

O método da Quadrangulação: uma nova perspectiva metodológica no Ensino de Ciências

The Quadrangulation method: a new methodological perspective in Science Teaching

El método de Cuadrangulación: una nueva perspectiva metodológica en la Enseñanza de las Ciencias

Recebido: 26/02/2022 | Revisado: 06/03/2022 | Aceito: 12/03/2022 | Publicado: 21/03/2022

Luana Ehle Joras

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0596-8139>

Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

E-mail: luanaehlejoras@gmail.com

Maria Rosa Chitolina Schetinger

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5240-8935>

Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

E-mail: mariachitolina@gmail.com

Resumo

Este artigo é resultado de uma dissertação de Mestrado em Educação em Ciências e tem como objetivo propor uma nova proposta metodológica denominada Quadrangulação, que se refere a um processo mental consciente que relaciona e conecta quatro níveis de representação da matéria (macroscópico, submicroscópico, simbólico e características) para trabalhar com as transformações físicas e químicas da matéria. As atividades foram desenvolvidas por meio de encontros semanais com 8 estudantes do 1º ano do Ensino Médio na modalidade Ensino Regular/Magistério durante 10 semanas. Foram utilizados questionários como instrumento de pesquisa. Caracterizou-se como um estudo transversal, com abordagem qualitativa do tipo exploratória e explicativa. Os dados foram obtidos por meio da aplicação de um questionário pré-teste com perguntas abertas, aula expositiva, construção do material didático, e questionário pós-teste. Com base na análise de dados, percebeu-se que o método da Quadrangulação pode auxiliar e colaborar com o ensino e aprendizagem dos estudantes no estudo das transformações da matéria, representando um avanço para a melhoria do Ensino de Ciências nas escolas.

Palavras-chave: Ensino de química; Material didático; Matéria; Transformações físicas e químicas; Ensino-aprendizagem.

Abstract

This article is the result of a Master's thesis in Science Education and aims to propose a new methodological proposal called Quadrangulation, which refers to a conscious mental process that relates and connects four levels of representation of matter (macroscopic, submicroscopic, symbolic, and characteristics) to work with the physical and chemical transformations of matter. The activities developed through weekly meetings with 8 students from the 1st year of High School in the Regular Education/Teaching modality for 10 weeks. Questionnaires were used as a research instrument. It is characterized as a cross-sectional study, with an exploratory and explanatory qualitative approach. Data were obtained through the application of a pre-test questionnaire with open questions, expository class, construction of didactic material, and post-test questionnaire. Based on the data analysis, it was noticed that the Quadrangulation method can help and collaborate with the teaching and learning of students in the study of subject transformations, representing an advance for the improvement of Science Teaching in schools.

Keywords: Chemistry teaching; Course materials; Matter; Physical and chemical transformations; Teaching-learning.

Resumen

Este artículo es resultado de una tesis de maestría en Ciencias de la Educación y tiene como objetivo proponer una nueva propuesta metodológica denominada Cuadrangulación, la cual hace referencia a un proceso mental consciente que relaciona y conecta cuatro niveles de representación de la materia (macroscópico, submicroscópico, simbólico y característico) para trabajar con las transformaciones físicas y químicas de la materia. Las actividades se desarrollaron a través de encuentros semanales con 8 estudiantes de 1º año de Enseñanza Media en la modalidad Educación Regular/Docencia durante 10 semanas. Se utilizaron cuestionarios como instrumento de investigación. Se caracterizó por ser un estudio transversal, con enfoque cualitativo exploratorio y explicativo. Los datos se obtuvieron mediante la aplicación de un cuestionario anterior con preguntas abiertas, clase expositiva, construcción de material didáctico y cuestionario posterior. Con base en el análisis de los datos, se percibió que el método Cuadrangular puede auxiliar y

colaborar con la enseñanza y el aprendizaje de los estudiantes en el estudio de las transformaciones de materias, representando un avance para la mejora de la Enseñanza de las Ciencias en las escuelas.

Palabras clave: Enseñanza de la química; Material didáctico; Materia; Transformaciones físicas y químicas; Enseñanza-aprendizaje.

