



ATIVIDADE METAVISUAL ENVOLVENDO UMA REAÇÃO QUÍMICA: DIFICULDADES DE ESTUDANTES NOS NÍVEIS REPRESENTACIONAIS

Marcella Seika Shimada¹

<https://orcid.org/0000-0002-4253-6298>

Solange Wagner Locatelli²

<https://orcid.org/0000-0002-7639-6772>

RESUMO:

O objetivo desta pesquisa qualitativa foi analisar as dificuldades conceituais relacionadas aos níveis representacionais de três graduandos durante uma atividade metavisual de cinética química. A atividade proposta envolveu a exploração dos três níveis, na qual os alunos conduziram testes experimentais (macro), elaboraram representações simbólicas (simbólico) e pictóricas (submicro) e, posteriormente, as avaliaram a partir de uma estratégia metavisual. As discussões dos alunos foram gravadas, transcritas e organizadas em unidades de análise, sendo categorizadas de acordo com o acesso/transição do nível representacional. Os resultados indicaram que, quando os estudantes têm dificuldade em entender um nível de um determinado conceito, conseqüentemente, parecem não compreender os demais níveis, evidenciando a importância de se transitar nos três níveis para a compreensão do fenômeno químico. Houve uma prevalência de transições submicrosimbólicas na atividade, porém elas ocorreram de forma conflituosa, demonstrando diversas dificuldades conceituais de Química Geral dos alunos.

Palavras-chave:

níveis representacionais, reação química, metavizualização

Actividad metavisual en torno a una reacción química: retos a los que se enfrentan los estudiantes en los niveles de representación

RESUMEN:

El objetivo de esta investigación cualitativa fue analizar las dificultades relacionadas con los niveles de representación de tres estudiantes universitarios durante una actividad metavisual de química. La actividad propuesta implicó la exploración de los tres niveles, en la que los estudiantes realizaron pruebas experimentales (macro), elaboraron representaciones simbólicas (simbólico) y pictóricas (submicro), y luego las evaluaron utilizando una estrategia metavisual. Las discusiones de los alumnos se grabaron, transcribieron y organizaron en unidades de análisis, categorizadas según el acceso/transición del nivel representacional. Los resultados indicaron que cuando los estudiantes tienen dificultades para comprender un nivel de un concepto dado, en consecuencia no parecen comprender los demás niveles, lo que pone de relieve la importancia de moverse a través de los tres niveles para comprender los fenómenos químicos. Hubo un predominio de transiciones submicrosimbólicas en la actividad, pero ocurrieron de forma conflictiva, demostrando las diversas dificultades conceptuales de los alumnos en Química General.

Palabras-clave:

niveles de representación, reacción química, metavizualización

¹ Universidade Federal do ABC, São Paulo, Brasil. marcella.shimada@ufabc.edu.br

² Universidade Federal do ABC, São Paulo, Brasil. solange.locatelli@ufabc.edu.br

Metavisual activity involving a chemical reaction: challenges faced by students at the representational levels

ABSTRACT:

This qualitative research aimed to analyze the difficulties related to the representational levels of three undergraduates during a metavisual chemistry activity. The proposed activity involved the exploration of the three levels, in which the students conducted experimental tests (macro), elaborated symbolic (symbolic) and pictorial (submicro) representations, and then evaluated them using a metavisual strategy. The students' discussions were recorded, transcribed, and organized into units of analysis, which were categorized according to the access/transition at the representational level. The results indicated that when students have difficulty understanding one level of a given concept, they don't seem to understand the other levels, highlighting the importance of moving through the three levels to understand chemical phenomena. The activity had a prevalence of submicrosymbolic transitions, but they occurred in a conflict, demonstrating the students' various conceptual difficulties in General Chemistry.

Key words:

representational levels, chemical reaction, metavisualization

INTRODUÇÃO

As reações químicas são fundamentais para o estudo de Química, uma vez que os fenômenos decorrentes delas constituem a base de investigação dessa ciência (Puggian et al., 2012). Ademais, Meneses e Nuñez (2018) defendem que é pertinente a investigação da aprendizagem desse conceito, tendo em vista que as reações químicas são cruciais para o entendimento da organização e construção do conhecimento dessa área. Além disso, para esses autores, superar uma visão fragmentada e adotar uma compreensão integral das reações químicas representa um dos principais desafios no ensino da disciplina.

Considerando que esse processo de aprendizagem é complexo, diversos pesquisadores e pesquisadoras dedicam-se à busca de possibilidades que auxiliem os estudantes a se apropriarem dos conteúdos importantes para a formação de cidadãos críticos. Por exemplo, Wu e Shah (2004) apontam que a apresentação dos conceitos em diferentes níveis de representação pode ser útil na aprendizagem. Por isso, destacam-se os três níveis representacionais (Johnstone, 1993), cuja interpretação e habilidade de se mover entre eles, isto é, o acesso e transição (mudança de um vértice do triângulo para outro) podem auxiliar na compreensão dos conceitos de química (Johnstone, 1993).

No entanto, transitar entre os níveis, isto é, estabelecer relações entre os domínios, representa um desafio para os alunos (Gibin & Ferreira, 2010; Fernandes & Locatelli, 2021), o que pode ser atribuído à natureza abstrata da ciência (Cakmakci, 2010; Ferreira & Justi, 2008; Gibin & Ferreira, 2010; Jaber & Boujaoude, 2012) que explica os fenômenos, além da interpretação da simbologia química (Taber, 2009). Para Ferreira e Justi (2008), enfrentar os elementos intangíveis aos nossos sentidos gera uma sensação de vulnerabilidade diante da amplitude e da complexidade do universo a que pertencemos.

Levando em consideração os desafios de aprendizagem dos conceitos de química, segundo Cerdran et al. (2018), as explicações e representações dos estudantes são reveladoras, pois fornecem informações relevantes sobre as fragilidades e complexidade do pensamento. Da mesma forma, Junqueira e Maximiano (2019) sugerem que os educadores incentivem os alunos a elaborarem suas próprias representações no submicro, uma vez que esses modelos demonstram as ideias deles, sendo atividades interessantes para discussões e esclarecimento de conceitos. Nesse sentido, a metavisualização permite que o indivíduo repense suas representações internas, processo no qual ele pode evidenciar suas dificuldades na apropriação de conceitos (Chang, 2021; Fernandes & Locatelli, 2021; Shimada & Locatelli, 2023).

Pensando na conceituação da metavisualização, segundo Gilbert (2005), o termo refere-se à fluência na visualização, envolvendo habilidades de controle e monitoramento por meio de representações visuais, ou ainda, pode ser definida como a “metacognição a respeito da visualização” (Gilbert, 2005, p. 15, *tradução nossa*). Para Chang (2021), a metavisualização é crucial para a modelagem, pois, durante a criação de representações visuais, envolve a reflexão do processo de visualização, o conhecimento epistêmico e o uso de estratégias metacognitivas. Desta forma, a atividade metavisual emerge como uma possibilidade para auxiliar os estudantes na compreensão de conceitos químicos (Fernandes & Locatelli, 2021; Shimada & Locatelli, 2023), e mapear as lacunas de aprendizagem em um processo metavisual na criação de modelos (Chang, 2021).

Este estudo refere-se a um recorte de uma pesquisa de mestrado, no qual o papel da metavisualização e dos modelos foram investigados em Shimada e Locatelli (2023). Portanto, neste presente estudo, o objetivo foi norteado nas dificuldades dos estudantes. Diante disso, este artigo propõe responder a seguinte questão: *quais os desafios enfrentados por um grupo de estudantes de Ensino Superior no que diz respeito ao acesso e à transição dos níveis representacionais em uma atividade metavisual de uma reação química?*

Níveis representacionais da Química

Há uma multiplicidade de termos para se referir aos níveis representacionais da Química (Santos, 2016; Taber, 2013), sendo também denominado por alguns pesquisadores como níveis do conhecimento químico, domínios, triplete químico, triângulo de Johnstone, entre outros (Taber, 2013). Assim, conforme a consideração de Santos (2016), adotaremos neste estudo o termo “níveis representacionais” como sinônimo dos demais.

Na década de 1980, Johnstone (1982) introduziu a ideia de que os químicos enxergam os conceitos dessa disciplina em pelo menos três níveis: a) descritivo e funcional; b) representacional; c) explicativo (Johnstone, 1982), que, segundo Johnstone (1982), corresponderia, respectivamente, a: a) ver e manusear materiais; b) representar substâncias químicas por fórmulas e suas mudanças por equações; c) seria explicar o motivo das substâncias químicas se comportarem de certa forma. Para o autor, os químicos seriam capazes de “saltar livremente de um nível para outro em uma série de ginástica mental” (p.377, *tradução nossa*).

Em uma nova reformulação da teoria, Johnstone (1991) aborda a ideia de pensamento multinível, ilustrando a figura de um triângulo, cujos vértices foram denominados como “macro”, “sub-micro” e “simbólico”, chamado de “triângulo níveis de pensamento” (Johnstone, 1991, p. 78, *tradução nossa*). Nesse trabalho, o autor propõe aplicações da teoria considerando não só a disciplina de Química, como também de Física e Biologia. É interessante notar que Johnstone exemplifica o nível simbólico da Química com a equação da dissolução do cloreto de sódio, que é até hoje abordado por muitos pesquisadores que consideram os níveis representacionais (Cerdan et al., 2018; Keiner & Graulich, 2020; Nkomo & Bly, 2024; Locatelli et al., 2025).

