



Realidade Aumentada para a Abordagem de Reações Químicas: Uma Experiência Pedagógica no Ensino Médio

Augmented Reality for Approaching Chemical Reactions: A Pedagogical Experience in High School

Luciano Silva de Miranda,^{a,*}  Melquesedeque da Silva Freire^{a,*} 

^a Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Instituto de Química, PROFQUI-UFRN, CEP 59078-900, Natal-RN, Brasil

*E-mail: lc387@ufrn.br

Submissão: 30 de Agosto de 2024

Aceite: 29 de Novembro de 2024

Publicado online: 17 de Dezembro de 2024

In recent years, studies on the use of Augmented Reality (AR) in education have drawn significant attention from teachers and researchers, particularly following the pandemic, which likely accelerated the adoption of technology-driven pedagogical practices, especially those using smartphone applications. This manuscript presents findings from a classroom study investigating AR's potential and challenges in chemistry education. The study was carried out with first-year high school students in a public school in Natal, Brazil, and involved a series of activities on chemical reactions in classroom. Data were collected through questionnaire, students' written responses and audio recording of discursive interactions in the classroom. The data analysis followed a qualitative approach, seeking evidence of how participants mobilized meanings around chemical reactions through classroom discussions and, specifically, during activities involving AR. Findings revealed that AR supported students in better visualizing, describing, and interpreting chemistry concepts, particularly in connecting the macroscopic, submicroscopic, and representational levels of understanding. The study also promoted reflection on the epistemological nature and limitations of scientific models as representational tools in chemistry. Findings suggest that AR can facilitate a more comprehensive grasp of chemical phenomena, offering students a new perspective on complex concepts and potentially enhancing their engagement with the subject matter.

Keywords: Augmented reality, sequence of activities, chemical reactions.

1. Introdução

A realidade aumentada (RA) pode ser entendida como uma projeção de objetos em 3D realizada por aparelhos tecnológicos, tais como *smartphones*, *tablets*, *laptops*, *ultrabooks*, *notebooks*, *media players*, *iPods* e similares, *games*, consoles, entre outros dispositivos, através da leitura de marcadores em 2D (que pode ser uma figura ou mesmo um código de resposta rápida), em tempo real, possibilitando ao usuário a manipulação do objeto.¹ A projeção virtual é feita em uma combinação entre o marcador e o *software* instalado no aparelho mantendo-se as características do mundo real durante a visualização dos objetos projetados. De um ponto de vista pedagógico, o uso de ferramentas desse tipo pode ser muito útil para a abordagem de temas que necessitam explorar imagens de objetos, processos, podendo auxiliar, por exemplo, a abordagem de conceitos e conteúdos abstratos de química.²

Dado o caráter abstrato de parte do conhecimento químico e a necessária relação entre os níveis de compreensão do conhecimento químico (macroscópico, submicroscópico e representacional),³ diferentes tipos de dificuldades podem ser manifestadas no processo de ensino e aprendizagem.⁴ Disso resulta a importância da utilização de modelos como mediadores que facilitem esse processo de representação da realidade.⁵ A capacidade de visualizar e manipular os objetos projetados em 3D agrega à RA um potencial educativo que pode contribuir para o desenvolvimento de distintas habilidades relativas ao pensamento conceitual, especialmente a mobilização de sentidos e significados sobre o conhecimento químico no contexto de atividades em sala de aula.⁶ O número de publicações sobre o uso da RA com fins pedagógicos tem aumentado significativamente.²

Considerando a difusão de aparelhos móveis entre os estudantes em geral, a utilização de metodologias didáticas que possam viabilizar recursos em propostas mais acessíveis utilizando tais dispositivos, pode favorecer o uso de tais ferramentas em muitos contextos educativos. Contudo, o uso de tecnologias voltadas para o ensino precisa considerar critérios ou orientações para melhor direcionar o trabalho de exploração dessas ferramentas, aproveitando os potenciais

recursos oferecidos por elas, e evitando-se obstáculos epistemológicos e erros conceituais.⁶ Nesse sentido, investigamos o uso de RA e suas contribuições no processo de ensino-aprendizagem de aspectos do conteúdo de reações químicas durante uma experiência didático-pedagógica no ensino básico.

2. Considerações Sobre Modelos e o Ensino de Reações Químicas

O desenvolvimento do raciocínio ocorre a partir de modelos mentais que se assemelham a blocos de construção cognitiva que podem ser combinados e recombinados resultando em interpretações, descrições e explicações.⁷ Por se tratarem de uma representação da realidade do objeto de conhecimento, os modelos elaborados pelas pessoas, em geral, e estudantes em particular, são essenciais no processo de construção do conhecimento, pois, ao montarem uma imagem mental do objeto, abrem-se as possibilidades para a elaboração de significados e condução do raciocínio em atividades de aprendizagem dos modelos científicos.^{8,9} Para ensinar os modelos científicos, os professores fazem uso de modelos didáticos que podem mediar esse processo de construção de representações, em diálogo com os modelos mentais dos estudantes.

