

# KIT PARA MONTAGEM DE MODELOS MOLECULARES COM IMPRESSÃO 3D PARA O ENSINO DE QUÍMICA

*3D-PRINTED MOLECULAR MODEL ASSEMBLY KIT FOR CHEMISTRY TEACHING*

Paulo Henrique Guadagnini<sup>1</sup>, Rodrigo Monteiro Gusmão<sup>2</sup>

Recebido: novembro/2025 - Aprovado: março/2026

**RESUMO:** Este artigo apresenta e analisa o desenvolvimento de um produto educacional aberto para o Ensino de Química, constituído por um kit de peças para modelos moleculares físicos produzido por impressão 3D. O trabalho tem como objetivo descrever o processo de concepção, fabricação e avaliação do kit, bem como discutir seu potencial didático no ensino de conceitos estruturais. O recurso foi desenvolvido com o objetivo de superar limitações dos kits comerciais, como alto custo, dificuldade de reposição de peças e baixa flexibilidade para aplicações didáticas mais complexas, especialmente no ensino de isomeria geométrica e conformacional. O conjunto é composto por arquivos digitais de peças modulares que podem ser fabricadas em impressoras 3D de baixo custo, utilizando filamentos PLA ou ABS. O kit incorpora aspectos inovadores, como a distinção entre ligações simples (com rotação livre) e duplas (sem rotação), além da possibilidade de personalização de escala. Testes funcionais confirmaram a resistência mecânica, a durabilidade e a adequação do recurso para atividades educativas de montagem de moléculas simples, estruturas cristalinas e estudo de isomeria geométrica e conformacional. Consideramos que o uso dos modelos pode favorecer a visualização tridimensional, o desenvolvimento do raciocínio espacial e a integração entre diferentes representações no Ensino de Química.

**PALAVRAS-CHAVE:** Modelos moleculares, Impressão 3D, Ensino de Química.

**ABSTRACT:** This article presents and analyzes the development of an open educational product for chemistry teaching, consisting of a kit of parts for physical molecular models produced by 3D printing. The study aims to describe the design, fabrication, and evaluation processes of the kit, as well as to discuss its didactic potential in teaching structural concepts. The resource was developed to overcome limitations of commercial kits, such as high cost, difficulty in replacing parts, and limited flexibility for more complex instructional applications, particularly in the teaching of geometric and conformational isomerism. The set is composed of digital files of modular parts that can be manufactured using low-cost 3D printers with PLA or ABS filaments. The kit incorporates innovative

- 1 <https://orcid.org/0000-0002-3734-9252> - Doutor em Ciências pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Professor Associado e docente do Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências da Universidade Federal do Pampa, Bagé, RS, Brasil (UNIPAMPA). Av. Maria Anunciação Gomes Godoy, 1650, Bairro Industrial I, 96460-000, Bagé, RS, Brasil. E-mail: paulogadagnini@unipampa.edu.br
- 2 <https://orcid.org/0009-0002-0385-8478> - Mestre em Ensino de Ciências pela Universidade Federal do Pampa (Unipampa). Professor de Química e Tecnologia da Secretaria de Estado da Educação de Santa Catarina (SED), Florianópolis, SC, Brasil. Rua Antônio Luz, 111, Centro, 88010-410, Florianópolis, SC, Brasil. E-mail: profrodrigogusmao@gmail.com





features, such as the distinction between single bonds (with free rotation) and double bonds (without rotation), as well as the possibility of scale customization. Functional tests confirmed the mechanical strength, durability, and suitability of the resource for educational activities involving the assembly of simple molecules, crystalline structures, and the study of geometric and conformational isomerism. We argue that the use of these models can enhance three-dimensional visualization, support the development of spatial reasoning, and promote the integration of different representations in chemistry learning.

**KEYWORDS:** Molecular models, 3D printing, Chemistry teaching.

## Introdução

**A** química é uma ciência que possui uma linguagem e simbologia específicas que permitem interrelacionar o mundo macroscópico com a escala de dimensões atômica e molecular. A habilidade de transitar entre os domínios macroscópico, atômico-molecular e simbólico é fundamental para os estudantes de química terem uma compreensão mais ampla dos fenômenos químicos, e é uma habilidade tipicamente negligenciada no Ensino de Química (GILBERT; TREAGUST, 2009). Os modelos moleculares constituem representações idealizadas das estruturas no nível atômico-molecular e podem funcionar como um elo entre as representações simbólicas, expressas em fórmulas e estruturas bidimensionais no papel ou em meios digitais, e o próprio domínio atômico-molecular. Dessa forma, proporcionam uma abordagem mais concreta e intuitiva para a compreensão de conceitos químicos abstratos, como a configuração tridimensional das moléculas e os diferentes tipos de isomeria.

Para a representação da estrutura molecular, utilizam-se representações bidimensionais e modelos moleculares tridimensionais. No Ensino de Química atual, enfatiza-se exageradamente as representações moleculares de forma bidimensional, como em fórmulas estruturais no papel ou tela do computador. Conforme apontado por Silva e Correia (2023), os estudantes de química apresentam dificuldades para transitar entre as formas bidimensional e tridimensional de representação de estruturas moleculares, indicando falhas no desenvolvimento de habilidades espaciais, com o consequente prejuízo na visualização de moléculas por meio de múltiplas representações químicas (BARBOZA et al., 2022). No ensino de isomeria geométrica, tais dificuldades tornam-se ainda mais evidentes devido à necessidade de o aluno visualizar as diferenças entre as disposições espaciais de átomos e ligações que permitam caracterizar corretamente os isômeros.

Modelos moleculares, sejam físicos ou digitais, proporcionam uma visualização tridimensional das estruturas químicas, permitindo que os alunos observem a forma das moléculas, as ligações químicas e a geometria molecular, facilitando a compreensão dos conceitos químicos (WILLIAMSON; ABRAHAM, 1995).

