



Realidade Aumentada no Ensino de Química Orgânica: Uma Abordagem Imersiva e Interativa para o Ensino de Isomeria Plana e Espacial

Augmented Reality in Organic Chemistry Education: an Immersive and Interactive Approach to Teaching Structural and Spatial Isomerism

Pamela R. Patrício,^{a,*} Willian F. Reis,^a Rodrigo A. Castro,^b Gabriela M. P. C. Andrade^a

^a Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG), Unidade Divinópolis, Departamento de Ciências Naturais e da Terra, CEP 35501-170, Divinópolis-MG, Brasil

^b Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), Campus Divinópolis, Departamento de Formação Geral, CEP 35503-822, Divinópolis-MG, Brasil

*E-mail: pamela.patricio@uemg.br

Submissão: 19 de Agosto de 2024

Aceite: 9 de Novembro de 2024

Publicado online: 29 de Novembro de 2024

Chemistry Teaching has the challenge of teaching abstract topics in a contextualized and interesting way that are often distant from the student's daily life. To solve this problem, teachers can use richer resources than verbal explanations, in order to bring students closer to the phenomena. In the scenario of technological innovations, Augmented Reality emerges as a promising alternative for the visual representation of objects related to content and can contribute to teaching the area of chemistry known as organic chemistry. For understanding, it is essential that students are able to visualize three-dimensional objects. As the use of textbooks and blackboards cannot always overcome this obstacle, the present work aimed to create 39 augmented reality markers and apply these materials to teaching organic chemistry content such as structural and spatial isomerism. Through the teaching material developed, using augmented reality markers, it is possible to visualize molecular structures in three dimensions. The application of the markers in the classroom confirmed the contributions of this tool in teaching isomerism to high school students and highlighted some limitations of the teaching resources that were improved for future pedagogical interventions.

Keywords: Information and communication technologies; isomerism; augmented reality.

1. Introdução

O ensino de Química tem enfrentado um grande desafio: despertar o interesse dos estudantes em uma disciplina frequentemente considerada difícil e desinteressante. Este estigma está associado, em grande parte, ao ensino tradicional baseado na memorização de fórmulas e conceitos que parecem desconectados do cotidiano.¹ Além disso, muitos estudantes se mostram inquietos e desmotivados nas aulas que se restringem ao uso do quadro e giz.²

Para reverter essa situação, as Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) têm sido incorporadas cada vez mais às metodologias de ensino com o objetivo de tornar o ambiente escolar mais dinâmico e envolvente para os estudantes. O uso das TICs no ensino de Ciências, especialmente na Química, está relacionado com a reestruturação do currículo e a redefinição das metodologias de ensino. Estas tecnologias facilitam o acesso a um conjunto de informação e recursos cuja utilização também promove o desenvolvimento de habilidades de avaliação, interpretação e reflexão crítica, especialmente entre os professores de Ciências.³

O uso das TICs no ensino de Ciências e de Química também pode proporcionar aos estudantes acesso a recursos como bibliotecas digitais, bases de dados, vídeos educativos e documentários. Além disso, permite colaboração por meio de plataformas de ensino a distância e fóruns, aprendizagem interativa com simulações e modelos virtuais.⁴⁻⁵ Esses recursos digitais podem facilitar a compreensão de conceitos abstratos. Até alguns anos atrás, o imaginário era retratado predominantemente por meio de linguagem verbal e escrita, ou, quando possível, através de desenhos, maquetes e outras representações. Essas formas de expressão apresentavam determinadas limitações, impedindo que o imaginário se aproximasse da realidade. No entanto, os avanços tecnológicos e a incorporação de computadores no cotidiano das pessoas transformaram e potencializaram as formas de representação do imaginário. Isso permitiu a interação entre o mundo imaginário e o real, rompendo as barreiras tradicionais entre a tela do monitor e o usuário.⁶

Um dos recursos que tem permitido a reprodução do imaginário de forma interativa é a tecnologia de Realidade Aumentada (RA) que combina elementos do mundo real com elementos virtuais. A RA também pode ser descrita como uma interface computacional avançada que

permite a inserção de objetos reais e virtuais no mesmo espaço, a interação em tempo real e o registro preciso desses objetos.⁷⁻⁸ A realidade aumentada permite que os indivíduos interajam com elementos virtuais de maneira espontânea e realista facilitando a compreensão das informações apresentadas. O potencial de aplicação e usabilidade desse recurso é extenso, sendo atualmente utilizado em diversas áreas do conhecimento, como arquitetura, publicidade, design, educação e geologia, entre outras.⁹

Macedo e Fernandes¹⁰ enfatizam que a realidade aumentada em contextos educacionais oferece benefícios como a visualização tridimensional de experimentos, a interação ativa dos estudantes com esses experimentos, a facilidade e rapidez de uso após a criação dos objetos de aprendizagem em RA, além da simplicidade e custo reduzido dos equipamentos necessários. Além disso, a RA possui duas características que a tornam especialmente atraente para o uso em salas de aula: ela oferece uma visualização mais clara dos conteúdos e o seu uso estimula a interatividade entre os estudantes durante o processo de ensino-aprendizagem.¹¹ Assim, o emprego da RA no apoio ao ensino permite que os estudantes interajam em tempo real, o que pode facilitar o processo de aprendizagem.¹²