Já no trabalho de Johnstone (1993), a nomenclatura também é mudada, sendo: macroquímico, submicroquímico e representacional químico. Ainda, em nova pesquisa (2000), o autor aborda os três níveis, descrevendo-os como complementares uns aos outros, todos igualmente importantes, os quais são: macro e tangível, submicro e representacional. Tendo a pluralidade de nomenclatura para os termos dos níveis até mesmo pelo próprio teórico precursor, nesta pesquisa adotou-se as terminologias de Gilbert e Treagust (2009) para os níveis representacionais, sendo elas: macro, submicro e simbólico.

O nível macro refere-se “a propriedades que são perceptíveis nos laboratórios de química e na vida cotidiana e, portanto, podem ser medidas” (Gilbert & Treagust, 2009, p.4, *tradução nossa*), isto é, está relacionado ao visível, sensorial e concreto. Ainda para os mesmos autores, o nível submicro explica os fenômenos em nível macro, pois representa as entidades pequenas demais para serem visualizadas, como átomos, íons, moléculas etc. É comum que essas representações sejam abordadas a partir de imagens, no entanto, seu uso no ensino é considerado pequeno (Gibin & Ferreira, 2010). Por fim, o nível simbólico envolve o emprego de símbolos para representar átomos, elementos, números subscritos para indicar o número de átomos etc. (Gilbert & Treagust, 2009). O simbólico é definido por Taber (2002) como o mediador entre os níveis macro

e o submicro, ressaltando a sua importância. Desta forma, para além de acessar e entender os níveis representacionais, torna-se importante que o aprendiz transite entre eles (Johnstone, 1993).

Todavia, não há consenso entre os pesquisadores do ensino de Química sobre a utilização do uso dos níveis de representação de Johnstone, considerando suas possíveis limitações. Por exemplo, Araújo Neto (2009) afirma que a ideia não é clara, tendo uma proposta não realista das coisas que constituem o mundo, além de não haver tentativas para o esclarecimento das suas proposições. De modo semelhante, Labarca (2009) também alega confusão entre os planos de argumentação, resultando em um erro filosófico. Para esse autor, no plano ontológico, reconhece-se os níveis macro e microquímico (submicro); no plano linguístico, refere-se à estrutura conceitual que descreve a ontologia química; e por fim, no plano matemático, estão os itens linguísticos, no qual pode-se reconhecer o nível representacional. Diante disso, considerando que os níveis estão em planos diferentes, torna-se incoerente compará-los (Cerdan et al., 2018). Além disso, Santos (2016), ao também apontar tais limitações dos níveis representacionais, complementa que há problemas quanto à heurística dos modelos, visto que não há clareza sobre como o conhecimento em Química se constrói, tendo em vista a Filosofia da Química, sobretudo no campo da semiótica.

O estudo de Talanquer (2011) também destaca outros desafios associados ao escopo do triplete, como o exemplo da termodinâmica, que tem como base construtos abstratos, como energia interna e entropia, para os quais não há clareza de como são aplicados nos níveis representacionais. Por isso, o autor traz reflexões acerca do triplete e propõe um novo modelo expandido, tendo em vista a multiplicidade de tipos, níveis e aspectos dimensionais (Talanquer, 2011). Outro modelo que também tem uma proposta mais abrangente foi apresentado por Mortimer et al. (2000), considerando um triplete com três aspectos: fenomenológico, teórico e representacional. O escopo da tríade proposta por esses pesquisadores é semelhante a apresentada por Johnstone, no qual o aspecto fenomenológico se diferencia por abranger, além dos fenômenos concretos e visíveis, informações de acesso indireto, como dados obtidos a partir da espectroscopia, bem como a fenômenos que acontece no cotidiano do estudante (Mortimer et al., 2000).

Outra alternativa apresentada por Mahaffy (2004) considera o aspecto humano na tríade, formando um tetraedro, no qual o novo vértice tem como objetivo considerar informações sociais, econômicas, ambientais, filosóficas, além de enfatizar o “aprendiz humano”.

Reconhecendo as problematizações inerentes à teoria dos níveis representacionais, o modelo adaptado de Johnstone foi adotado como base teórica desta pesquisa, visto que o conteúdo de Química explorado neste estudo considera aspectos que se enquadram nas definições supracitadas, isto é, não são abordadas informações de orbital atômico (Labarca, 2009), entropia (Talanquer, 2011), interações radiação-matéria (Mortimer et al., 2000), entre outros, cuja categorização dentro da teoria de Johnstone não é clara.

Dentre os exemplos de outros estudos que também se enquadram nas definições da teoria, pode-se citar a pesquisa desenvolvida por Keiner e Graulich (2020), que analisou como os alunos conectam entidades (substâncias, moléculas, íons), propriedades (pH, estado de agregação, carga, força intermolecular), atividades (mudanças físicas/químicas, interações, dissolução do NaCl e reações como a protonação e desprotonação de grupos funcionais como o carboxil e o amino) e organização (localização espacial e temporal de entidades). Diante disso, as autoras analisam como os estudantes de graduação transitam nos três níveis, tendo em vista um experimento de laboratório de Química Orgânica, considerando a mudança da coloração em uma solução de alanina, em função da mudança do pH e da separação de fases (Keiner & Graulich, 2020).

De modo semelhante, Fernandes e Locatelli (2021) analisam o acesso e a transição dos níveis representacionais de graduandos a partir de um experimento de orgânica, com enfoque nas forças intermoleculares entre os reagentes: água (H₂O), tetracloreto de carbono líquido (CCl₄) e iodo sólido (I₂), usando modelos explicativos no submicro para auxiliar os estudantes na compreensão dos conceitos associados. Nkomo e Bly (2024) também apresentam um estudo sobre a aprendizagem das forças intermoleculares. Os autores apontam exemplos possíveis para se apoiar nos pressupostos da estrutura do Triângulo de Johnstone, como: representação e explicação das forças intermoleculares entre moléculas de propan-2-ona, densidade do gelo e da água líquida, pontos de ebulição, dissolução do cloreto de sódio e previsão da miscibilidade de dois compostos (Nkomo & Bly, 2024).

O trabalho de Cerdran et al. (2018) aborda os conceitos de estado físico da matéria, substâncias simples e compostas, compostos iônicos e moleculares em solução aquosa, também alicerçados nos níveis representacionais. Em termos de conteúdo de Química, Gkitzia et al. (2020) também consideram esses mesmos conceitos por meio de cards e questões de múltipla escolha, os quais envolviam a transição dos três níveis para responder determinada questão. Além disso, Mateus et al. (2021), além dos conteúdos de Química já supracitados, como dissolução de sais, sugerem a análise dos níveis para outros temas considerando o *stop motion*, como eletrólise, pilha de Daniell e equilíbrio químico.

A partir desses estudos, nota-se que conceitos que envolvem atomística, estados da matéria, ligações química, forças intermoleculares, substâncias em soluções aquosas etc. enquadram-se nas definições de Johnstone, isto é, o modelo teórico (adaptado), e as terminologias submicro e macro ainda continuam sendo usadas em pesquisas atuais (Fernandes & Locatelli, 2021; Keiner & Graulich, 2020; Nkomo & Bly, 2024), o que pode indicar sua utilidade para o estudo da aprendizagem dos conceitos químicos, considerando os conteúdos citados.

Por isto, como citado anteriormente, foram utilizadas as terminologias de Gilbert e Treagust (2009) — macro, submicro e simbólico —, uma vez que a atividade experimental aplicada com os estudantes nesta pesquisa, bem como as representações visuais desenvolvidas, tendo em vista o modelo atômico de Dalton e simbologia da química, englobam-se nas definições desses autores, assim como também aborda os conceitos de Química que foram citados nos estudos anteriores.

Desta forma, concordamos com Cerdran et al. (2018), cujo entendimento da proposição de Johnstone se centra na integração dos três níveis. Diante disso, as relações e as distinções entre os níveis são elementos essenciais na aprendizagem dos conceitos químicos. No estudo de Kiill (2009) sobre o uso de imagens nos livros didáticos, foi apresentada uma ampliação da proposta de Johnstone (1993), tendo em vista a integração dos conceitos, conforme a Figura 1.

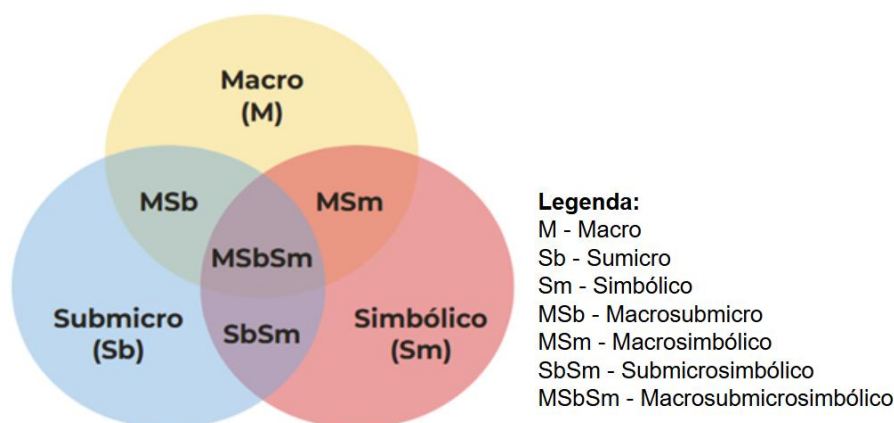


Figura 1 - Diagrama dos níveis representacionais
Fonte: Adaptado de Kiill (2009)

A Figura 1 mostra que foram consideradas as correlações entre vários aspectos dos níveis representacionais, em que o macrosubmicro (MSb) refere-se a uma representação com características de nível macro e submicro de forma concomitante como, por exemplo, a foto de um recipiente contendo água e a representação das moléculas de água em estado líquido.