Os modelos moleculares físicos montáveis usualmente são constituídos de um conjunto de esferas com encaixes (que representam átomos), e um conjunto de bastões (que representam ligações químicas). Este tipo de modelo molecular se diferencia pelo seu aspecto interativo e engajador, especialmente para



alunos com preferência de aprendizado tátil. Sua independência da disponibilidade de computadores os torna acessíveis em ambientes educacionais com recursos limitados, e podem ser considerados como complementares aos modelos moleculares digitais. Entretanto, tais modelos apresentam algumas desvantagens, como o custo relativamente elevado dos kits disponíveis comercialmente, o que se deve possivelmente à pequena escala de fabricação e comércio, a dificuldade de reposição de peças perdidas ou danificadas, sendo necessário geralmente a compra de um novo kit, e a ausência de flexibilidade quanto ao projeto das peças, o que pode limitar algumas aplicações didáticas mais inovadoras.

Dentre os trabalhos previamente publicados que descrevem a criação de modelos moleculares com impressão 3D, destacam-se aqueles em que o modelo molecular é impresso como uma única peça. Neste tipo de trabalho, a estrutura da molécula é obtida a partir de uma base de dados de estruturas moleculares e depois um modelo 3D da molécula é criado e pode ser impresso (JONES; SPENCER, 2018; FONSECA; LIMA; SOUZA, 2024). Este tipo de solução limita as aplicações didáticas do modelo molecular devido à necessidade de impressão de cada molécula de interesse, não permitindo explorar o aspecto didático ativo de montagem das estruturas utilizando peças para átomos e ligações, e também não possibilitando explorar alguns aspectos da dinâmica molecular, como mudanças conformacionais. Alguns poucos trabalhos descrevem o desenvolvimento de peças para impressão 3D que podem ser usadas na montagem de modelos moleculares, porém estes modelos descritos não preveem a restrição a rotação livre em ligações dupla carbono-carbono, limitando aplicações didáticas como o ensino de isomeria geométrica e óptica (FAZELPOUR; FENNELL, 2020).

O produto educacional descrito neste estudo é formado por um conjunto de arquivos digitais que permitem a produção de um kit para montagem de modelos moleculares físicos, cuja fabricação é viabilizada por meio da tecnologia de manufatura aditiva, utilizando o processo de impressão 3D. O kit desenvolvido procura contornar as limitações elencadas acima e oferecer algumas personalizações que permitem sua aplicação mais efetiva, particularmente em atividades didáticas mais desafiadoras como as que envolvem o ensino de isomeria geométrica e óptica. O kit de modelos moleculares, disponível publicamente na forma de um conjunto de arquivos digitais como um recurso educacional aberto, foi projetado para que possa ser facilmente fabricado utilizando manufatura aditiva com impressoras 3D e suprimentos de baixo custo. O produto educacional é distribuído publicamente no repositório *Thingiverse* (PROFESSORRODRIGO, 2023).

Nos últimos anos, observou-se uma queda significativa no custo de aquisição de impressoras 3D e de seus insumos, o que tem favorecido sua crescente presença em escolas, laboratórios didáticos e espaços *Maker*. Essa maior disponibilidade tecnológica favorece que professores e alunos utilizem recursos pedagógicos personalizados e de baixo custo, superando limitações impostas por materiais didáticos comerciais, muitas vezes inacessíveis. Nesse cenário, a proposta de um kit de modelos moleculares produzido por manufatura aditiva torna-se especialmente relevante, pois alia acessibilidade econômica, possibilidade de reposição ou personalização de peças e alinhamento com práticas pedagógicas inovadoras que valorizam a experimentação, a visualização tridimensional e o desenvolvimento de habilidades espaciais no Ensino de Química.



O kit de modelos moleculares desenvolvido apresenta alguns aspectos inovadores que não estão presentes na maioria dos kits de modelos moleculares publicados em trabalhos anteriores, ou em produtos comerciais, e que são importantes para o ensino de conceitos químicos. Entre as inovações introduzidas, destaca-se a modelagem 3D das ligações duplas, concebidas de forma a impedir a rotação ao longo de seu eixo, em contraste com as ligações simples, que permitem esse movimento livre.

Modelos moleculares físicos, como o descrito neste trabalho, permitem a construção de estratégias promissoras para o desenvolvimento de práticas investigativas no Ensino de Química através da montagem, manipulação e transformação das estruturas. Ao possibilitar que os estudantes construam, testem e modifiquem representações moleculares, o recurso favorece a formulação de hipóteses, a comparação entre diferentes configurações e a reflexão sobre relações entre estrutura e propriedades. Esse tipo de abordagem pode contribuir para a aprendizagem de conceitos abstratos, como isomeria e geometria molecular, ao integrar diferentes formas de representação e estimular o desenvolvimento do raciocínio espacial. Além disso, ao envolver os alunos em atividades mais ativas e exploratórias, o uso de modelos físicos pode promover maior engajamento e favorecer a construção de significados mais consistentes no processo de aprendizagem em Química.

O artigo está estruturado em quatro seções principais. Na primeira, apresenta-se a fundamentação teórica, discutindo o papel dos modelos didáticos no ensino de ciências e, em particular, a relevância dos modelos moleculares para a aprendizagem de conceitos químicos abstratos. Em seguida, descreve-se o processo de projeto e desenvolvimento do kit de modelos moleculares para impressão 3D, detalhando as etapas de modelagem, fatiamento, impressão e testes funcionais. A terceira seção reúne os resultados e a discussão, contemplando a avaliação técnica das peças e exemplos de aplicação na montagem de várias estruturas moleculares. Por fim, são expostas as considerações finais, destacando vantagens, limitações e perspectivas futuras do produto educacional, além de seu potencial como recurso aberto para o Ensino de Química.

## Fundamentação Teórica

Os modelos didáticos são representações simplificadas de conceitos, processos ou fenômenos naturais que contribuem para a compreensão de ideias complexas pelos estudantes, utilizando analogias, simulações e representações, tanto físicas quanto virtuais. Segundo Gilbert e Boulter (2000), os modelos cumprem uma função epistêmica essencial no ensino de ciências, ao mediar a relação entre teoria e fenômeno observado e favorecer a construção do pensamento científico. Esses modelos desempenham um papel fundamental no ensino de ciências, ao facilitar o acesso ao conhecimento e apoiar a construção de entendimentos científicos. Como destacam Gilbert e Treagust (2009), a utilização de múltiplas representações, incluindo os modelos físicos e simbólicos, é crucial para que os alunos consigam transitar entre os níveis macroscópico, submicroscópico e simbólico, característicos do raciocínio químico. Modelos moleculares físicos constituem exemplos desse tipo de ferramenta, uma vez que materializam as estruturas atômicas e moleculares da matéria, possibilitando aos estudantes visualizar o arranjo espacial



das moléculas e suas possíveis relações com as propriedades químicas e físicas. Tais modelos contribuem também para o desenvolvimento de modelos mentais mais coerentes sobre a natureza particulada da matéria (WILLIAMSON; ABRAHAM, 1995).