Um modelo científico não é uma cópia ou imagem exata da realidade, mas uma forma de representação limitada gerada a partir de interpretações e percepções da realidade,^{8,9} aceitas pela comunidade científica. A abordagem dos modelos didático-científicos é essencial no desenvolvimento da linguagem química pelos estudantes e, portanto, devem ser mediados pelo docente ao longo de todo o seu trabalho pedagógico, evitando uma mera memorização de conceitos e informações que não sejam capazes de levar os alunos ao conhecimento químico.⁹ Nesse sentido, o uso de aplicativos de RA pode facilitar esse processo de interpretação de modelos em química, contribuindo para a construção de modelos mentais mais próximos das representações do conteúdo de aprendizagem, especificamente, o de reações químicas.

As reações químicas podem ser entendidas como rearranjos que ocorrem entre as partículas (átomos, moléculas, íons, elétrons) decorrentes das colisões efetivas favoráveis entre elas, com energia suficiente para romper com as interações existentes e formar novas interações mantendo-se um balanço energético e de massa.¹⁰ Para representar as reações químicas, a Química faz uso de uma linguagem própria que envolve símbolos, fórmulas, equações e modelos que, no contexto do ensino são ilustrados nos livros didáticos ou elaborados pelos professores. Nesse processo de representação das reações é de extrema importância favorecer um diálogo partir das concepções prévias e alternativas dos estudantes, pois esse conhecimento norteará o professor no planejamento e desenvolvimento das atividades.¹¹

Uma vez que as concepções alternativas podem ser entendidas como ideias manifestadas pelos estudantes, e que não correspondem à interpretação científica vigente sobre os fenômenos naturais, a existência de tais visões traz importantes implicações para o processo de aprendizagem em química, resultando em um mau entendimento, falsa percepção ou má interpretação dos conceitos.¹¹ Um exemplo importante disso, largamente documentado na literatura da área, refere-se ao mau entendimento dos níveis de compreensão do conhecimento químico,¹² sobre os quais os estudantes geralmente baseiam as explicações dos fenômenos no aspecto macroscópico, reduzindo-se ao apelo visual, sem explorar a natureza particular desses eventos.^{11,12}

Além do problema mais geral supracitado, outras concepções alternativas dos estudantes sobre reações químicas envolvem explicações baseadas na compreensão da ocorrência de um agente ativo, ou seja, como uma substância específica que irá ter a iniciativa da reação,¹³ ou mesmo, por afinidades existentes entre as substâncias, como sendo o único critério que justificaria a ocorrência de uma reação química.¹⁴ A própria classificação das reações, pode gerar confusões conceituais entre os estudantes, manifestas quando classificam uma reação de neutralização como dupla troca, por exemplo, desconsiderando que nesse tipo de reação existem substâncias que irão reagir e outras que permanecem em sua forma iônica, quer dizer, certos cátions e ânions permanecem dissociados sem mesmo participarem da reação, fato que os discentes também não observam com clareza.¹¹⁻¹³

Em suma, é necessário que os estudantes compreendam a multiplicidade dos fenômenos químicos, sabendo reconhecê-los, descrevê-los e explicá-los já nos primeiros contatos com a Química.¹⁵ Nesse sentido, o uso de modelos é essencial nesse processo de produção de significados ao favorecer a aproximação entre os níveis de compreensão do conhecimento químico, especialmente na abordagem das reações químicas.

3. Metodologia

Este estudo foi conduzido e apresentado em uma dissertação¹⁶ produzida no âmbito do Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI). A investigação assumiu características da abordagem qualitativa, na qual o pesquisador é também participante de sua pesquisa desde a sua concepção até à análise dos dados,¹⁷ que teve como foco os processos de produção de significados mobilizados no contexto natural de sua produção. Participaram da pesquisa 13 (treze) estudantes, na faixa etária entre 15 e 18 anos, de uma turma da primeira série do Ensino Médio de uma escola da rede pública estadual situada na capital do Rio Grande do Norte. Os procedimentos de coleta de dados se deram no contexto de atividades de sala de aula que tiveram duração total de quatro encontros de 50 (cinquenta) minutos cada.

O primeiro procedimento consistiu da aplicação de uma atividade escrita visando o levantamento das ideias prévias

dos estudantes acerca dos aspectos teórico-conceituais que envolvem o conceito de reação química. O instrumento utilizado foi o questionário apresentado no Quadro 1. Para a construção desse questionário foram levadas em consideração questões já validadas em outras pesquisas^{18,19} envolvendo a concepção dos estudantes sobre o conteúdo de reações químicas.

Quadro 1. Questionário para o levantamento de concepções prévias sobre reações químicas

- | |
|--|
| <p>1) Para você o que é uma reação química?</p> <p>2) Se você pudesse encolher ao tamanho do átomo, o que você acha que poderia observar durante uma reação química?</p> <p>3) Ao rasgarmos uma folha de papel ocorre reação química? Por quê?</p> <p>4) E ao queimarmos uma folha de papel que foi rasgado, há reação química? Por quê?</p> <p>5) Quando misturamos água e sal ocorre uma reação química? Justifique.</p> |
|--|

Esse diagnóstico inicial foi importante visto a abundante literatura sobre concepções alternativas dos estudantes acerca de reações químicas e que impactam diretamente o ensino e aprendizagem deste conteúdo.⁹⁻¹⁴ Nesse sentido, a identificação dessas concepções alternativas nos possibilitou (re)orientar as ações posteriores, os aspectos que deveriam ser enfatizados, corrigidos ou (re)significados nas situações de ensino.

