

MODELIZAÇÃO DIDÁTICA NO ENSINO DE QUÍMICA: CONSTRUINDO REPRESENTAÇÕES MENTAIS SOBRE AS ESTRUTURAS DOS ÁTOMOS

Tiago Rodrigues da Silva¹, Bruna Rodrigues da Silva², Izânio Barroso Cardoso do Nascimento³,
Tamyres Lopes Rios⁴

RESUMO

O artigo tem como objetivo analisar a utilização da modelização didática no ensino e aprendizagem dos modelos atômicos de Dalton, Thompson, Rutherford e Bohr. Com isso, verificar as influências dos modelos didáticos na formação das representações mentais nos estudantes. Para tanto, adotou-se o referencial teórico da Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird. A abordagem foi quali-quantitativa, sendo caracterizada por um estudo descritivo e exploratório. A modelização didática foi aplicada com 32 alunos no 9º ano do Ensino Fundamental de uma escola pública de Timon/MA. Os dados foram coletados por meio de observações dos pesquisadores acerca da produção e apresentação dos modelos didáticos e um teste aplicado para averiguar como os conteúdos foram compreendidos pelos estudantes com a modelização didática. As representações estabelecidas pelos alunos foram categorizadas em proposicionais, imagem e modelo mental. Com os usos dos modelos didáticos os alunos desenvolveram uma capacidade de identificar e caracterizar os modelos atômicos de forma mais clara e objetiva. Nas análises do teste avaliativo foram quantificadas 128 representações mentais, nas categorias proposicionais (P=5%), imagem mental (IM=16%) e modelo mental (MM=79%). O maior número de MM indica que os alunos apresentaram uma compreensão da linguagem científica dos modelos atômicos. Ao término da pesquisa foi constatado que os estudantes não apresentam dificuldades em compreender os modelos atômicos quando trabalhados com base na modelagem didática e que sua utilização estimulou a produção de representações do tipo imagem e modelo mental.

Palavras-chave: Modelos atômicos; Modelos didáticos; Modelos mentais.

¹ Licenciada em Ciências Biológicas (IFMA – Campus Timon). Especialização em andamento em Ensino de Ciências (IFMA). Professor da Rede Municipal de Ensino de Timon, Brasil. E-mail: thiago2581@hotmail.com

² Bacharel em Ciências Biológicas (UFPI). Licenciada em Ciências Biológicas (IFPI – Campus Teresina). Especialização em andamento em Ensino de Ciências (IFMA – Campus Timon). E-mail: brunarodrigues.bs@hotmail.com

³ Licenciado em Ciências Biológicas (IFMA – Campus Timon). Especialização em andamento em Ensino de Ciências (IFMA – Campus Timon). E-mail: izanio.cardoso@hotmail.com

⁴ Bacharel em Ciências Biológicas (UFPI). Licenciada em Ciências Biológicas (IFPI – Campus Teresina). E-mail: tamyresrios1@hotmail.com

DIDACTIC MODELING IN THE TEACHING OF CHEMISTRY: CONSTRUCTING MENTAL REPRESENTATIONS ON THE STRUCTURES OF THE ATOMS

ABSTRACT

The article aims to analyze the use of didactic modeling in the teaching and learning of the atomic models of Dalton, Thompson, Rutherford and Bohr. With this, to verify the influences of the didactic models in the formation of the mental representations in the students. To that end, It was adopted the theoretical reference of Johnson-Laird's Theory of Mental Models. The approach was qualitative and quantitative, characterized by a descriptive and exploratory study. The didactic modeling was applied with 32 students from the 9th grade of Elementary School of a public school in Timon/MA. The data were collected through the observations of the researchers about the production and presentation of the didactic models and a test applied to discover how the contents were understood by the students with didactic modeling. The representations established by the students were categorized in propositional, image and model mental. With the use of didactic models, students developed the ability to identify and characterize the atomic models more clearly and objectively. In the analysis of the evaluative test, 128 mental representations were quantified, in the categories propositional (P = 5%), mental image (IM = 16%) and mental model (MM = 79%). The highest number of MM indicates that the students presented an understanding of the scientific language of the atomic models. At the end of the research, it was observed that the students did not present difficulties to understand the atomic models when worked on the basis of didactic modeling and that its use stimulated the production of representations of the type and image and mental model.

Keywords: Atomic models; Didactic models; Mental models.

INTRODUÇÃO

A Química, como ciência, desenvolveu uma linguagem própria de representações, modelos e símbolos para explicar suas teorias (CHAGAS, 2015). Com isso, os alunos apresentam dificuldades de compreender o conhecimento químico por demandar uma capacidade de estabelecer relações existentes que existem entre os diferentes níveis de representação de seus conteúdos conceituais.

As representações dos processos de ensino e aprendizagem de Química se referem aos seus três níveis representacionais, definidos por Johnstone (1993, 2000) em: macroscópico, submicroscópico e simbólico. No macroscópico os fenômenos são observáveis, concretos e mensuráveis, como por exemplo, a mudança de estado da matéria.

Enquanto isso, o submicroscópico corresponde à submicroquímica, ou seja, a organização espacial das moléculas e das partículas subatômicas. A representação simbólica equivale aos símbolos utilizados para os átomos, elementos químicos, reações e fórmulas.

Assim, as dificuldades na aprendizagem de Química na sala de aula ocorrem devido ao seu processo de ensino e aprendizagem, na maioria das vezes, ocorrer costuma ocorrer nos níveis macroscópico e simbólico (JOHNSTONE, 1993, 2000). Por certo, os estudantes não apresentam objeções para compreender os conceitos que se apresentam de forma concreta com símbolos.

A construção de conhecimentos químicos no nível submicroscópico requer maior capacidade de raciocínio, imaginação e abstração dos alunos e, por consequência gera dificuldades na aprendizagem, como por exemplo, dos modelos atômicos (MELO; LIMA NETO, 2013; SILVA *et al*, 2015). Em relação ao ensino dos modelos atômicos, o uso exclusivo do livro didático com suas ilustrações fragmentadas também podem gerar concepções inadequadas da estrutura do átomo, uma vez que os livros não relacionam os modelos atômicos, que são abstratos com fenômenos reais e concretos (MELO; LIMA NETO, 2013).

