

# DESENVOLVIMENTO DE MODELOS MENTAIS POR MEIO DA ELABORAÇÃO E APLICAÇÃO DE MODELOS FÍSICOS ALTERNATIVOS PARA O ENSINO DE ATOMÍSTICA

## *MENTAL MODELS DEVELOPMENT THROUGH THE ELABORATION AND APPLICATION OF ALTERNATIVE PHYSICAL MODELS FOR THE TEACHING OF ATOMISTICS*

**Gabriela Martins Piva<sup>1</sup>**

gabipiva@outlook.com

**Letícia França de Almeida<sup>1</sup>**

l3thyhya\_@hotmail.com

**Rodolfo Kasuyoshi Kohori<sup>2</sup>**

rktomqui@gmail.com

**Gustavo Bizarria Gibin<sup>1</sup>**

gustavo.gibin@unesp.br

*1 - UNESP – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – Campus Presidente Prudente*

*2 - Escola Estadual Fernando Costa – Presidente Prudente - SP*

### RESUMO

Conceitos abstratos no ensino de Química são recorrentes, logo, muitos estudantes apresentam dificuldades na compreensão dessa ciência. Em vista dessa complexidade, o presente trabalho aborda o tema de modelos atômicos e outros conceitos importantes relacionados, como modelo científico, geometria molecular e ligação química. O referencial teórico empregado no trabalho a fim de explorar essa compreensão é a teoria de modelos mentais de Johnson-Laird (1983). Foram desenvolvidos modelos físicos com materiais alternativos e de baixo custo para favorecer o processo de elaboração e possíveis aprimoramentos dos modelos mentais dos alunos sobre os conceitos abordados. Os modelos físicos foram aplicados em aulas regulares de Química em uma parceria com uma escola estadual de Educação Básica do município de Presidente Prudente - SP. A metodologia permitiu que fosse realizado o levantamento dos modelos mentais dos alunos por meio da escrita, representações em forma de desenhos e de modelos físicos. A partir do estudo efetuado, observaram-se avanços nos modelos mentais expressos pelos alunos em relação aos conceitos abordados. Portanto, o emprego de modelos físicos alternativos nas atividades didáticas favoreceu uma evolução nos modelos mentais dos alunos sobre o conceito de modelo atômico e outros relacionados ao facilitar a diminuição de ideias equivocadas e/ou simplistas.

**PALAVRAS-CHAVE:** modelo molecular; modelo atômico; materiais alternativos; modelos mentais; representações.

## ABSTRACT

*Abstract concepts in Chemistry teaching are recurrent, so many students present understanding difficulties in this science. In view of this complexity, the present study approaches the theme of atomic models and other important concepts related such as scientific model, molecular geometry and chemical bonding. The theoretical reference used in this work is Johnson-Laird's (1983) theory of mental models. Physical molecular models, with alternative and low cost materials, were developed in order to explain the concept and promote improvements in the student's mental models about the atomic models and related concepts under discussion. The physical models were used in regular Chemistry classes in a partnership with a state school of Basic Education of the city of Presidente Prudente - SP. The methodology also allowed to infer the mental models of the students through writing, drawings and physical models. According to the research, there were advances in the mental models expressed by students in relation to the concepts approached. Therefore, the use of alternative physical models in the didactic activities favored an evolution in the students' mental models about the concept of atomic model and others related, facilitating the reduction of mistaken and / or simplistic ideas.*

**KEYWORDS:** *molecular model; atomic model; alternative materials; mental models; representations.*

## INTRODUÇÃO

Durante a experiência do docente em sala de aula, é comum encontrar estudantes que relatam insatisfação ao estudar os conteúdos ministrados na disciplina de Química, devido a uma quantidade acentuada de conceitos, excesso de exigência de memorização, a ausência de uma relação com o cotidiano e, sobretudo, a conteúdos considerados abstratos para a compreensão (CARDOSO e COLINVAUX, 2000).

A pesquisa, realizada por Melo e Lima Neto (2013) com estudantes da 1ª série do Ensino Médio, evidencia essa dificuldade em relação ao conceito específico de modelo atômico. Ao investigar a compreensão por parte dos alunos sobre a estrutura do modelo atômico de Rutherford-Bohr com uma metodologia lúdica sobre o funcionamento de fogos de artifício, o trabalho apresenta que a maioria dos estudantes associou os átomos apenas como bolinhas de tamanho e massa extremamente pequenos e não os relacionou com o princípio conceitual abordado pelo modelo de Rutherford-Bohr, que de fato explica a luz emitida em fogos de artifício. Assim, os alunos se prenderam aos conhecimentos apenas do modelo atômico de Dalton, que considera o átomo como uma esfera rígida e maciça. Segundo França, Marcondes e Carmo (2009), essas dificuldades apresentadas pelos alunos se justificam na própria compreensão de que o átomo apresenta o núcleo e a eletrosfera.

Em muitos casos, os próprios livros didáticos podem contribuir para que os estudantes venham apresentar ideias equivocadas sobre os modelos atômicos. Melzer et al. (2009) apontaram que os livros analisados apresentam de forma mais recorrente os obstáculos epistemológicos realistas, nos quais fenômenos são explicados segundo as características macroscópicas e não são abordados os aspectos teóricos ou atômico-moleculares (submicroscópicos).

Desta forma, é notório que o conceito de modelo atômico é considerado complexo pelos estudantes devido suas abstrações. Porém, essas características não são exclusividade apenas

para o conceito de atomística mencionado, elas abrangem os outros conceitos químicos relacionados a esse, como modelo científico, ligações químicas e geometria molecular.

Modelos atômicos, ligações químicas e geometria molecular consistem em conteúdos relevantes ministrados na Química, e considerados abstratos para a compreensão do aluno, o que torna-se um verdadeiro desafio para o professor ao ter que lecioná-los. Contudo, embora esses conteúdos apresentem complexidades, são necessários para o ensino de Química em nível médio, e estão presentes no currículo das escolas públicas do estado de São Paulo. Esses são conceitos básicos necessários para que os alunos compreendam sobre a transformação e as propriedades da matéria (FINI, 2008).

De acordo com Johnstone (1993), há três níveis fundamentais para a compreensão da Química: o macroscópico, o simbólico e o submicroscópico. Cada uma dessas dimensões está relacionada com a compreensão dos conhecimentos químicos. Assim, o autor defende que o nível macroscópico é pautado pela observação de fenômenos comuns da natureza; já o simbólico tem relação com a linguagem única da química por meio de símbolos, e o submicroscópico representa o mundo em nível atômico e molecular.

À vista disso, Johnstone (1993) ainda relata que as dificuldades de compreensão na disciplina de Química estão relacionadas com a carência do entendimento de entidades teóricas como átomos e moléculas dentro de um contexto mental.

Esse contexto mental é descrito por Johnson-Laird (1983) como um modelo mental. Para o autor, os modelos mentais são como tijolos de construção no espaço cognitivo do cérebro humano. Esses tijolos podem ser arranjados de acordo com a necessidade de aprendizagem do aluno. De modo geral, define-se modelo mental como "*a representação interna de informações que corresponde analogamente com aquilo que está sendo representado*" (JOHNSON-LAIRD, 1983). Portanto, as pessoas reconstroem o mundo dentro de suas mentes para compreender eventos, objetos, conceitos e fenômenos, entre outros. Cabe salientar que Johnson-Laird foi o referencial teórico para esse trabalho.

Assim, Johnson-Laird (1983) aponta que cada tijolo de conhecimento adquirido auxilia na construção posterior de novos conhecimentos, além de que, depois de um modelo mental fixado, o aluno pode vir a desenvolver informações adicionais sobre os conteúdos aprendidos.

Johnson-Laird (1983) descreve que cada modelo pode ser composto por diversos elementos (*tokens* no original) que se referem a aspectos importantes do modelo mental. Por exemplo: na construção de um modelo mental sobre uma molécula, a polaridade pode ser um elemento, o tipo de ligação química consiste em outro elemento e a geometria molecular é outro elemento.

É importante salientar que cada pessoa constrói um modelo mental sobre um conceito ou fenômeno, portanto, é natural considerar que cada estudante desenvolva um modelo mental próprio, ou seja, é esperado que os modelos sejam diferentes. Além disso, os modelos mentais tornam-se uma importante ferramenta que permite a compreensão e o desenvolvimento cognitivo de cada aluno, de acordo com a visão que ele possui sobre aquilo que aprendeu (JOHNSON-LAIRD, 1983). Portanto, é importante que os professores tenham o conhecimento sobre os modelos mentais dos estudantes referentes aos conceitos científicos abordados em sala de aula.