1. Introdução

O presente trabalho é oriundo de uma dissertação de Mestrado que trata sobre o processo da Quadrangulação como uma nova perspectiva metodológica no Ensino de Ciências para trabalhar com transformações físicas e químicas da matéria (Autora 1, 2020). Segundo a pesquisa de Cañas e Braibante (2019), realizada com acadêmicos do Curso de Química Licenciatura Plena (7º semestre) de uma universidade federal do Brasil, sobre o ensino de transformações químicas e os níveis de representação da matéria, as concepções dos licenciandos estão focadas principalmente no aspecto visual, ou seja, em uma abordagem macroscópica e sem uma visão clara dos níveis de representação da matéria.

Outro estudo realizado com acadêmicos de Química Licenciatura Plena (7º e 8º semestre) de uma universidade federal do Brasil analisou como os estudantes universitários organizam seus conhecimentos sobre as transformações físicas e químicas da matéria usando o método da Quadrangulação. O estudo concluiu que os licenciandos em química possuem uma boa capacidade de organizar seus conhecimentos científicos sobre as transformações da matéria de acordo com a literatura científica da área, porém, eles têm limitações na classificação dos fenômenos (físicos, químicos e físico-químicos) da matéria. Com isso, verificou-se que os acadêmicos não possuem uma concepção totalmente clara das transformações da matéria. Além disso, o método da Quadrangulação mostrou que pode cooperar nesse sentido nas aulas de Ciências da Natureza (Autora 1, 2021).

Nesse contexto, no início do século XXI, o ensino e a aprendizagem da Química passaram por várias mudanças. Dentre elas, a busca pelo entendimento de como os estudantes aprendem e como isso interfere na aprendizagem, o uso de tecnologias para compreender fenômenos científicos, o surgimento de preocupações ambientais, o nível de alfabetização da Química e a percepção da ciência (Mahaffy, 2004). Nesse contexto, para facilitar a compreensão dos alunos sobre a química surgiram várias formas de representações. A figura geométrica mais usada pelos professores de química na última década é o triângulo planar. Seus vértices são utilizados para representar os três níveis de aprendizagem da química (macroscópico, submicroscópico ou molecular e simbólico) (Mahaffy, 2004; Talanquer, 2011; Taber, 2013).

Este modelo de representação foi proposto inicialmente pelo professor e pesquisador Johnstone em 1982. O autor Alex H. Johnstone refletiu sobre o currículo de química, e mais tarde em suas publicações (1989, 1991, 2000), representou os três níveis de representação da química (macro, submicro e simbólico) na forma de um triângulo, que ficou conhecido como Triangulação. A utilização de três níveis de representação visa representar os conhecimentos químicos e serve de suporte à pesquisa em educação química (Talanquer, 2011). O chamado “trípelo” da química tem sido recentemente alvo de diversas propostas de apresentação, sugerindo que não existe uma forma exata de representação (Taber, 2013).

Os estudos de Johnstone (1991), Gabel (1992, 1993) tiveram um papel muito importante no reconhecimento dos três níveis de representação no Ensino da Química. No entanto, embora esses níveis de representação se articulam com a pesquisa educacional, ainda trazem algumas dificuldades de compreensão e confusões pelos estudantes (Talanquer, 2011; Taber, 2013). Driver (1989), mostra que a compreensão dos alunos é incoerente em comparação com as concepções científicas. Conforme Ausubel, Novak e Hanesian (1978), essas concepções são consideradas como “concepções alternativas”. A interpretação de concepções alternativas sugere que os estudantes desenvolvem perspectivas diferentes das concepções mais próximas do saber científico, as quais se almeja chegar (Garnett Patrick, Garnett Pamela, & Hackling, 1995).

Segundo Pozo e Crespo (2009), a mudança conceitual não deve ser considerada como uma substituição de significados aprendidos, mas sim, um processo gradativo de adaptação conceitual. Diante disso, é importante que os professores e pesquisadores busquem conhecer os equívocos que os estudantes possuem, para que elaborem estratégias de ensino-

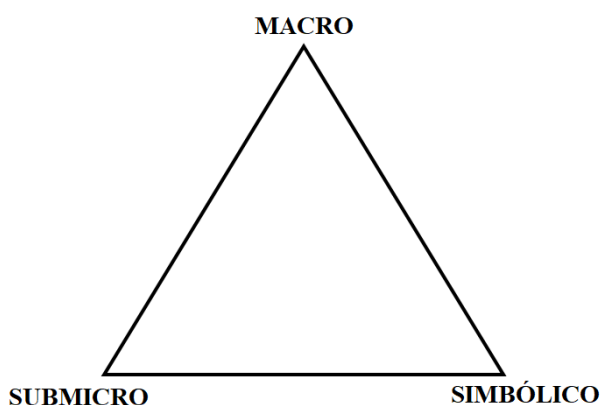
aprendizagem que colabore com o aperfeiçoamento conceitual dos mesmos. Neste âmbito, várias pesquisas relatam as concepções de educandos a respeito dos conceitos e fenômenos que ocorrem na química (Stavridou & Solomonidou, 1989). Destacam-se os estudos de Björn (1990), Nakhleh (1992), entre outros.