Desse modo, fica entendido a necessidade de um ensino de modelos atômicos que aborde os três níveis de representação do conhecimento químico, supere a redução do estudo dos átomos guiados, principalmente, pelas ilustrações do livro didático, verbosidade do professor e passividade dos alunos durante as aulas. Sendo assim, a presente pesquisa busca responder a seguinte questão: De que modo a modelização didática contribui na aprendizagem dos modelos atômicos e no desenvolvimento de modelos mentais em alunos no 9º ano do ensino fundamental de uma escola pública em Timon, Maranhão?

O presente artigo tem como objetivo analisar a utilização da modelização didática no ensino e aprendizagem dos modelos atômicos e suas influências na formação de modelos mentais em alunos do 9º ano no Ensino Fundamental, em uma escola pública municipal de Timon, MA. Para tanto, se identificam e avaliam os tipos de representações mentais, com base na Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird, utilizadas por estes alunos para explicar os modelos atômicos.

MODELIZAÇÃO DIDÁTICA NO ENSINO DE QUÍMICA

A modelização didática, isto é, a construção de modelos didáticos emergiu da necessidade de empregá-la para facilitar a aprendizagem dos alunos no ensino de Ciências (KRAPAS *et al*, 1997; GRECA; SANTOS, 2005; ASTOLFI; DEVELAY, 2012). Com isso, o uso de modelos didáticos torna-se uma ferramenta importante para facilitar a compreensão dos conteúdos científicos que, muitas vezes, exigem dos alunos maiores capacidades de imaginação e abstração (GALAGOVSKY; ADÚRIZ-BRAVO, 2001; FERREIRA; JUSTI, 2008).

A função dos modelos é representar determinadas teorias, por meio de imagens e analogias, cuja finalidade é auxiliar os alunos e cientistas na visualização e compreensão de algum conteúdo (BORGES, 1999). Desta forma, há três importantes modelos: (1) mentais que são construídos pelo indivíduo e expressam sua subjetividade em relação a algum fenômeno; (2) conceituais ou científicos que expressam o consenso da comunidade acadêmica sobre determinados fenômenos e (3) didáticos ou pedagógicos, elaborados e usados para facilitar no entendimento de um modelo científico (KRAPAS *et al.*, 1997; QUINTO; FERRACIOLI, 2008).

Desta forma, os modelos científicos utilizados pelos professores têm a finalidade de facilitar a compreensão dos sistemas e fenômenos químicos, físicos e biológicos, formulando modelos mentais nos alunos (MOREIRA *et al*, 2002). Por isso, considera-se importante que a utilização de modelos didáticos tenha por finalidade promover meios para os alunos compreenderem os modelos científicos (GALAGOVSKY; ADÚRIZ-BRAVO, 2001). Para tanto, a modelização didática é uma das formas para desenvolver nos estudantes a capacidade de formular seus modelos mentais semelhantes aos conceituais (FREITAS FILHO *et al*, 2009; MEDEIROS *et al*, 2013).

O uso de modelos didáticos nos processos de ensino e aprendizagem de Química possibilita uma melhor visualização das estruturas macroscópicas quanto submicroscópicas, pois permitem aos alunos uma figuração concreta e palpável, de caráter teórico, que reproduz um fenômeno ou teoria química (FERREIRA; JUSTI, 2008; CHAGAS, 2015; SILVA *et al*, 2017).

AS REPRESENTAÇÕES MENTAIS DE JOHNSON-LAIRD

As representações mentais retratam um processo de interpretações do mundo interno para o externo, através das funções e conhecimentos presentes nas estruturas cognitivas do sujeito (QUINTO; FERRACIOLI, 2008; SANTOS *et al*, 2015). Nesse sentido, os processos cognitivos humanos operacionalizam, de modo geral, conforme a teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird (1987) ao postular que a mente humana opera através de três tipos de representações mentais interrelacionadas: proposicionais, modelos mentais e imagens.

Conforme Johnson-Laird (1987) as representações do tipo proposicionais são definidas por serem proposições verbais que podem ou não estar em concordância com o estado das coisas do mundo, podendo se referir sobre situações hipotéticas ou imaginárias de como o sujeito concebe suas representações internas. Nesse sentido, as proposicionais são as representações mentais em forma de palavras, por isso apresentam comumente suas expressões de forma verbal (MOREIRA, 1996; MOREIRA *et al*, 2002; FREITAS FILHO *et al*, 2009).

As imagens mentais são as representações visuais específicas e são perspectivas de um modelo mental (JOHNSON-LAIRD, 1987). Assim, possuem relações íntimas com os modelos mentais, uma vez que correspondem a sua visualização (GIBIN, 2013). Outra definição para as imagens mentais é a de Moreira (1996) ao afirmar que elas são resultados dos processos imaginários que o sujeito possui, conforme seu ponto de vista particular.

Os modelos mentais são representações análogas de estruturas das coisas do mundo, de tal modo como são percebidos e vistos (JOHNSON-LAIRD, 1987). Essa analogia pode variar de unidades com algum ponto mínimo análogo até um conjunto de sequência que forma um modelo mental com mais analogia ao que se interpreta do mundo exterior (BORGES, 1999). Desse modo, os modelos mentais são representações práticas da realidade e servem para explicar eventos, fenômenos e estruturas químicas (FREITAS FILHO *et al*, 2009).

O modelo mental é um modelo pessoal, construído pelo indivíduo e que pode se expressar através da ação, da fala, da escrita, do desenho (KRAPAS, 1997). Para Moreira *et al* (2002) os modelos mentais são expressos de forma semelhante às estruturas e aspectos que

correspondem a uma situação que o representa, desempenhando um papel funcional, análogo e direto. Portanto, os modelos mentais estão diretamente relacionados à capacidade de compreensão e raciocínio do sujeito e que já foram imaginados e repensados, estando sempre em evolução. (SANTOS *et al*, 2015).