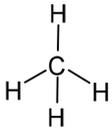
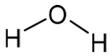
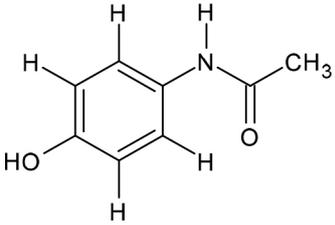
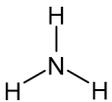
A segunda atividade objetivou a familiarização dos estudantes com a RA. Para isso foi utilizado o aplicativo *Géométrie des molécules* que, dentre outros objetivos,

possibilita a projeção de estruturas moleculares em 3D, nosso propósito inicial com a atividade. A fim de organizar o trabalho com o aplicativo, os estudantes foram divididos em grupos, realizaram o *download* do app em seus *smartphones* e, em seguida foi disponibilizada uma ficha conforme Quadro 2 para que os discentes pudessem identificar as estruturas moleculares a partir dos marcadores disponibilizados pelo professor. Cada grupo recebeu marcadores diferentes para realizarem as identificações.

A fim de explicitar as ideias prévias e favorecer o diálogo em torno da experiência inicial de uso do app, foi feito o seguinte questionamento aos estudantes: *O que você espera observar quando apontar a câmera do celular em direção ao marcador?* Dessa forma foi iniciada a discussão entre os próprios estudantes, mediada por intervenções do docente abordando conceitos ou propondo novas indagações para esclarecer os entendimentos dos discentes. Essas interações discursivas foram captadas e gravadas em áudio para posterior análise.

Na terceira atividade foram levantados os significados frente aos níveis de compreensão do conhecimento químico e das reações por meio do aplicativo quimicAR. Em sua versão gratuita, esse aplicativo disponibilizava duas representações de reações químicas, utilizando o modelo atômico de Dalton em suas projeções. Uma das barreiras apresentadas pelo aplicativo consiste em não levar em consideração as quantidades estequiométricas das reações representadas. Dois exemplos dessa dificuldade são a da reação entre o gás metano e um mol de oxigênio molecular formando quantidades equimolares de gás carbônico e

Quadro 2. Atividade para familiarização com a RA

Relacione as colunas de acordo com as projeções em 3D mostradas pelas suas respectivas cartas.		
CARTÃO	FÓRMULA MOLECULAR	ESTRUTURA MOLECULAR
1	CH ₃ N	H ₃ C—NH ₂
2	CH ₄	
3	H ₂ O	
4	CO ₂	O=C=O
5	C ₈ H ₉ NO ₂	
9	NH ₃	

oxigênio, assim como na reação de formação de água que utiliza os elementos hidrogênio e oxigênio na forma atômica, ao invés da forma molecular dessas substâncias, conforme Figura 1.

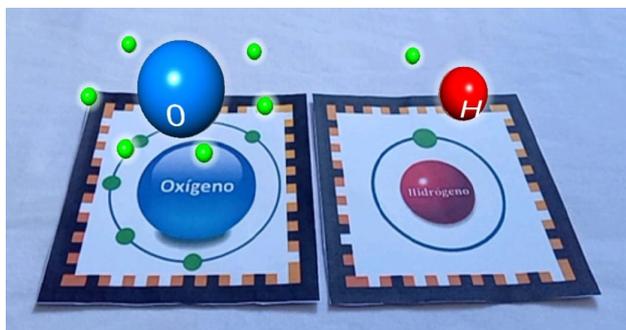


Figura 1. Marcadores do Oxigênio e do Hidrogênio, bem como as projeções em 3D dos respectivos átomos

Além das limitações supracitadas, convém apontar ainda o fato de que os elétrons de valência que circundam o Oxigênio na representação da Figura 1 não estão distribuídos simetricamente, nem de acordo com a notação de Lewis. Essas fragilidades gráficas podem contribuir para a formação (ou reforço) de ideias equivocadas, se não forem reconhecidas e problematizadas no contexto da sala de aula.

Apesar dessas dificuldades do app, tais limitações foram exploradas pelo professor como uma possibilidade favorável ao processo de ensino-aprendizagem, mediante alguns questionamentos aos estudantes, tais como: *reage o átomo ou a molécula? Mas, se caso um átomo reagisse, aconteceria alguma coisa? Será que combinando outros marcadores irão ser formadas outras substâncias. Se sim, por que formariam? Se não, por que não formaria? O que determina as reações ocorrerem? Água com metano dá certo mesmo? Tem dois tipos de oxigênio, qual a diferença entre eles?*

Ao aproximar os marcadores ilustrados na Figura 1, o aplicativo exibe o produto da reação, ou seja, água na forma molecular, conforme Figura 2.

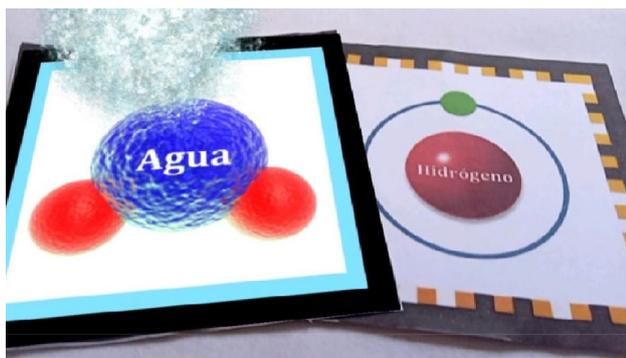


Figura 2. Formação da água molecular

A formação da água é representada logo em seguida no app, como demonstra a Figura 3, com destaque para a representação macroscópica da substância superposta à representação submicroscópica da molécula.