Nesse cenário, um dos problemas que levam os alunos a não compreenderem conceitos e fenômenos que ocorrem na química é que eles confundem ligações intermoleculares com ligações intramoleculares. Além disso, eles não conhecem a importância das forças de Van-der-Walls e ligações de hidrogênio e geralmente não entendem o significado de seus próprios conceitos. Vários fatores que levam a esses equívocos, como: o uso de modelos, a relação entre as representações internas e externas dos estudantes, conceitos e concepções alternativas, e o vínculo químico: pedagogia, conceituação e equívocos (Levy-Nahum, Hofstein, Mamlok-Naaman, & Bar-Dov, 2004).

De acordo com Nahum et al. (2004), os alunos vivem no mundo macroscópico da matéria e não questionam a química da vida cotidiana. Embora os conceitos químicos sejam muito abstratos e difíceis de compreender, a forma como os professores ensinam os conceitos é extremamente importante para que os estudantes compreendam os conceitos da química. Segundo Thomas (2017), as representações macroscópicas, submicroscópicas e simbólicas desempenham um papel muito importante no desenvolvimento de associações metacognitivas na compreensão da química.

Conforme Thomas (2017), novas percepções sobre a química podem ser geradas em nível macroscópico, por meio da verificação de cor, entalpia e outras mudanças. Em nível molecular, atômico e/ou subatômico por meio de ligações e interações químicas e podem ser representadas através de símbolos. A conexão desses três níveis de representação torna possível a compreensão conceitual dos fenômenos físicos e químicos. A seguir, são apresentados os níveis de representação da química (Figura 1).

Figura 1 - Os três níveis de representação no ensino da química



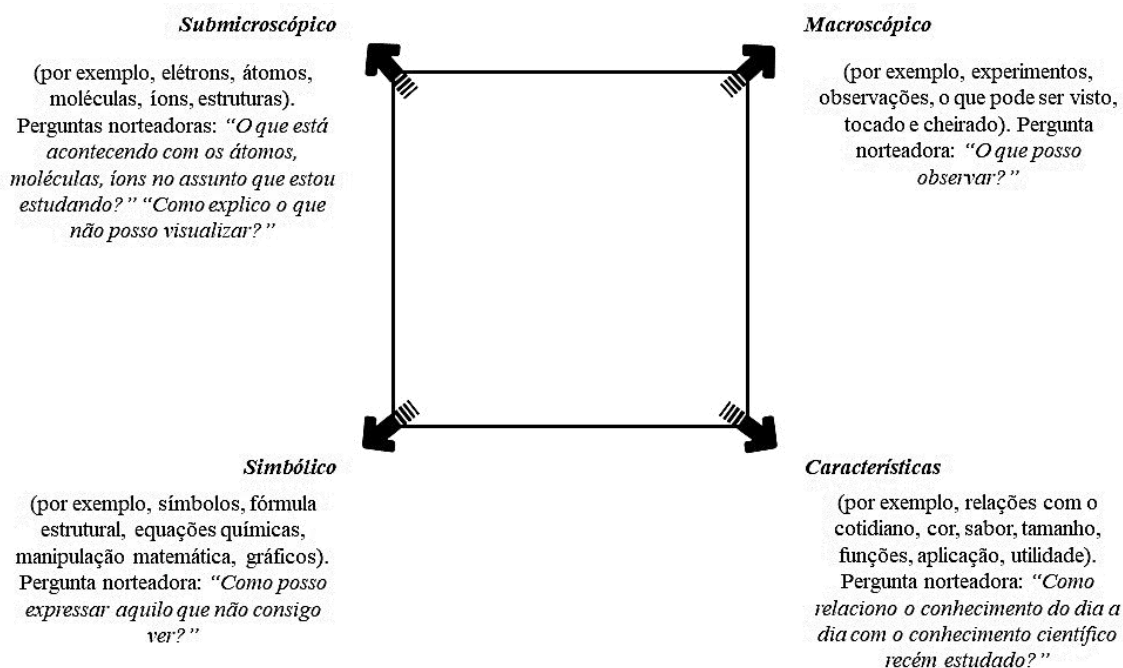
Fonte: Autores (2020). Adaptado de Johnstone (1991, p. 78).