A função e significados de cada representação é o ponto central para suas diferenciações sendo as imagens e modelos mentais consideradas representações de alto nível para o entendimento da cognição humana (JOHNSON-LAIRD, 1987). Tanto os modelos mentais como as representações na forma de imagem são suscetíveis a mudanças, ou seja, instáveis nas estruturas cognitivas do indivíduo, uma vez que podem sofrer reconstruções na medida em que o sujeito adquire novas percepções e interpretações do mundo externo (MOREIRA, 1996; MOREIRA *et al*, 2002).

A teoria dos modelos mentais contribui de forma significativa para uma reflexão sobre a cognição humana (KRAPAS *et al*, 1997; QUINTO; FERRACIOLI, 2008). Por isso, as representações mentais propostas por Johnson-Laird (1987) apresentam-se como um foco importante de pesquisa para compreender o processo de construção de conhecimento no sujeito (GIBIN, 2013; SANTOS *et al*, 2015).

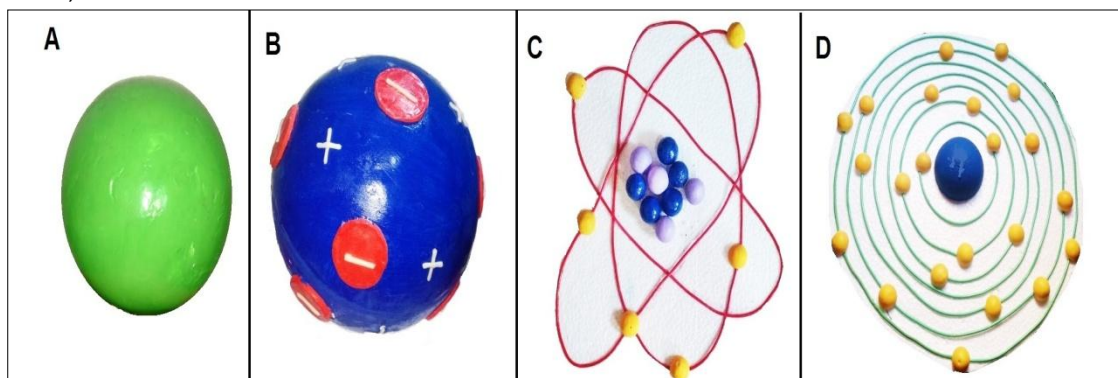
METODOLOGIA

O estudo foi de natureza básica com uma abordagem quali-quantitativa e descritiva quanto aos objetivos, caracterizando-se como uma pesquisa-ação (GIL, 2010). Assim, a pesquisa é caracterizada por apresentar uma abordagem descritiva e exploratória (LÜDKE; ANDRÉ, 2013). A proposta metodológica foi realizada nos meses de agosto e setembro do ano de 2018, em uma escola pública de Ensino Fundamental (Unidade Escolar Luiz Miguel Budaruiche) da rede municipal de educação da cidade de Timon, MA. A turma era de 9º ano (32 alunos com uma média de faixa etária entre 14 e 16 anos).

A pesquisa ocorreu durante as aulas semanais da disciplina de Ciências e em três etapas. A primeira com aulas duplas semanais de 50 minutos sobre os aspectos científicos dos modelos atômicos, leituras de textos acerca da composição da matéria e resolução de exercícios no quadro branco com apoio do livro didático dos alunos.

Na primeira etapa houve utilização dos modelos didáticos dos modelos atômicos confeccionados previamente pelos pesquisadores. A produção dos modelos surgiu a partir das observações durante as primeiras aulas teóricas e expositivas, as quais os estudantes apresentaram dificuldades em compreender os conceitos e visualizar as estruturas subatômicas espaciais dos átomos. Os modelos didáticos desenvolvidos para o ensino e aprendizagem dos modelos atômicos (Figura 1) foram produzidos com bolas e placas de EPS (Poliestireno Expandido), 8 metros de fios de cobre (3 da cor vermelha e 5 da verde), massa de biscuit, tintas, cola de silicone e verniz vitral para um acabamento brilhante e transparente dos modelos didáticos.

Figura 1. Modelos didáticos dos modelos atômicos feitos pelos pesquisadores. 1A. Dalton; 1B. Thomson; 1C. Rutherford; 1D. Bohr



Fonte: Os autores (2018).

Todos os modelos didáticos seguiram as referências didáticas para o Ensino Fundamental proposto pelos autores Passos e Sillos (2015) e foram feitos sem escala e cores fantasia. Os modelos didáticos das estruturas do átomo propostas por Dalton e Thomson são tridimensionais. As esferas de isopor foram cobertas de massa biscuit pintadas de diferentes cores para diferenciar os prótons (azul), elétrons (vermelhos e amarelos) e nêutrons (roxos). Os três metros de fios de cobre na cor vermelha serviram para representar a eletrosfera no modelo atômico de Rutherford, enquanto que os cinco metros de fio de cobre na cor verde foram para produzir as sete camadas eletrônicas descritas no modelo atômico de Bohr. Ambos os modelos são bidimensionais e foram confeccionados na base de isopor.

Os modelos didáticos elaborados pelos autores foram recursos centrais para o desenvolvimento das aulas semanais de Ciências. Assim, os conteúdos dos modelos atômicos foram discutidos com base nos modelos didáticos para que servissem, posteriormente, de referência na modelização efetuada pelos alunos na proposta metodológica.

Ainda na primeira etapa, os alunos foram divididos em grupos com quatro integrantes com o objetivo de cada equipe desenvolver os modelos didáticos dos quatro modelos atômicos (Dalton, Thomson, Rutherford e Bohr) estudados na sala de aula. Nesse ponto, os pesquisadores esclareceram e incentivaram os estudantes quanto às formas e viabilidades de construir modelos didáticos com materiais de baixo custo, fácil obtenção e soluções criativas.

Como a atividade de modelização didática é relativamente lenta, os 8 grupos de alunos de 4 integrantes construíram seus modelos didáticos como trabalho extraclasse. Assim, em data estipulada (21 dias após a primeira etapa) pelos pesquisadores ocorreu a segunda etapa, sendo a apresentação dos modelos didáticos desenvolvidos pelos grupos de alunos em forma de seminários. Além disso, houve uma discussão geral sobre a produção dos modelos didáticos por parte dos alunos e dos conteúdos conceituais dos modelos atômicos.