Para Keiner e Graulich (2020), é crucial relacionar interações no nível submicro para a compreensão dos fenômenos no nível macro. Além disso, testes realizados por Habiddin e Page (2021) com questões de cinética química indicam que, embora os estudantes apresentem bom desempenho em questões algorítmicas, eles têm dificuldades em identificar informações de uma representação pictórica. Essa evidência pode indicar que os alunos não estão habituados a manipular nem interpretar modelos, tendo um entendimento superficial da Química, inclusive nos demais níveis.

Diante disto, Justi e Gilbert (2002) recomendam abordagens que permitam a elaboração e o teste de modelos produzidos por alunos, incluindo a discussão das suas funções e limitações. Rodrigues e Machado (2023) acrescentam ainda que é indispensável incorporar de modo explícito a reflexão sobre a própria natureza das representações, principalmente, no contexto do ensino de Química, cujo uso é constante.

PERCURSO METODOLÓGICO

A natureza deste estudo é qualitativa, pois prioriza entender o comportamento humano, dando relevância às experiências e perspectivas dos participantes (Bogdan & Biklen, 1994). Tendo isso em vista, a pesquisa foi desenvolvida em uma instituição pública de ensino superior, com uma turma de uma disciplina oferecida pelo curso de Licenciatura em Química, na qual matricularam-se quatro estudantes. No dia da coleta de dados deste estudo, uma aluna se ausentou, desta forma, os participantes da pesquisa foram três estudantes: Yohan, Ariadne e Cecília (nomes fictícios escolhidos por eles).

O número reduzido de inscrições na disciplina em 2022 se deu a partir da oferta simultânea de outra disciplina obrigatória, que foi interrompida durante a pandemia e gerou uma demanda reprimida. Diante desse conflito de horários, grande parte dos estudantes optou por se matricular nessa outra disciplina obrigatória, resultando em uma turma com apenas quatro alunos — uma situação atípica, que continuou sendo ofertada devido ao período excepcional pós-pandêmico.

Essa disciplina tinha como objetivo a reflexão da prática pedagógica sobre a elaboração e aplicação de aulas de Química teóricas e experimentais no ensino básico, sendo ministrada durante 12 semanas, com 3 horas semanais, no período matutino. Além disso, embora a disciplina seja oferecida obrigatoriamente para os alunos de Licenciatura em Química, como é o caso da Ariadne e Cecília, discentes de outros cursos poderiam cursá-la. Yohan, por exemplo, cursava Engenharia de Controle e Automação.

Além disso, é importante destacar que, no momento da pesquisa, as estudantes de Licenciatura estavam avançadas no curso. Já tinham cursado as disciplinas de Química Geral e algumas correlatas ao curso de Bacharelado em Química. Logo, o conceito de cinética química já tinha sido estudado por elas. Por outro lado, o aluno de Engenharia não havia cursado disciplina de Química na universidade, o que o tornava menos experiente se comparado às suas colegas. Para Flick (2009), a heterogeneidade pode ser frutífera para a pesquisa qualitativa, uma vez que produz uma diversidade no campo de estudo.

Para o desenvolvimento da pesquisa, foram levados em consideração os parâmetros éticos envolvendo seres humanos, com aprovação do Comitê de Ética. Os três participantes se voluntariaram para o estudo, assinando assim o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE).

Descrição da coleta de dados

A atividade metavisual proposta intencionou permear os três níveis representacionais. Os estudantes trabalharam em grupo durante toda a tarefa, que teve aproximadamente 120 minutos de duração. A primeira autora atuou como monitora da disciplina e a segunda como docente da turma. No entanto, nessa atividade, a participação das pesquisadoras ocorreu pela observação e auxílio para eventuais dúvidas procedimentais. Essa escolha metodológica teve como objetivo proporcionar maior liberdade aos estudantes para que pudessem evidenciar suas próprias lacunas e dúvidas conceituais, além de favorecer a discussão entre pares, bem como verificar como a comparação de modelos pode contribuir para aprendizagem de química.

A prática foi iniciada com uma situação-problema (Quadro 1) que consistiu em um diálogo fictício sobre o comportamento do ferro em solução aquosa de ácido sulfúrico, no qual foi questionado se a temperatura influenciaria na rapidez e no rendimento da reação.

Quadro 1 - Diálogo fictício da situação problema

Laura: Sabia que se a gente adicionar um prego numa solução aquosa, aparecerão bolhinhas?
José: Ah sim, essa é fácil, mas como que a gente podia fazer com que a rapidez da reação fosse maior? Que tal diminuindo a temperatura?
Laura: Hum...não sei ... Será que não seria aumentando a temperatura que aumentaria a rapidez da reação?
José: Será? Bom, tudo bem, não sei, podemos testar. Mas me fala uma coisa, caso a temperatura seja maior e isso fizer com que aumente a rapidez, será que o rendimento da reação também seria maior?
Laura: Aí sim, se a rapidez aumentar, consequentemente aumentará o rendimento da reação química.

Fonte: As autoras

Para responder à situação-problema, o grupo de estudantes discutiu suas hipóteses, elaboraram um plano de trabalho, fizeram testes experimentais para observar os fenômenos, determinar as primeiras conclusões e fazer anotações. Os materiais disponibilizados para os testes foram: pregos (de mesma massa), solução de ácido sulfúrico 1,0 mol/L, chapa de aquecimento, béqueres e pisseta com água destilada. Era esperado que os estudantes colocassem: a) um prego em solução de ácido sulfúrico em temperatura mais baixa; b) um prego em solução de ácido sulfúrico em temperatura mais alta, de modo a comparar a rapidez da reação nos dois casos, considerando o nível macro.

A segunda parte da atividade abordou o aspecto simbólico, na qual o grupo elaborou a equação química que expressava o experimento realizado por eles. Em seguida, os alunos compararam e discutiram a equação química elaborada por eles com a apresentada pelas autoras ($\text{Fe}_{(s)} + 2\text{H}^{+}_{(aq)} \rightarrow \text{Fe}^{2+}_{(aq)} + \text{H}_{2(g)}$), sendo esta a primeira etapa metavisual da atividade. Nessa etapa, era esperado que os alunos discutissem e se dedicassem a determinar as fórmulas dos reagentes e dos produtos da reação, uma vez que não foi informado o que seriam as bolhas formadas no fenômeno. Além disso, por se tratar de alunos do Ensino Superior, também poderia se esperar a discussão sobre a ausência dos íons espectadores e as transferências de elétrons da reação redox para a construção da equação, mesmo que a eletroquímica não tivesse sido o foco da atividade.

Por fim, a terceira parte da atividade agregava o nível submicro às discussões do grupo. Os alunos elaboraram modelos explicativos: a) antes da reação acontecer, ou seja, no momento que os reagentes entraram em contato; b) durante a ocorrência da reação; c) no final da reação (considerando que os pregos dos dois casos, sistema em temperatura alta e sistema em temperatura baixa fossem completamente consumidos). Era esperado que o grupo de alunos elaborasse dois modelos para cada item (a, b e c), sendo um em temperatura mais baixa e o outro em temperatura mais alta.

Após a realização de cada item, o grupo deveria comparar o(s) modelo(s) construído(s), elaborado(s) com os modelos correspondentes apresentados pelas autoras como uma possibilidade de explicação (Figura 2), discutindo suas diferenças e semelhanças, sendo estas mais algumas etapas metavisuais.

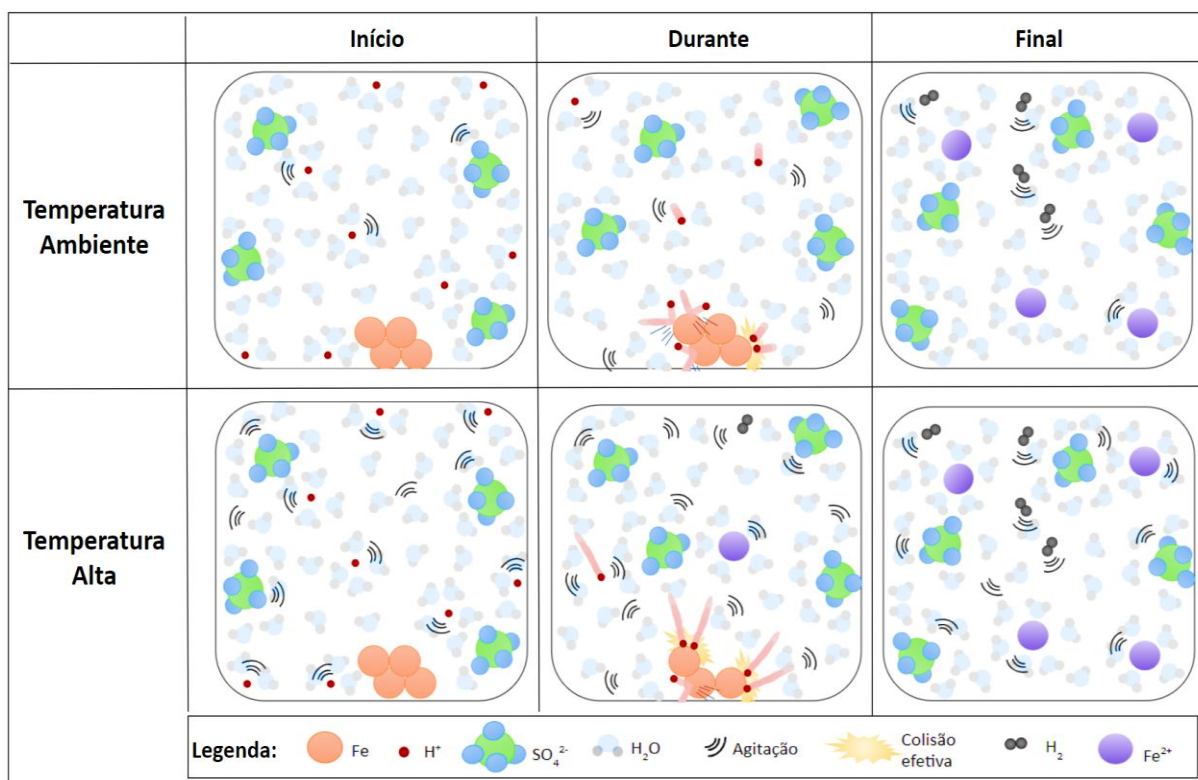


Figura 2 - Possibilidade de modelos explicativos considerando o início, o durante e o final da reação apresentados aos estudantes