No Ensino de Química, a compreensão da estrutura da matéria e da teoria molecular é fundamental. A utilização de representações visuais pode contribuir para que os estudantes aprendam esses conceitos de maneira significativa.¹³ Sem representações adequadas é difícil para os estudantes compreenderem conceitos complexos inerentes à disciplina. Este também é o panorama em que a Química Orgânica está inserida. Ela aborda conceitos, muitas vezes considerados complexos, como a isomeria plana e espacial. No mesmo sentido, Reis¹⁴ afirma também que a capacidade de percepção espacial, essencial para o entendimento de alguns conceitos químicos, varia entre os estudantes. De acordo com o autor, alguns encontram dificuldades para visualizar até mesmo as representações tridimensionais mais simples.¹⁴ Para que essas dificuldades possam ser reduzidas, os autores Torres, Kirner e Kirner¹⁵ argumentam que a utilização de recursos tecnológicos interativos para visualização de modelos químicos da estrutura das moléculas pode facilitar a aprendizagem. Dessa forma, no cenário de inovações tecnológicas, a RA surge como uma alternativa promissora para a representação visual dos objetos relacionados ao conteúdo de química.

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo a criação de marcadores de realidade aumentada que projetam simultaneamente a estrutura tridimensional de dois isômeros no espaço virtual e a aplicação desses materiais no ensino de isomeria plana e espacial. Os materiais didáticos foram utilizados em uma aula de revisão em uma escola localizada no interior de Minas Gerais. Após a aula, o professor colaborador avaliou o impacto do uso desses materiais e o validou, assegurando sua relevância para a prática pedagógica.

2. Metodologia

2.1. Elaboração de estruturas moleculares em realidade aumentada

Marcadores de realidade aumentada foram desenvolvidos pelos pesquisadores com foco no conteúdo de isomeria plana e espacial. A escolha das estruturas moleculares foi realizada a partir de uma análise detalhada dos principais livros didáticos recomendados para o ensino médio, selecionando exemplos recorrentes. É importante destacar que o professor colaborador não participou da elaboração dos marcadores. Esse processo foi conduzido exclusivamente pelos pesquisadores, que também realizaram um levantamento dos softwares e aplicativos disponíveis para a criação dos marcadores.

O desenvolvimento das estruturas moleculares tridimensionais em RA foi realizado utilizando a versão gratuita do software *ACD/ChemSketch* (2020.2.1) e a versão de teste do programa *SketchUp* (17.2.2555). Com o auxílio do *ACD/ChemSketch*, foram desenvolvidas estruturas tridimensionais, que foram exportadas no formato.mol. Para os arquivos exportados serem reconhecidos no *SketchUp*, a extensão *Molecule Importer* foi instalada no *software*. No programa *SketchUp* as estruturas moleculares foram ajustadas adequadamente no espaço tridimensional e salvas como objetos em 3D nos formatos .obj e .mtl. Os arquivos exportados nas extensões .obj e .mtl de cada objeto foram compactados no formato .zip e inseridos na área gratuita do site *Mirage Make*. Em alguns casos, foram adicionadas questões de múltipla escolha sobre isomeria nos arquivos carregados na plataforma. Através do site, gerou-se um marcador de realidade aumentada para cada objeto, que posteriormente foram testados no aplicativo de RA gratuito *Mirage Make*, disponível para os sistemas *Android* e *iOS*. Para utilizar as estruturas moleculares em RA, é necessário acesso à internet para baixar o aplicativo *Mirage Make* e para escanear os marcadores de RA criados nesse trabalho.

2.2. Uso das estruturas moleculares em realidade aumentada pelo professor

A pesquisa foi conduzida em agosto de 2021, em um ambiente híbrido, devido à pandemia de COVID-19. A escola selecionada para o estudo foi escolhida por sua disponibilidade, pelo interesse do professor em participar da pesquisa e em ter acesso a materiais didáticos tecnológicos apropriados para o ensino de isomeria no Ensino Médio. A seleção da turma baseou-se na disponibilidade de maior número de aulas para o aprendizado desse conteúdo, resultando na escolha de uma turma do segundo ano do Ensino Médio.

Dois aulas de 50 minutos cada foram ministradas de maneira online por um professor de Química para 35 alunos, dos quais 12 estavam presentes na escola e 23 partici-

param remotamente. Os alunos que estavam na instituição contaram com o apoio de um coordenador pedagógico durante a aula.

Para o desenvolvimento das aulas, o professor selecionou apenas os marcadores de RA pertinentes à sua aula de revisão. Os alunos utilizaram dispositivos móveis para escanear os marcadores projetados pelo professor, visualizar as estruturas moleculares em 3D no ambiente virtual, compará-las entre si e identificar os tipos de isomeria representados. O professor utilizou marcadores de RA aumentada contendo isômeros no mesmo espaço virtual para explicar o conteúdo e marcadores com questões de múltipla escolha sobre isomeria plana e espacial para avaliar a compreensão do conteúdo. O desempenho acadêmico dos estudantes também foi monitorado pelo professor por meio de questionamentos direcionados.