Na terceira etapa (aplicada 21 dias após a segunda) aplicou-se um teste com a finalidade de averiguar a assimilação dos conteúdos conceituais com a construção dos modelos pelos alunos. O teste possuía uma questão com quatro itens: (1) Descreva o que você entendeu sobre os modelos atômicos de: (a) Dalton; (b) Thomson; (c) Rutherford e (d) Bohr.

As respostas dos alunos no teste serviram para identificar os tipos de representações mentais que os alunos formularam sobre os modelos atômicos. Desse modo, os 30 testes (com 120 respostas) se referem às interpretações, explicações e representações dos alunos sobre os modelos atômicos. A identificação das representações mentais utilizados pelos estudantes foi baseada na análise das características atribuídas aos conceitos relativos ao estudo do conteúdo, como abordam também os estudos de Freitas Filho *et al* (2009), Gibin (2013) e Santos *et al* (2015). É importante ponderar que um aluno pode apresentar mais de

um tipo de representação mental, uma vez que depende de como o estudante explica o modelo atômico.

As respostas dos estudantes foram categorizadas de acordo com a Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird (1987) em: Proposicionais (P), Imagem Mental (IM) e Modelo Mental (MM). Desta forma, os dados analisados referem-se às informações contidas nas observações verificadas pelo professor em sala aula e durante as apresentações dos modelos didáticos construídos pelos estudantes, bem como das respostas dos alunos no teste após a modelização didática.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas primeiras aulas com os modelos didáticos, os estudantes focalizavam somente em identificar qual cientista propôs cada modelo atômico, sobretudo, através das analogias “bola de bilhar”, “pudim de passas” e “modelo planetário”. Isso significa dizer que, essas famosas analogias e associações entre os modelos levam os alunos apenas a uma memorização da representação do modelo atômico, retirando dos estudantes uma capacidade de interpretá-los (MEDEIROS *et al*, 2013; MELO; LIMA NETO, 2013).

De fato, não havia, de modo geral, uma atenção dos alunos em compreender os conceitos e significados das estruturas que formam o átomo, conforme Dalton, Thomson, Rutherford e Bohr. Por exemplo, os alunos sinalizavam qual era o modelo atômico de Thomson, mas não apresentavam as características elucidadas pelo cientista que criou o tal modelo.

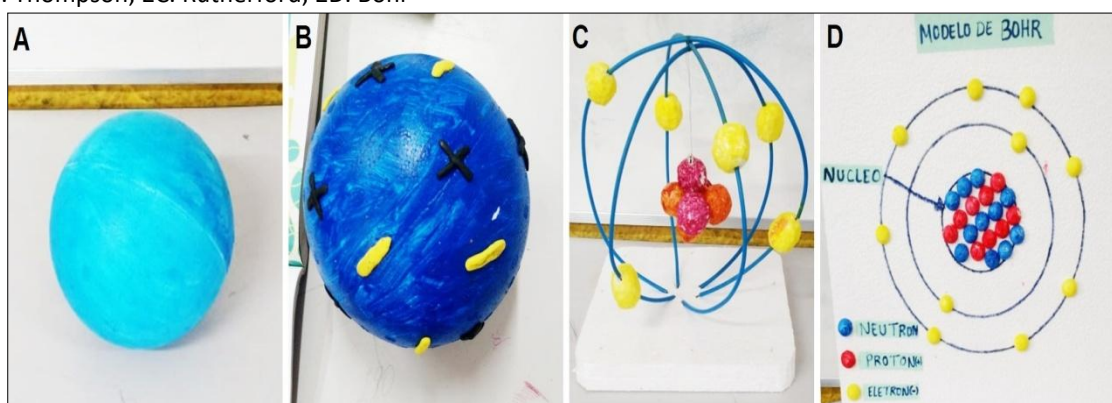
Com o decorrer do manuseio dos modelos didáticos durante as aulas pelos alunos, notou-se entre os estudantes realizaram discussões sobre as características e conceitos dos modelos atômicos, bem como o desenvolvimento de uma autonomia para manusear os modelos didáticos. Para Pozo e Crespo (2009), o aluno autônomo durante as aulas é um indicador de sua participação na construção de seus conhecimentos e na obtenção dos conteúdos conceituais de maneira significativa na educação científica.

As questões que os alunos colocaram nas discussões que envolviam os modelos atômicos com base nos modelos didáticos permitiram o professor identificar alguns

conhecimentos assimilados pelos alunos durante as aulas expositivas. Por exemplo, o átomo ser considerado, inicialmente, indivisível e maciço, os significados e conceitos das cargas elétricas das partículas subatômicas de elétrons, prótons e nêutrons, eletrosfera, núcleo atômico e camadas eletrônicas. Notou-se que na socialização dos conhecimentos entre os estudantes houve avanços em seus argumentos, uma vez que não se limitaram em identificar qual modelo atômico cada cientista propôs, mas em caracterizá-los.

Quanto a atividade de modelização didática por parte dos alunos, foi possível observar que a produção dos modelos didáticos incentivou os discentes a uma reflexão e pesquisas bibliográficas sobre as características e conceitos dos modelos atômicos. Na realização e apresentação dos trabalhos de modelagem didática, foram confeccionados 32 modelos (8 grupos) representando os diferentes modelos atômicos de Dalton, Thomson, Rutherford e Bohr. Na Fig. 2 é possível observar alguns exemplos dos trabalhos de modelização didática dos alunos.

Figura 2. Exemplos de modelagem didática feita pelos alunos representando os modelos atômicos. 2A. Dalton; 2B. Thompson; 2C. Rutherford; 2D. Bohr



Fonte: Os autores (2018).