Fonte: Shimada & Locatelli (2023, p.137, adaptado)

Portanto, a etapa metavisual ocorria sempre depois da elaboração de um modelo, ou seja, após o grupo terminar a construção do modelo de um item, era necessário que eles o comparassem com o apresentado pela professora, para que só assim avançassem para a elaboração do próximo modelo. Esperava-se que discutissem a diferença de energia e agitação das partículas nos dois sistemas (temperaturas ambiente e alta), a teoria da colisão efetiva como explicação do modelo, o rendimento da reação (o mesmo para os sistemas), a influência da temperatura, bem como outros conceitos de Química Geral que estão envolvidos nas representações, como proporção e tamanho de partículas, geometria, solvatação de íons e eletronegatividade.

Nos modelos elaborados na Figura 2, optou-se em considerar o H⁺ ao invés do H₃O⁺ na ionização do ácido sulfúrico, de modo a representar um modelo mais próximo de um próton solvatado (Silverstein, 2014). Após fazer a discussão sobre esses modelos, Silverstein (2014) finaliza as conclusões recomendando a utilização do íon H⁺ ao invés do íon hidroxônio para a ionização de ácidos em solução, o que foi aqui também adotado.

Os alunos foram instruídos a não consultar nenhum material durante a atividade, exceto as representações apresentadas a eles. Segue um esquema (Figura 3) que sintetiza as etapas de tarefa de acordo com o nível representacional.

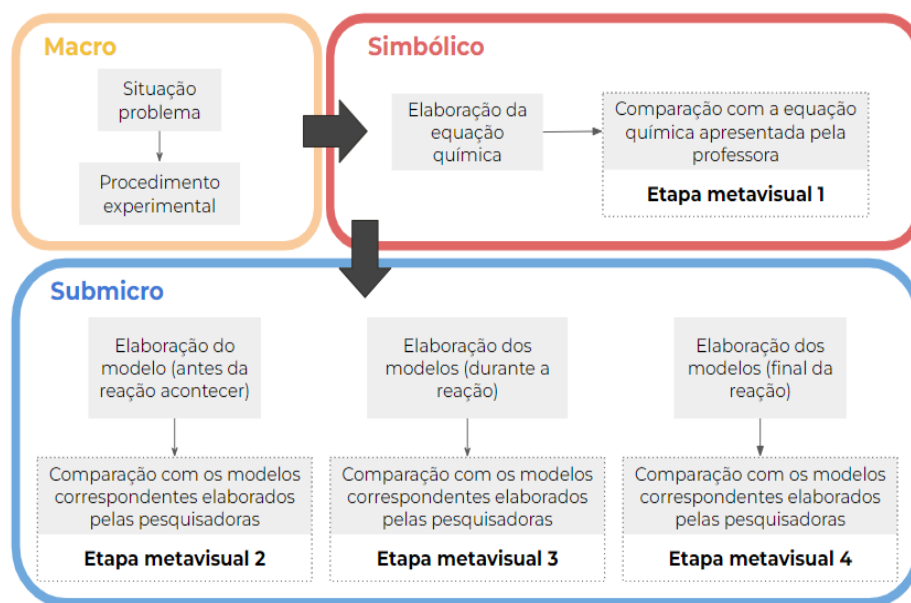


Figura 3 - Etapas da atividade metavisual de acordo com o nível representacional
Fonte: As autoras

Análise dos dados

As produções textuais, pictóricas e simbólicas foram registradas, assim como as discussões do grupo, que foram gravadas e transcritas. Desta forma, a transcrição foi organizada de acordo com trechos de fala, que denominamos como unidades de análise (UA). Foi feita a leitura integral desse material diversas vezes, resultando em 65 UAs.

Cada UA se inicia quando um novo tema de conversa é introduzido e termina quando é interrompido para dar lugar a outro assunto, considerando-se a ordem cronológica dos acontecimentos. Um exemplo consta no Quadro 2:

Quadro 2 - Exemplo da organização das UAs

UA	Trecho
1	Cecília: Mas como que a gente vai mostrar isso aqui (Fe) vindo para cá (Fe^{2+}) no submicro? Ariadne: Ferro metálico. Cecília: Por favor, eu sou lerda... “aaah tá”! Ele vai soltando assim? Ariadne: Sim. Ariadne: Ah perfeito! Agora fez sentido na minha cabeça.
2	Cecília: E como é que a gente vai representar o H_2 gasoso? ele só vai deprender e vai “uuuu” e o H_2 vai “uu”, e é isso? Ariadne: Ele vai interagir, porque “ó”, esse aqui tá certo (...)

Fonte: As autoras

Feito isso, categorizou-se as UAs seguindo Kiill (2009), para assim obter o nível representativo da química acessado e/ou a transição de nível realizada pelo grupo de alunos em cada UA. No Quadro 3, são apresentadas as categorias de Kiill (2009) e suas respectivas descrições adaptadas para o contexto desta pesquisa.

Quadro 3 - Categorias de Kiill (2009) e seus respectivos descritores adaptados

Categoria		Descritor
M	Macro	Explicações e/ou descrições com menção somente aos aspectos macro .
Sb	Submicro	Menção de termos relacionados somente aos aspectos submicro , como átomos, íons, moléculas, ligações químicas etc. ou menções que se referem aos desenhos.
Sm	Simbólico	Menção de termos que remetem somente a símbolos e equações químicas .
MSb	Macrosbmicro	Menção de termos relacionados aos níveis macro e submicro .
MSm	Macrosimbólico	Menção de termos relacionados aos níveis macro e simbólico .
SbSm	Submicrosimbólico	Menção de termos relacionados aos níveis submicro e simbólico .
MSbSm	Macrosbmicrosimbólico	Menção de termos relacionados aos níveis macro , submicro e simbólico .

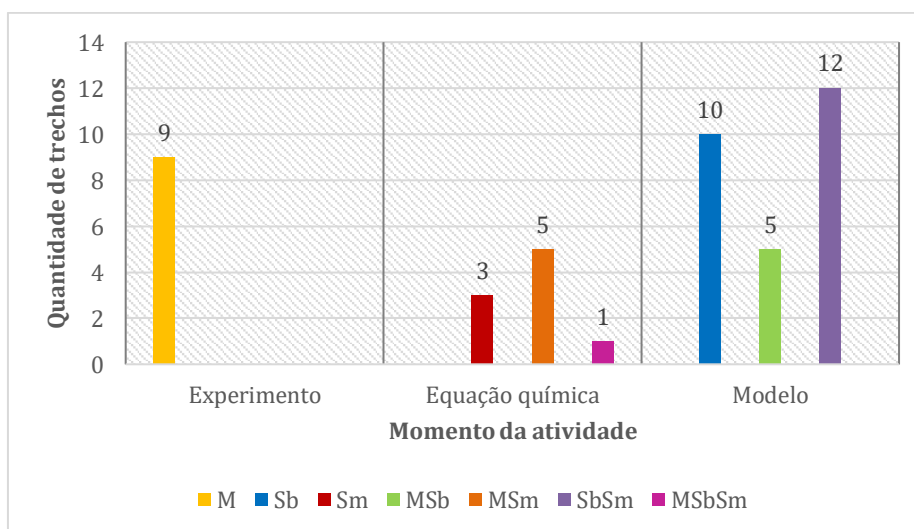
Fonte: Adaptado de Kiill (2009)

A análise da categorização fundamentou-se em identificar as dificuldades no acesso e/ou transição dos níveis representacionais, de modo a responder à questão de pesquisa. Ainda, a triangulação de dados pode atribuir maior confiança às evidências e aos significados (Stake, 2011). Assim, foram utilizados os desenhos e anotações elaboradas pelo grupo, bem como notas de diário de bordo da pesquisadora, para aprofundamento na análise.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre as 65 UAs codificadas, identificou-se que em 20 delas não houve indícios de acesso ou transição entre os níveis, sendo as ocasiões em que os discentes conversaram sobre assuntos paralelos à atividade. Portanto, as demais 45 UAs foram classificadas segundo as categorias propostas por Kiill (2009). O Gráfico 1 apresenta as informações gerais de cada categoria de acordo com os três diferentes momentos da atividade.

Gráfico 1 - Codificação (Quadro 3) de acordo com o momento da atividade



Fonte: As autoras

De modo geral, é demonstrado pelo Gráfico 1 que os estudantes acessaram/transitaram nos níveis representacionais de modo correspondente ao momento da atividade. Por exemplo, no experimento, o grupo apenas acessou o macro, assim como o nível simbólico foi mencionado pela primeira vez durante a elaboração da equação química.