Após a aplicação dos marcadores, o professor e o coordenador pedagógico forneceram feedback imediato, destacando as percepções sobre o impacto das ferramentas de RA no engajamento e compreensão dos alunos. O professor também foi orientado a preencher um relato de campo detalhado e descrever as reações dos alunos, as dificuldades observadas durante o uso dos marcadores de RA e sugestões de melhorias para a implementação futura. O processo de coleta de dados baseou-se então nas observações e registros feitos pelo professor colaborador, pois os pesquisadores não puderam estar presentes fisicamente durante a aplicação do material devido às restrições da pandemia. Foi realizada uma triangulação de dados a partir de diferentes fontes – incluindo questionamentos do professor, feedback imediato e relatos manuscritos – para assegurar a validade e a confiabilidade dos resultados. Esse relato de campo foi analisado posteriormente pelos pesquisadores, que o utilizaram como base para aprimorar os marcadores.

3. Resultados e Discussão

3.1. Elaboração de estruturas moleculares em realidade aumentada

Como destacado por Singhal *et al.*,¹⁶ a habilidade e a percepção para visualizar objetos tridimensionais em um plano bidimensional variam significativamente entre os estudantes. Com o objetivo de atenuar esse desafio, nesse trabalho foi desenvolvido um material didático com realidade aumentada. Marcadores de realidade aumentada foram desenvolvidos para o ensino de isomeria plana e espacial pois comumente os estudantes enfrentam dificuldades ao lidar com representações tridimensionais de estruturas moleculares essenciais para o entendimento desse tópico. Utilizando marcadores de RA criados nesse trabalho (Figura 1), os alunos têm a oportunidade de visualizar estruturas moleculares em três dimensões (Figura 2) proporcionando uma compreensão mais intuitiva e aprofundada dos conceitos químicos.

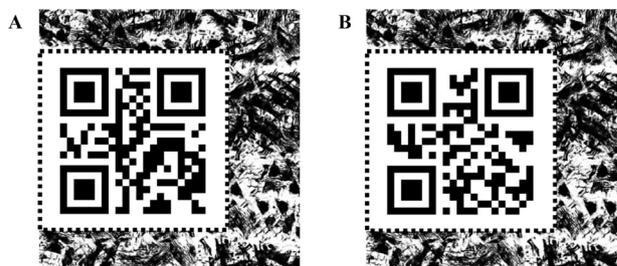


Figura 1. Marcadores de Realidade Aumentada a) but-2-en-2-ol e propan-2-ona; b) cis-but-2-eno e trans-but-2-eno

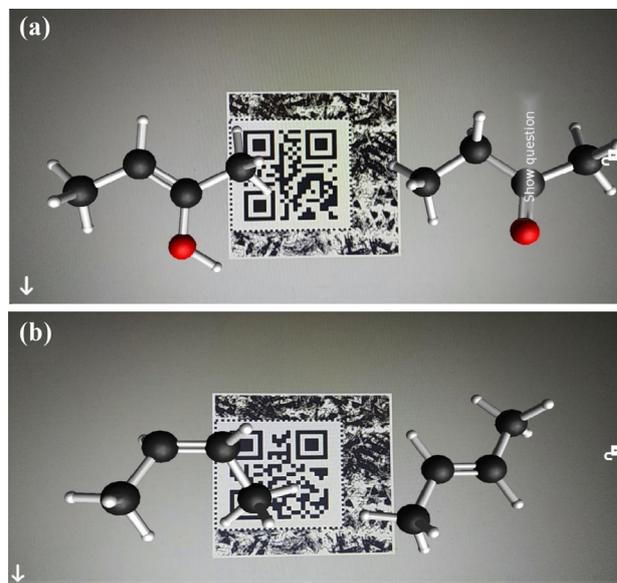


Figura 2. Imagem virtual (a) but-2-en-2-ol e propan-2-ona; (b) cis-but-2-eno e trans-but-2-eno

A proposta de realidade aumentada desenvolvida neste estudo distingue-se das abordagens existentes na literatura voltadas para dispositivos móveis, como a de Nascimento *et al.*¹⁷ Neste trabalho, os autores utilizaram um aplicativo gratuito (Isomérie Z/E) para abordar os conceitos de isomeria geométrica. Apesar dos resultados positivos, os marcadores utilizados apresentam apenas um único objeto tridimensional (molécula) no espaço virtual, o que dificulta a compreensão dos estudantes sobre isomeria geométrica. Isso ocorre porque os estudantes precisam visualizar e memorizar a estrutura em 3D antes de escanear outro marcador para realizar a comparação e chegar às conclusões pertinentes.