Uma das características dos modelos didáticos produzidos pelos alunos é que todos modelaram os modelos atômicos com diferentes tamanhos e cores. Alguns feitos em formatos tridimensionais (Dalton, Thomson e Rutherford) e bidimensionais (Bohr), como expressa a Figura 2. Apesar dos alunos terem relatado algumas dificuldades na elaboração dos modelos didáticos, pode-se dizer que a atividade de modelagem obteve sucesso, uma vez que a proposta favoreceu de forma significativa a busca de informações sobre os modelos atômicos para elaborá-los e apresentá-los.

Além disso, a atividade instigou os estudantes a argumentarem acerca das características, conceitos e significados dos modelos didáticos atômicos confeccionados. Desta forma, nas produções dos modelos didáticos têm-se a oportunidade do professor estabelecer maiores vínculos entre as aulas teóricas e a prática pedagógica de modelização, tornando o aluno um sujeito ativo e interativo nos processos de aprendizagem (GRECA; SANTOS, 2005; FERREIRA; JUSTI, 2008).

É interessante pontuar que durante as apresentações dos modelos atômicos seguido das discussões, ficou claro que os alunos estudaram os conceitos abordados nos diferentes modelos atômicos, uma vez que se constataram explicações por parte dos estudantes referentes aos conhecimentos científicos sobre a construção e conceitos postulados pelos cientistas Dalton, Thompson, Rutherford e Bohr para explicar a composição dos átomos.

Também foi possível verificar que a confecção dos modelos atômicos fez com que os alunos compreendessem os acréscimos de cada teoria para explicar o átomo, bem como a maior parte dele é composta por espaço vazio, como defende Rutherford e Bohr. Desse modo, evidenciou-se que os estudantes perceberam que os modelos atômicos são construções humanas, resultado do desenvolvimento científico e tecnológico.

Por conta disso, os modelos didáticos são ferramentas eficazes para auxiliar os estudantes a visualizar processos que ocorrem a nível celular, o que permite explicações em aspectos tridimensionais para as estruturas estudadas (GRECA; SANTOS, 2005; SILVA *et al*, 2017). Outro ponto destacável é que, a modelização didática torna os conteúdos científicos palpáveis para os alunos (FERREIRA; JUSTI, 2008; ASTOLFI; DEVELAY, 2012).

Assim, com a modelização didática realizada pelos estudantes tornou-se possível o professor notar a assimilação de alguns termos e significados que foram expressos nas aulas teóricas e dialogadas. Tais observações corroboram com resultados encontrados por Chagas (2015), Silva *et al* (2017) ao afirmarem que atividades de modelização são capazes de despertar o interesse dos alunos pelos conteúdos conceituais, promovendo o desenvolvimento da imaginação, reflexão e raciocínio.

A modelagem didática permitiu também aliar a construção de conhecimentos em Química com a produção artística dos alunos. Tendo isso em vista, Ferreira e Justi (2008) e Chagas (2015) afirma que os modelos didáticos não podem ser aplicados, puramente, como

uma ilustração da teoria vista em sala de aula. Por isso, a autor argumenta que os alunos sejam participativos nos processos que colocam a modelização didática para facilitar a aprendizagem.

Ao considerar a modelização didática como atividade prática, esta provocou uma experimentação física por parte dos alunos para que os estudantes desenvolvam uma capacidade de abstrair informações do objeto ou fenômeno abordado. Assim, a modelização didática permitiu que o professor estabelecesse uma estratégia que aproxime os alunos da visão macroscópica dos átomos para o mundo invisível da matéria (MELO; LIMA NETO, 2013; SILVA *et al*, 2015).

Em relação ao teste aplicado após a atividade de apresentação dos modelos didáticos, os dados apresentaram que os alunos demonstraram não possuir dificuldades em sistematizar uma representação mental dos modelos atômicos. Com essas representações externas (os desenhos) os alunos estabelecem as semelhanças entre o que pensam e o que representam (MOREIRA, 1996; BORGES, 1999).

Apesar das generalizações é importante mencionar que as representações mentais dos alunos são únicas, individuais, mas podem apresentar semelhanças entre si, capazes de serem agrupados em grupos de análises (MOREIRA, 1996; FREITAS FILHO *et al*, 2009; SANTOS *et al*, 2015). Ao total foram quantificadas 128 representações mentais, nas categorias proposicionais (P=5%), imagem mental (IM=16%) e modelo mental (MM=79%). Os resultados obtidos na atividade instrucional após a modelização didática foram sintetizados na Tabela 1.

Tabela 1. Tipos e quantidades de representações mentais elaboradas pelos alunos

Modelos atômicos	Representações mentais		
	Proposicionais	Imagem Mental	Modelo Mental
Dalton	02	02	30
Thompson	02	08	22
Rutherford	02	07	25
Bohr	01	03	24
Total	07	20	101

Fonte: Os autores (2018).

As representações proporcionais ocorrem devido às dificuldades de elaborar um modelo relacionado ao dos modelos atômicos. Percebe-se que essas representações são produtos da percepção dos alunos diante das estruturas dos átomos desvinculados com os modelos científicos propostos por Dalton, Thompson, Rutherford e Bohr. O número reduzido desse tipo de representação quando comparados com representações do tipo imagem e modelo mental, traduz que alguns alunos ainda não superaram a ideia de trabalhar com representações isoladas, memorizadas e sem significados. Sendo assim, é notável que os alunos formulem representações proposicionais através de construtores verbais (FREITAS FILHO *et al*, 2009).

Para Lagreca e Moreira (1999) isso é resultado da elaboração das representações dos estudantes serem a partir de conceitos isolados e sem interrelação com os modelos científicos. Por outro lado, o percentual de somente 5% para as representações proposicionais refletem que os estudantes desenvolveram capacidades de compreender as proposições e construir imagens e modelos mentais similares aos conceituais (MOREIRA, 1996; MOREIRA *et al*, 2002).

Nesse sentido, se percebe que o uso de modelos didáticos nos processos de ensino e aprendizagem dos modelos atômicos serviu para elaborar e reformular conceitos científicos pelos alunos, se diferenciando devido à autonomia dos estudantes para modelagem e manuseio dos modelos didáticos. Assim, os conhecimentos adquiridos em sala de aula e na modelização didática promoveram maiores estabilidades e clarezas nas estruturas cognitivas dos alunos (CHAGAS, 2015).