Figura 3. Visão macroscópica da água através do aplicativo quimicAR

Considerando que a RA possibilita uma visualização e manipulação de objetos que antes se limitavam à comunicação oral, ou às ilustrações apresentadas nos livros didático,²⁰ nessa atividade se intencionou oportunizar aos estudantes identificarem e relacionarem os níveis de compreensão do conhecimento químico (macroscópico, submicroscópico e representacional). Para isso, eles foram desafiados a transitar entre os diferentes níveis representados nos vértices da figura geométrica, estabelecendo relações e limites entre as regiões, conforme o instrumento apresentado no Quadro 3 utilizado para mediação nessa atividade.

Os estudantes tiveram então que identificar as reações, marcar nos triângulos do Quadro 3 os níveis de compreensão do conhecimento reconhecidos, podendo marcar níveis diferentes simultaneamente, informação esclarecida anteriormente pelo docente ao explicar as características de cada nível.

Para a quarta atividade foi realizada uma sistematização e discussão das tarefas propostas utilizando mais um questionário impresso disponibilizado aos estudantes, cujas questões estão apresentadas no Quadro 4.

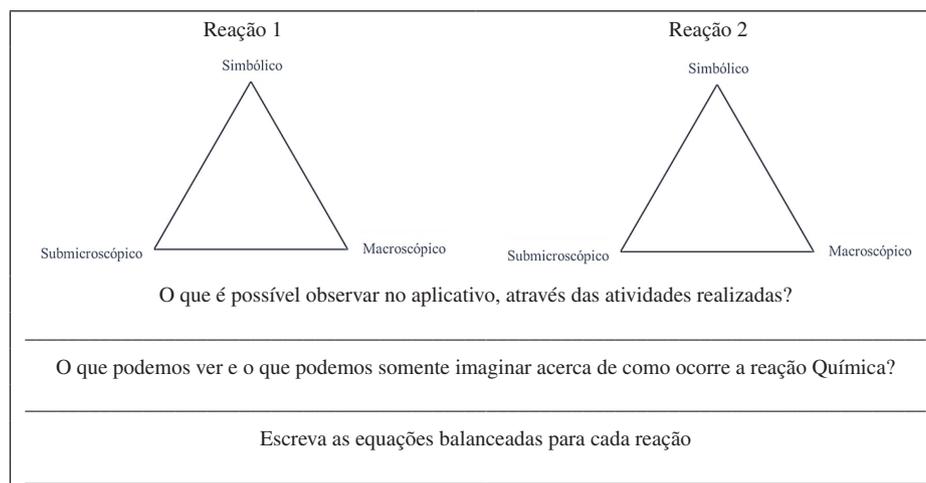
A discussão sobre os níveis de compreensão do conhecimento químico foi por fim retomada na atividade 4, a partir das perspectivas dos estudantes sobre a experiência de modo geral. Convém destacar que as atividades realizadas nessa experiência didático-pedagógica independem de condições físicas mais aprimoradas, laboratório, sala específica, ou mesmo acesso a internet, depois de realizado o *download* do aplicativo.

Todos os registros escritos produzidos pelos estudantes participantes das atividades foram reunidos, organizados, analisados e categorizados conforme as orientações de Gibbs¹⁷ para o tratamento dos dados qualitativos oriundos das interações discursivas em sala de aula. Os principais resultados obtidos dessa análise serão apresentados e discutidos na seção subsequente.

4. Resultados e Discussão

A exploração dos significados apresentados pelos estudantes, em seus meios de interpretação, compreensão e apropriação dos níveis de compreensão do conhecimento

Quadro 3. Níveis de compreensão do conhecimento químico e das reações por meio da RA



Quadro 4. Questões de sistematização após o uso do app

- 1) De modo geral, o que você achou da experiência de uso da realidade aumentada durante as aulas?
- 2) O que você entendeu por “realidade aumentada” a partir da atividade realizada?
- 3) O que mais chamou a sua atenção no uso do app quimicAR?
- 4) Como você acha que o uso dessa ferramenta pode lhe auxiliar na aprendizagem de química?

químico, do conteúdo de reações e dos modelos, nos possibilitou chegar aos resultados aqui expostos. Conforme o caminho metodológico discutido anteriormente, estabelecemos “temas de análise” construídos a partir da frequência de sua ocorrência, que representam os significados mobilizados pelos estudantes no contexto

das atividades. Para a identificação da origem de um enunciado, utilizamos um sistema de codificação que indica o estudante, a questão respondida, e o contexto da atividade, respectivamente, como, por exemplo, “E2-Q4/At3”, referindo-se a um enunciado proferido pelo estudante 2, na questão 4, na atividade 3.

No Quadro 5 apresentamos uma síntese dos significados manifestados pelos estudantes acerca do conceito de reações químicas, organizada por tema e subtemas de análise, e respectivos enunciados ilustrativos.