Desta forma, pode-se constatar que esses alunos não acessaram espontaneamente o nível simbólico ou o submicro apenas pela observação dos fenômenos. Para Locatelli e Arroio (2017), eles não estão habituados a manipular representações no submicro, por isso precisam ser encorajados para conseguir. Portanto, há a necessidade de atividades que instiguem os aprendizes a trabalharem nos demais níveis que vão para além do macro, bem como a integração do simbólico e submicro de forma reflexiva. Ou seja, os alunos se apoiam no macro para avançar e (re)pensar os outros níveis (Locatelli & Arroio, 2017).

Levando em consideração todos os momentos da atividade, nota-se que, ao contrário da literatura (Gilbert & Treagust, 2009; Jaber & Boujaoude, 2012), na qual o nível macro é mais acessado pelos alunos, os estudantes deste estudo mencionaram de forma predominante o submicro, seja pelo acesso (Sb) ou pela transição com outro nível (MSb e SbSm). Este resultado é semelhante ao encontrado por Fernandes e Locatelli (2021), o que pode ser atribuído à natureza da atividade que estimula a construção, a comparação e a avaliação de modelos no nível submicro, o que já nos indica a potencialidade da estratégia utilizada para o acesso a esse nível, considerado difícil pelos estudantes. No entanto, é importante também levar em consideração que as alunas Cecília e Ariadne conduziram as discussões, predominantemente, nos níveis simbólico e submicro (sobretudo em SbSm) por serem mais experientes na manipulação de representações, o que traz indícios da influência do conhecimento adquirido ao longo do curso nessas construções do conhecimento.

Yohan, por outro lado, trouxe de forma prevalente contribuições que se baseiam em aspectos macro (M, MSb e MSm) pela observação do experimento ou por situações cotidianas para propor explicações, semelhante ao que foi encontrado em estudo com alunos de EM (Locatelli & Arroio, 2017), o que era esperado, considerando que ele não havia revisto conceitos de Química desde a época do vestibular.

Segundo Fernandes e Locatelli (2021), é relevante que os alunos acessem e transitem nos níveis, porém há a reflexão sobre a qualidade dessas transições, o que pode levar a compreender os entraves na aprendizagem dos estudantes que são inerentes a esse processo. Por isso, embora o Gráfico 1 indique que os estudantes transitaram, pelo menos uma vez, entre todos os níveis, apresentaremos nos próximos tópicos exemplos de como essas transições ocorreram e os desafios associados a esse processo.

Diante disso, na apresentação dos resultados no próximo tópico, foram usadas cores nos trechos em que há as falas dos alunos para explicitar os níveis representacionais mencionados. Destacamos os trechos de nível macro em amarelo escuro, os de nível submicro em azul e o nível simbólico em vermelho.

1. Etapa experimental

Para resolver a situação-problema, na primeira etapa da atividade, o grupo de alunos optou por testar o comportamento do prego em dois sistemas: solução aquosa de ácido sulfúrico e água destilada, tanto em temperatura ambiente quanto em temperatura alta, em ambos os casos. Conforme esperado, no Gráfico 1, consta que apenas aspectos macro (M) foram mencionados em 9 UAs pelos estudantes durante o experimento. Nessa etapa, os alunos fizeram apontamentos sobre fenômenos observados, como a formação de bolhas e a sua intensidade, e observações sobre o estado dos pregos ao final do procedimento, como exemplificado em um trecho da UA nº 11:

Cecília: (...) o (prego em ácido) que foi pro aquecimento *tá mais (corroído) para o que não foi para o aquecimento...* em relação ao aspecto do (prego) que ficou na água, *não vejo mudanças significativas.*

Ariadne: (...) ele (prego em ácido em temperatura alta) *mudou de cor.*

Cecília: *Ele mudou de cor e ele descascou bem mais do que esse (prego em ácido em temperatura ambiente), quase perdeu a forma já (...)*

Yohan: *Tirou a ferrugem até... ele "tá" mais fino também.*

De modo geral, essa foi a etapa em que os alunos tiveram menos dificuldades, e houve a participação ativa de todos, conforme o trecho da UA11, o que pode ser atribuído à natureza tangível do nível macro, que permite um acesso mais fácil (Johnstone, 1993; Jaber & Boujaoude, 2012).

2. Equação química

Durante a elaboração e a comparação da equação química, de acordo com o Gráfico 1, os estudantes, além de acessarem em 3 UAs o nível simbólico (Sb), transitaram em 5 no macrosimbólico (MSb) e 1 no macrosubmicrosimbólico (MSbSm). A UA 15 exemplifica as discussões dos estudantes com menção ao nível simbólico:

Cecília: Assim, por exemplo, a reação seria água. H_2SO_4 aquoso + (Fe) metálico? “s” (sólido) aqui... isso (água) seria... aquosa, não né? líquida! H_2O líquida!

Ariadne: H_2O líquida!

Cecília: H_2O aquoso tá difícil na minha cabeça.

Nesse trecho, nota-se que as estudantes se referem ao estado da matéria associado ao reagente na construção da equação química, o que indica certo domínio no uso da simbologia. Além disso, há uma avaliação sobre a água, na qual as alunas repensam e alteram o “aquoso” para “líquido”, atribuindo que “ $H_2O_{(aq)}$ ” seria equivocado.

A relação da simbologia e o nível macro demonstra ser uma tarefa difícil para os alunos, como nas transições MSm do Gráfico 1, nas quais eles partiam do nível macro para validar o simbólico. Isto é, eles se apoiam no que foi visto para chegar em uma possível representação (Fernandes & Locatelli, 2021). Nesse caso, os alunos avaliaram o comportamento dos pregos em água e em solução aquosa de ácido sulfúrico para propor as equações químicas das duas situações, como exemplificado em um trecho da UA 16:

Cecília: (...) O H_2SO_4 aquoso + Fe virando... alguma coisa. Mas por exemplo aqui, água + Fe, a gente não observou um nada (prego em água)... então não sei nem se essa equação faz sentido...

Yohan: Mas aí deve ter alguma reação, nem que seja com o tempo, por exemplo o Titanic enferruja né? debaixo d'água.

Cecília: (...) isso, é que por exemplo aqui (em água), a gente não observou algo acontecendo, mas aconteceu alguma coisa.

No trecho, há a dúvida sobre a reação do prego em água, uma vez que não foram observadas mudanças aparentes no metal. No entanto, Yohan cita o “Titanic”, exemplificando que há uma reação química com indícios a longo prazo. Embora a oxidação do prego em contato com água e oxigênio não seja o foco da atividade, é interessante notar que o estudante parte do nível macro, de fenômenos que são mais próximos do seu cotidiano, para buscar a articulação com o outro nível, como sugerem Locatelli e Arroio (2017).

No que se refere à MSbSm, foi identificada uma transição em toda atividade, que ocorreu durante a elaboração da possível equação do prego em solução aquosa de ácido sulfúrico. A transição entre os três níveis é considerada uma tarefa difícil para os alunos (Johnstone, 1993; Jaber & Boujaoude, 2012; Gilbert & Treagust, 2009; Keiner & Graulich, 2020), o que pode justificar a baixa incidência dessa transição na atividade. No trecho seguinte, da UA nº 19, temos a transição MSbSm identificada:

Ariadne: (...) o que são as bolhas?

Cecília: o oxigênio, porque a ferrugem é o óxido de ferro, então as bolhas seriam esse “óxido” se desprendendo.

Ariadne: então tem que sair isso (oxigênio).

Cecília: Então essa daqui seria... essa parte (da equação) com $Fe + O_2$ (...).

No trecho, houve a transição entre elementos do nível macro (referência às bolhas, supondo que eram bolhas de oxigênio), submicro (cuja formação de bolhas seria o rompimento das ligações do óxido de ferro) e simbólico (representado pela fórmula do oxigênio, O_2). O grupo chegou à conclusão de que, na reação do prego em ácido, o principal gás liberado seria o oxigênio, por observar maior intensidade de bolhas na região em que

o prego estava oxidado, que é uma concepção alternativa comum, pois o principal gás envolvido dessa reação é o gás hidrogênio.

No entanto, é relevante citar que só foi observado no prego em água o desprendimento de bolhas na região oxidada. Na reação de prego em ácido, as bolhas foram observadas em toda extensão do metal. É possível que os estudantes tenham enfrentado dificuldade em organizar e considerar as informações mais relevantes do experimento registradas em papel, confundindo-se ou fixando-se à ideia da oxidação do metal na reação, de modo a interpretar que o mesmo fenômeno observado no prego em água teria ocorrido também no prego em ácido.

A transição MSbSm ocorreu enquanto o conhecimento ainda estava sendo construído. Isso indicou que as transições, quando ocorrem, não necessariamente conduzem à construção científica desejada, porém é uma construção válida e valiosa no processo de aprendizagem, pois indica que os alunos conseguiram acessar e transitar entre os níveis, ainda que necessitem de auxílio para uma melhor compreensão dos conceitos. Nesse sentido, Gkitzia et al. (2020) sugerem que atividades que envolvam transições entre os níveis são uma ferramenta útil para os professores identificarem as dificuldades conceituais e informações sobre o que os alunos entendem sobre determinado conteúdo.

3. Modelos submicro

Segundo o Gráfico 1, o momento da atividade em que ocorreu a elaboração e a comparação dos modelos no submicro, considerando o início, o durante e o final da reação, foi apresentado na Figura 4. Essa etapa envolveu 10 acessos ao nível Sb (submicro), 5 transições em MSb (macrosubmicro) e 12 transições em SmSb (submicrosimbólico) nas UAs.