O uso de modelos moleculares concretos possibilita que os alunos observem e manipulem representações físicas de estruturas relacionadas a conceitos como geometria molecular, hibridização e isomeria, contribuindo para uma compreensão mais efetiva do arranjo espacial dos átomos (SMITH, 2016). Essa manipulação promove o desenvolvimento do raciocínio espacial, competência fundamental para compreender a orientação das moléculas no espaço e para a aprendizagem de conteúdos abstratos, especialmente os associados à estrutura molecular e à isomeria.

No ensino tradicional, há uma ênfase maior nas representações simbólicas e matemáticas, nas quais os alunos entram em contato com imagens bidimensionais de moléculas apresentadas em livros, quadros ou telas. Embora essas representações sejam úteis, elas tendem a ser demasiadamente abstratas, especialmente quando aplicadas a conteúdos como isomeria geométrica e óptica. Os modelos moleculares físicos, por atuarem no nível molecular não acessível à observação direta, auxiliam na integração entre os diferentes tipos de representação, possibilitando que o estudante estabeleça conexões entre o que vê, o que simboliza e o que efetivamente compreende.

No caso da isomeria, a possibilidade de montar e desmontar estruturas para comparar diferentes isômeros facilita a compreensão das relações espaciais entre átomos e suas implicações nas propriedades da substância. Assim, os modelos moleculares físicos constituem uma abordagem concreta e intuitiva para o estudo de conceitos químicos complexos, promovendo a articulação entre os níveis simbólico, molecular e macroscópico do conhecimento químico.

A aplicação eficiente dos modelos moleculares em contextos didáticos requer planejamento adequado por parte do professor. É importante atentar para possíveis equívocos conceituais que podem ser reforçados pelo uso inadequado do recurso, como a ideia de que as moléculas são estruturas rígidas e que os ângulos de ligação são invariáveis, desconsiderando a flexibilidade e a dinâmica molecular. Cabe observar que diversos modelos disponíveis comercialmente ou para impressão 3D não reproduzem com fidelidade o comportamento das ligações, permitindo rotação livre mesmo em ligações duplas e triplas, ou, ao contrário, impedindo a rotação em ligações simples, o que pode gerar concepções equivocadas e limitar sua utilização em atividades voltadas ao ensino de estrutura molecular e isomeria geométrica ou óptica.

## Metodologia

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa de natureza aplicada, com abordagem qualitativa e caráter de desenvolvimento tecnológico e educacional. Insere-se no campo da pesquisa em ensino de Ciências, tendo como foco a concepção, produção e avaliação de um recurso didático inovador. Do ponto



de vista metodológico, trata-se de um estudo do tipo desenvolvimento de produto, envolvendo etapas de projeto, prototipagem, testes funcionais e análise de potencial didático do material produzido.

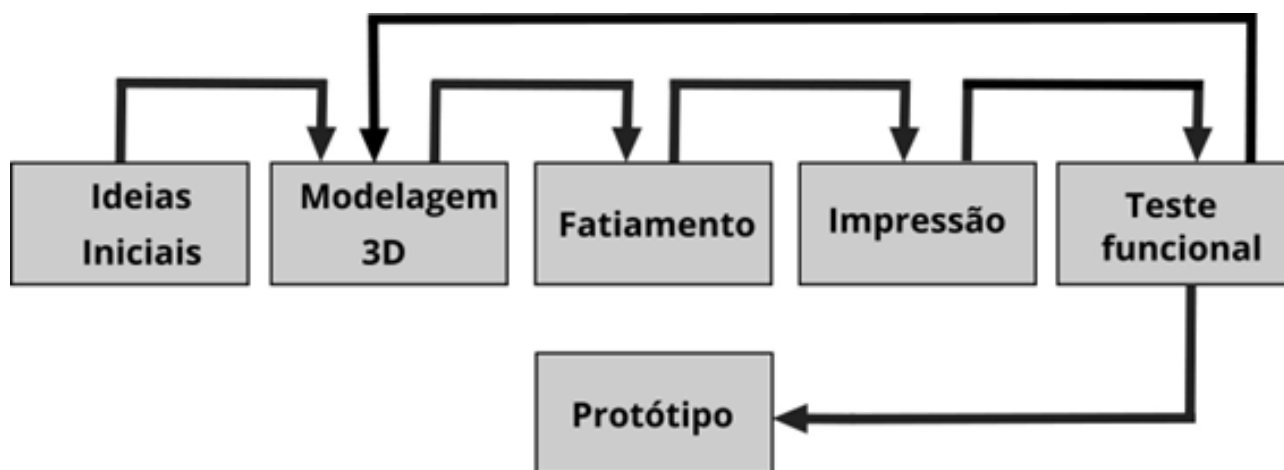
Neste trabalho, descrevemos o projeto do kit de modelo molecular como um processo iterativo de desenvolvimento de produto educacional, envolvendo as etapas de concepção, modelagem, prototipagem, fabricação e validação funcional das peças que compõem o kit de modelos moleculares. Esse processo caracteriza-se por ciclos sucessivos de elaboração, testagem e refinamento do artefato, orientados por critérios técnicos e didáticos.