De maneira similar, os marcadores desenvolvidos por Trevisan, Kakizaki e Miranda¹⁸ também apresentam limitações. Embora os autores tenham criado um aplicativo para o ensino de isomeria, os marcadores exibem a fórmula estrutural e o nome das moléculas, o que desestimula os estudantes a desenvolverem a percepção tridimensional essencial para a aprendizagem de isomeria. Além disso, a atividade exige apenas uma molécula no espaço virtual, exigindo o uso de dois marcadores simultaneamente para visualizar e comparar as estruturas tridimensionais, o que pode dificultar a compreensão dos conceitos.

Em contraste, todos os marcadores desenvolvidos neste trabalho apresentam duas moléculas tridimensionais no espaço virtual (Figura 2), facilitando a compreensão dos estudantes sobre os diferentes tipos de isomeria. Isso permite que eles visualizem e comparem as estruturas em um único ambiente virtual, evitando o esquecimento das moléculas visualizadas e reduzindo a dispersão durante a comparação das estruturas tridimensionais.

Adicionalmente, foram criados marcadores de RA com perguntas de múltipla escolha relacionadas às estruturas tridimensionais. Ao visualizar as estruturas, os estudantes podem clicar no botão “Show question” (Figura 2A) para acessar a pergunta correspondente e selecionar a resposta que considerarem correta, com o aplicativo indicando se a escolha foi acertada (Figura 3).

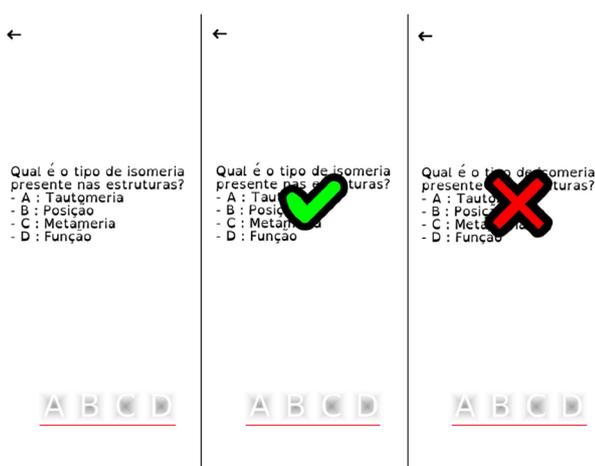


Figura 3. Pergunta referente à imagem virtual do but-2-en-2-ol e da propan-2-ona

As questões de múltipla escolha foram inseridas estrategicamente para assegurar que o material didático elaborado vá além da mera ilustração das estruturas tridimensionais, servindo como uma ferramenta de aprendizagem ativa e de autoavaliação para os estudantes. Por meio dos marcadores em RA desenvolvidos, os discentes têm a oportunidade de estudar o conteúdo de isomeria e interagir com as estruturas moleculares conforme sua conveniência. Os marcadores de RA desempenham um papel análogo aos modelos moleculares de bola-vareta comerciais, frequentemente utilizados para ensinar isomeria, mas que são inacessíveis para muitos alunos devido ao custo elevado. Em contrapartida, para utilizar os materiais propostos no presente trabalho o estudante ou grupo de estudantes precisa apenas de um *smartphone*. E atualmente, uma significativa parcela de crianças e adolescentes têm acesso a esses dispositivos móveis em ambientes escolares.

Os demais materiais desenvolvidos neste artigo, estão disponíveis nas informações suplementares do artigo. Foram criados 24 marcadores de realidade aumentada para o ensino de isomeria plana (cadeia, função, metameria, posição e tautomeria) e 15 marcadores para o ensino de isomeria espacial (geométrica e óptica) que podem contribuir como

recursos didáticos para o desenvolvimento das práticas pedagógicas dos professores de Química. O presente trabalho considera relevante a disponibilização desse material, pois no Brasil, os professores frequentemente enfrentam desafios como salas de aula superlotadas, cargas excessivas de aulas, e recursos financeiros e de tempo limitados para preparar aulas e investir em formação continuada, especialmente em tecnologias educacionais.¹⁹⁻²⁰ Assim, o material desenvolvido apresenta-se como uma alternativa viável para mitigar essas dificuldades no ensino de isomeria, dado que sua aplicação é simples e não requer que o professor tenha profundos conhecimentos em TICs.

3.2. Uso das estruturas moleculares em realidade aumentada pelo professor

De acordo com o relato de campo do professor de química que utilizou e avaliou os materiais pedagógicos em RA, os materiais didáticos desenvolvidos são “*excelentes*” e “*facilitam a discussão dos conceitos com os estudantes*”. Este retorno positivo evidencia a qualidade do material desenvolvido. Dessa forma, acreditamos que ele pode ser aproveitado por outros professores como suporte para o ensino e aprendizagem de isomeria plana e espacial.

O uso dos materiais pedagógicos em RA foi realizado de maneira híbrida em agosto de 2021, durante a pandemia causada pelo novo coronavírus (SARS-CoV-2). O professor ministrou os conteúdos remotamente para 35 estudantes, alguns participando de casa e outros na escola. Conforme relatado pelo professor, os estudantes não encontraram dificuldades para baixar e utilizar o aplicativo *Mirage Make*. Este relato reforça que o material pedagógico desenvolvido é de fácil uso tanto no ensino híbrido quanto no presencial.