Norman (1983) introduziu uma ideia à teoria dos modelos mentais ao apontar que as pessoas, ao construírem seus modelos mentais, apresentavam certas características gerais. Como os modelos são incompletos, pois os sujeitos possuem dificuldades em elaborar modelos completos, que tenham todos os elementos (*tokens*) necessários. Geralmente a habilidade das

peças executar esse modelo em suas mentes é limitada e depende do conhecimento sobre o tema. Os modelos tendem a ser instáveis e econômicos, pois as pessoas esquecem dos detalhes e tendem a criar modelos que sejam mais simplificados, e geralmente criam modelos semelhantes e confundir uns com os outros. Além disso, os modelos podem refletir comportamentos supersticiosos dos indivíduos sobre um dado sistema em estudo.

Com intuito de promover melhorias na compreensão sobre átomos e moléculas e, conseqüentemente, facilitar o desenvolvimento de modelos mentais por parte dos estudantes, no presente trabalho foram elaborados e aplicados modelos físicos alternativos. Lima e Lima Neto (1999) realizaram uma revisão na literatura, na qual apontam as diversas vantagens e desvantagens sobre modelos comerciais e alternativos. Eles levaram em conta nessa análise os aspectos ligados à viabilidade econômica, como preço, durabilidade, versatilidade, facilidade de construção, bem como aspectos didáticos, como possibilidades de uso e facilidade de posicionamento dos ângulos, dentre outros. Os autores defendem a importância da construção de modelos físicos pelos professores de Química, pois eles poderão adaptar os modelos para atender suas necessidades em relação ao número adequado de peças, forma de representação, versatilidade e flexibilidade, além do baixo custo.

Bunge (1974) defende que os modelos aplicados no ensino devem ser abordados de forma a estabelecer uma relação coerente entre o teórico e o real. É indispensável que tais modelos tenham a habilidade de representar a realidade e, simultaneamente, agregar as teorias trabalhadas nele, uma vez que as mesmas teorias são abstratas e, conseqüentemente, não se apresentam com clareza aos alunos. Portanto, o modelo físico alternativo deve ter o cuidado de não distorcer a realidade do conceito científico (FERREIRA, ARROIO e REZENDE, 2011).

Outra abordagem possível da aplicação de modelos físicos é discutir as possíveis limitações desses modelos com os alunos. Por exemplo, ao entregar uma maquete de um prédio para o aluno é possível estimular a compreensão de que modelos apresentam limitações funcionais, pois a maquete não possui a mesma funcionalidade que um prédio real; assim, pode-se elencar que maquetes são representações de algo e, analogicamente, expor que os modelos científicos tratam-se, também, de representações, e que, por isso, podem apresentar limitações (STACHOWIAK, 1972).

Assim, além do conceito de modelos atômicos, ligações químicas e geometria molecular, o modelo científico também foi abordado, de forma a enfatizar suas características, pois consiste em um assunto relevante para a aprendizagem dos demais conceitos.

Em vista das discussões apresentadas, o presente trabalho visa investigar se é possível favorecer um aprimoramento nos modelos mentais de alunos do Ensino Médio sobre modelos científicos, modelos atômicos, ligações químicas e geometria molecular ao aplicar modelos físicos alternativos durante as aulas ministradas, uma vez que, com o uso desses, a visualização torna-se mais efetiva, distanciando-se de ensinamentos apenas abstratos.

## **METODOLOGIA**

Foram desenvolvidas três atividades com os alunos do 3º ano do Ensino Médio de uma escola pública de Presidente Prudente - SP. No total, participaram quatro turmas, nomeadas como 3º A, 3º B, 3º C e 3º D. Assim, obteve-se um total de 102 alunos participantes.

Foram utilizados modelos físicos alternativos para auxiliar de forma mais efetiva a construção e aprimoramento dos modelos mentais dos estudantes. Assim, o intuito era que

os modelos físicos favorecessem o processo de construção dos modelos mentais para que estes fossem o mais próximo possível dos modelos científicos.

Foi aplicado um questionário inicial em todos os tópicos, a fim de analisar os modelos prévios expressos pelos alunos sobre cada conceito e, no final das atividades, um questionário final para analisar os possíveis aprimoramentos nos modelos mentais apresentados inicialmente.

Em vista disso, o principal objeto de estudo são as respostas dos alunos registradas nos questionários. A técnica de análise empregada foi a análise de conteúdo, de acordo com Bardin (1977), dado que notou-se que determinadas respostas poderiam ser organizadas em uma mesma categoria, devido ao fato de possuírem semelhanças. Nesses casos, criaram-se categorias ao elaborar novas expressões com palavras chaves dessas respostas.

O trabalho apresenta o atributo de pesquisa qualitativa, pois foi observada e discutida uma regularidade sobre as características das respostas com base nas categorias elaboradas a partir dessas.

Os modelos mentais expressos pelos alunos foram analisados por meio de diferentes instrumentos, como desenhos, escrita e construção de modelos tridimensionais. É relevante destacar que os resultados iniciais e finais podem ser comparados, visto que os alunos que participaram da atividade prévia são os mesmos que responderam o questionário após a atividade, pois os alunos que faltaram em um dos dias da aplicação das atividades tiveram seus dados desconsiderados.

As atividades desenvolvidas foram as seguintes:

#### **Primeira atividade: modelo científico**

Na primeira atividade, trabalhou-se o conceito de modelos científicos por meio de uma dinâmica na qual os estudantes precisam descobrir quais objetos estão dentro de uma caixa fechada. Assim, cinco caixas de isopor são lacradas com objetos desconhecidos pelos alunos, porém conhecidos pelos pesquisadores, como mostra a figura 1: a caixa aberta, uma moeda e uma colher. Todas as caixas tinham os dois mesmos objetos. A sala foi dividida em cinco grupos e cada um recebeu uma caixa.



**Figura 1:** Caixa com objetos desconhecidos pelos alunos, que foi posteriormente lacrada.

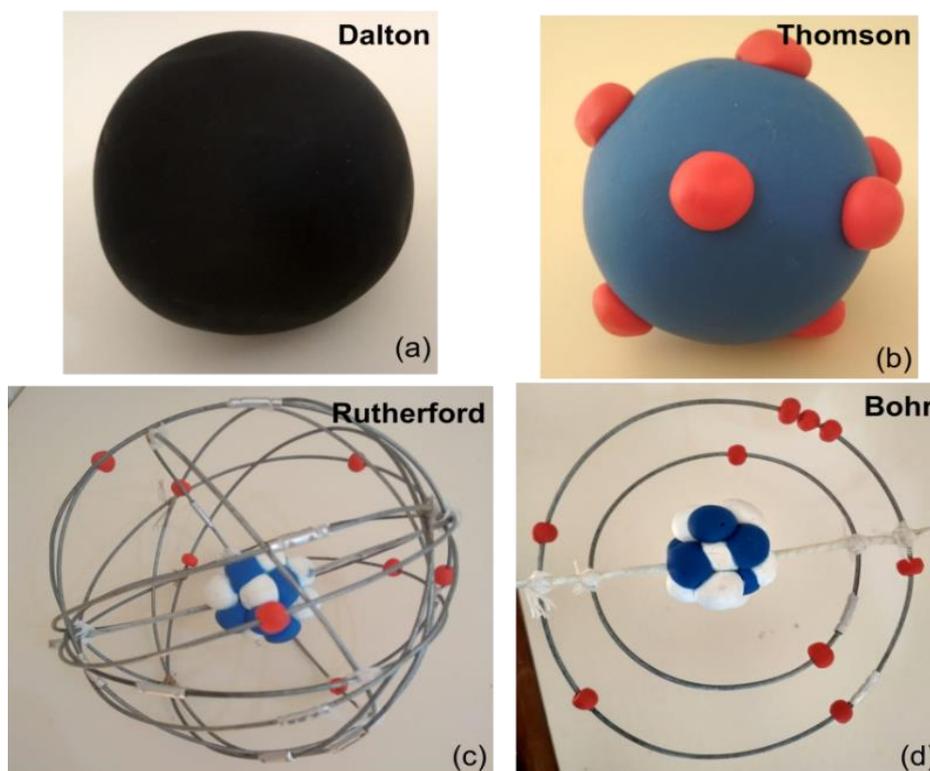
Fonte: Elaborado pelos autores.

Desta forma, a caixa foi utilizada como uma analogia em relação a um modelo científico. Os objetos desconhecidos dentro da caixa correspondem a um fenômeno científico, e os grupos deveriam desenvolver um “modelo científico” sobre os objetos no interior da caixa, ou seja, deveriam descobrir que havia uma colher e uma moeda sem abri-la, empregando a observação de evidências, como peso, formato dos objetos, se desliza dentro da caixa, dentre outros.

Após essa atividade, foi discutido o que é um modelo científico, a importância dos modelos para a Ciência e como é possível existir mais de um modelo científico para representar o mesmo fenômeno (assim como surgiram diferentes “modelos científicos” sobre os mesmos objetos das caixas).