Para execução do projeto do kit de modelo molecular foi utilizado o fluxo de trabalho apresentado na Figura 1. A primeira fase do projeto consistiu em definir as ideias iniciais a respeito das características desejáveis para o produto educacional, que são elencadas a seguir:

a impressão do kit de modelos moleculares deve resultar em peças resistentes e plenamente funcionais, possibilitando o encaixe e desencaixe repetidos durante a montagem das estruturas químicas. A produção dessas peças precisa ser viável em impressoras 3D de baixo custo que operem com a tecnologia de filamento fundido, utilizando materiais como PLA ou ABS. Recomenda-se que o projeto minimize a necessidade de suportes, reduzindo o trabalho de acabamento pós-impressão e otimizando o tempo de preparo para uso em contextos educacionais;

- a. as peças devem oferecer flexibilidade de escala, permitindo a confecção de modelos ampliados, adequados para demonstrações em sala de aula, ou reduzidos, visando à economia de material e à diminuição do tempo de impressão;
- b. o kit deve ser modular e montável, composto por peças esféricas que representem os átomos e bastões cilíndricos correspondentes às ligações químicas. As ligações simples devem possibilitar rotação livre em torno do eixo, enquanto as ligações duplas devem manter-se fixas, impedindo tal movimento;
- c. as esferas correspondentes a diferentes elementos químicos devem apresentar raios proporcionais aos respectivos raios atômicos, e os ângulos de ligação devem respeitar os valores característicos das geometrias das hibridizações do carbono  $sp^3$  ( $109,5^\circ$ ) e  $sp^2$  ( $120,0^\circ$ )

Figura 1 – Fluxo de trabalho para execução do projeto dos modelos moleculares 3D



Fonte: Os autores (2025))



Na segunda fase do projeto foi realizada a modelagem 3D das peças com auxílio do software Autodesk Fusion (AUTODESK, 2025), que é uma ferramenta de projeto assistido por computador (CAD) e modelagem tridimensional (3D). A modelagem tridimensional consiste na elaboração digital de objetos ou ambientes em três dimensões, resultando em representações virtuais que podem ser visualizadas e manipuladas interativamente em um espaço digital.

Na terceira fase do projeto, foi utilizado o aplicativo de fatiamento Ultimaker Cura (ULTIMAKER, 2024) para produzir os arquivos para impressão de cada peça do kit de modelo molecular. Nesta etapa foram ajustados os parâmetros relativos ao tipo de preenchimento interno das peças e as características de geração de estruturas de suporte.

Na quarta fase do projeto, os arquivos para cada peça do kit foram impressos em dois modelos de impressoras 3D, uma Ender 3 Pro (impressora de baixo custo com mesa de impressão aberta) e uma GTMax Core A3 (impressora com mesa de impressão fechada). As impressões na Ender 3 Pro foram feitas com filamento de PLA (ácido polilático), e as impressões na GTMax Core A3 foram feitas com filamento de ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno). Os testes em ambas impressoras tiveram como objetivo avaliar a versatilidade e a adaptabilidade dos modelos em diferentes configurações de filamento e de equipamento.

Após a impressão, as peças foram submetidas a testes funcionais para avaliação de sua qualidade e desempenho. Os testes funcionais consistiram de observações qualitativas quanto a (a) qualidade da impressão, em especial deficiências relacionadas à deformação durante o processo de impressão, (b) facilidade de pós-processamento para acabamento das peças, (c) qualidade mecânica em termos de resistência, facilidade e firmeza dos encaixes, (d) durabilidade após um ciclo de ao menos 20 montagens e desmontagens de uma mesma molécula de teste e (e) rotação livre em ligações simples e impedida em ligações duplas. Após a fase de testes funcionais, quando necessário, retorna-se à fase de modelagem para revisões necessárias no modelo 3D. Esse ciclo de revisão e refinamento é repetido até que o produto final atenda aos padrões de qualidade desejados e um protótipo seja obtido.

Além dos testes técnicos, considerou-se, na avaliação do produto, seu potencial pedagógico em contextos de ensino. Nesse sentido, o kit foi concebido para favorecer a aprendizagem de conceitos estruturais por meio da manipulação concreta de modelos tridimensionais, permitindo aos estudantes estabelecer relações entre representações bidimensionais e a organização espacial das moléculas. A possibilidade de montagem e transformação das estruturas busca promover o desenvolvimento do raciocínio espacial, bem como apoiar a compreensão de fenômenos como isomeria geométrica e conformacional. Adicionalmente, o caráter modular e manipulável do recurso permite sua utilização em atividades investigativas e colaborativas, nas quais os alunos podem explorar diferentes configurações moleculares, levantar hipóteses e discutir suas representações, ampliando o engajamento e a construção ativa do conhecimento.



## Resultados e Discussão

Foram desenvolvidos e fabricados protótipos das peças do kit para montagem de modelos moleculares com base no fluxo de trabalho representado na Figura 1. Para cada conjunto de peças, foi realizado um teste funcional preliminar que consistia na avaliação da facilidade de encaixe e desencaixe, e firmeza das conexões. Foi necessário produzir ao menos dez protótipos até que os testes funcionais indicassem uma boa qualidade dos encaixes entre as peças dos átomos e das ligações. Os elementos de projeto 3D mais desafiadores foram os encaixes presentes nos átomos, e as conexões nas pontas das ligações. Estes foram os elementos que sofreram o maior número de modificações durante a fase de desenvolvimento. Para não permitir a rotação livre, as peças de átomos de carbono  $sp^2$  e ligações duplas foram desenvolvidas usando uma solução de projeto que consistiu em uma ponta quadrada na ligação e um encaixe interno quadrado nos átomos, além do encaixe que permite a conexão entre as peças. Na Tabela 1 são apresentadas as representações tridimensionais, geradas pelo *software* Fusion 360, e as fotos das peças impressas com filamentos do tipo ABS. O conjunto de peças é composto por 7 peças modulares, permitindo a montagem de uma grande variedade de estruturas moleculares e cristalinas. As peças podem ser produzidas conforme as demandas de cada professor; contudo, sugere-se que, para cada grupo de alunos, sejam impressas ao menos 10 peças referentes a átomos de carbono  $sp^3$ , 4 de carbono  $sp^2$ , 3 de oxigênio, 3 de nitrogênio, 16 representando ligações simples, 4 correspondentes a ligações duplas e 20 átomos de hidrogênio já acoplados a uma ligação simples. Esse conjunto é suficiente para permitir a construção de pequenas moléculas orgânicas, contribuindo para o estudo de tópicos como estrutura molecular e isomeria. Impressões de peças adicionais podem ser feitas sob demanda a depender da necessidade do professor.

A construção das moléculas ocorre por meio do encaixe direto das peças, conforme o arranjo químico desejado. Em linhas gerais, sugere-se que o professor estruture atividades nas quais o estudante deve transformar as fórmulas estruturais bidimensionais, representadas no papel ou em ambiente digital, em uma forma tridimensional concreta, utilizando o modelo físico como recurso de visualização e aprendizagem.