Os marcadores de RA foram estrategicamente utilizados pelo professor para revisar o conteúdo de isomeria conforme o planejamento de aula. Durante a aula híbrida, os estudantes escaneavam os marcadores projetados pelo professor de química (Figura 4), visualizavam as estruturas tridimensionais presentes no ambiente virtual (Figura 5), comparavam-nas e identificavam o tipo de isomeria apresentada.

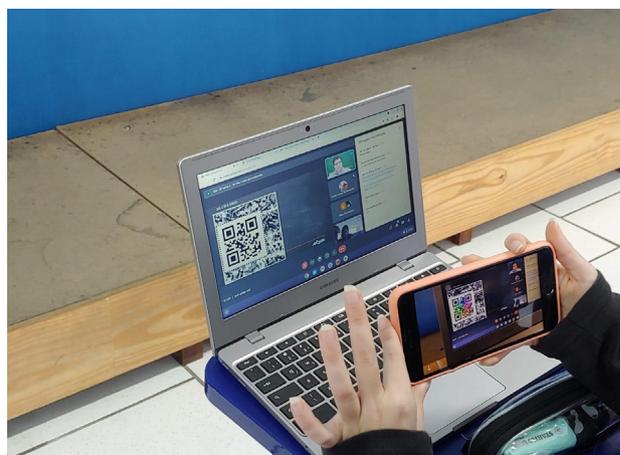


Figura 4. Marcador virtual de RA sendo escaneado pelos estudantes

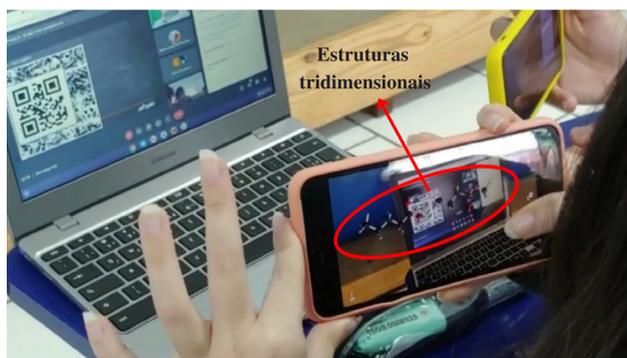


Figura 5. Visualização e comparação das estruturas tridimensionais presentes no ambiente virtual

Conforme o relato do professor, os estudantes inicialmente enfrentaram dificuldades para compreender as estruturas tridimensionais em RA representadas utilizando o modelo bola-vareta de forma virtual (Figura 6). Além disso, os estudantes tiveram dificuldades em associar a cor de cada bola com a representação do átomo correspondente. O professor observou que “apesar de ser uma representação adequada para as estruturas, os estudantes do Ensino Médio possuem pouca familiaridade com este tipo de representação”. Esse problema é corroborado pelo trabalho de Jesus,²¹ que destaca a dificuldade de assimilação do conteúdo pelos estudantes no primeiro contato com o modelo bola-vareta.

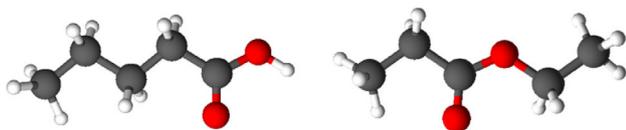


Figura 6. Representação de bola-vareta do ácido pentanóico e do propanoato de etila

Segundo Jesus,²¹ à medida que a utilização do modelo bola-vareta se torna frequente, seja através da RA ou de forma física, os estudantes passam a compreender os conteúdos de maneira mais satisfatória e conseguem relacionar o modelo com a teoria envolvida. Esse fenômeno reforça a importância da utilização contínua de recursos tridimensionais durante as aulas de Química, especialmente em conteúdos mais abstratos que exigem a percepção tridimensional dos estudantes, como é o caso da isomeria plana e espacial.

Essa experiência destaca a necessidade de familiarização progressiva dos estudantes com representações tridimensionais. A utilização de RA se mostra como uma ferramenta promissora para superar essas dificuldades iniciais, oferecendo uma forma mais interativa e visual de aprendizado que pode melhorar a compreensão dos conceitos de isomeria ao longo do tempo.

Durante as pesquisas realizadas em apostilas e livros de Química voltados para o Ensino Médio, observou-se que a utilização do modelo bola-vareta não é comum nesses materiais. Essa ausência pode explicar por que os

estudantes apresentaram dificuldades para compreender as estruturas representadas em RA no início da aplicação da proposta. A falta de familiaridade com esse tipo de representação tridimensional, geralmente ausente dos materiais didáticos tradicionais, contribui para a dificuldade inicial dos estudantes.

Para mitigar esse problema, o professor sugeriu que a representação das estruturas tridimensionais fosse feita de maneira diferente, como mostrado na Figura 7. A proposta de alteração visa facilitar a compreensão dos estudantes, proporcionando uma transição mais suave entre as representações bidimensionais e tridimensionais. Essa mudança pode ajudar a criar um ponto de referência mais acessível, permitindo que os estudantes associem com mais facilidade as representações visuais às estruturas moleculares.