### Segunda atividade: modelos atômicos

Os modelos apresentados nessa seção foram construídos pelos autores e utilizados para ensinar os conceitos químicos. A segunda atividade tratou o conceito de modelos atômicos por meio do emprego de modelos físicos construídos pelos autores, mostrados na figura a seguir, confeccionados com isopor, biscuit, tintas e arame. Os materiais utilizados são simples, de fácil acesso e baixo custo.



**Figura 2:** Modelos atômicos de (a) Dalton, (b) Thomson, (c) Rutherford e (d) Bohr, elaborados com isopor, biscuit, tintas e arame.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Durante a explicação dos conceitos, os modelos atômicos elaborados foram expostos e todos os alunos puderam manipular, observar e fazer perguntas se sentissem necessidade.

Além disso, uma dinâmica foi realizada na sala. Os alunos foram divididos em quatro grupos, no qual cada grupo representava um cientista (Dalton, Thomson, Rutherford e Bohr). O desafio de cada grupo era elaborar um modelo físico do modelo atômico referente ao átomo

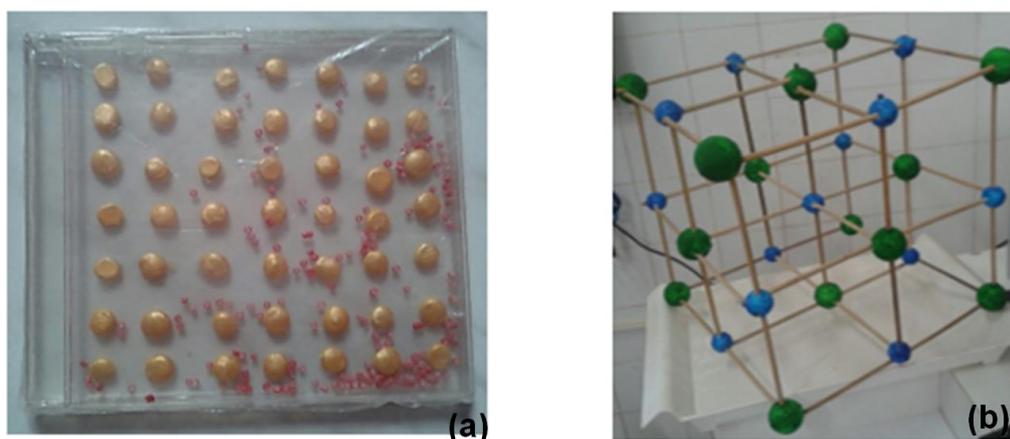
de hidrogênio, de acordo com as ideias do respectivo cientista e com os seguintes materiais disponíveis: giz colorido; canetas coloridas; bolas de isopor de diferentes tamanhos; adesivos com sinal de positivo e negativo para possível representação das cargas elétricas; tinta à base de água de diferentes cores; tiras metálicas finas; fita adesiva; tesoura e pincéis de diferentes tamanhos.

Assim, além de explorar os modelos físicos já elaborados, os alunos teriam a possibilidade de construir seu próprio modelo atômico. Outro ponto importante é que, ao montar seus próprios modelos atômicos, eles estariam expressando seus modelos mentais por meio de instrumentos tridimensionais, o que é uma ferramenta interessante para conhecer os seus modelos.

### Terceira atividade: ligações químicas e geometria molecular

Na terceira atividade, trabalharam-se os conceitos de ligações químicas e de geometria molecular. Durante a explicação, foram expostos os modelos físicos alternativos de cada ligação: metálica, iônica e covalente.

O modelo físico de ligação metálica (GIBIN, et al., 2018), apresentado na figura 3(a), foi elaborado com uma caixa de CD, biscuit, tinta e miçangas. Assim, a percepção da movimentação de elétrons (representados pelas miçangas) foi bem evidenciada nesse modelo, visto que é uma característica muito importante nesse tipo de ligação. Já as ligações iônicas foram representadas pela rede cristalina, indicada na figura 3(b). Esse modelo foi elaborado pelos autores do trabalho com isopor, palitos de churrasco e tintas de cores diferentes para diferenciar os íons. Desta forma, foi caracterizada a união dos íons pelas forças eletrostáticas, fenômeno importante das ligações iônicas.



**Figura 3:** Modelo físico alternativo de (a) ligações metálicas e (b) ligações iônicas.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para a ligação covalente, os modelos de átomos foram feitos com isopor e biscuit. Em alguns, colou-se velcro para representar os modelos físicos de ligação covalente por preenchimento espacial. Já em outros átomos colocaram-se porcas dentro do biscuit, possibilitando que o aluno rosqueassem com pedaços de parafusos rosca sem fim. A figura 4 evidencia esses dois tipos de modelos físicos construídos pelos autores do trabalho e são representados por meio da molécula de amônia.

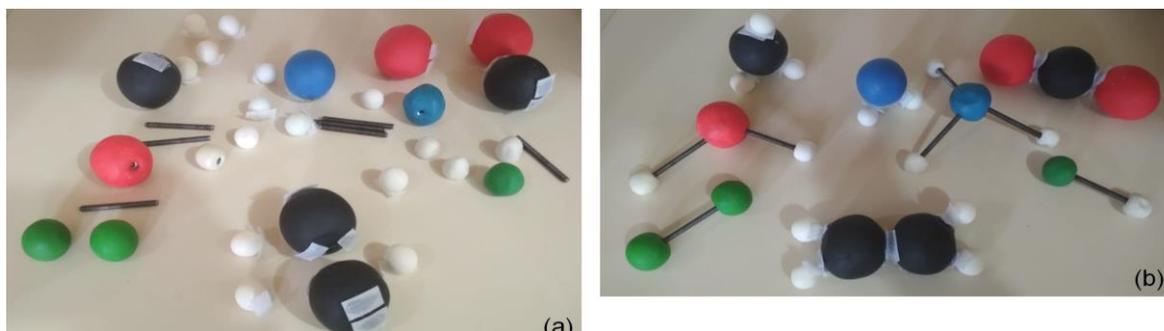


**Figura 4:** Modelo físico alternativo da molécula de amônia representada por preenchimento espacial e por esfera-bastão.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Por serem modelos diferentes, apresentam tamanhos diferentes, e tal fato foi explicado para os alunos a fim de evitar interpretações equivocadas.

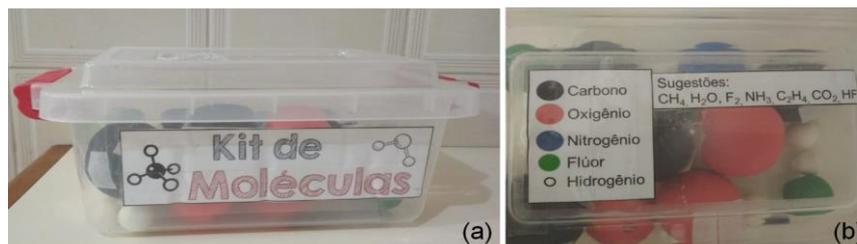
Com esses modelos físicos montaram-se quatro conjuntos de moléculas, nomeados como “kit de moléculas”. Cada conjunto permite a construção simultânea da molécula de metano ( $\text{CH}_4$ ), água ( $\text{H}_2\text{O}$ ), flúor ( $\text{F}_2$ ), amônia ( $\text{NH}_3$ ), eteno ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e o ácido fluorídrico ( $\text{HF}$ ). A figura 5 representa tal conjunto com as moléculas desmontadas e, posteriormente montadas.



**Figura 5:** Ligações covalentes representadas por diversas moléculas.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Com o intuito de facilitar a distribuição dos kits de moléculas para os alunos, utilizaram-se caixas organizadoras de plástico, conforme a figura 6(a). Além disso, para clareza do material, etiquetou-se com a identificação do kit, uma legenda das cores de cada átomo e sugestões de moléculas, de acordo com a figura 6(b).

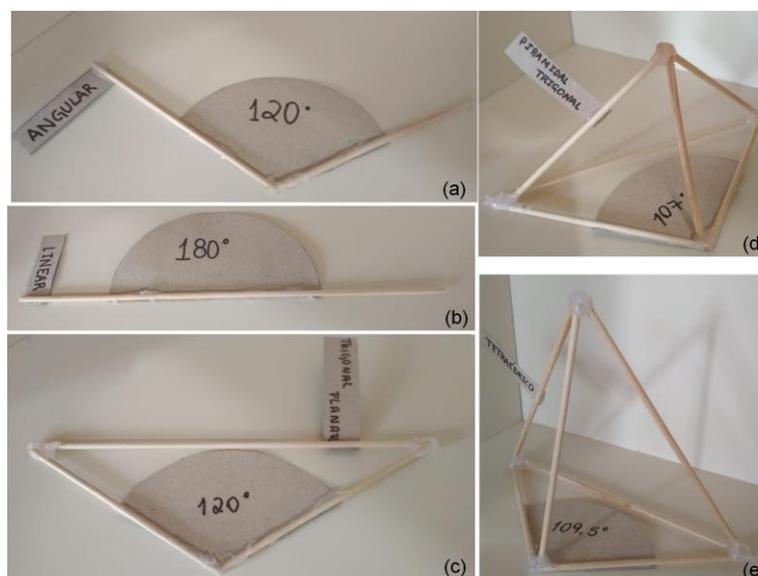


**Figura 6:** (a) kits de moléculas e (b) legenda da moléculas presentes no kit.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Assim, a sala foi dividida em quatro grupos e cada um recebeu o seu kit de moléculas. Cada grupo foi desafiado a montar pelo menos duas moléculas e explicar a geometria molecular envolvida.