Conforme ilustrado na Tabela 1, a peça referente ao átomo de hidrogênio já incorpora a ligação simples, o que facilita a montagem das estruturas orgânicas. Além disso, há dois tipos de peças destinados às ligações químicas: uma para as ligações simples e outra para as duplas. Esta última se distingue por um entalhe central e apresenta um encaixe específico para os átomos de carbono  $sp^2$ , impedindo a rotação em torno do eixo e permitindo representar de forma adequada diferentes isômeros.

Durante a etapa de fatiamento do modelo 3D, os parâmetros foram configurados de forma a equilibrar tempo de impressão, qualidade do acabamento e resistência mecânica das peças. Foram adotados os seguintes ajustes: altura de camada de 0,1 mm, espessura de parede de 0,8 mm, densidade de preenchimento de 35%, tipo de aderência à mesa em formato de bainha (*brim*) e geração automática de suportes apenas nos pontos de contato com a superfície de impressão. O percentual de preenchimento interno pode ser aumentado para 50% quando se deseja obter maior resistência estrutural, embora isso

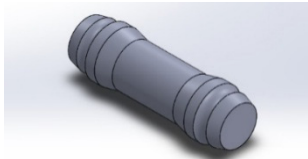



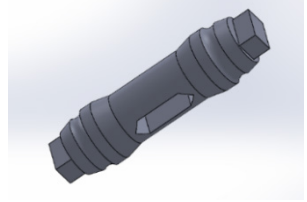



implique maior consumo de filamento e ampliação do tempo total de impressão. Alterando a altura de camada para 0,15 mm obtém-se peças com menor resolução, porém ainda com acabamento aceitável, e com menor tempo de impressão. Os modelos foram impressos utilizando-se filamentos genéricos de ABS e PLA, obtendo-se impressões de boa qualidade em ambos os casos, conforme pode ser observado nas fotos das peças impressas na Tabela 1.

Durante a etapa de fatiamento dos modelos 3D, as peças foram dispostas na mesa de impressão em orientações estrategicamente otimizadas, visando reduzir ao mínimo possíveis falhas de impressão, bem como a quantidade e a complexidade das estruturas de suporte. As peças correspondentes às ligações simples, ligações duplas e ao átomo de hidrogênio com ligação simples foram posicionadas verticalmente, com a base das ligações apoiada diretamente na mesa, o que eliminou a necessidade de suportes adicionais. Já as peças representando os átomos de carbono  $sp^3$ , carbono  $sp^2$ , nitrogênio e oxigênio foram orientadas com um de seus encaixes voltado para a base da impressora, configuração que possibilitou ao software de fatiamento gerar apenas uma pequena quantidade de suportes, de fácil remoção após a impressão com o auxílio de um alicate de corte fino.

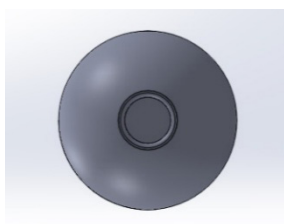
Com o objetivo de testar a funcionalidade das peças desenvolvidas para montagem de modelos moleculares, algumas moléculas foram selecionadas e seus modelos moleculares montados.

Tabela 1 - Conjunto de peças desenvolvidas para o kit de modelos moleculares. São apresentados os modelos digitais 3D e as respectivas fotos das peças impressas com filamento de ABS.

Peça	Modelo 3D	Peça impressa em ABS
Ligação Simples		
Átomo de hidrogênio com ligação simples		
Ligação dupla		



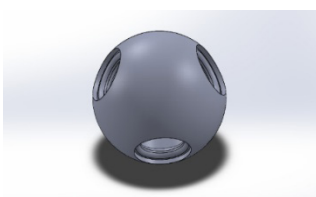
Átomo de carbono  
 $sp^3$



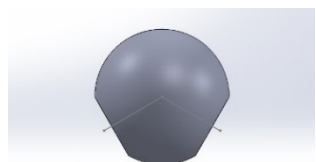
Átomo de carbono  
 $sp^2$



Átomo de  
nitrogênio



Átomo de  
oxigênio

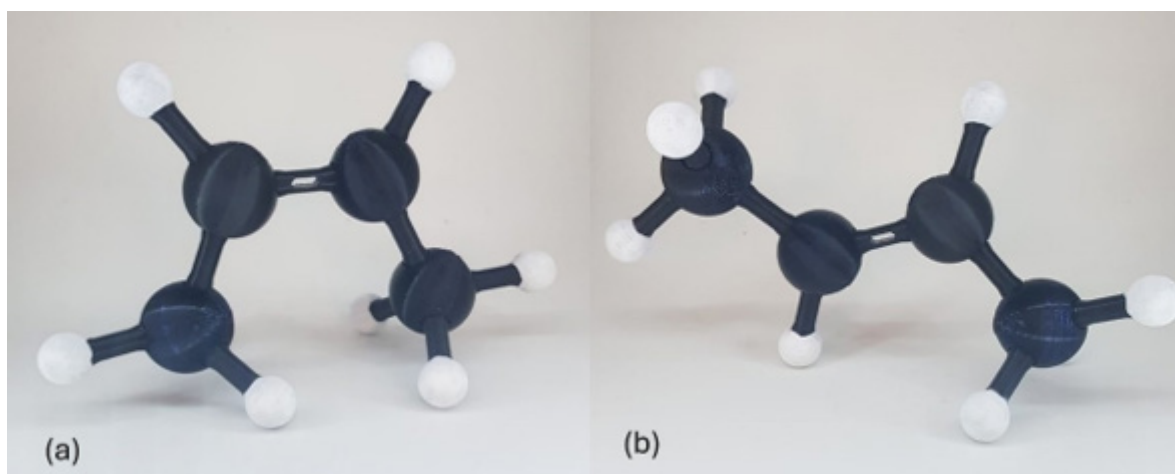


Fonte: Os autores (2025).