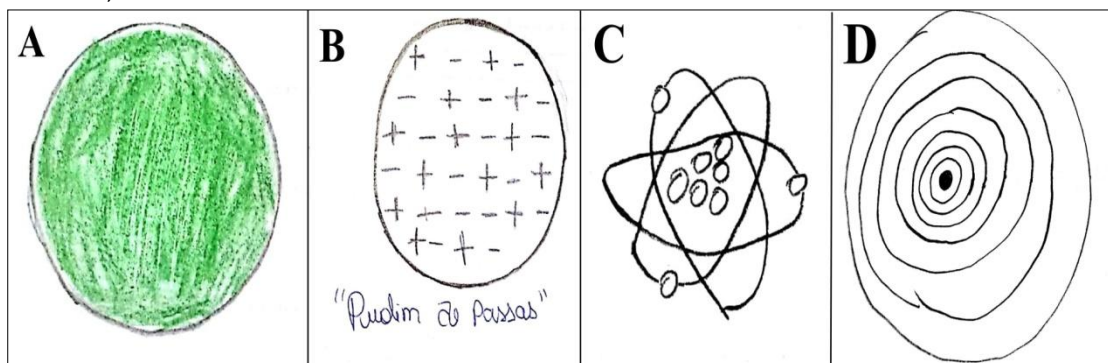
Ao trabalhar com ilustrações os estudantes costumam construir suas representações mentais mais imagísticas do que de proposições (MOREIRA; LAGRECA, 1998). Por isso, nessa categoria está agrupado um maior número de representações dos alunos. As 20 imagens mentais quantificadas expressam que os discentes apresentam equivalência com os modelos conceituais dos átomos.

Assim, imagens mentais dos modelos atômicos dos estudantes revelam que eles possuem, de modo geral, uma eficácia de (re) conhecer os modelos explicativos da matéria propostos por Dalton, Thomson, Rutherford e Bohr. Diante disso, fica entendido que as imagens mentais expressas pelos alunos são uma forma de representar as informações dos

átomos visualmente. Isso significa dizer que, as imagens mentais são formuladas com auxílio da memória, com base nas ilustrações que o sujeito já tenha visto as fixando em suas estruturas cognitivas (BORGES, 1999).

Na Figura 3 são observados exemplos de representações mentais elaboradas pelos estudantes do tipo imagem. Nota-se que os alunos possuem representações mentais em que há uma ausência de articulações dos conceitos e símbolos. Em muitos casos, os discentes apresentam somente uma representação espacial dos modelos atômicos sem caracterizá-los.

Figura 3. Exemplos de representações de imagens mentais elaboradas pelos alunos 2A. Dalton; 2B. Thomson; 2C. Rutherford; 2D. Bohr



Fonte: Os autores (2018).

As faltas dos significados dos símbolos usados para explicar os modelos atômicos expressos nas representações dos estudantes denotam que os alunos ainda não apresentam uma capacidade de atribuir as percepções e interpretações das teorias dos modelos atômicos vistos em sala de aula. Desta forma, os discentes que utilizam uma predominância de imagens e símbolos possuem uma concepção puramente imagística, ocorrendo uma ausência de explicações do modelo (MOREIRA, 1996; LAGRECA; MOREIRA, 1999; BORGES, 1999). Por sua vez, não construindo necessariamente o modelo científico, contudo responde, mesmo que parcialmente ao problema proposto (GIBIN, 2013).

Os alunos expressaram representações mentais em que os modelos estão descaracterizados, há somente uma demonstração pictórica dos modelos atômicos. Assim, tem-se na imagem mental do modelo atômico de Dalton a representação da esfera preenchida como uma "bola de bilhar"; em Thomson o uso da analogia "pudim de passas" e

simbologias das cargas elétricas dos elétrons e prótons; no Rutherford uma imagem mental do núcleo atômico e eletrosfera, mesmo os alunos não identificando a localização e cargas elétricas das partículas de elétrons, prótons e nêutrons e, no de Bohr uma representação mental do núcleo e camadas eletrônicas, sem a presença dos elétrons.

Pode-se observar que as estruturas dos átomos para as respostas dos alunos na categoria de imagens mentais se aproximam dos modelos científicos. Desse modo, as imagens mentais formam um início de modelos explicativos para o problema proposto e são vistas de modelos mentais (MOREIRA, 1996; LAGRECA; MOREIRA, 1999; MOREIRA *et al*, 2002).

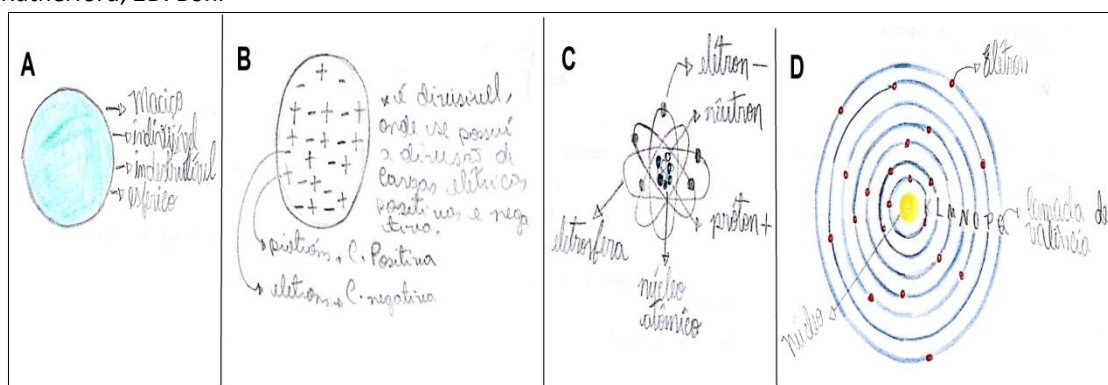
Outro fator que contribui para que os alunos demonstrassem representações do tipo imagem mental foram as analogias atribuídas aos modelos atômicos. No exemplo na Figura 3B o aluno apresenta somente a analogia do "pudim de passas" para explicar o modelo atômico de Thompson, algo que também foi recorrente a "bola de bilhar" e "modelo planetário" para os modelos de Dalton, Rutherford e Bohr, respectivamente. Contudo, dentre as representações de imagem mental o modelo de Thompson foi o que apresentou o maior número (IM=08) das representações em função da analogia.