Nas primeiras análises observamos nas respostas a ideia de substância atuante das reações, já apontada na literatura¹³ que mostra como o estudante pode entender um reagente como sendo “operante” frente a outro considerado “apático”. A ausência de evidências no entendimento dos níveis de compreensão do conhecimento químico limitada a

Quadro 5. Significados sobre reações químicas

Tema	Subtema	Trechos de respostas dos participantes
Concepções de reações químicas	Substância atuante na reação	<p>“O fogo irá destruir as partículas do papel” (E4-Q4/At1)</p> <p>“O oxigênio irá alimentar a chama que vai queimar o papel” (E2-Q4/At1).</p> <p>“O fogo entra em contato com a folha fazendo com que ela queime e rapidamente mudando o estado da matéria” (E6-Q4/At1).</p>
	Dificuldade de transição e relação dos níveis de compreensão do conhecimento químico	<p>“A água deixa de ser seu estado normal e passa a ser água salgada após a mistura, assim se ligando as moléculas de água e sal” (E2-Q5/At1).</p> <p>“A água passa a ser outra substância (água salgada)” (E3-Q5/At1).</p> <p>“a água ficará salgada e antes era sem gosto” (E7-Q5/At1).</p>
	Destaque de aspectos visuais do fenômeno	<p>“Ocorre transformação do papel em cinzas” (E1-Q4/At1)</p> <p>“Ao queimar a folha muda o processo” (E9-Q4/At1)</p> <p>“ao rasgarmos (uma folha) ela vai emitir um som e se partir” (E4-Q3/At1).</p>

explicações de cunho visual, conforme discutido por Diniz Junior,¹⁸ também ficou evidente nos dados da primeira atividade, conforme Quadro 5.

Podemos enquadrar um mesmo recorte de resposta do participante da pesquisa em diferentes temas, como vemos no seguinte trecho de resposta: “há uma reação química, pois o oxigênio usado para alimentar a chama que vai queimar o papel, é transformado em carbono” (E2-Q4/At1), no qual observamos o entendimento de uma substância atuante, que toma a iniciativa da reação, no caso o oxigênio, bem como o aspecto visual realçado, quando se tenta dar ênfase à chama indicativa da liberação de calor no processo.

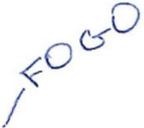
O apelo ao aspecto visual pode estar relacionado à dificuldade de reconhecer os distintos níveis de compreensão do conhecimento químico, conforme ilustrado no trecho captado em áudio na quarta atividade: “*Professor, mas não há uma alteração, uma mudança, sendo evidenciada pelo sabor da água*” (Áudio/At3)? Embora tenha sido destacado que a mudança de sabor, percepção sensorial, não caracteriza necessariamente uma evidência reacional, em outra oportunidade foi colocado por um estudante que: “*o que podemos ver (...) são partículas se misturando (...), por exemplo, vinagre e bicarbonato, conseguimos ver a reação*” (E4-Q2/At3), demonstrando a ideia de que partículas envolvidas na reação poderiam ser visualizadas

durante a formação de gás. Sobre esse último aspecto, além de não ser realizada distinção entre os níveis também é identificadas explicações das reações baseadas em assimilações do cotidiano. No mesmo sentido temos um outro estudante afirmando que: “*[...] ocorre uma mudança visível na matéria, como também ocorre liberação de gases e energia de combustão*” (E5-Q5/At4). Aqui, o estudante não considerou aspectos submicroscópicos do processo, concentrando sua explicação ao aspecto macroscópico, como discutido por Mortimer e Miranda¹³.

Tais resultados sugerem que é indispensável a abordagem explícita das diferenças entre os aspectos fenomenológicos e os aspectos teóricos da reação química, uma vez que os últimos não estão acessíveis aos sentidos, para que o discente possa estabelecer as devidas relações entre os níveis de compreensão do conhecimento, e assim desenvolva uma compreensão mais precisa sobre o conteúdo de reações químicas. As dificuldades no entendimento dos níveis de compreensão do conhecimento químico se manifestaram também em outros tipos de respostas, categorizadas no Quadro 6.

Na terceira atividade, que solicitava a marcação das informações nos triângulos apresentados no Quadro 1, os estudantes apresentaram dificuldades tais como: confusão na distinção dos níveis de compreensão do conhecimento

Quadro 6. Principais dificuldades relacionadas ao conceito de reação química

Temas	Trechos de respostas dos participantes
Diferenciação entre misturas e reações	“uma mistura de coisas químicas” (E8-Q1). “[...] Ouve uma mudança no processo, virou uma coisa nova”. (E9-Q3/At 1)
Diferenciação entre propriedades físicas e químicas	“ao rasgarmos (uma folha) ela vai emitir um som e se partir” (E4-Q3). “[...] Ao queimar a folha muda o processo”. (E9-Q4/At 1)
Reconhecer que reações ocorrem sem alteração dos átomos	“um elemento se torna outro” (E1-Q2). “Não, pois não há alteração na constituição da matéria” (E2-Q3/At 1).
	“Os átomos se ligam e ocorre transformação na matéria” (E7-Q3/At1).
Identificação dos níveis de compreensão do conhecimento químico.	“Quando realçado o papel macroscópico com apelo visual” (E5-Q3).
	 <p>Submicroscópico (E1-Q1/At4)</p>
	 <p>Submicroscópico (E1-Q1/At4)</p>

químico, erros de identificação entre reagentes e produtos, na escrita da equação da reação de combustão apresentada e no balanceamento. Apesar disso, as discussões foram ricas, sendo evidente a colaboração e participação com diálogos que demonstram as tentativas dos estudantes de se apropriarem dos termos novos que foram introduzidos no discurso de sala de aula, conforme observamos nos enunciados exemplificados no Quadro 7.