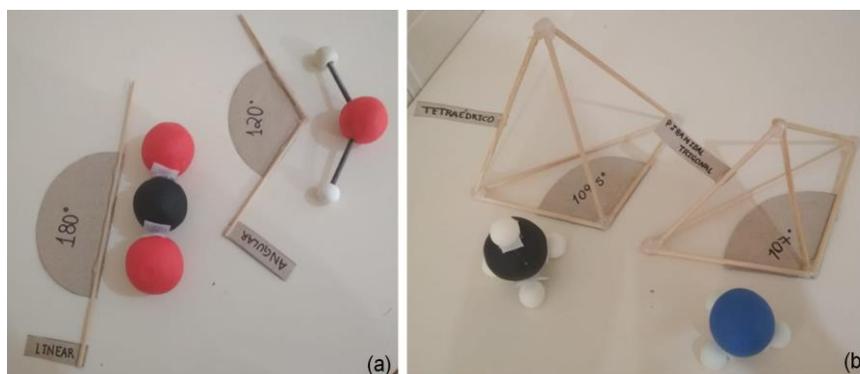
Para auxiliar a compreensão sobre geometrias moleculares, foram montados modelos físicos pelos autores para discutir a geometria espacial, conforme a figura 7. Para a elaboração desse modelo, utilizou-se palito de churrasco, cola quente e recortes de papéis para indicar os ângulos e o nome de cada geometria. As geometrias moleculares representadas foram: angular, linear, trigonal plana, piramidal trigonal e tetraédrica.



**Figura 7:** Geometrias espaciais (a) angular, (b) linear, (c) trigonal plana, (d) piramidal e (e) trigonal e tetraédrica representadas por palitos.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Além disso, para auxiliar na discussão sobre os conceitos, os autores construíram e utilizaram os modelos físicos de ligações covalentes juntamente com as estruturas geométricas, conforme a figura a seguir.



**Figura 8:** Representações de (a) molécula linear e angular e (b) molécula tetraédrica e piramidal trigonal.

Fonte: Elaborado pelos autores.

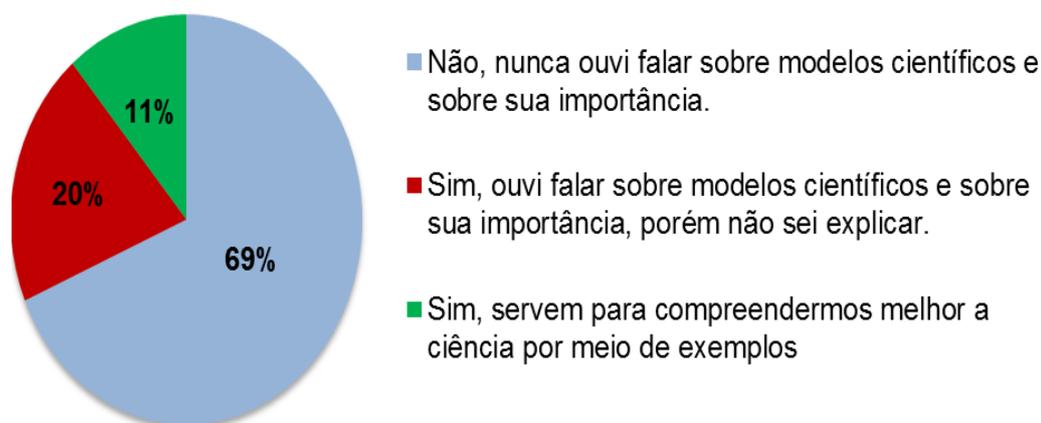
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante as três atividades aplicadas, os alunos participantes mostraram interesse e disposição ao interagir constantemente com os pesquisadores e entre si. Assim, de modo geral, o retorno foi satisfatório, visto que eles observaram e manipularam os modelos físicos alternativos, colaboraram ao responder os questionários, fizeram perguntas e participaram de forma ativa nas dinâmicas propostas. Os resultados obtidos na atividades serão discutidos mais detalhadamente a seguir.

### Modelos científicos

Os resultados apresentados na figura 9 evidenciam as dificuldades dos alunos em compreender o conceito de modelo científico, pois em geral expressaram modelos extremamente básicos sobre o assunto.

#### Você já ouviu falar de modelos científicos e sobre sua importância? Explique.



**Figura 9:** Análise inicial dos modelos expressos pelos alunos sobre modelos científicos.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Cerca de 69% dos alunos nunca ouviram falar sobre modelos científicos ou sua importância. Isso geralmente é decorrente de que muitas vezes os alunos veem conteúdos de forma abstrata e apenas os decoram (CARDOSO e COLINVAUX, 2000). Outra parcela de alunos (20%) afirmou que apesar de já terem ouvido falar sobre modelos científicos e sua importância, não conseguiam explicar.

Apenas 11% dos alunos expressaram em seu modelo mental uma ideia sobre modelos científicos. Nota-se que é um número baixo de alunos, uma vez que esse conteúdo provavelmente já foi abordado no ensino formal.

Na sequência, realizou-se a atividade que consistiu em uma dinâmica, na qual os alunos deveriam descobrir o conteúdo de uma caixa com objetos desconhecidos. O objetivo dessa prática era promover a compreensão de que os modelos científicos muitas vezes são construídos com base em evidências, e que não podemos ter um contato direto com um fenômeno ou conceito, como o átomo por exemplo. Por isso, o processo de construção de modelos científicos envolve possibilidades e também limitações. A figura a seguir exibe o momento da atividade realizada por dois grupos distintos.



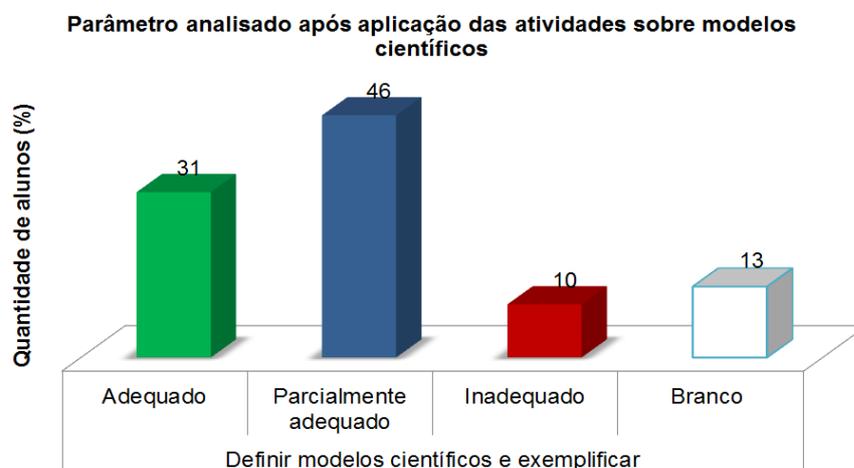
**Figura 10:** Atividade proposta sobre modelos científicos realizada por dois grupos.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Logo após o desenvolvimento das atividades, aplicou-se outro questionário para que as respostas dos alunos fossem analisadas novamente. O intuito era verificar se ocorreram aprimoramentos em seus modelos mentais sobre o conceito.

Esse questionário solicitava que alunos expressassem seu modelo mental sobre o que são modelos científicos e dessem exemplos. Assim, analisou-se esse elemento (token) por meio da seguinte classificação: adequado, parcialmente adequado e inadequado. Esses termos foram utilizados para identificar o quanto os modelos mentais expressos pelos alunos estavam coerentes com o conceito de modelos científicos encontrados na literatura. Assim como define Bunge (1974), um modelo científico trata-se de uma concepção imaginária sobre um objeto ou processo, o qual refere-se à aspectos da realidade, a fim de possibilitar um estudo teórico.

À vista disso, os alunos que expuseram um modelo mental coerente com a ideia de que um modelo científico é uma forma de representação e possui limitações funcionais em relação ao objeto ou fenômeno em estudo, por se tratar de um aspecto da realidade, tiveram suas respostas consideradas como adequadas; enquanto isso, aqueles que expuseram um modelo mental parcialmente coerente com essa conceituação tiveram suas respostas consideradas parcialmente adequadas e, sucessivamente, aqueles que não conseguiram desenvolver um modelo mental coerente com a conceituação citada anteriormente, dispuseram as respostas como inadequadas. Assim, a fim de organizar tais dados, elaborou-se o gráfico apresentado na figura 11.