Apesar das analogias serem usadas com o objetivo de aproximar os modelos conceituais e abstratos para o mundo real dos alunos elas podem gerar conceitos e impressões equivocadas dos conteúdos conceituais (GALAGOVSKY; ADÚRIZ-BRAVO, 2001; MELO; LIMA NETO, 2013). Assim, a utilização de analogias nos processos de ensino e aprendizagem dos modelos atômicos podem levar os alunos a possuir somente uma percepção macroscópica. Isto é, os estudantes elaboram uma imagem do átomo criada com base no enunciado das analogias, em muitos casos, limitando as explicações do modelo atômico.

Quanto às representações do tipo modelos mentais, as respostas dos alunos correspondem a desenhos que desempenham um papel análogo as teorias dos modelos atômicos. De certo modo, os modelos mentais apresentados pelos estudantes são reflexos de aspectos relevantes dos modelos científicos, correspondendo a mundo real e imaginário (GALAGOVSKY; ADÚRIZ-BRAVO, 2001; MOREIRA *et al*, 2002).

De maneira mais geral, é possível apontar na Tabela 1 que os alunos elaboram um maior número de representações do tipo modelos mentais (MM=105). Nesse sentido, se observa na Figura 4 que os desenhos pictóricos dos alunos demonstram maiores explicações das partículas subatômicas que compõem os átomos. Com isso, torna-se possível atribuir que houve uma compreensão conceitual dos modelos atômicos por parte dos alunos.

Figura 4: Exemplos de representações de modelos mentais elaboradas pelos alunos 2A. Dalton; 2B. Thomson; 2C. Rutherford; 2D. Bohr



Fonte: Os autores (2018).

Analisando a Figura 4, percebe-se que os alunos demonstraram um maior domínio dos conceitos e significados que cercam as explicações dos átomos propostas por Dalton, Thomson, Rutherford e Bohr. Por esses motivos, os estudantes que apresentam essas representações possuem a capacidade de estabelecer ligações com os conceitos quando abordados pelo professor (LAGRECA; MOREIRA, 1999).

As proposições e significados que foram atribuídos nos modelos mentais dos alunos denota que os estudantes apresentam capacidade de compreender modelos científicos, entendendo situações e contextos diferentes trabalhados em sala de aula. Esses resultados para Moreira e Lagreca (1998) indicam que os alunos podem formar modelos mentais mais elaborados com funções explicativas a partir da aquisição de conhecimentos científicos.

De acordo com a Figura 4, nas representações de modelos mentais os alunos já percebem que o modelo atômico de Dalton explica a matéria como uma partícula esférica, maciça, indestrutível e sem carga elétrica. No modelo de Thomson já também é visto como partícula esférica, mas com subpartículas de carga elétrica positiva (prótons) e negativa (elétrons).

Na Figura 4C os estudantes desenvolvem uma representação lógica da estrutura atômica proposta por Rutherford. Observa-se que há uma compreensão de que o núcleo atômico é formado pelos prótons e nêutrons, bem como a localização dos elétrons, girando na eletrosfera. Outro ponto notável nos modelos mentais dos alunos acerca do modelo de Rutherford é que, em geral, as representações da estrutura do átomo foram feitas em concordância de que o número de elétrons é igual ao número de prótons.

Nos modelos mentais do modelo atômico de Bohr, conforme Figura 4D é possível verificar que os alunos definem a estrutura atômica constituída por sete camadas eletrônicas ou níveis de energia (K, L, M, N, O, P e Q), em que os elétrons se movimentam ao redor do núcleo. Nota-se que, a maioria dos alunos definiu em seus modelos o conceito da camada de valência, camada de elétron mais distante do núcleo.

Desta forma, os modelos mentais estão relacionados diretamente com a capacidade de compreender determinados conteúdos pelo sujeito (FREITAS FILHO *et al*, 2009; SANTOS *et al*, 2015). O que se configura como um modelo que existe na mente do indivíduo, resultado de sua imaginação e internalização de modelos simplificados da realidade e do campo científico (MOREIRA, 1996; BORGES, 1999).

Convém salientar, portanto, que os modelos mentais construídos pelos alunos são resultados das descrições, explicações e atividades da prática docente. Isso também significa dizer que, os conteúdos conceituais dos modelos atômicos foram compreendidos, ou seja, estáveis nas estruturas cognitivas dos alunos (BORGES, 1999; MOREIRA *et al*, 2002). Assim, os estudantes que possuem a capacidade de relacionar e interpretar seus modelos mentais explicativos e funcionais é um indicativo de que houve uma aprendizagem dos conhecimentos científicos (GIBIN, 2013; SANTOS *et al*, 2015)

Os métodos da prática docente influenciam diretamente na criação das representações mentais dos alunos (FREITAS FILHO *et al*, 2009). Nesse sentido, é notável que tanto os modelos feitos pelos pesquisadores como a modelização didática efetuada pelos alunos contribuíram para a ampliação dos conceitos dos modelos atômicos, bem como na criação do maior número de representações do tipo imagem e modelo mental. Por isso, os alunos não apresentaram dificuldades em elaborar suas representações, principalmente, por meio de imagens e símbolos e proposições verbais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A modelagem didática apresentou-se como uma prática docente de baixo custo e fácil obtenção. A proposta de trabalhar com modelos didáticos na aprendizagem dos modelos atômicos no Ensino Fundamental se mostrou um método viável para o ensino de Química. Uma das vantagens do uso de modelos didáticos na sala de aula foi a possibilidade dos alunos manipularem os materiais em nível macroscópico. Além disso, o uso dos modelos didáticos pode fomentar a utilização da história da Química na compreensão e construção dos modelos atômicos que se modificaram ao longo do tempo.