Para que os alunos compreendam a química que está sendo ensinada, alguns professores utilizam modelos científicos como estratégia de ensino (Harrison & Treagust, 1998). A utilização de modelos didáticos envolve uma visualização tridimensional do que se quer representar, e isso facilita o processo de ensino-aprendizagem dos estudantes em diferentes níveis de ensino (Matos, Oliveira, Santos, & Ferraz, 2009; Silva, et al., 2021). Segundo Mendonça e Santos (2011), os modelos didáticos se caracterizam como uma forma lúdica de aprendizagem que permite aos estudantes refletir e criar novos conhecimentos sobre o que está sendo estudado.

Pensando nisso, este estudo tem como objetivo propor um novo método de ensino, chamado Quadrangulação. Para mais, pretende-se analisar as contribuições desse método para o ensino de transformações físicas e químicas da matéria. Assim, propõe-se um novo nível de representação, denominado "nível das características" perfazendo então a Quadrangulação.

Assim, a QUADRANGULAÇÃO é, portanto, uma nova proposta metodológica desenvolvida por este trabalho, que se refere a um processo mental consciente em que quatro níveis de representações se relacionam e se conectam, a fim de desenvolver a compreensão da química (Autora 1, 2020). Neste estudo, especificamente, será tratado sobre os fenômenos físicos e químicos da matéria. Abaixo, está representado o método da Quadrangulação (Figura 2).

Figura 2 - Os quatro níveis de representação no ensino da química



Fonte: Autores (2020). Adaptado de Thomas (2017, p. 40).

Diante disso, esta pesquisa visa responder à seguinte questão: quais contribuições o novo método da Quadrangulação pode trazer para o estudo das transformações físicas e químicas da matéria? Se isso for possível, a Quadrangulação poderia colaborar com as aulas de Ciências da Natureza, incentivando os estudantes a pensarem criticamente, exercitando a autorreflexão e a busca por respostas?

2. Metodologia

O método da Quadrangulação integra os três níveis de representação do estudo da química (macroscópico, submicroscópico e simbólico) proposto por Johnstone (1991, 2000) e acrescenta um novo nível de representação caracterizado pelo nível das características. No nível das características, os estudantes têm a oportunidade de relacionar seus conhecimentos cotidianos a conhecimentos científicos recentemente estudados. Por exemplo, no nível das características, os alunos poderão fazer relações com a vida cotidiana através de características como cor, sabor, tamanho, funções, aplicação e utilidade.

Para entender melhor o nível das características, a seguinte pergunta pode ser feita: *Como relaciono o conhecimento do dia a dia com o conhecimento científico recém estudado?* Assim, a partir da inserção desse novo nível de representação, espera-se que os alunos relacionem o conhecimento cotidiano ao conhecimento científico. Deve-se notar que, diferentemente do nível macroscópico, que trata do que pode ser visto, tocado e cheirado, no nível das características os aprendizes podem contextualizar, trazendo conhecimentos de suas vidas, para fazer relações/associações e aprender Ciências. Em resumo, acredita-se que ao fazer

conexões entre os conhecimentos cotidianos e os conhecimentos químicos, os alunos comecem a compreender a importância da química na vida cotidiana.

O estudo foi realizado em uma escola pública localizada na cidade de Santa Maria/RS, com uma turma de 1º ano do Ensino Médio Regular/Magistério composta por 8 estudantes. Destes, cinco indicaram ser do gênero feminino e três do gênero masculino. A faixa etária dos alunos variou de 15 a 17 anos.

Os sujeitos da pesquisa foram selecionados pelos seguintes motivos: por estarem matriculados no 1º ano do Ensino Médio Regular/Magistério, no qual é trabalhado o conteúdo de transformações físicas e químicas da matéria. Por pertencerem ao magistério, têm mais flexibilidade em termos de horários e conteúdos a ser trabalhado, podendo focar em assuntos mais específicos dependendo das necessidades da turma. Além disso, esses estudantes pretendem ser futuros professores e esta é uma oportunidade para eles aprofundarem seus conhecimentos sobre o assunto e trabalharem com seus alunos futuramente.