Os equívocos e atribuições errôneas dos estudantes no contexto dessa atividade também suscitam importantes reflexões sobre a natureza das dificuldades de aprendizagem sobre a química em geral, e as reações químicas, em particular, conforme diferentes trabalhos sobre o tema.¹¹⁻¹⁴ Segundo argumentaram Ahtee e Varjola¹¹ os estudantes apresentam dificuldades em entender a natureza particulada da matéria, sem conseguir descrever ou explicar a ocorrência dos rearranjos entre os átomos em uma reação química, considerando a complexidade em estabelecer relações simultâneas entre os níveis. Para exemplificar, na questão 2 (dois) da primeira atividade foi realizado o seguinte questionamento: se você pudesse encolher ao tamanho do átomo, o que você acha que poderia observar durante uma reação? A explanação dos discentes ilustra essa dificuldade: “poderia mudar a forma do átomo” (E9-Q2/At1). “um elemento se transformando em outro” (E2-Q2/At1).

Em outra situação mais favorável, através do aplicativo, um dos participantes identificou que tanto os níveis macroscópicos como os submicroscópicos poderiam ser vistos, conseguindo diferenciá-los: “Podemos ver reações químicas imaginando-se os átomos se ligando entre si, e a representação feita pelo aplicativo macroscópica e submicroscópica” (E3-Q2). Na mesma direção, outro

estudante sinalizou que “Podemos ver o macroscópico, ou seja, aquilo que podemos observar facilmente e podemos imaginar o que acontece submicroscopicamente em uma reação” (E8-Q2/At3).

Além dos aspectos submicroscópicos da reação química já discutidos que são projetados no app quimicAR, detalhes que sugerem a simulação de aspectos macroscópicos dos processos, como a chama e a fumaça, a água líquida e ainda sons alusivos à queima, também podem ser explorados nessa ferramenta. Esse recurso pode ter contribuído para a identificação e descrição dos reagentes e produtos por um dos estudantes: “Aqui está mostrando o que restou da reação” (Áudio-A3), referindo-se aos produtos. Tal entendimento é indispensável para a integração dos níveis de compreensão do conhecimento químico. Contudo, fatores energéticos relacionados às reações são dificilmente reconhecidos e explorados pelos estudantes,²¹ como podemos notar no seguinte recorte de resposta da atividade quatro: “[...] o oxigênio usado para quebrar calor o suficiente para a queima do combustível se tornar carbono” (E2-Q5/At4).

Para Bernardelli²² a dificuldade de distinção entre fenômenos físicos e químicos resulta de noções equivocadas a respeito das reações, sendo uma das razões a própria forma de ensinar. Observamos essa dificuldade no seguinte trecho: “sim, porque ocorre um processo da água que era sólida, como gelo, que agora se tornou água líquida, ou seja, o gelo que derreteu” (E7-Q6/At4). Para explorar esses aspectos recorremos à matriz semântica proposta por Diniz Júnior¹⁸ nas quais concepções e categorias foram identificadas e discutidas para o conteúdo de reações químicas, utilizadas na organização do Quadro 8.

Quadro 7. Enunciados acerca dos níveis de compreensão do conhecimento químico

Tema	Subtemas	Enunciados
Níveis de compreensão do conhecimento Químico	Macroscópico	“Eu acho que toda reação macroscópica provém de uma microscópica” (E2-A3) “O conceito da atividade não é o que você vê no app e sim o que acontece de fato” (Áudio-A3).
	Submicroscópico	“O que evidenciamos macroscopicamente sobre a reação ocorre pelo fato de existir uma mudança submicroscópica” (Áudio-A4) “Nós não vemos os átomos, mas está ocorrendo a reação entre os átomos» (Áudio-A3).
	Representacional	“Professor uma forma é como se escreve e a outra é a representação” (Áudio-A2) “Nenhuma representação mostrada no app é simbólica” (Áudio-A3).

Quadro 8. Categorias de significados de reações químicas

Categorias	Trecho de Respostas dos participantes
Fenômeno Natural	“A respiração humana, que inspira oxigênio e expira carbono” (E2-Q1). “a queima de gases que se torna energia” (E7-Q5).
Transformação de Substância	“a transformação de uma matéria em outra” (E1-Q1). “átomos se ligando rompendo ligações simultaneamente” (E2-Q2).
Reconstituição	“átomos se misturando e rompendo a sua ligação” (E3-Q2). “Poderia mudar a forma do átomo» (E9-Q2).