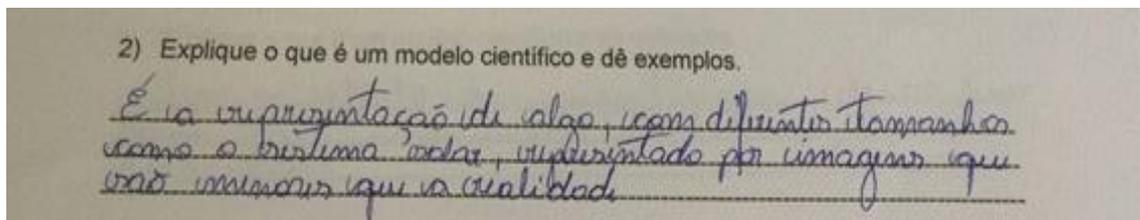


**Figura 11:** Análise dos modelos mentais dos alunos sobre modelos científicos após a atividade.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Nota-se que 77% dos alunos participantes definiram e exemplificam os modelos científicos parcialmente (46%) ou totalmente de maneira adequada (31%). Grande parte dos modelos expressos que foram categorizados como parcialmente adequado, responderam apenas a definição ou apenas exemplificam, ou seja, apresentaram seu modelo mental de forma incompleta sobre o assunto.

Ao considerar as vertentes abordadas nos questionários, foi possível destacar a resposta do aluno A como um modelo mental que se aproxima do conceito de modelo científico. Como indicado na figura 12, o aluno explicou com suas palavras o que entende por modelo científico e deu um exemplo.



**Figura 12:** Modelo mental expresso pelo aluno A referente ao conceito de modelo científico.

Fonte: Elaborado pelos autores.

O modelo mental expresso pelo Aluno A indica o fundamento de que modelos têm limitações quando comparados ao objeto de estudo ao afirmar que "É a representação de algo, com diferentes tamanhos como o sistema solar, representado por imagens que são menores que a realidade". Assim, ele compreendeu que podem existir limitações nos modelos científicos, como a diferença de tamanho, e que o "sistema solar" presente em livros didáticos, expresso em imagens, é uma representação de um fenômeno astronômico que envolve conceitos científicos.

Outra parcela dos alunos, 10%, apresentaram modelos mentais inadequados, isto porque ao comparar com a teoria do conceito abordado, nota-se uma incoerência. Já 13% deixaram o questionário em branco, impossibilitando a análise de seus modelos mentais.

Assim, é possível analisar um aumento de cerca de 66% de alunos que aprimoraram seus modelos mentais, dado que no início apenas 11% alunos expressaram um modelo mental coerente com a teoria.

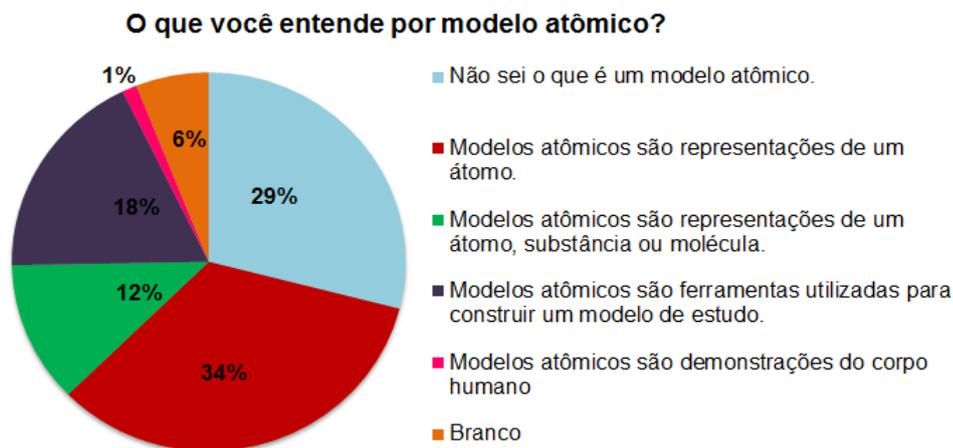
Além disso, observou-se que os alunos desenvolveram a consciência de que existem vários modelos para expressar ou representar a mesma situação ou algo, o que auxilia na construção futura do modelo mental sobre modelos atômicos, próximo conteúdo trabalhado.

### Modelos atômicos

Assim como diversos conceitos químicos, os modelos atômicos são abstratos. Para minimizar as dificuldades na compreensão de tal conceito, foram empregados modelos físicos alternativos no ensino desse conceito, como foi indicado na figura 2.

Desta forma, foram abordados os modelos atômicos de Dalton, Thomson, Rutherford e Bohr, destacando não só as características individuais de cada um, mas também a ordem cronológica que foi apresentada.

Para conhecer quais são os modelos mentais dos alunos sobre o tema antes da atividade ser aplicada, realizou-se a seguinte pergunta aos alunos: "O que você entende por modelo atômico?". Por meio das respostas dadas, criaram-se categorias e, posteriormente, elaborou-se o gráfico exibido na figura 13.



**Figura 13:** Análise inicial dos modelos dos alunos sobre modelos atômicos.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Ao observar os dados, tem-se que 29% afirmou não saber o que é um modelo atômico, enquanto 34% afirmou que modelos atômicos são representações de um átomo. Assim, esses alunos apresentaram um modelo mental que, apesar de simples, é coerente com a teoria.

Para 12% dos alunos, os modelos atômicos são representações de um átomo, substância ou molécula, enquanto 18% dos alunos afirmaram que são ferramentas utilizadas para construir um modelo de estudo.

Apenas 1% apresentou a ideia de que modelos atômicos são demonstrações do corpo humano. Como indicado na resposta da figura 14, ao citar a palavra "células", o aluno B expressou a confusão existente entre o conceito científico de células e de átomos que, como afirma Gomes e Oliveira (2007), pode ser justificado pela relação feita no momento de aprendizagem de que a célula é a menor parte do organismo vivo e, além disso, de que tanto células quanto átomos possuem um núcleo.

Para você, o que é um átomo? Defina com suas próprias palavras.

desmonstração do corpo humano, células

**Figura 14:** Modelo mental expresso pelo aluno B sobre o modelo atômico.

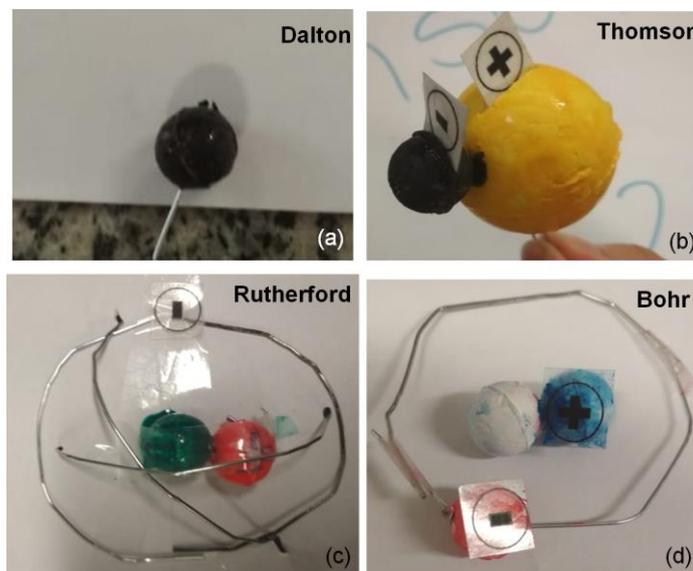
Fonte: Elaborado pelos autores.

Somente 6% não apresentaram respostas, impossibilitando assim a análise de seus modelos mentais.

Apesar de alguns modelos mentais expressos previamente à atividade apresentarem ideias coerentes com o tema abordado, grande parte ainda precisa de ajustes ou complementações. Como aqueles alunos que citaram que modelos atômicos podem representar substâncias, moléculas ou, até mesmo, o corpo humano.

Após a coleta dos modelos prévios expressos pelos alunos, foram expostos os modelos atômicos elaborados com biscoit, isopor, arame e tinta. Foi perceptível o interesse dos alunos ao observar e manipular o modelo físico alternativo. Além disso, realizou-se uma dinâmica em que os grupos de alunos elaboraram e explicaram os seus próprios modelos físicos a partir dos materiais disponíveis (isopor, tinta, adesivos, etc.).

Cada grupo representava um cientista que desenvolveu um modelo atômico. Essa dinâmica permitiu a análise dos modelos expressos pelos alunos por meio de uma forma tridimensional. A figura a seguir é um exemplo dos modelos físicos alternativos de cada modelo atômico elaborado pelos próprios alunos.