Os alunos foram convidados a participar e receberam uma explicação clara da pesquisa pela professora responsável pela turma. O estudo apresentou riscos mínimos para os estudantes, porventura fadiga/cansaço para responder aos questionários e construção do material didático. Além disso, os alunos tiveram a possibilidade de fazer perguntas ou pedir qualquer tipo de esclarecimento ao pesquisador. Por questões éticas de pesquisa, as fotos e identidades pessoais dos participantes não serão divulgadas.

Este estudo caracteriza-se como um estudo transversal segundo Filho (1998), e possui uma abordagem qualitativa do tipo exploratória e explicativa (Moreira, 2011). Questionários foram utilizados como instrumento de pesquisa. Dessa forma, os dados foram obtidos por meio da aplicação de questionário pré-teste com perguntas abertas, aula expositiva, construção de materiais didáticos e aplicação do questionário pós-teste. A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos (CEP) da instituição dos autores. Sob o número do Certificado de Apresentação de Apreciação Ética (CAAE): 27791320.6.0000.5346. Em seguida, é apresentado um passo a passo de como a pesquisa foi conduzida.

1º Etapa - Questionário Pré-Teste:

Neste questionário, foi fornecido um texto de apoio intitulado “Propriedades da matéria”, que trata das características físicas e químicas da matéria, para que os estudantes pudessem ler antes de iniciar as questões, para auxiliá-los na compreensão do tema em questão. O texto de apoio foi retirado do livro escolar amplamente utilizado da autora Martha R. M. da Fonseca (Fonseca, 2013). Os alunos receberam o questionário pré-teste para responder em aula durante o terceiro encontro com a turma. No entanto, eles precisaram de mais uma aula para completar as perguntas. Para tanto, os questionários foram recolhidos pelo pesquisador e entregues no encontro seguinte. Seguem abaixo as questões do questionário aplicado aos estudantes no início das atividades (Quadro 1).

Quadro 1 - Questões propostas para os estudantes do Ensino Médio (magistério) a respeito de fenômenos cotidianos

Questões	Fenômenos cotidianos
Questão 1	O açúcar se dissolve melhor em água quente ou em água gelada? (Após responder esta questão, represente o que está acontecendo em níveis macroscópicos, submicroscópicos, simbólicos e características). Abaixo de cada nível escreva que fenômeno está ocorrendo na mudança da matéria (fenômenos físicos, químicos ou físico-químicos).
Questão 2	Agora, ao invés de adicionar açúcar na água, adicione sal à temperatura de 100 °C. (Não se esqueça de responder de acordo com os níveis macroscópicos, submicroscópicos, simbólicos e características). Abaixo de cada nível escreva que fenômeno está ocorrendo na mudança da matéria (fenômenos físicos, químicos ou físico-químicos).
Questão 3	Como acontece o processo de ferrugem? (Represente de acordo com os níveis macroscópicos, submicroscópicos, simbólicos e características). Abaixo de cada nível escreva que fenômeno está ocorrendo na mudança da matéria (fenômenos físicos, químicos ou físico-químicos).

Fonte: Autores (2020).

Para responder às questões citadas acima, os alunos foram orientados sobre como fazê-lo, conforme pode ser observado na (Tabela 1).