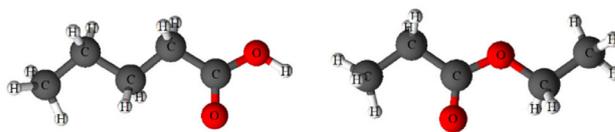


Figura 7. Representação sugerida pelo docente do ácido pentanóico e do propanoato de etila

Essa adaptação é importante, pois a familiarização progressiva com modelos tridimensionais é fundamental para a aprendizagem de conceitos complexos em Química, como a isomeria. A introdução de representações mais intuitivas pode servir como um passo intermediário, facilitando a transição para o uso mais avançado de modelos bola-vareta e, assim, promovendo uma melhor compreensão e assimilação dos conceitos teóricos pelos estudantes.

Pelo fato de a representação sugerida pelo professor não ser comumente utilizada no Ensino de Química e pela ausência de um software específico que viabilizasse a criação dessas estruturas e sua posterior representação em RA, foi criado um quadro de cores para mitigar as dificuldades encontradas pelos estudantes do Ensino Médio (Figura 8). O quadro pode ser utilizado pelos estudantes tanto de maneira impressa quanto de forma virtual, através de um dispositivo que permita a sua visualização. Essa ferramenta auxilia na identificação correta dos átomos nas estruturas tridimensionais, promovendo uma compreensão mais eficaz dos conceitos de isomeria plana e espacial, facilitando assim a aprendizagem e o entendimento dos estudantes.

Na legenda elaborada, cada cor refere-se a um átomo específico representado em RA. A busca na literatura revelou que o desenvolvimento dessa tabela é um diferencial significativo deste trabalho, destacando-se no contexto da aplicação de RA no ensino de isomeria plana e espacial para dispositivos móveis. O quadro de cores facilita a identificação correta dos átomos, promovendo uma compreensão mais clara das estruturas moleculares tridimensionais e contribui para a eficácia do processo de aprendizagem.

Além disso, os marcadores em RA com perguntas de múltipla escolha foram integrados à aula híbrida,

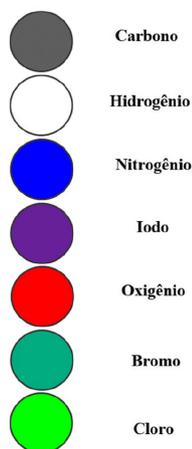


Figura 8. Quadro de cores dos átomos em RA

conforme ilustrado na Figura 9. Após comparar as estruturas (Figura 2), os estudantes clicavam no botão “*Show question*” presente no aplicativo e respondiam às perguntas, selecionando a opção que julgavam correta. Em seguida, o aplicativo indicava se a resposta estava correta ou não. Dessa forma, esses marcadores não apenas serviram como ferramentas de revisão, mas também incentivaram a auto-avaliação e o engajamento ativo dos estudantes no processo de aprendizado. A utilização das perguntas de múltipla escolha ajudou a garantir que o material didático não fosse utilizado apenas como uma ferramenta ilustrativa, mas como um recurso pedagógico dinâmico e interativo, essencial para a assimilação dos conceitos de isomeria.

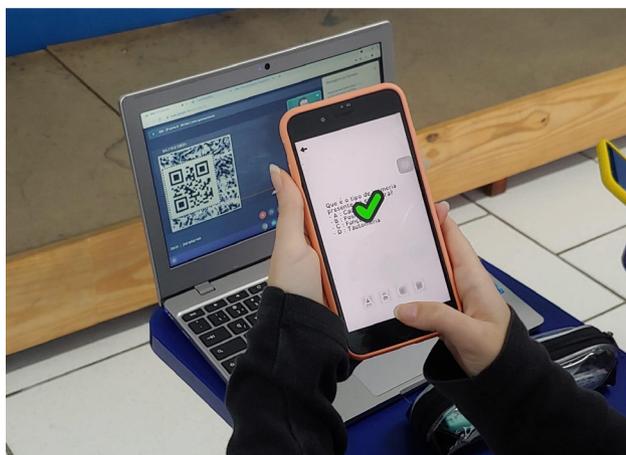


Figura 9. Estudantes respondendo às perguntas referente às estruturas visualizadas em RA

A implementação dos marcadores de RA com perguntas de múltipla escolha demonstrou ser eficaz em aumentar a interatividade e o envolvimento dos estudantes proporcionando uma experiência de aprendizado mais rica e imersiva. A combinação de representações visuais tridimensionais com questionamentos estratégicos possibilitou uma melhor fixação dos conteúdos e uma compreensão mais profunda dos diferentes tipos de isomeria. De acordo com o professor, os estudantes mostraram-se bastante entusiasmados com a

utilização da realidade aumentada, como evidenciado na seguinte citação:

“Os alunos estavam bastante interessados e curiosos com a utilização da realidade aumentada em sala de aula. Desde a aula anterior, quando foi comunicado a eles que utilizaríamos a tecnologia, eles se mostraram interessados.”