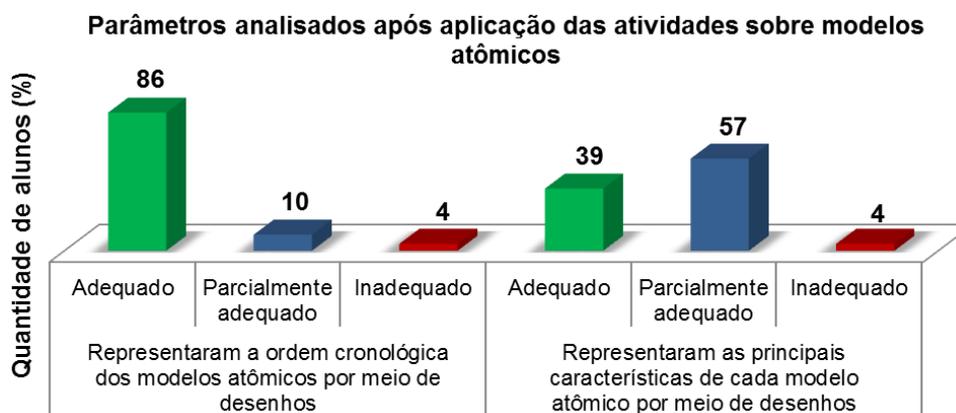


**Figura 15:** Representações dos próprios alunos sobre os modelos atômicos de (a) Dalton, (b) Thomson, (c) Rutherford e (d) Bohr.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Apesar da simplicidade dos modelos, foi possível notar que esses apresentavam muito bem os principais elementos (tokens) de cada modelo atômico, isto é, indicaram que os alunos construíram modelos mentais coerentes com o conceito abordado.

Ademais, aplicou-se um questionário final para os alunos expressarem por meio de desenhos seus modelos mentais sobre modelos atômicos. Então, analisaram-se dois elementos (tokens): representaram a ordem cronológica dos modelos atômicos por meio de desenhos e representaram as principais características de cada modelo atômico por meio de desenhos. O gráfico apresentado na figura 16 exhibe os dados obtidos.



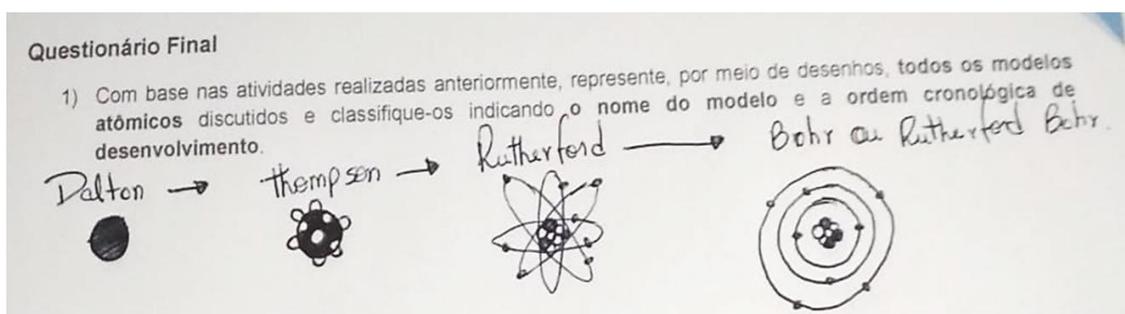
**Figura 16:** Análise dos modelos mentais dos alunos sobre modelos atômicos após a atividade.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Como podem ser observados, os alunos tiveram uma boa compreensão sobre a ordem cronológica dos modelos atômicos, visto que 86% apresentaram desenhos coerentes com o parâmetro analisado. Outros alunos, 10%, apresentaram de modo parcialmente adequado, ao confundir apenas a ordem de um modelo atômico dentre os quatro. Apenas 4% dos alunos apresentaram de forma inadequada a ordem cronológica dos modelos atômicos.

Ao analisar os modelos expressos nos desenhos, obteve-se que 96% representaram os elementos (tokens) de forma adequada (39%) ou parcialmente adequada (57%). Apesar de algumas dificuldades, houve avanços na maioria dos modelos apresentados. Apenas 4% apresentaram de maneira inadequada as características dos modelos atômicos ao expressarem seus modelos mentais.

Um exemplo de resposta coerente em ambos os elementos foi do aluno C, representada na figura 17. Mesmo que de forma simples, o aluno C expressou seu modelo mental por meio de desenhos uma ordem cronológica e as principais características de cada modelo de forma coerente.



**Figura 17:** Modelo expresso do aluno C considerado adequado nos elementos (tokens) analisados: ordem cronológica e características principais dos modelos atômicos.

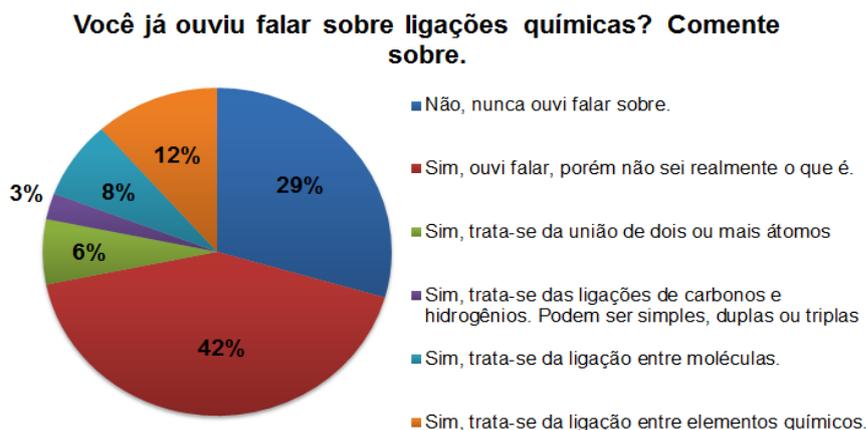
Fonte: Elaborado pelos autores.

Em vista disso, notou-se um aprimoramento nos modelos mentais dos alunos sobre o tema abordado, dado que inicialmente apresentaram ideias superficiais ou, até mesmo, equivocadas, mas ao final da atividade, foram capazes de construir modelos físicos coerentes com a teoria, e grande parte também representou por meio de desenhos a ordem cronológica e as características principais de forma parcialmente ou totalmente adequada.

Além dos dados analisados e apresentados em relação aos questionários, é relevante relatar que a interação em sala de aula também apontou resultados positivos. Os alunos mostraram-se interessados em compreender as particularidades de cada modelo atômico, dado que conversavam entre si e com os autores sobre a temática. Isso indica que os modelos mentais eram detalhados, visto que conseguiam discutir sobre o assunto baseando-se naquilo que tinham como modelo mental.

### Ligação química e geometria molecular

Com a finalidade de compreender os modelos mentais prévios dos alunos sobre ligações químicas e geometria molecular, foram feitas duas perguntas objetivas antes da atividade com modelos físicos. A primeira pergunta investigou se os alunos já ouviram falar sobre ligações químicas e, juntamente, solicitou que comentasse sobre o conceito. Criaram-se categorias de acordo com a análise dos dados e as respostas recorrentes, posteriormente apresentadas na figura 18.



**Figura 18:** Análise inicial dos modelos mentais dos alunos sobre ligações químicas.

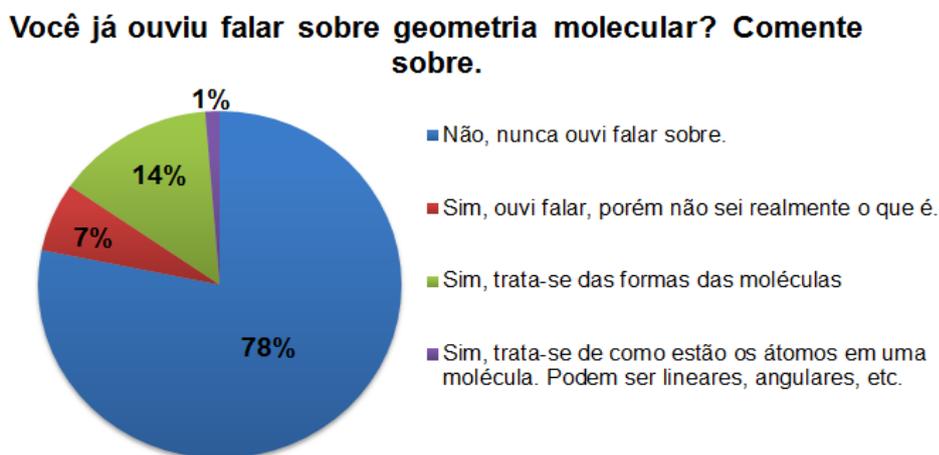
Fonte: Elaborado pelos autores.

Parte dos alunos (29%) afirmou nunca ter ouvido falar sobre o conceito de ligações químicas, enquanto uma grande parte dos alunos (42%) afirmou que, apesar de ter ouvido falar, não sabia de fato o que o conceito significava.