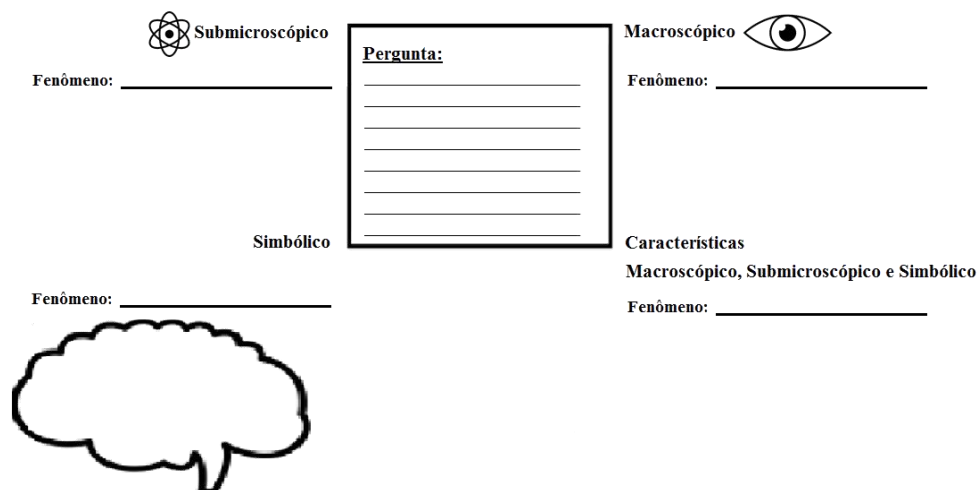
Tabela 1 - Instruções aos escolares

Níveis de representação	Descrição
Nível Macroscópico	Descrever o que estavam observando visualmente (o que pode ser visto, tocado e cheirado).
Nível Submicroscópico	Explicar o que está acontecendo com os elétrons, átomos, moléculas, íons, estruturas, etc. no assunto estudado.
Nível Simbólico	Representar/expressar o que não se pode enxergar a olho nu através de símbolos, fórmulas estruturais, equações químicas, manipulação matemática, gráficos, etc.
Nível das Características	Relacionar/conectar o conhecimento do cotidiano com o conhecimento científico, por exemplo: cor, sabor, tamanho, funções, aplicação, utilidade, etc.

Fonte: Autores (2022).

Abaixo de cada uma das três perguntas do questionário estava incluída a (Figura 3) para facilitar a compreensão dos alunos e a organização das respostas às perguntas propostas. Ademais, no nível simbólico, simboliza-se um cérebro em forma de pensamento, um local dedicado aos alunos para representar símbolos, equações, fórmulas, etc. Além disso, em cada nível de representação (macro, submicro, simbólico e características), os alunos deveriam responder qual fenômeno ocorre (fenômeno físico, fenômeno químico ou fenômeno físico-químico). Os quatro níveis de representação no ensino de química são apresentados a seguir (Figura 3).

Figura 3 - O método da Quadrangulação no ensino da química



Fonte: Autores (2020). Adaptado de Thomas (2017, p. 23).

Espera-se que após o método da Quadrangulação, os alunos classifiquem os fenômenos da matéria da seguinte forma (Tabela 2).

Tabela 2 - Relação entre níveis de representação da matéria e fenômenos

Níveis de representação	Fenômenos	Justificativa
Nível Macroscópico	Fenômeno Físico	É aquilo que podemos observar a olho nu
Nível Submicroscópico	Fenômeno Químico	Explica aquilo que não podemos ver a olho nu
Nível Simbólico	Fenômeno Físico/ Fenômeno Químico/ Fenômeno Físico-Químico	Varia de acordo com a representação simbólica de cada aluno. Por exemplo: pode agregar aspectos físicos, químicos ou ambos
Nível das Características	Fenômeno Físico-Químico	Agrega todos os demais níveis

Fonte: Autores (2022).

2º Etapa - Aula expositiva:

No primeiro encontro com a turma, foi apresentado a proposta de atividades, e na semana seguinte investigaram-se os conhecimentos dos alunos a respeito da Matéria que compõe o ambiente em que vivemos. Em seguida, foi realizada uma aula expositiva sobre as três questões a serem abordadas e, no encontro seguinte os alunos iniciaram a confecção de materiais didáticos. Nesta aula, foram abordados os seguintes tópicos: água como solvente universal, coeficiente de solubilidade, dissolução de substâncias, interação entre átomos, interação entre moléculas, solvatação e o processo da formação da ferrugem. Os respectivos temas, foram explicitados através da utilização do quadro verde da sala de aula, e antes do início da construção do material didático para cada questão, foi feita a retomada desses conteúdos.

3º Etapa - Atividade Didática:

a) Construção do material didático:

A confecção do material didático pelos alunos teve início três semanas após a aplicação do questionário pré-teste.

b) Materiais utilizados:

Capas transparentes de CDs usados, bolinhas de isopor, miçangas coloridas, caneta retroprojetor, canudos de aniversário, garrafa plástica pequena, palito de churrasco, linha de pesca transparente e cola quente.

c) Procedimento:

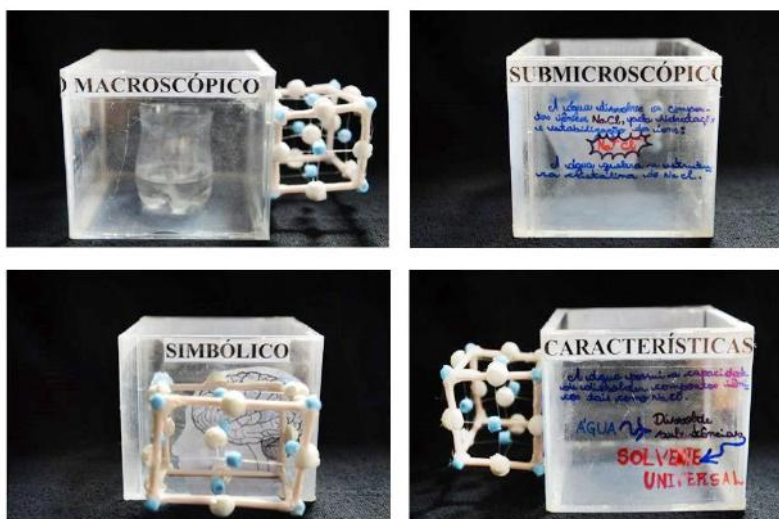
Para a realização das atividades, foram disponibilizados dois períodos de química (45 min cada) às terças-feiras, com o consentimento da direção e da professora responsável pela turma. No entanto, devido as paralisações na rede pública de ensino, algumas intervenções ocorreram às quartas-feiras, e nesses dias tiveram duas aulas de química (30 min cada). Com isso, totalizaram-se 24 períodos de atividades com os estudantes, em 12 dias, no decorrer de 10 semanas.

Os alunos foram convidados a formar dois grupos. Após a construção do quadrado formado pelas capas transparentes dos CDs, foi solicitado que escrevessem ao redor do quadrado seus conhecimentos científicos a partir da explicação do pesquisador. No nível simbólico, cada grupo pôde representar como achavam melhor, então não haviam regras, eles podiam expressar através de desenhos, usar as miçangas e todo material oferecido. Deste modo, os alunos confeccionaram um material diferenciado feito de materiais reciclados, pensando nas questões ambientais e de baixo custo para futuros professores que optarem por aplicar essa atividade.

Cada grupo construiu um modelo sobre a questão do açúcar, e também sobre a questão do sal. Porém, na última aula, por falta de tempo, todos os alunos trabalharam juntos para construir o modelo didático sobre a questão da ferrugem.

Na aula em que foram dadas explicações sobre a construção do material didático, foi entregue aos alunos um modelo confeccionado pelo pesquisador referente a (Questão 2) do questionário, sobre o que acontece se adicionar sal à água (Figura 4). Isto foi feito para que eles entendessem a proposta das atividades e a partir disso pensar em como criar seus próprios modelos.

Figura 4 - Exemplo dos quatro níveis de representação acerca da questão do sal.



Fonte: Autores (2022).

4º Etapa - Questionário Pós-Teste:

Após a conclusão das atividades, os alunos responderam ao questionário pós-teste, que foi utilizado para avaliar se o modelo da Quadrangulação contribuiu para a compreensão dos estudantes sobre conceitos relacionados a fenômenos físicos e químicos que ocorrem na matéria. O questionário pós-teste foi aplicado uma semana após o término das atividades, em virtude da finalização do ano letivo.

5º Etapa - Análise dos Dados:

Os dados foram organizados em uma planilha usando o programa Microsoft Word 2010. Com as respostas completas dos alunos, nos quatro níveis da Quadrangulação considerando as três questões propostas. Para a apresentação dos dados, optou-se por relatar as respostas dos estudantes a com cada questão, a fim de verificar a eficiência do método da Quadrangulação. Os estudantes foram identificados como A1, A2, A3, e assim por diante.

3. Resultados e Discussão

Nesta seção, os resultados deste estudo serão apresentados e discutidos. Com base nos dados encontrados, por meio do instrumento de pesquisa (questionários) e a confecção de materiais didáticos, buscou-se investigar e refletir sobre o método da Quadrangulação no processo de ensino e aprendizagem dos alunos sobre o tema transformações físicas e químicas da matéria.

Apresenta-se então uma análise detalhada, com exemplos de respostas às respectivas questões com base na revisão da literatura. Além disso, deve-se ressaltar que alguns alunos apenas incluíram o fenômeno em suas respostas ao questionário, por exemplo (físico, químico, físico-químico) e não explicaram o que estava acontecendo. Outros alunos explicaram as situações ocorridas, porém, não mencionaram o fenômeno, por isso receberam a descrição “nenhuma menção ao fenômeno”. O nível simbólico de cada questão desenvolvido pelos alunos pode ser encontrado no (Quadro 2). Vale destacar que alguns alunos não fizeram nenhuma representação, apenas responderam ao fenômeno. Abaixo, estão as respostas dos alunos ao questionário (pré e pós-teste) com base nas três questões apresentadas anteriormente no (Quadro 1).