Essa observação corrobora os relatos apresentados em diversos trabalhos que utilizam realidade aumentada no ensino. Por exemplo, Ibáñez *et al.*²² indicam que a RA é capaz de aumentar a motivação, a satisfação e o engajamento dos estudantes durante suas atividades. Apesar das dificuldades iniciais encontradas pelos estudantes durante a aplicação da proposta, o professor afirmou que “*a atividade realizada foi extremamente proveitosa*”. Ele destacou que, à medida que os estudantes se familiarizaram com as estruturas no formato bola-vareta ao longo da aula, desenvolveu-se um espírito competitivo entre eles. O professor relatou que a competição proporcionou um ambiente de engajamento, onde os alunos se sentiram mais motivados a participar e se esforçaram para aprender. O professor relatou ainda que até os estudantes menos participativos se empolgaram com os materiais em RA, contribuindo para a criação de um ambiente estimulante. Esse fenômeno é corroborado por outros estudos, como o de López e Contero,²³ que apontam a RA como uma ferramenta promissora para melhorar a motivação, o interesse e a aprendizagem dos conteúdos pelos estudantes.

Baseado no relato do professor, os discentes apreciaram a experiência. Através dos marcadores em RA, eles conseguiram revisar os conteúdos de isomeria de forma dinâmica, o que facilitou o processo de ensino-aprendizagem e melhorou a compreensão de tópicos abstratos e difíceis de assimilar.

4. Conclusão

O presente estudo possibilitou o desenvolvimento de materiais pedagógicos com o uso de realidade aumentada, sua aplicação em sala de aula e a análise das contribuições dessa TIC no ensino de isomeria plana e espacial para alunos do Ensino Médio.

Durante a aplicação dos marcadores de RA, uma limitação inicial observada foi a dificuldade dos estudantes em compreender as estruturas desenvolvidas, dado que não estavam habituados ao modelo bola-vareta frequentemente utilizado em aulas de Química Orgânica. Entretanto, essa dificuldade foi superada ao longo das aulas, à medida que os estudantes se familiarizaram com as estruturas tridimensionais em RA. Para mitigar essa questão, em futuras aplicações do material, foi criado um quadro de cores que relaciona as cores das estruturas aos seus átomos correspondentes, diferenciando esta proposta das encontradas na

literatura que não apresentam tal recurso. A originalidade deste trabalho também se evidencia pelo desenvolvimento de marcadores de realidade aumentada com dois isômeros apresentados simultaneamente no espaço virtual. A imagem projetada virtualmente são as estruturas tridimensionais desses compostos. Esta abordagem pode contribuir para uma aprendizagem significativa e facilitada do conteúdo de isomeria.

Além disso, os materiais pedagógicos desenvolvidos foram bem avaliados e se apresentam como uma alternativa para promover um ensino menos abstrato de isomeria plana e espacial. Eles podem ser utilizados pelos docentes tanto para ensinar quanto para revisar esses conteúdos de maneira dinâmica e ativa, garantindo uma melhor compreensão por parte dos estudantes durante as aulas.

Todavia, a aplicação foi realizada com um número limitado de estudantes (35), o que pode não refletir a diversidade das realidades institucionais existentes. O tempo necessário para que os estudantes se adaptem ao uso da RA e compreendam plenamente as estruturas tridimensionais pode variar, e estudos adicionais também são necessários para determinar o período ideal de adaptação. Estudos futuros devem considerar amostras maiores, diferentes contextos educacionais bem como outras áreas da Química para generalizar os resultados.

Outro ponto a ser considerado é que a implementação da RA requer dispositivos tecnológicos adequados, o que pode não estar disponível em todas as instituições de ensino. Para utilizar o material desenvolvido nesse trabalho é necessário acesso à internet para baixar e utilizar o aplicativo Mirage Make que realiza o escaneamento dos marcadores de RA. Isso pode limitar a aplicabilidade da proposta em diferentes contextos educacionais. É fundamental destacar que apesar da crescente inclusão digital no cotidiano e no ambiente escolar e embora ela seja promissora como evidenciado em nosso trabalho, ela ainda está longe de se concretizar plenamente em toda a extensão territorial do país. Considerando a vasta dimensão geográfica do Brasil e sua diversidade socioeconômica, sociocultural e educacional, o país enfrenta desafios significativos nesse contexto. Assim, apesar dos benefícios potenciais das TICs, elas também podem agravar a exclusão social, caso não sejam implementadas políticas públicas com um enfoque sensível e cuidadoso sobre essa questão.

Em suma, este estudo demonstra o potencial transformador da RA no ensino de isomeria, mas também destaca a importância de considerar as limitações e desafios que acompanham a integração de novas tecnologias no ambiente educacional.

Informações Suplementares

Informações Suplementares (marcadores de realidade aumentada elaborados para o ensino de isomeria plana e espacial) estão disponíveis gratuitamente em <https://rvq.s bq.org.br/>.

Agradecimentos

Agradecemos ao professor parceiro que contribuiu para o desenvolvimento dessa pesquisa.