Apenas 6% afirmaram que as ligações químicas são a união de dois ou mais átomos. Outros 3% expressaram em suas respostas que ligações químicas são as ligações de carbonos e hidrogênios que podem ser simples, duplas ou triplas. De fato, essas interações de carbonos e hidrogênios são exemplos de ligações químicas, porém definir ligações químicas apenas com essas palavras indica que o modelo mental expresso por esses alunos sobre o conceito foi limitado.

Um total de 8% dos alunos declarou que ligações químicas ocorrem entre moléculas, enquanto 12% expressaram a ideia de que ligações químicas ocorrem entre elementos químicos. Novamente, observam-se modelos mentais limitados ou, até mesmo, equivocados. Assim, a grande maioria dos estudantes inicialmente apresentou modelos inadequados ou extremamente simplificados sobre o conceito de ligação química.

Ao perguntar o que é geometria molecular e solicitar comentários sobre o assunto, foram criadas as seguintes categorias, apresentadas na figura 19:



**Figura 19:** Análise inicial dos modelos mentais dos alunos sobre geometrias moleculares.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Destaca-se que a grande maioria dos alunos (78%) declarou que nunca ouviu falar sobre geometria molecular, fato interessante, visto que se tratam de alunos do terceiro ano do Ensino Médio. Outros 7% dos alunos ouviram falar, porém não sabiam o que realmente era o conceito.

Uma parcela de alunos (14%) respondeu que geometria molecular são as formas das moléculas. Assim, esses alunos apresentaram um modelo mental sobre o assunto, mesmo que de maneira simplificada. Apenas 1% indicou, de forma mais adequada, que geometria molecular refere-se a maneira na qual estão os átomos em uma molécula e, além disso, deu exemplos, como: lineares, angulares, etc.

As atividades com modelos físicos alternativos foram aplicadas. Havia a representação física de cada tipo de ligação química, para que os alunos compreendessem com clareza suas diferenças. Os modelos físicos de ligações covalentes eram interativos, visto que os alunos poderiam montar e desmontar diversas moléculas com os átomos feitos com isopor e biscuit.

A figura 20 exhibe o momento no qual os alunos participavam da atividade ao utilizar o kit de moléculas para representar diferentes moléculas.



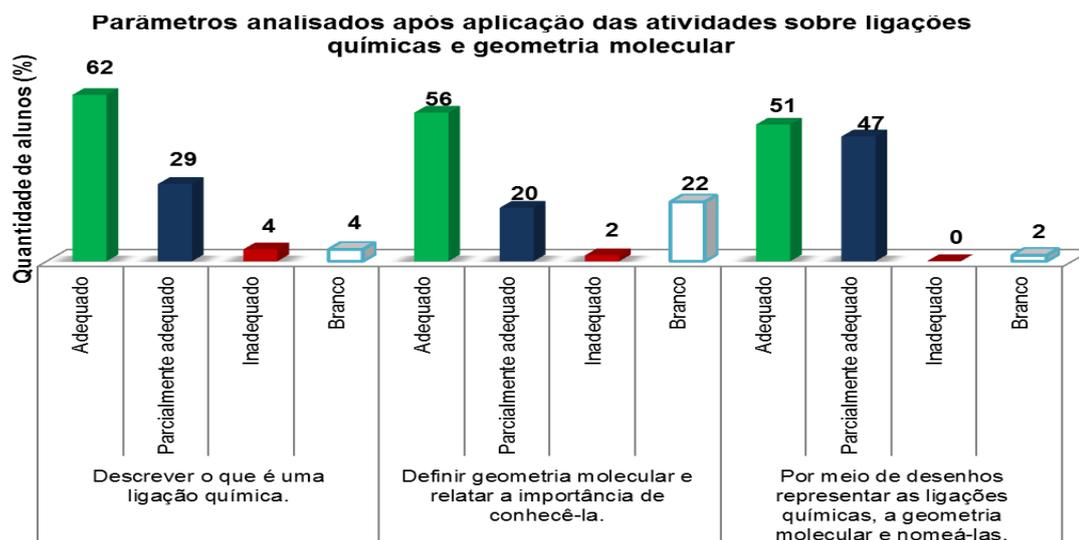
**Figura 20:** Atividade proposta sobre montagem de moléculas com ligações covalentes.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Ademais, os alunos também foram expostos a modelos físicos sobre as geometrias espaciais, de acordo com a figura 7. Ao montarem as moléculas do kit, os alunos utilizaram as estruturas das geometrias espaciais para confirmar a geometria de cada molécula.

Após as atividades, aplicou-se o questionário final para verificar as possíveis evoluções dos modelos mentais dos alunos. Os elementos (tokens) analisados foram: descrever o que é uma ligação química; definir geometria molecular e relatar a importância de conhecê-la e, por meio de desenhos, representar as ligações químicas, as geometrias moleculares e nomeá-las.

Em vista disso, criaram-se quatro categorias: adequado, quando o modelo expresso estava de acordo com a teoria; parcialmente adequado, quando os modelos mentais estavam parcialmente de acordo com a teoria; inadequado, quando as ideias não estavam de acordo com a teoria, e branco, para aqueles que não expressaram seu modelo mental sobre o parâmetro analisado. O gráfico da figura 21 exhibe os resultados obtidos.



**Figura 21:** Análise final dos modelos mentais dos alunos sobre ligações químicas e geometria molecular.

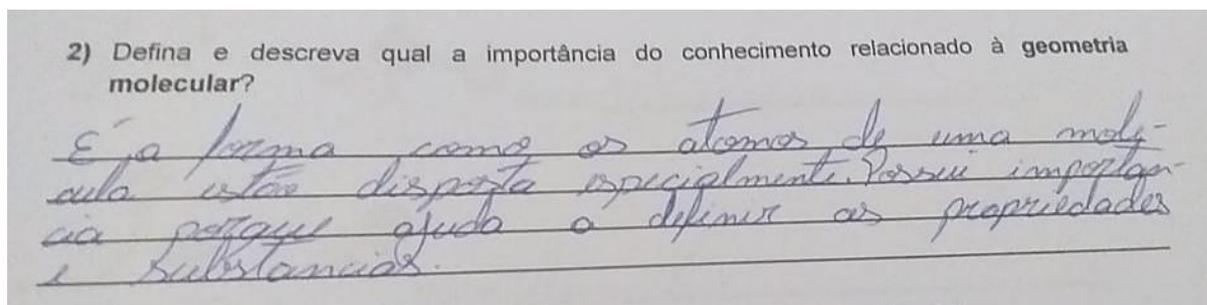
Fonte: Elaborado pelos autores.

Um total de 91% exibiu modelos mentais adequados (62%) ou parcialmente adequados (29%) sobre ligações químicas. Houve avanços, visto que 71% dos alunos no questionário inicial nunca ouviram falar sobre o conceito (29%) ou ouviram falar, mas não sabiam o que realmente era (42%).

Apenas 4% dos alunos apresentaram ideias inadequadas sobre ligações químicas e outros 4% não expressaram seus modelos mentais ao deixar em branco as perguntas que abordaram tal elemento.

Nota-se que 56% e outros 20% dos alunos apresentaram de forma adequada ou parcialmente adequada, respectivamente, a definição de geometria molecular e a importância de conhecê-la. Tal fato já indica um aprimoramento dos modelos mentais, dado que 78% declararam no questionário inicial nunca terem ouvido falar sobre o assunto.

Um exemplo de uma resposta classificada como adequada é exposta na figura 22, na qual o aluno D afirma que a geometria molecular *"é a forma como os átomos (sic) de uma molécula (sic) estão dispostos espacialmente. Possui importância (sic) porque ajuda a definir as propriedades de substâncias (sic)"*.



**Figura 22:** Modelo mental expresso pelo aluno D sobre geometria molecular considerado adequado.

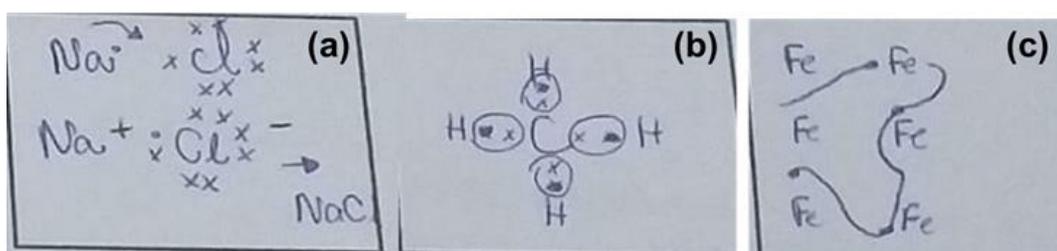
Fonte: Elaborado pelos autores.

Assim, mesmo que de forma simples, o aluno expressou por meio da escrita o seu modelo mental sobre a geometria molecular de forma coerente ao se aproximar do modelo científico.