Os resultados obtidos mostraram que a atividade de modelização didática permitiu que os alunos compreendessem os modelos atômicos de forma mais clara, objetiva e palpável. Com a produção e apresentação dos modelos didáticos pelos alunos foi possível constatar que os discentes apresentaram evoluções na capacidade identificar e caracterizar os modelos atômicos propostos por Dalton, Thomson, Rutherford e Bohr.

Assim, entende-se que a construção dos modelos didáticos pelos discentes não se afigurou como uma atividade mecânica, de repetição dos modelos feitos pelos pesquisadores, fato que pode ser comprovado pela eficácia dos alunos em fazer análises, interpretações e reflexões sobre a estrutura atômica dos átomos, bem como pelas representações do tipo imagem e modelo mental.

O uso dos desenhos pictóricos para a representação mental dos alunos ocorreu de forma satisfatória. As reflexões em torno das representações mentais dos estudantes demonstrou que, na maioria das vezes, o indivíduo pode fazer uso de mais de um tipo de representação para explicar os diferentes modelos atômicos.

As análises das representações mentais indicam que os alunos não apresentam dificuldades em compreender os modelos atômicos quando trabalhados com base na modelagem didática. Outro ponto importante é que os modelos didáticos estimularam os alunos a desenvolverem um maior número de representações do tipo imagem e modelo mental. Com isso, torna-se possível afirmar que os alunos tiveram uma compreensão da linguagem científica dos modelos atômicos.

As representações mentais são instáveis, suscetíveis de mudanças na medida em que são atribuídos novos significados aos conceitos. Desse modo, acredita-se que os alunos progredirem com uma melhor aprendizagem ao longo dos estudos acerca da composição e transformação da matéria, apresentados no Ensino Médio.

REFERÊNCIAS

ASTOLFI, J. P.; DEVELAY, M. **A didática das ciências**. Magda Sento Sé Fonseca [tradução]. 16 ed. Campinas/SP: Papirus, 2012.

BORGES, A. R. Como evoluem os modelos mentais, **Ensaio**, Belo Horizonte, v. 1, n. 1, jan./jun., p. 66-92, 1999.

CHAGAS, D. H. **A construção de modelos mentais e a experimentação no ensino de modelos atômicos**. 2015. 21 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática). Universidade Cruzeiro do Sul, Cruzeiro do Sul/RS, 2015.

FREITAS FILHO, J. R.; et al. Modelos mentais dos estudantes do ensino médio e a química dos alimentos, **R.B.E.C.T.**, v. 2, n. 3, set./dez., p. 79-91, 2009.

GALAGOVSKY, L.; ADÚRIZ-BRAVO, A. Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales: en concepto de modelo didático analógico, **Enseñanza de las Ciencias**, v. 19, n. 2, p. 231-242, 2001.

GIBIN, G. B. **Atividades experimentais investigativas como contribuição ao desenvolvimento de modelos mentais de conceitos químicos**. 2013. 240f. Tese (Doutorado em Ciências). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos/SP, 2013.

GRECA, I. M.; SANTOS, F. M. T. Dificuldades da generalização das estratégias de modelação em ciências: o caso da física e química. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 1, p. 31-46, 2005.

JOHNSON-LAIRD, P. Modelos mentais em ciência cognitiva. In: NORMAN. D. (Ed.). **Perspectivas de la Ciência Cognitiva**. Barcelona: Paidós, 1987.

JOHNSTONE, A. H. Chemical education research: where from here? **University Chemistry Education**, v. 4, n. 1, p. 34-38, 2000.

_____. The development of chemistry teaching. **University Chemistry Education**, v. 70, n. 9, p. 701-705, 1993.

KRAPAS, S.; et al. Modelos: uma análise de sentidos na literatura de pesquisa em ensino de ciências. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 2, n. 3, p. 185-205, 1997.

LAGRECA, M. C. B.; MOREIRA, M. A. Tipos de representações mentais utilizadas por estudantes de Física Geral na área de mecânica clássica e possíveis modelos mentais nessa área. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 21, n. 1, p. 202-215, 1999.

LÜDKE M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. 2. ed. São Paulo: EPU, 2013.

MEDEIROS, L. L; et al. A construção dos modelos atômicos em uma abordagem histórica à luz da natureza do conhecimento científico: uma experiência do PIBID-Química da UFRN. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 9., 2012, Águas de Lindóia/SP. **Anais... Águas de Lindóia/SP**, 2013.

MELO, M. R.; LIMA NETO, E. G. Dificuldades de ensino e aprendizagem dos modelos atômicos em química. **Química Nova na Escola**, v. 15, n. 2, p. 112-122, 2013.

MOREIRA, M. A. Modelos mentais. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 1, n. 3, p.193-232, 1996.

_____; et al. Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza & aprendizaje de las ciencias, **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, Porto Alegre, v. 2, n. 3, p. 37-57, 2002.

_____; LAGRECA, M. C. B. Representações mentais dos alunos em mecânica clássica: três casos. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 3, n. 2, p. 83-106, 1998.

PASSOS, E.; SILLOS, A. **Tempo de ciências** 9. 2. ed. São Paulo: Editora do Brasil, 2015.

POZO, J. I.; CRESPO, M. A. **A aprendizagem e o ensino de ciências: do desenvolvimento cotidiano ao conhecimento científico**. Naila Freitas [tradução]. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

QUINTO, T.; FERRACIOLI, L. Modelos e modelagem no contexto do ensino de ciências no Brasil: uma revisão de literatura de 1996-2006, **Revista Didática Sistemática**, v. 8, jul./dez., p. 80-100, 2008.

SANTOS, A. C. O.; et al. Identificando modelos mentais de equilíbrio químico: uma alternativa para a melhoria do processo de ensino e aprendizagem, **Revista Fórum Identidades**, v. 18, n. 9, maio/ago., p. 35-56, 2015.

SILVA, G. R.; et al. Modelos para o átomo: atividades com a utilização de recursos multimídia. **Química Nova na Escola**, v. 37, n. 2, p. 106-111, 2015.

SILVA, T. S.; et al. Construção de modelos moleculares com material alternativo e sua aplicação em aulas de química, **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 12, n. 2, p. 104-117, 2017.