Um importante tipo de dado levantado na investigação diz respeito às possibilidades de discussão de questões sobre a natureza do conhecimento químico, especificamente, do *status* epistemológico dos modelos, a partir das imagens projetadas e representadas nas atividades com o uso do app. Mesmo não logrando êxito na marcação das estruturas que correspondiam à projeção visualizada, após discutirem entre si, os estudantes conseguiram corrigir as marcações sem a intervenção do professor. Um dos estudantes, quando questionado sobre a realidade das projeções, expressou: “*isso é relativo, por que se eu vejo a projeção quer dizer que ela é real*” (Áudio-At3), assumindo a projeção virtual como real, pelo fato de conseguir enxergá-la. Para ele não ficou claro que a projeção tratava de um modelo que representava um nível submicroscópico imperceptível mesmo aos microscópios mais avançados. Roque e Silva²³ descrevem essa expressão como a tendência que o discente tem de entender o modelo como verdade absoluta, compreendendo que a RA é um “zoom” de um objeto real.

Evidenciamos ideia semelhante também na atividade 4 (quatro): “*O que está sendo projetado é real?*” (Áudio-At4). Quando questionados sobre o entendimento de RA, um dos participantes expressou que se tratava de: “(...) você dar um maior realismo a algo que já existe” (E5-Q2/At4); “A realidade aumentada cumpre o papel de realização de tal coisa” (E7-Q2/At4), evidenciando a crença dos modelos submicroscópicos como realidade absoluta. Contudo, os estudantes perceberam que os modelos podem se adequar a depender do objeto de estudo quando observaram a diferença entre estruturas moleculares e a geometria das mesmas moléculas. “[...] *Tem o Metano e tem a geometria do metano, dando uma olhada percebi que era a mesma coisa. Eu realmente não sabia que a molécula era a mesma coisa da estrutura sendo que aqui é a fórmula e aqui é a molécula, sendo que é a mesma coisa*” (áudio-At2).

Por fim, apresentamos no Quadro 9 dados que expressam a percepção dos estudantes sobre as experiências vivenciadas ao longo das atividades.

Conforme o Quadro 9, são observadas percepções dos estudantes majoritariamente positivas acerca da experiência vivenciada. Esses dados podem sugerir vantagens do uso da RA em possibilitar outras formas de visualização, constituindo uma ferramenta metodológica capaz de provocar o estudante a interagir e manipular os objetos, estabelecer conexões cognitivas, e assim ampliar a percepção sensorial sobre aspectos da disciplina.^{2,6}

Observamos ainda nesse contexto que os discentes expressaram o desejo de participar da atividade, de investigar outras reações, de checar se a combinação dos marcadores formava novas reações. Uma das perguntas feitas pelos estudantes revela, por exemplo, uma curiosidade sobre a possibilidade de formar água oxigenada com os marcadores fornecidos. Tais expressões sugerem a motivação e engajamento dos estudantes frente à metodologia junto ao uso do app quimicAR: “Tem mais reações para podermos ver?” (Áudio-A3).

5. Conclusão

Neste artigo apresentamos resultados de uma experiência didático-pedagógica envolvendo o uso de um aplicativo de RA para a abordagem de aspectos do conteúdo de reações químicas no ensino básico. Os resultados do estudo evidenciaram diversas contribuições da abordagem, dentre as quais destacamos: o favorecimento da explicitação das concepções prévias dos estudantes acerca do tema; o fomento a novas formas de interação entre os discentes, e entre estes e o professor; reflexões acerca de novas maneiras de visualizar, descrever e compreender os fenômenos químicos, e os modelos que os representam. Tais contribuições expressam também a importância da coerência entre o uso didático da RA com o perfil de uma geração que nasce em um mundo rodeado de aparatos tecnológicos dos mais diversos, e o ensino não poderia abdicar da exploração de tais ferramentas e suas potencialidades, das quais

Quadro 9. Análise da Ferramenta Didática

Tema	Exemplos de enunciados
Impressões dos estudantes sobre a ferramenta e a abordagem didática.	<p>“Acho que aprendi mais com essa atividade” (Áudio-A4).</p> <p>“Aquilo que só imaginávamos consegui enxergar” (Áudio-A4).</p> <p>“Professor, acredito que eu compreendi mais a prática do que na teoria, realizando essa atividade” (Áudio-A2).</p> <p>“É uma experiência muito prática e, ao meu ver, ajuda muito para o entendimento da matéria” (E2-Q1).</p> <p>“Uma experiência boa, interativa e divertida para todo mundo, onde aprendemos mais...” (E3-Q1).</p> <p>“Achei muito didático, acho que aprendi melhor” (E4-Q1).</p> <p>“É dar maior realismo a algo já existente” (E5-Q2).</p> <p>“É uma realidade que nos dá o poder de enxergar coisas muito pequenas” (E11-Q2).</p> <p>“Auxilia nas atividades e a tirar muitas dúvidas” (E10-Q4).</p> <p>“É uma realidade que nos dá o poder de enxergar coisas muito pequenas” (E11-Q2).</p> <p>“A meu ver é apenas uma forma mais prática de aprender” (Áudio-A4).</p> <p>“Posso aprender sem o uso do aplicativo, basta pesquisar” (Áudio-A4).</p>

sobressaem o caráter mais interativo, prático e dinâmico para as situações de ensino e aprendizagem.