Somente 2% dos alunos apresentaram de maneira inadequada a definição de geometria molecular e a importância de conhecê-la, enquanto 22% não expressou seu modelo mental sobre o assunto, impossibilitando a análise do mesmo.

Ao solicitar aos alunos que, por meio de desenhos, representassem as ligações químicas, a geometria molecular e nomeasse cada uma, obteve-se um resultado satisfatório, visto que 51% apresentaram um modelo mental adequado e 47% apresentaram um modelo mental parcialmente adequado, pois foram feitos pequenos equívocos.

A expressão do modelo mental do aluno E, classificada como adequado, sobre os diferentes tipos de ligação química está exposta na figura 23.

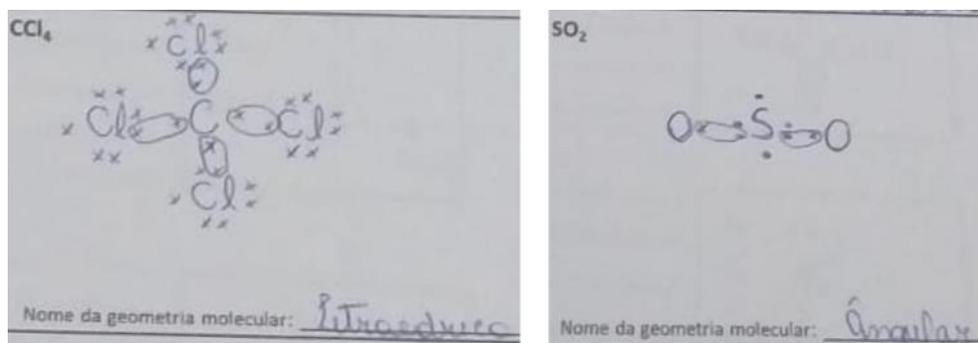


**Figura 23:** Modelos expressos pelo aluno E sobre (a) ligação iônica, (b) ligação covalente e (c) ligação metálica.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Nota-se que o aluno utilizou-se de diferentes recursos em seu desenho para diferenciar os tipos de ligação química: (a) ligação iônica, (b) ligação covalente e (c) ligação metálica. Assim, de maneira simples, o Aluno E apresentou que seu modelo mental sobre os diferentes tipos de ligação química se aproxima do modelo científico e, então, foi categorizado como adequado.

Já a figura 24 apresenta por meio de desenho o modelo do aluno F referente à ligação química e o nome da geometria molecular.



**Figura 24:** Modelos expressos pelo aluno F sobre ligação covalente e geometria molecular considerados parcialmente adequados.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Essas representações foram categorizadas como parcialmente adequadas, pois se cometeu um pequeno equívoco ao não representar todos os elétrons de ambos os átomos de

oxigênio do dióxido de enxofre. Apesar disso, o aluno representou o tipo de ligação e nomeou as geometrias moleculares de modo coerente em relação ao modelo científico.

Nenhum aluno expressou um modelo mental inadequado e apenas 2% não expuseram seu modelo mental, ao deixar em branco as questões que analisavam tal elemento.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na primeira atividade, no qual foi trabalhado o conceito de modelos científicos, foram notadas evoluções nos modelos expressos pelos estudantes ao comparar as ideias ao início e ao final da atividade. É fundamental compreender esse conceito para facilitar o entendimento dos conteúdos ministrados em seguida, como modelos atômicos, ligações químicas e geometria molecular. Além disso, é importante compreender o conceito de modelos científicos para promover melhores ideias sobre a própria natureza da Ciência.

Foi possível analisar com mais detalhes os modelos mentais dos alunos sobre modelos atômicos, já que foram utilizados, além de palavras e desenhos, os modelos físicos tridimensionais. Assim, observou-se coerência entre os modelos mentais apresentados sobre modelos atômicos e, quando comparados aos modelos mentais expressos inicialmente, nota-se que houve aprimoramentos.

Do mesmo modo, eles também apresentaram evoluções em seus modelos mentais sobre os conceitos de ligações químicas e geometria molecular. Atribuímos essa melhoria nos modelos pela metodologia adotada, na qual eles tiveram disponíveis diversos modelos físicos alternativos para manipular, pois eles podiam montar e desmontar as moléculas da maneira que achassem adequado.

Assim, segundo os resultados observados, as atividades didáticas com uso de modelos físicos alternativos facilitaram a construção de modelos mentais que se aproximem aos modelos científicos, pois houve melhorias significativas nas representações realizadas pelos estudantes sobre os conceitos que são abordados no ensino regular de Química.

Outro ponto importante é que as atividades permitiram aos alunos expressar seus modelos mentais sobre os conceitos de diferentes formas: por meio de palavras, de desenhos e até mesmo de modelos físicos elaborados por eles próprios na forma tridimensional. Entretanto, é válido ressaltar que os modelos mentais são representações internas individuais, e por esse motivo os resultados obtidos se limitam na análise do que os indivíduos conseguiram expressar sobre seus modelos, não propriamente de seus modelos mentais em si.

Outro ponto a ser considerado é que a atividade realizada com modelos físicos alternativos foi pontual, se comparada com a vivência escolar do estudante e seu contato com o ensino de Ciências e de Química como um todo. Assim, os resultados também têm uma característica pontual, visto que há uma grande dificuldade no que se refere a aprimorar modelos mentais. Portanto, é interessante que os modelos físicos sejam empregados em diversos assuntos da Química, para que os estudantes se acostumem a desenvolver modelos mentais com o auxílio desse recurso didático.

Por fim, cabe salientar que, mesmo com as limitações acima apontadas, a metodologia aplicada se mostrou interessante na pesquisa sobre o ensino de conceitos ligados a modelos atômicos.

## Agradecimentos

Agradecemos à toda a comunidade da Escola Estadual Fernando Costa, pela parceria neste trabalho. Agradecemos também à PROGRAD-UNESP pelas bolsas e apoio financeiro concedido.

## REFERÊNCIAS

- BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 1977.
- BUNGE, Mario. **Teoria e Realidade**. São Paulo: Editora perspectiva S.A., 1974.
- CARDOSO, Sheila Pressentin; COLINVAUX, Dominique. Explorando a motivação para estudar química. **Química Nova**, v. 23, n. 2, p. 401-404, 2000.
- FINI, Maria Inês. Proposta Curricular do Estado de São Paulo Química - Ensino Médio, Secretaria da Educação do Estado de São Paulo, SP, Brasil, 2008.
- FERREIRA, Celeste; ARROIO, Agnaldo; REZENDE, Daisy de Brito. Uso de modelagem molecular no estudo dos conceitos de nucleofilicidade e basicidade. **Química Nova**, v. 34, n. 9, p. 1661-1665, 2011.
- FRANÇA, Angella da Cruz Guerra; MARCONDES, Maria Eunice Ribeiro; CARMO, Miriam Possar do. Estrutura atômica e formação dos íons: Uma análise das ideias dos alunos do 3º Ano do Ensino Médio. **Química Nova na Escola**, v. 31, n. 4, p. 275-282, 2009.
- GIBIN, Grazielle de Oliveira Setti, et al. Modelos moleculares físicos alternativos construídos com materiais acessíveis e de baixo custo. In: XIX Encontro Nacional de Ensino de Química. 2018, Rio Branco – AC. **Anais...** Rio Branco – AC, UFAC, 2018.
- GOMES, Henrique José Polato; OLIVEIRA, Odisséa Boaventura de. Obstáculos epistemológicos no ensino de ciências: um estudo sobre suas influências nas concepções de átomos. **Ciência & Cognição**, v. 12, p. 96 – 109, 2007.
- JOHNSON-LAIRD, Philip. **Mental models: towards a cognitive science of language, inference, and consciousness**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1983.
- JOHNSTONE, Alex. The development of chemistry teaching. **Journal of Chemical Education**, v. 70, n. 9 p. 701-705, 1993.
- LIMA, Mario Bastos; LIMA NETO, Pedro de. Construção de modelos para a ilustração de estruturas moleculares em aulas de Química. **Química Nova**, v. 22, n. 6, p. 903-906, 1999.
- MELO, Marlene Rios; LIMA NETO, Edmilson Gomes de. Dificuldades de ensino e aprendizagem dos modelos atômicos em Química. **Química Nova na Escola**, v. 35, n. 2, p. 112-122, 2013.
- MELZER, Ehrick Eduardo Martins, et al. Modelos atômicos nos livros didáticos de Química: Obstáculos à aprendizagem?. In: VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. 2009, Florianópolis-SC. **Anais...** Florianópolis-SC, UFSC, 2009.
- NORMAN, Donald. Some observations on mental models. In: GENTNER, Dedre; STEVENS, Albert. **Mental models**. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. 1983. p. 6-14.
- STACHOWIAK, Herbert. Models. In: **Scientific Thought: concepts, methods and procedures**. Paris: UNESCO, 1972.