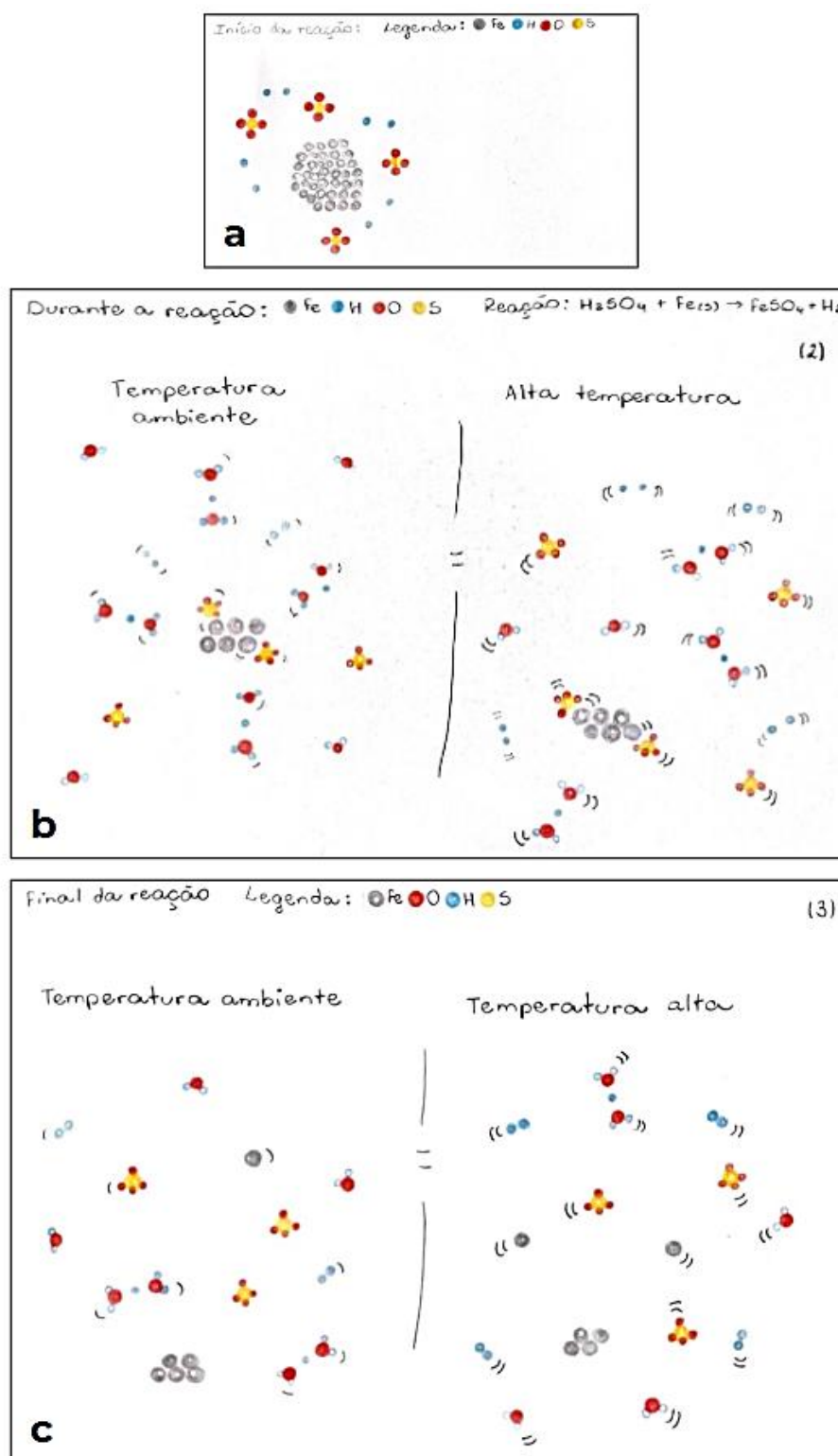


Figura 4 - Modelos elaborados (antes[a], durante[b] e no final[c] da reação química entre ferro sólido e solução aquosa de ácido sulfúrico)
Fonte: Acervo das autoras

A discussão dos alunos iniciou sobre o modo de representação do reagente metálico em nível submicro, resultando na transição MSb, como indicado em um trecho da UA nº 27:

Cecília: (...) então o prego... O submicro então a gente desenha o prego.
Ariadne: A gente não desenha o prego, a gente desenha o ferro!
Cecília: Ai, não... ah, não! Sim sim sim sim, tem razão. (...) é, já faz umas bolinhas... é o ferro.
Ariadne: “Tá”, vamos desenhar umas bolinhas “pra” simbolizar o ferro.
Cecília: É que na outra atividade (da disciplina) a gente desenhava a fogueira (como submicro) e ela (a professora) falou tipo: “tá certo? mas não está mostrando submicroscopicamente”. (Explicando o contexto para o Yohan)

É comum a atribuição de característica em nível macro para representar o submicro (Chandrasegaran et al., 2007; Jaber & Boujaoude, 2012). Nesse caso, num primeiro momento, Cecília propôs desenhar o prego achando que seria uma representação no submicro, mudando o pensamento para um acerto conceitual após a intervenção da Ariadne.

Além disso, Cecília, em sua última fala, explica a Yohan que o motivo que as levou a esse pensamento foi a retomada da memória da atividade da “fogueira”, realizada semanas antes na disciplina, da qual Yohan não participou. Nessa atividade, as alunas representaram os três níveis da Química na queima da madeira e, para o nível submicro, elas desenharam uma fogueira com alguns elementos simbólicos, como H_2 e CO_2 , isto é, uma representação macro e simbólica. Por isso, é interessante notar a influência dessa primeira abordagem no repensar das alunas sobre a representação no submicro.

Outra retomada de memória de atividades anteriores, que envolviam a modelagem no submicro, experienciada pelas integrantes do grupo, foi usada como justificativa para chegar em uma possível representação do ácido sulfúrico aquoso. Tendo em vista que os alunos não conseguiram chegar em um consenso sobre o modelo da molécula de ácido sulfúrico, as duas estudantes optaram em representá-lo baseado em experiências de outra disciplina, como no trecho da UA38:

Cecília: E se a gente não fizer igual o (outro) professor? Que naquela última atividade que a gente fez com massinhas de modelar... Não consigo lembrar qual era a reação, mas era uma reação “grandona” também que a gente fez “separadinha”, a gente não fez tudo junto... acho que a gente só fez a água e...
Ariadne: É então, tava pensando em fazer H^+ ... SO_4^{2-} , entendeu? Mas estou presa em como desenhar isso... Eu não preciso desenhar bolinhas, é só escrever né.
Cecília: Eu acho que a ideia é a gente fazer bolinhas e não escrito.
Ariadne: Volta no problema da geometria. Eu não sei como desenhar isso.
Cecília: Faria assim ó: SO_4 e as duas bolinhas de H. (...) Ai no meio desse (o enxofre), e do lado cada (bolinha) oxigênio.

O trecho é um dos exemplos da transição SbSm (submicrosimbólico) que, a partir do simbólico, foi pensado em como representar os íons em “bolinhas” no submicro. A fala da Ariadne — “não sei como desenhar isso” — representa bem o teor das demais transições de SbSm do processo, nas quais os alunos recorrem ao simbólico para fazer a modelagem, mas ficam estagnados quanto à forma de desenhar e, ainda, sobre o modo que esses íons ficariam dispostos na representação, indicando dificuldades na transição entre o nível simbólico e o submicro (Fernandes & Locatelli, 2021; Gibin & Ferreira, 2010; Gkitzia et al., 2020). Para Cakmakci (2010), os discentes têm dificuldades em associar representações no nível simbólico aos modelos, o que sugere uma rasa compreensão desses conceitos. Em complemento, segundo Taber (2009), as fórmulas químicas são complexas de se compreender e representam alta demanda cognitiva, o que pode justificar as dificuldades dos estudantes em compreender a simbologia química e relacionar com os demais níveis, que, nesse caso, refere-se ao submicro.

Apesar das dificuldades enfrentadas na elaboração do primeiro modelo (Figura 4a), os estudantes se atentaram em representar de modo proporcional o número de íons sulfato e íons H^+ (1:2), atribuindo corretamente a geometria do ânion e inserindo legenda. No entanto, é importante notar ainda que na Figura 4a foram ilustrados os átomos de H ao invés de íons H^+ . Em suas falas, o grupo deu indícios de que a intenção era desenhar H^+ na representação, mesmo referindo-se diversas vezes aos cátions como “hidrogênio” ou “H”. A mesma situação ocorria com o ânion sulfato, o qual os alunos denominavam como “ SO_4 ” e não “ SO_4^{2-} ”. Esse dado é semelhante ao encontrado na pesquisa de Keiner e Graulich (2020), em que os alunos citam “cloro” enquanto mostraram em seu desenho o íon cloreto. Os autores afirmam que o equívoco no uso das terminologias

simbólicas relembra aos professores a importância da comunicação precisa com seus alunos nesse nível para evitar a confusão dos conceitos.

Ainda sobre os íons, nota-se que foram desenhados na Figura 4b os cátions H^+ sendo solvatados pela água (Silverstein; 2014), o que pode indicar que, na etapa metavisual 2 (comparação do modelo do início da reação), os alunos levaram em consideração representar as moléculas de água e a orientação delas em relação aos cátions para construção do segundo modelo (Figura 4b). No entanto, a representação da solvatação dos ânions SO_4^{2-} não foi realizada, assim como na Figura 4c em relação aos cátions Fe^{2+} , o que pode indicar uma compreensão parcial da atividade de íons em soluções aquosas (Gkitzia et al., 2020).