De um ponto de vista das relações entre aspectos didáticos e epistemológicos, a experiência pedagógica possibilitou um contexto que fomentou questionamentos que dificilmente seriam apresentados em aulas convencionais, tais como os que envolvem as noções de “real”, “realidade” acerca dos objetos conceituados e explicados pela ciência. Esse cenário mostrou-se vantajoso em favorecer o entendimento dos níveis de compreensão do conhecimento químico e do uso dos modelos na disciplina, aspectos cruciais para aproximar os estudantes de uma visão mais rica e autêntica da natureza da química.

Por fim, os resultados desse estudo sinalizam a importância do planejamento docente para o uso da ferramenta e a necessária atenção aos obstáculos apresentados por esses recursos, de modo a utilizá-los como cenário propício a discussões que contribuam para enriquecer o ensino e a aprendizagem do conteúdo desejado explorando as potencialidades apresentadas pela RA.

Agradecimentos

Ao Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI) que propiciou oportunidades, conhecimentos, troca de experiências, dentre outros. Aos estudantes e escola participantes por disponibilizar o espaço para realização da pesquisa demonstrando gentileza e confiança no trabalho.

Referências Bibliográficas

1. Tori, R.; Kirner, C.; Siscoutto, R. A.; *Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada*, Editora SBC: Porto Alegre, 2006. [\[Link\]](#)
2. Mazzuco, A. E. R.; Krassmann, A. L.; Bastiani, E.; Reategui, E. B.; Revisão de literatura sobre o uso da realidade aumentada no ensino de química. *RENTE: Novas Tecnologias na Educação* **2021**, *19*, 402. [\[Crossref\]](#)
3. Johnstone, A. H.; The Development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. *Journal of Chemical Education* **1993**, *70*, 701. [\[Crossref\]](#)
4. Melo, M. S.; Silva, R. R.; Os três níveis do conhecimento químico: dificuldades dos alunos na transição entre o macro, o submicro e o representacional. *Revista Exitus*, **2019**, *9*, 301. [\[Crossref\]](#)
5. Ferreira, P. F. M.; Justi, R. S.; Modelagem e o “fazer ciência”. *Química nova na escola* **2008**, *28*, 32. [\[Link\]](#)
6. Grando, J. W.; Aires, J. A.; Cleophas, M. G.; O uso da realidade aumentada no ensino de química sob a ótica de Bachelard um obstáculo ou uma possibilidade? *ARTEFACTUM: Revista de Estudos em Linguagem e Tecnologia* **2020**, *19*. [\[Link\]](#)
7. Moreira, M. A.; Modelos mentais. *Investigações em ensino de ciências* **1996**, *1*, 193. [\[Link\]](#)
8. Cheng, M. M. W.; Gilbert, J. K.; Modelling students visualisation of chemical reaction. *International Journal of Science Education* **2017**, *39*, 1173. [\[Crossref\]](#)
9. Rosa, M. I. F. P. S.; Schnetzler, R. P.; Sobre a importância do conceito de transformação química no processo de aquisição do conhecimento químico. *Química Nova na Escola* **1998**, *8*, 31. [\[Link\]](#)
10. Talanquer, V.; Central ideas in chemistry: an alternative perspective. *Journal of Chemical Education* **2016**, *93*, 3. [\[Crossref\]](#)
11. Ahtee, M.; Varjola, I.; Students’ understanding of chemical reaction. *International Journal of Science Education*, **1998**, *20*, 305. [\[Crossref\]](#)
12. Tsaparlis, G.; Chemical phenomena versus chemical reactions: do students make the connection? *Chemistry education: research and practice* **2003**, *4*, 31. [\[Crossref\]](#)
13. Mortimer, E. F.; Miranda, L. C.; Transformações: concepções de estudantes sobre reações químicas. *Química Nova na Escola* **1995**, *2*, 23. [\[Link\]](#)
14. Justi, R. S.; A afinidade entre as substâncias pode explicar as reações químicas? *Química Nova na Escola* **1998**, *7*, 26. [\[Link\]](#)
15. Lopes, A. R. C.; *Dissertação de Mestrado*, Fundação Getúlio Vargas, 1990. [\[Link\]](#)
16. Miranda, L. S.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2024. [\[Link\]](#)
17. Gibbs, G.; *Análise de dados qualitativos*, Bookman Editora: Porto Alegre, 2009.
18. Diniz Júnior, A. I.; *Tese de Doutorado*, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2022. [\[Link\]](#)
19. Filho, J. R. F.; Celestino, R. M. C. S.; Investigação da construção do conceito de reação que química a partir dos conhecimentos prévios e das interações sociais. *Ciências & Cognição* **2010**, *15*, 187. [\[Link\]](#)
20. Pereira, C. Z. S.; *Tese de Doutorado*, Universidade de São Paulo, 2022. [\[Link\]](#)
21. Vos, W.; Verdonk, A. H.; A new road to reactions (part 4). The Substance and Its Molecules. *Journal of Chemical Education* **1987**, *64*, 692. [\[Crossref\]](#)
22. Bernadelli, M. S.; *Tese de Doutorado*, Universidade Estadual de Londrina, 2014. [\[Link\]](#)
23. Roque, N. F.; Silva, J. L. P. B.; A linguagem química e o ensino da química orgânica. *Química Nova* **2008**, *31*, 921. [\[Crossref\]](#)