Referências Bibliográficas

- Potvin, P.; Hansi, A. Interest, Motivation and Attitude Towards Science and Technology at K-12 Levels: A Systematic Review of 12 Years of Educational Research; *Studies in Science Education* **2014**, *50*, 85-129.
- Tatagiba, J.; Tatagiba, L. Decifrando Códigos nas Aulas de Matemática: Uma Experiência com o QR Code; *Série Educar – Linguagem Matemática* **2014**, *48*, 26-30.
- Martinho, T.; Pombo, L. Potencialidades das TIC no ensino das Ciências Naturais—um estudo de caso. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* **2009**, *v. 8, n. 2*, p.527-538.
- Lima, M. B.; Pereira, L. B.; Silva, L. A.; Merino, C. G.; Struchiner, M. Realidade Aumentada no Ensino de Ciências: Uma Revisão de Literatura. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 11., 2017, Florianópolis. Anais [...]; Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, **2017**.
- Silva, A.; Neto, N. A Prática Docente e as Tecnologias de Informação no Processo de Ensino-Aprendizagem; *Cadernos Camilliani* **2021**, *18*, 2516-2531.
- Queiroz, A.; Oliveira, C.; Rezende, F. Realidade Aumentada no Ensino da Química: Elaboração e Avaliação de um Novo Recurso Didático; *Revista Eletrônica Argentina-Brasil de Tecnologias da Informação e da Comunicação* **2015**, *1*.
- Kirner, C.; Tori, R. Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada; Belém, SBC, 2006.
- Azuma, R.; Baillet, Y.; Behringer, R.; Feiner, S.; Julier, S.; MacIntyre, B. Avanços recentes em realidade aumentada. *IEEE computação gráfica e aplicações* **2001**, *v. 21, n. 6*, p. 34-47.
- Rezende, S. M.; Gonçalves, J. D.; Pinto, S. C.; Delou, C. M. A Realidade Aumentada em Situações de Aprendizagem na Educação Básica: Uma Revisão de Literatura. In: Anais do II Workshop sobre as Implicações da Computação na Sociedade. SBC, **2021**. p. 102-111.
- Macedo, S. H.; Fernandes, F. A. Realidade aumentada e possibilidade de uso na educação. *Livros*, **2015**.
- Roberto, R. A. Desenvolvimento de Sistema de Realidade Aumentada Projetiva com Aplicação em Educação; *Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife*, **2012**, 53 f.
- Nogueira, K. F. C.; Desenvolvimento de uma arquitetura de distribuição de realidade virtual e aumentada aplicada em ambientes educacionais; *Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia*, **2010**, 94 f.
- Giordan, M. Computadores e linguagens nas aulas de ciências. Ijuí/RS: Editora Unijuí, **2008**.
- REIS, M. G. Realidade Aumentada Aplicada ao Ensino da Simetria Molecular. Disponível em: <https://www.uel.br/cce/dc/wp-content/uploads/TCC-MatheusReis-BCC-UEL-2013.pdf>. Acesso em: 06 ago. 2024.

- 15 Torres, F.; Kirner, T.; Kirner, C. Uso da Realidade Aumentada no Ensino de Ciências. **2016**.
- 16 Singhal, S.; Bagga, S.; Goyal, P.; Saxena, V. Augmented Chemistry: Interactive Education System; International Journal of Computer Applications **2012**, 49, 1-5.
- 17 Nascimento, A. M. S.; Araújo, N. K. S.; Lima, J. C. S.; Neri, P. H. L. Uso de Tecnologia Informação e Comunicação (TIC's) nas Aulas de Química no Conteúdo de Isomeria Geométrica (Estereoisomeria); International Journal Education and Teaching (PDVL) **2019**, 2, 15-29.
- 18 Trevisian, L.; Kalkizaki, A.; Miranda, M. Aplicação de Realidade Aumentada em Dispositivos Móveis para o Ensino de Geometria Molecular e Isomeria Espacial na Disciplina de Química. In: IV Simpósio de Engenharia, Gestão e Inovação, 4., 2021, Juazeiro do Norte (CE). Anais [...]; **2021**, 1-10.
- 19 Andrade, T.; Costa, M. O Laboratório de Ciências e a Realidade dos Docentes das Escolas Estaduais de São Carlos-SP; Química Nova na Escola **2016**, 38, 208-214.
- 20 Veltrone, L. Modelagem Atômica: O Elo Entre Experimentação e Simulações; Dissertação de Mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, **2019**.
- 21 Jesus, E. As Equações Químicas Sob a Ótica de Futuros Professores: Contribuições para a Formação Inicial; Tese de Doutorado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, **2018**.
- 22 Ibáñez, M. B.; Serio, A.; Villarán, D.; Kloos, C. D. Experimenting with Electromagnetism Using Augmented Reality: Impact on Flow Student Experience and Educational Effectiveness; Computers & Education **2014**, 71, 1-13.
- 23 Lópes, D.; Contero, M. Delivering Educational Multimedia Contents Through an Augmented Reality Application: A Case Study on Its Impact on Knowledge Acquisition and Retention; The Turkish Online Journal of Educational Technology **2013**, 12, 19-28.