Ademais, verifica-se que na Figura 4b as moléculas de H_2 foram ilustradas como dois átomos de hidrogênio ligeiramente afastados, e a representação do íon H^+ foi mantida como átomos de hidrogênio. A dificuldade de fazer modelos adequados no submicro é comum para a maioria dos alunos em todos os níveis de ensino (Gkitzia et al., 2020), inclusive na pós-graduação (Gibin & Ferreira, 2010). Por outro lado, diferentemente da Figura 4b, na Figura 4c, nota-se que os átomos da molécula do gás hidrogênio estão unidos formando a molécula de hidrogênio, dando indício do repensar metavisual da representação após a comparação dos modelos (Shimada & Locatelli, 2023). No entanto, não há registros em que os estudantes discutem o assunto, portanto, é possível que essa mudança seja apenas uma replicação do que foi visto no modelo da professora, sugerindo a estratégia primária de imitação (Chang, 2021).

Outra questão já discutida em Shimada e Locatelli (2023) é a representação do íon sulfato como um íon participante da reação e não espectador, uma vez que foi considerada a reação global ($Fe_{(s)} + H_2SO_{4(aq)} \rightarrow FeSO_{4(aq)} + H_2$), a partir do método de reação de simples-troca, para a elaboração do modelo explicativo. Na Figura 4b é possível verificar que os estudantes desenharam íon sulfato reagindo com o ferro sólido. Ou seja, ao invés de formar $Fe^{2+}_{(aq)}$, a representação dos alunos indica a formação de $FeSO_4$, como dito pela Ariadne no trecho: “(...) nós pensamos na reação com o ácido sulfúrico mesmo, considerando o sulfeto... e então a gente pensou no sulfeto interagindo com o ferro”.

Essa representação revela, mais uma vez, a dificuldade em interpretar a equação química global (nível simbólico), que causa impacto na transição com o submicro e a compreensão do que está ocorrendo na reação química. Entendemos que ao considerar a reação global, o $FeSO_4$ em solução aquosa forma íons Fe^{2+} e SO_4^{2-} , o que poderia configurar apenas um erro de nomenclatura quando a Ariadne se refere a “sulfeto”. No entanto, ressaltamos que a dificuldade apresentada pelos estudantes estava em afirmar que o íon sulfato participava da reação. Esta confusão pode ser oriunda do pensamento de que a reação era de “simples troca”, isto é, o hidrogênio do ácido sulfúrico “trocaria” de lugar com o ferro, o que resultaria na interação ferro com o sulfato. Este procedimento mecânico da formação de reações químicas, “além de não explicitar a formação de íons, também não deixa claro o protagonismo das espécies químicas que reagem em solução” (Shimada & Locatelli, 2023, p.145).

Nesse sentido, apontamos a possibilidade de que, se os estudantes fossem direcionados a um pensamento mais complexo, formado pelos três níveis, poderiam ter percebido que não, já que na reação não havia formação de sólido, apenas o consumo do prego e a formação de bolhas.

Além disso, os alunos também se referiam ao íon sulfato como “sulfeto” diversas vezes, confundindo a nomenclatura dos ânions. Jaber e BouJaoude (2012) afirmam que a aprendizagem de forma fragmentada dos níveis desenvolve alunos que conseguem resolver problemas de forma sistemática e algorítmica. No entanto, eles não compreendem completamente os significados químicos e entendem os fenômenos de modo impreciso.

É relevante também destacar que, assim como no caso dos íons H^+ , os cátions Fe^{2+} foram representados como átomos de Fe (Figura 4c), o que pode indicar que, para os alunos, não há distinções na representação dos átomos de H e Fe com os seus respectivos íons. Segundo Gkitzia et al., (2020), alguns alunos não compreendem totalmente o significado da simbologia química, o que pode explicar a relação conflituosa que eles estabelecem entre as representações simbólicas e os desenhos no submicro.

Ao contrário do primeiro modelo (Figura 4a), na Figura 4c não foram representados os íons nas proporções estequiométricas (1:1) dos produtos Fe^{2+} e H_2 . Nesse caso, foi considerado a proporção de 1:2, isto é: a cada formação de 1 íon de Fe^{2+} , formava-se 2 moléculas de H_2 . No trecho da UA nº 61, em que ocorre a transição Q6 (submicrosimbólico), está presente o único diálogo referente a isso.

Yohan: (...) o que eu tava falando é assim ó: 1 ferro para um H_2 , duas bolinhas (de hidrogênio) para cada ferro (Fe^{2+} formado).

Ariadne: É, mas pode ter mais (gás hidrogênio), porque tem muito mais H_2 no sistema, entendeu?

Yohan: Hm, aqui (no desenho feito por eles) inclusive tem mais.

Yohan fez a sugestão de seguir a proporção da equação química. No entanto, Ariadne afirma que há mais gás hidrogênio no sistema. Uma suposição do que levou a aluna ter esse pensamento é de que a formação de gás H_2 é experimentalmente visível, ao passo que a formação de Fe^{2+} não é, o que pode levar ao entendimento de que se forma mais gás no sistema do que o cátion. Chandrasegaran et al. (2007) apontam que os alunos tendem a extrapolar arbitrariamente as propriedades de nível macro para o nível submicro, uma vez que as ideias deles são influenciadas fortemente pelas informações sensoriais.

Também era esperado que os alunos utilizassem a modelagem da reação química para explicar como a temperatura influencia na rapidez da reação. Todavia, os alunos não representaram (Figura 4b e 4c) e não mencionaram a teoria das colisões, mesmo após a etapa metavisual 3 (comparação do modelo durante a reação), momento em que os alunos até citam as colisões efetivas, mas não discutem e não a consideram para o modelo posterior, o que condiz com os estudos de Habiddin e Page (2019) e Marani et al. (2017), evidenciando que, embora os estudantes saibam que a temperatura geralmente aumenta a rapidez da reação, eles não conseguem usar o modelo teórico para construir suas explicações de como o fenômeno ocorre por meio de subsídios do submicro. Essa dificuldade, para Habiddin e Page (2019), pode estar associada à falta de clareza que os estudantes demonstram ter em relacionar a rapidez da reação com a teoria das colisões, isto é, entraves na transição entre o macro e o submicro. Por fim, ressalta-se que as evoluções apresentadas pelos alunos são importantes para a aprendizagem deles, pois se trata de um processo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para concluir este artigo, retoma-se à pergunta de pesquisa: quais os desafios enfrentados por um grupo de estudantes de ensino superior, no que se diz respeito ao acesso e à transição dos níveis representacionais, em uma atividade metavisual sobre o efeito da temperatura na rapidez de uma reação química?

O acesso em macro possibilitou que os alunos transitassem para outros níveis, como MSb (macrosubmicro), MSm (macrosimbólico) e MSbSm (macrosubmicrosimbólico). Notou-se que foi importante os alunos usarem subsídios do macro para argumentarem as ideias nos demais níveis, atividade feita principalmente pelo aluno de Engenharia, como visto em MSm. No entanto, também foi identificado que há uma tendência de os alunos transporem de forma arbitrária noções fenomenológicas para o nível particulado. Ademais, foi observada uma transição MSbSm, que foi conduzida para um erro conceitual, mas ressaltamos que ela faz parte da construção do conhecimento, por isso se faz importante para a aprendizagem.

Os resultados apontaram que a má compreensão de um dos níveis de um determinado conceito acarreta um efeito dominó, no qual o estudante demonstra não entender os demais níveis por consequência do primeiro. Por exemplo, por não compreenderem a equação simplificada da reação, os discentes desenvolveram uma representação conceitualmente incorreta no nível submicro, tendo problemas na transição submicrosimbólico (SbSm). Isso evidencia a importância de se transitar nos níveis para a compreensão do fenômeno químico, mostrando a dependência entre os níveis, conforme sugere o triângulo de Johnstone.

É relevante notar que, de modo geral, a transição SbSm representou maior número de UA. No entanto, embora fossem quantitativamente prevalentes, qualitativamente eram carregados de dúvidas e de conceitos superficiais da Química. Os alunos tiveram dificuldade em desenhar os modelos baseados na simbologia

química, como a geometria molecular do reagente e dos produtos da reação, e representação do íon H^+ e Fe^{2+} , como átomos de H e Fe.

Além disso, os alunos demonstraram não entender a explicação sobre como a temperatura influencia a rapidez da reação e a atividade dinâmica dos íons em solução, o que demonstra a dificuldade no submicro. Este trabalho também ressalta a importância de os estudantes elaborarem seus próprios modelos, uma vez que essas representações demonstram os entraves na compreensão dos conceitos.

Os resultados também indicaram que as representações pictóricas, especialmente em relação ao primeiro modelo elaborado, originaram das recordações das estudantes de atividades passadas, o que aponta a importância do conhecimento adquirido ao longo do curso dos estudantes no desenvolvimento da atividade.

Agradecimentos

À Universidade Federal do ABC, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo 2023/18177-6, pelo financiamento do projeto de pesquisa, e aos discentes que participaram deste estudo.

Referências Bibliográficas

Araújo Neto, W. (2009). N. *Formas de uso da representação estrutural no ensino superior de química* (Tese de doutorado). Universidade de São Paulo, Faculdade de Educação, São Paulo. 2009.

Cakmakci, G. (2010). Identifying alternative conceptions of chemical kinetics among secondary school and undergraduate students in Turkey. *Journal of Chemical Education*, 87(4), 449–455. <https://doi.org/10.1021/ed8001336>

Cakmakci, G., Leach, J., & Donnelly, J. (2006). Students' ideas about reaction rate and its relationship with concentration or pressure. *International Journal of Science Education*, 28(15), 1795–1815. <https://doi.org/10.1080/09500690600823490>

Cedran, D. P., Cedran, J. C., & Kiouranis, N. M. M. (2018). A importância da simbologia no ensino de Química e suas correlações com os aspectos macroscópicos e moleculares. *Revista de Ensino de Ciências e Matemática*, 9(4), 38–57.