A Figura 2 apresenta um exemplo de montagem dos modelos moleculares dos isômeros cis-2-buteno e trans-2-buteno, utilizando peças de ligações duplas e átomos de carbono  $sp^2$ . A cada um desses carbonos foi acoplada uma peça correspondente a um átomo de carbono  $sp^3$ . Para completar o modelo foram utilizadas peças para átomos de hidrogênio integrados às ligações simples. Todas as peças foram impressas em filamento de PLA preto, e as peças de hidrogênio com ligação simples receberam acabamento com pintura acrílica branca na porção referente ao átomo de hidrogênio. O encaixe entre a ligação dupla e os átomos de carbono  $sp^2$  não permite a rotação em torno do seu eixo, ao contrário das ligações simples. Esta característica não é normalmente encontrada nos modelos moleculares já publicados anteriormente e possibilita a representação adequada dos dois isômeros geométricos em aplicações didáticas.



Figura 2 – Modelos para os isômeros (a) cis-2-buteno e (b) trans-2-buteno (peças impressas com filamento de PLA)



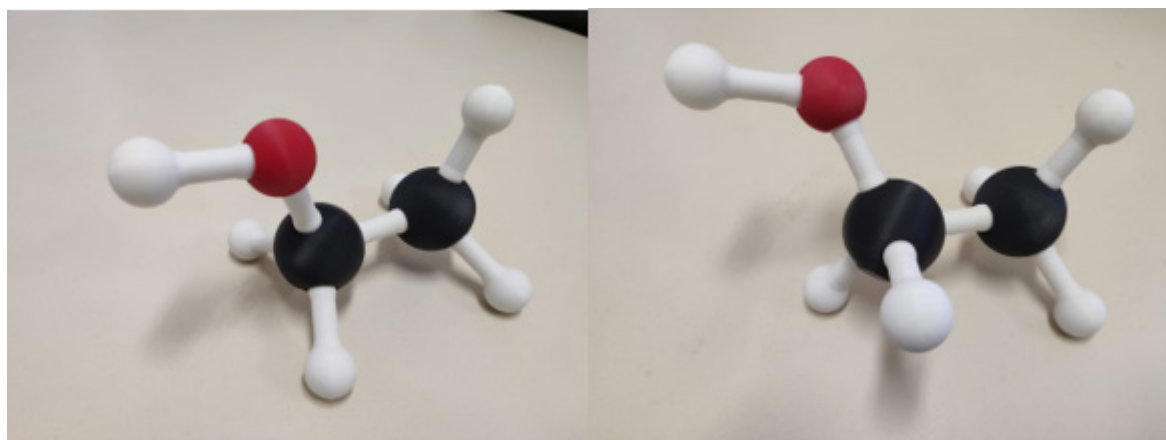
Fonte: Os autores (2025)).

Na Figura 3 são apresentados dois isômeros conformacionais da molécula de etanol, que se distinguem pela orientação relativa entre os grupos  $-CH_3$  e  $-CH_2OH$ . Os encaixes existentes entre os dois átomos de carbono  $sp^3$ , exibidos em preto, possibilitam rotação livre, permitindo que os grupos ligados a esses carbonos sejam girados, o que torna viável representar diferentes conformações da molécula. Para esses modelos foram impressas peças em ABS com filamentos de diferentes cores (átomos de hidrogênios em branco, átomos de carbono em preto e átomos de oxigênio em vermelho). As peças para os átomos foram projetadas com raios proporcionais aos raios atômicos aproximados de cada tipo de átomo. No modelo pode-se notar a conformidade com a ordem esperada dos raios atômicos desses elementos.

A Figura 4 mostra a montagem do modelo molecular do ciclo-hexano nas conformações cadeira e barco. Para a mudança conformacional entre o ciclo-hexano nas formas cadeira e barco, dispensa-se a desmontagem do modelo, exigindo apenas pequenos ajustes nas posições das peças para representar a mudança estrutural, o que pode ser realizado manualmente com facilidade. Essa característica confere ao kit de modelos moleculares apresentados neste trabalho um diferencial importante em relação aos kits de modelos moleculares tradicionais, que, em geral, não permitem reproduzir de forma contínua o movimento entre conformações. As aplicações ilustradas nas Figuras 3 e 4 demonstram que os modelos desenvolvidos possibilitam simular alguns comportamentos dinâmicos das moléculas, especialmente em transformações que envolvem a rotação em torno de ligações simples, como ocorre no caso do etanol e do ciclo-hexano.



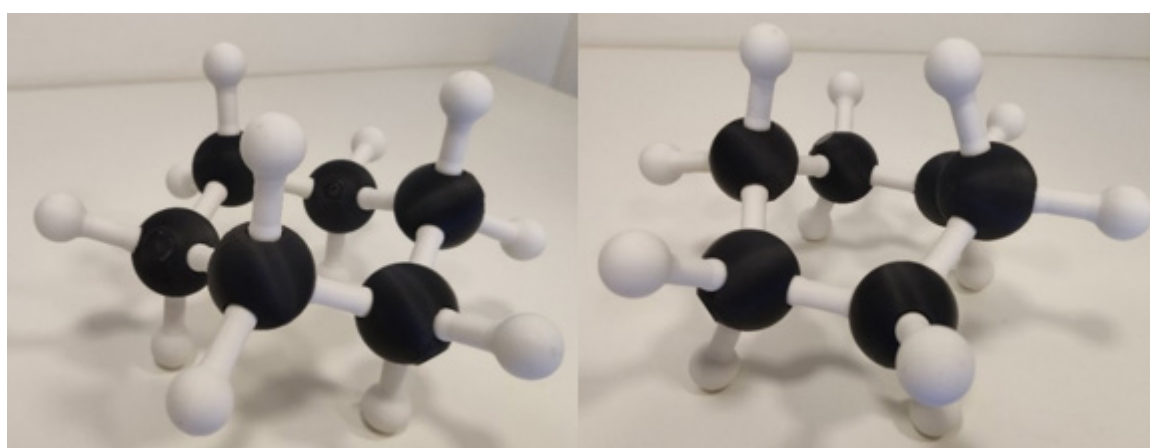
Figura 3 – Representações moleculares do etanol em duas conformações distintas, resultantes da rotação em torno da ligação C–C (impressão com filamento de ABS).



