguagem**. 113f. Dissertação de Mestrado em Filosofia, Departamento de Filosofia da Escola de Filosofia, Letras e Ciências Humana - Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2014.
- SOUSA, F. S. et al. As metodologias usadas por professores de ciências e biologia no processo de ensino/aprendizagem. **Revista da SBEnBio**, Niterói, n. 7, p. 2014-2022, 2014.
- SOUZA, T. A. **A concepção de ciência em Thomas Kuhn**. 2012. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Filosofia - Universidade de Brasília, Brasília, 2012.
- VICTORA, C. G.; KNAUTH, D. R.; HASSEN, M. N. A. Metodologias Qualitativa e Quantitativa. In: **Pesquisa Qualitativa em Saúde – Uma Introdução ao Tema**, cap. 3, pp. 33-44. Tomo Editorial. 2000.