Chandrasegaran, A. L., Treagust, D. F., & Mocerino, M. (2007). The development of a two-tier multiple-choice diagnostic instrument for evaluating secondary school students' ability to describe and explain chemical reactions using multiple levels of representation. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(3), 293–307. <https://doi.org/10.1039/B7RP90006F>

Chang, H. Y. (2022). Science teachers' and students' metavisualization in scientific modeling. *Science Education*, 106(2), 448–475. <https://doi.org/10.1002/sce.21693>

Chittleborough, G., & Treagust, D. (2008). Correct interpretation of chemical diagrams requires transforming from one level of representation to another. *Research in Science Education*, 38, 463–482. <https://doi.org/10.1007/s11165-007-9059-4>

Fernandes, B. G., & Locatelli, S. W. (2021). Acesso e Transição nos Níveis Representacionais durante a Construção de Modelos Explicativos acerca de Interações Intermoleculares. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 21, 1–29. <https://doi.org/10.28976/1984>

Ferreira, P. M., & Justi, R. (2008). Modelagem e o “fazer ciência”. *Química Nova na Escola*, 28, 32–36.

Flick, U. (2009). *Desenho da pesquisa qualitativa*. Porto Alegre: Artmed/Bookman.

Gibin, G. B., & Ferreira, L. H. (2010). A formação inicial em química baseada em conceitos representados por meio de modelos mentais. *Química Nova*, 33(8), 1809–1814. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422010000800033>

Gilbert, J. K. (2005). Visualization: A metacognitive skill in science and science education. In J. K. Gilbert (Ed.), *Visualization in science education* (pp. 9–27). Dordrecht: Springer. https://doi.org/10.1007/1-4020-3613-2_2

Gilbert, J. K., & Treagust, D. (2009). Macro, submicro and symbolic representations and the relationship between them: Key models in chemical education. In J. Gilbert & D. Treagust (Eds.), *Multiple representations in chemical education* (pp. 1–8). Dordrecht: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8872-8_1

Gkitzia, V., Salta, K., & Tzougraki, C. (2020). Students' competence in translating between different types of chemical representations. *Chemistry Education Research and Practice*, 21(1), 307–330. <https://doi.org/10.1039/C8RP00301G>

Habiddin, H., & Page, E. M. (2019). Development and validation of a four-tier diagnostic instrument for chemical kinetics (FTDICK). *Indonesian Journal of Chemistry*, 19(3), 720–736. <https://doi.org/10.22146/ijc.39218>

Habiddin, H., & Page, E. M. (2021). Examining students' ability to solve algorithmic and pictorial style questions in chemical kinetics. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 19, 65–85. <https://doi.org/10.1007/s10763-019-10037-w>

Jaber, L. Z., & Boujaoude, S. (2012). A macro–micro–symbolic teaching to promote relational understanding of chemical reactions. *International Journal of Science Education*, 34(7), 973–998. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.569959>

Johnstone, A. H. (1982). Macro-and micro-chemistry. *School Science Review*, 64, 377-379.

Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7(2), 75-83.

Johnstone, A. H. (1993). The development of chemistry teaching: A changing response to a changing demand. *Journal of Chemical Education*, 70(9), 701–705. <https://doi.org/10.1021/ed070p701>

Johnstone, A. H. (2000). Teaching of chemistry - Logical or psychological? *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 1(1), 9–15. <https://doi.org/10.1039/A9RP90001B>

Junqueira, M., & Maximiano, F. (2020). Interações intermoleculares e o fenômeno da solubilidade: Explicações de graduandos em química. *Química Nova*, 43(1), 106–117. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170449>

Justi, R., & Gilbert, J. (2002). Models and modeling in chemical education. In J. Gilbert, O. de Jong, R. Justi, D. Treagust, & J. Van Driel (Eds.), *Chemical education: Towards research-based practice* (pp. 47–68). Dordrecht: Springer. https://doi.org/10.1007/0-306-47977-X_3

Keiner, L., & Graulich, N. (2020). Transitions between representational levels: Characterization of organic chemistry students' mechanistic features when reasoning about laboratory work-up procedures. *Chemistry Education Research and Practice*, 21(1), 469–482. <https://doi.org/10.1039/C9RP00241C>

Kiill, K. B. (2009). *Caracterização de imagens em livros didáticos e suas contribuições para o processo de significação do conceito de equilíbrio químico* (Tese de Doutorado). Universidade Federal de São Carlos.

- Labarca, M. (2009). Acerca de la naturaleza de la química: Algunos comentarios. *Educación en la Química - Revista de la Asociación de Docentes en la Enseñanza de la Química de la República Argentina*, 15(2).
- Locatelli, S. W., & Arroio, A. (2017). Dificuldades na transição entre os níveis simbólico e submicro - repensar o macro pode auxiliar a compreender reações químicas? *Enseñanza de las Ciencias*, n.o extraordinário, 4239–4244.
- Locatelli, S.W.; Yeung, A.; Mocerino, M.; Treagust, D. (2025). Student-generated diagrams showing salt dissolution: patterns of levels of representation and an assessment rubric. *International Journal of Science Education*, (no prelo).
- Mahaffy, P. (2004). The future shape of chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 5(3), 229–245. DOI <https://doi.org/10.1039/B4RP90026J>
- Marani, P. F., Oliveira, T. A. L. de, & Sá, M. B. Z. (2017). Concepções sobre Cinética Química: A influência da Temperatura e da Superfície de Contato. *ACTIO*, 2(1), 321–341.
- Meneses, F. M. G., & Nunez, I. B. (2018). Errors and difficulties of high school students' learning in the interpretation of the chemical reaction as a complex system. *Ciência & Educação*, 24(1), 175–190. <https://doi.org/10.1590/1516-731320180010012>
- Mortimer, E. F., Machado, A. H., & Romanelli, L. I. (2000). A proposta curricular de química do estado de Minas Gerais: Fundamentos e pressupostos. *Química Nova*, 23(2), 273–283.
- Nkomo, S., & Bly, A. (2024). Developing a Threshold Concept Assessment Rubric: Using the Johnstone's Triangle Framework for Understanding Intermolecular Forces. *Journal of Chemical Education*, 101(11), 4694–4703. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c00236>
- Puggian, C., & Lopes, C. V. N. B. (2012). Ensino de reações químicas em laboratório: Articulando teoria e prática na formação e ação docente. *Investigações em Ensino de Ciências*, 17(3), 697–708.
- Rodrigues, M. G., & Machado, J. (2023). A Natureza da representação a partir do referencial de Bas van Fraassen e a atribuição de sentido ao conhecimento químico escolar. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)*, 25, 1–15. <https://doi.org/10.1590/1983-21172022240154>
- Santos, J. A. (2016). *Objetos educacionais digitais: critérios de avaliação para uso no ensino e na aprendizagem de Química*. 145 f. 2016. Tese (Doutorado) –Instituto de Física, UFBA. Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências. Salvador, 2016.
- Shimada, M., & Locatelli, S. (2023). A evocação do pensamento metavisual em uma atividade sobre o efeito da temperatura na rapidez de uma reação. *Indagatio Didactica*, 15(4), 131-150. <https://doi.org/10.34624/id.v15i4.31834>
- Silverstein, T. P. (2014). The Aqueous Proton Is Hydrated by More Than One Water Molecule: Is the Hydronium Ion a Useful Conceit? *Journal of Chemical Education*, 91(4), 608–610. <https://doi.org/10.1021/ed400559t>
- Stake, R. E. (2011). *Qualitative research: Studying how things work*. New York: Guilford.
- Taber, K. S. (2002). *Chemical misconceptions: Prevention, diagnosis and cure*. London: Royal Society of Chemistry.
- Taber, K. S. (2009). Learning at the symbolic level. In J. Gilbert & D. Treagust (Eds.), *Multiple representations in chemical education* (pp. 75–105). Dordrecht: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8872-8_5

Talanquer, V. (2010). Macro, Submicro, and Symbolic: the many faces of the chemistry triplet. *International Journal of Science Education*, 33(2), 179–195. <https://doi.org/10.1080/09500690903386435>

Wu, H. K., & Shah, P. (2004). Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. *Science Education*, 88(3), 465–492. <https://doi.org/10.1002/sce.10126>

Marcella Seika Shimada

Mestra no programa de Ensino e História das Ciências e da Matemática pela Universidade Federal do ABC (2023) e doutoranda pela mesma instituição. Licenciada em Química (2018) pelo Instituto Federal de São Paulo.

E-mail: marcella.shimada@ufabc.edu.br

Solange Wagner Locatelli

Doutora em Ensino de Química pela Universidade de São Paulo. Desde 2016, é professora adjunta na Universidade Federal do ABC. Realizou estágio pós-doutoral na Universidade de Curtin (Austrália), em Educação Química.

E-mail: solange.locatelli@ufabc.edu.br

Declaração de conflito de interesse

A autoria declara não haver conflitos de interesse envolvidos na publicação deste manuscrito.

Declaração sobre disponibilização de dados

O conjunto de dados de pesquisa não está disponível devido a questões de confidencialidade.

Editor Responsável

Marina Martins

Contato

Centro de Ensino de Ciências e Matemática de Minas Gerais – CECIMIG
Faculdade de Educação – Universidade Federal de Minas Gerais
revistaepec@gmail.com

O CECIMIG agradece ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico) e à FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) pela verba para a editoração deste artigo.