Fonte: Os autores (2025))

Essa possibilidade de visualizar e manipular as transições conformacionais contribui para que os estudantes compreendam que as moléculas não são entidades rígidas, mas sistemas em constante movimento, sujeitos a mudanças estruturais que influenciam suas propriedades físico-químicas e reatividade. Desse modo, o kit amplia o potencial didático dos modelos moleculares físicos, permitindo explorar não apenas aspectos estáticos da estrutura, mas também elementos da dinâmica molecular. Além disso, favorece uma compreensão mais integrada de conceitos como energia potencial, estabilidade e interconversão conformacional, essenciais ao estudo da isomeria e à construção de um pensamento químico mais próximo da realidade molecular.

Figura 4 – Representações moleculares dos isômeros conformacionais do ciclo-hexano: à esquerda, a conformação cadeira; à direita, a conformação barco (impressão com filamento de ABS).



Fonte: Os autores (2025)).

Outro aspecto relevante possibilitado pela impressão 3D das peças do kit de modelos moleculares é a personalização de escala. Enquanto os kits comerciais de modelos moleculares são disponibilizados em tamanhos fixos, a fabricação por impressão 3D permite ampliar ou reduzir as dimensões das peças



de forma simples, sem a necessidade de modificar o modelo tridimensional original. Essa configuração é realizada na etapa de fatiamento, por meio do ajuste do fator de escala no software fatiador. Em contexto de sala de aula, o professor pode, por exemplo, utilizar versões ampliadas das peças, como o dobro ou mais do tamanho padrão, para facilitar a visualização dos modelos pelos estudantes durante explicações e demonstrações.

A escala ampliada pode favorecer a visualização do modelo pelos estudantes durante explicações ou demonstrações realizadas pelo professor. Para atividades práticas nas quais os alunos manipulam diretamente os modelos, recomenda-se a impressão das peças na escala padrão ou, quando conveniente, em dimensões reduzidas, a fim de otimizar o consumo de filamento e o tempo de produção. A Figura 5 ilustra o modelo molecular da molécula de cis-2-buteno construído com peças impressas em tamanho original (na cor preta) e em escala reduzida pela metade (na cor marrom). O limite inferior de tamanho das peças está associado à resolução e à qualidade da impressão, enquanto o limite superior é determinado pela área útil da mesa de impressão disponível no equipamento utilizado.

Figura 5 – Representação molecular do cis-2-buteno impressa em duas escalas: 50% (marrom) e 100% (preto), utilizando filamento de PLA.

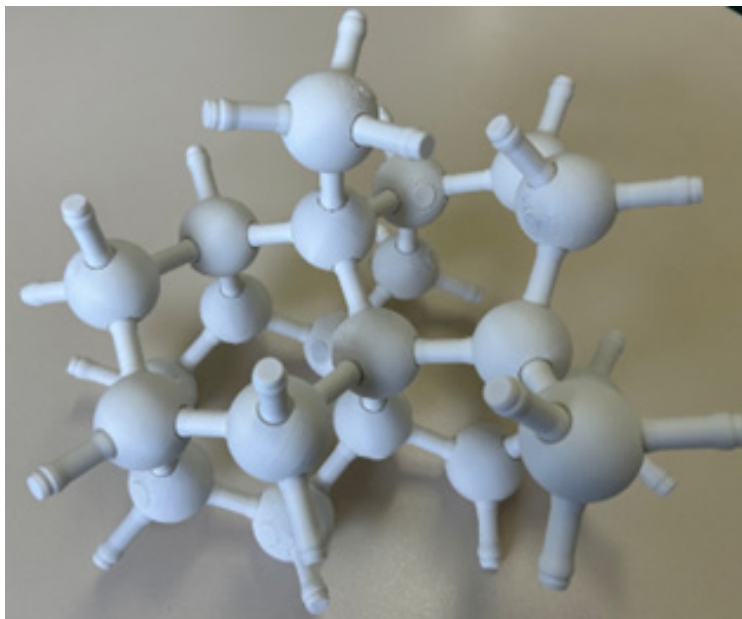


Fonte: Os autores (2025))

Na Figura 6 é apresentada a montagem de uma parte da estrutura cristalina do diamante, composta somente de peças de ligações simples e 21 átomos de carbono  $sp^3$ . Este modelo apresentou boa rigidez e manteve-se estável quando submetido a deformações, características estas compatíveis com a propriedade física de alta dureza do diamante.



Figura 6 – Modelo molecular do cristal de diamante (impressão com filamento de ABS).



Fonte: Os autores (2025))

Deve-se destacar algumas restrições de ordem técnica no kit de modelos moleculares impresso em 3D. Em moléculas que ultrapassam 10 átomos de carbono em cadeias lineares, o peso das peças pode levar à soltura dos encaixes entre átomos e ligações (isso não ocorre no caso de modelos com cadeias ramificadas como a representada na Figura 6). Para contornar esse problema, recomenda-se a impressão das peças em escala reduzida, o que diminui significativamente o peso e aumenta a estabilidade do conjunto. Outro aspecto a ser considerado pelo professor refere-se à durabilidade dos encaixes, que varia de acordo com o tipo de filamento utilizado, a qualidade da impressão, os cuidados na manipulação e o número de vezes em que as peças são montadas e desmontadas. De acordo com nossos testes, os encaixes costumam resistir a, pelo menos, dez atividades práticas com manipulação pelos alunos antes de apresentar sinais de desgaste, perceptíveis quando as conexões se tornam frouxas. Caso se deseje prolongar a vida útil das peças, é possível aumentar a densidade de preenchimento no software de fatiamento, garantindo maior resistência mecânica.

O produto educacional apresentado neste trabalho é disponibilizado sob a licença Creative Commons CC BY-NC 4.0 (Atribuição–Não Comercial), que permite o uso, cópia, adaptação e redistribuição do material em qualquer meio ou formato, desde que seja atribuída a devida autoria e que o uso não tenha fins comerciais. Essa modalidade de licenciamento incentiva a circulação do conhecimento e o compartilhamento de recursos educacionais de forma ética e colaborativa, assegurando reconhecimento aos autores e promovendo a democratização do acesso a materiais didáticos de qualidade. Dessa forma, o kit de modelos moleculares configura-se como um Recurso Educacional Aberto (REA), em consonância com os princípios de abertura, reuso e acessibilidade no ensino de Ciências.

Os resultados obtidos neste estudo podem ser interpretados à luz de princípios amplamente discutidos na literatura sobre aprendizagem em Ciências, especialmente aqueles relacionados ao uso de



múltiplas representações e à aprendizagem ativa. A possibilidade de manipulação dos modelos físicos favorece a construção de representações mentais mais consistentes sobre a estrutura da matéria, ao permitir que os estudantes articulem dimensões simbólicas, bidimensionais e tridimensionais do conhecimento químico. Além disso, a exploração de diferentes configurações moleculares por meio da montagem e transformação dos modelos contribui para processos de aprendizagem que envolvem comparação, generalização e abstração, aspectos fundamentais para a compreensão de conceitos como isomeria e geometria molecular. Nesse sentido, o kit proposto não apenas atende a requisitos técnicos e funcionais, mas também se configura como um recurso didático alinhado a abordagens que valorizam a participação ativa do estudante na construção do conhecimento, reforçando seu potencial para promover aprendizagens mais significativas em Química.

## Considerações Finais

O kit para montagem de modelos moleculares desenvolvido neste trabalho configura-se como um produto educacional aberto, acessível e de fácil reprodutibilidade, que apresenta vantagens significativas em relação aos kits comerciais disponíveis no mercado. Enquanto os modelos vendidos como produtos prontos costumam ter custo elevado e pouca flexibilidade de reposição, o kit proposto pode ser produzido integralmente com impressoras 3D de baixo custo e filamentos amplamente disponíveis, permitindo ao professor imprimir ou substituir peças conforme sua necessidade.

Entre os principais diferenciais, destaca-se o sistema de encaixe das ligações duplas, projetado para impedir a rotação em torno do eixo, o que possibilita representar adequadamente isômeros geométricos e mudanças conformacionais, aspectos geralmente ausentes nos kits comerciais. Essa característica amplia as possibilidades de uso em atividades que envolvem visualização tridimensional, raciocínio espacial e compreensão da relação entre estrutura e propriedade molecular.

Embora apresente inúmeras potencialidades, o kit também possui limitações inerentes aos modelos físicos, uma vez que não representa interações intermoleculares, forças eletrostáticas ou transformações químicas dinâmicas. Nesse sentido, seu uso deve ser visto como complementar a modelos computacionais e outras representações simbólicas, compondo um conjunto integrado de recursos para o Ensino de Química.

Como perspectivas futuras, considera-se a possibilidade de ampliar o conjunto de peças disponíveis, incorporando novos átomos e tipos de ligações, de modo a permitir a representação de moléculas mais complexas e estruturas cristalinas inorgânicas diversas. Além disso, investigações futuras pretendem explorar o uso do kit em diferentes níveis de ensino, analisando seu impacto no desenvolvimento do raciocínio espacial e na aprendizagem de conceitos químicos abstratos. A integração do recurso com abordagens digitais, como realidade aumentada ou softwares de modelagem molecular, também se apresenta como um campo promissor para potencializar ainda mais sua aplicabilidade didática.



Consideramos que o kit de peças para montagem de modelos moleculares em 3D descrito neste trabalho constitui uma alternativa inovadora, aberta e flexível para o Ensino de Química que conjuga baixo custo, personalização e potencial de articulação com práticas pedagógicas investigativas. Esse recurso pode contribuir para aproximar os estudantes da dimensão tridimensional da matéria e favorecer aprendizagens mais significativas e integradas sobre a estrutura molecular.

## Referências

AUTODESK. **Autodesk Fusion 360** [software]. San Rafael, CA: Autodesk Inc., 2025. Disponível em: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360>. Acesso em: 15 set. 2025.

BARBOZA, T. B.; DOS SANTOS, C. M.; KOHORI, R. K.; GIBIN, G. B. Uso de um aplicativo na construção de representações de moléculas orgânicas durante o ensino remoto. **Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista – ENCITEC**, v. 12, n. 3, p. 131-148, 8 dez. 2022.

FAZELPOUR, Elham; FENNELL, Christopher J. Interactive molecular model assembly with 3D printing. **Journal of Visualized Experiments (JoVE)**, n. 162, p. e61487, 1-15, 2020. DOI: 10.3791/61487.

FONSECA, L. G. A.; LIMA, A. M. Q.; SOUZA, R. F. Utilização da impressão 3D no ensino de isomeria espacial. **Instrumento: Revista de Estudo e Pesquisa em Educação**, Juiz de Fora, v. 26, n. 1, p. 259–276, 2024. Disponível em: <https://periodicos.ufjf.br/index.php/revistainstrumento/article/view/45813>. Acesso em: 11 out. 2025.

GILBERT, J. K.; BOULTER, C. J. **Developing models in science education**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000. DOI: 10.1007/978-94-010-0876-1.

GILBERT, J. K.; TREAGUST, D. **Multiple representations in chemical education**. Dordrecht: Springer, 2009. DOI: 10.1007/978-1-4020-8872-8.

JONES, O. A. H.; SPENCER, M. J. S. A Simplified Method for the 3D Printing of Molecular Models for Chemical Education. **Journal of Chemical Education**, n. 95, p. 88-96, 2018.

PROFESSORRODRIGO. **Molecular Modular Set [modelo 3D]**. Thingiverse, 2023. Disponível em: <https://www.thingiverse.com/thing:6117212>. Acesso em: 28 set. 2025.

SILVA, K. S. da; CORREIA, P. R. M. Estratégia para Identificar Erros Conceituais de Química: Incompreensões em Torno da Aprendizagem de Geometria Molecular. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, [S. l.], p. e42082, 1–21, 2023.

SMITH, David P. Active learning in the lecture theatre using 3D printed objects. **F1000Research**, [s. l.], v. 5, 2016. DOI: 10.12688/f1000research.7632.2.

ULTIMAKER. **Ultimaker Cura [software]**. Versão 5.7.0. Utrecht: Ultimaker B.V., 2024. Disponível em: <https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura/>. Acesso em: 5 out. 2025.



WILLIAMSON, V. M; ABRAHAM, M. R. The Effects of Computer Animation on the Particulate Mental Models of College Chemistry Students. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 32, n. 5, p. 521–534, 1995. DOI: 10.1002/tea.3660320508.