Questão 1 - Ao adicionar açúcar na água:

Nesta seção, serão apresentadas as respostas dos estudantes à primeira questão do questionário. A seguir, apresentam-se as respostas do aluno (A1) sobre o processo de dissolução do açúcar na água (Tabela 3).

Tabela 3 - Respostas do aluno (A1) sobre o processo de dissolução do açúcar na água

Níveis de representação	Pré-teste	Pós-teste
Nível Macroscópico	Fenômeno Físico	Fenômeno Físico
Nível Submicroscópico	Fenômeno Químico	Fenômeno Químico
Nível Simbólico	Fenômeno Físico	Fenômeno Químico
Nível das Características	Fenômeno Físico-Químico	Nenhuma menção ao fenômeno

Fonte: Autores (2022).

Em nível macroscópico e submicroscópico, o aluno (A1) foi assertivo em suas respostas. É importante ressaltar que em nível submicroscópico no pré-teste, ele afirmou que a sacarose irá se dissolver formando íons. Nesse caso, o aluno entende que o açúcar é dissolvido em água, porém, conclui atestando que ocorre a formação de íons. Seguidamente, no pós-teste, ele relatou que:

Os átomos de água (H_2O) interagem com a sacarose ($C_{12}H_{22}O_{11}$) fazendo a dissolução. (A1)

Segundo Silva, Eichler e Del Pino (2012), o açúcar (sacarose - $C_{12}H_{22}O_{11}$) é um composto molecular que é separado do solvente (água) durante o processo de dissolução, diante disso, não ocorre a formação de íons. Nesse sentido, percebe-se que o estudante (A1) apresentou uma melhora em sua compreensão conceitual sobre o processo de dissolução.

Em nível simbólico, o aluno mudou sua resposta para “fenômeno químico” no pós-teste e representou a fórmula estrutural da sacarose. Nota-se que ele primeiramente o classificou como um “fenômeno físico” e desenhou uma xícara com água e açúcar, observado macroscopicamente, depois utilizou aspectos submicroscópicos para representar a fórmula estrutural da sacarose. Em nível das características, inicialmente classificou como um “fenômeno físico-químico” e relatou que a água é um solvente universal. Por conseguinte, no pós-teste ele não mencionou o fenômeno, mas apresentou a seguinte explicação:

A sacarose tem grande parte apolar e suas extremidades polares, formadas por vários (OH), formando pontes de hidrogênio. (A1)

Concordando com a explicação de Martins (2013), a sacarose possui um conjunto de moléculas que estão ligadas entre si por meio de ligações de hidrogênio. Quando expostas à água, as moléculas de sacarose formam novas ligações de hidrogênio (soluto-solvente), removendo as ligações com outras moléculas de sacarose. A dissolução ocorre devido a ligações de hidrogênio entre a sacarose (soluto) e a água (solvente). Desta forma, a sacarose se dissolve em água e uma solução é produzida. Portanto, a explicação do estudante após as atividades evidencia um aperfeiçoamento em seus conhecimentos químicos. A seguir, serão explanadas as respostas do aluno (A2), conforme mostra a (Tabela 4).

Tabela 4 - Respostas do aluno (A2) sobre o processo de dissolução do açúcar na água

Níveis de representação	Pré-teste	Pós-teste
Nível Macroscópico	Fenômeno Físico	Fenômeno Físico
Nível Submicroscópico	Fenômeno Químico	Fenômeno Químico
Nível Simbólico	Fenômeno Físico	Fenômeno Físico-Químico
Nível das Características	Nenhuma menção ao fenômeno	Fenômeno Físico-Químico

Fonte: Autores (2022).

Em nível macroscópico e submicroscópico, o aluno manteve as mesmas concepções, consideradas verdadeiras pelo olhar científico. Em nível simbólico, no pré-teste o mesmo classificou como um “*fenômeno físico*” e desenhou um esquema colocando açúcar na água, no pós-teste respondeu “*fenômeno físico-químico*” e mencionou que ao adicionar açúcar à água a torna mais densa. Em nível das características, no teste inicial ele não mencionou o fenômeno, mas respondeu que o açúcar se mistura com a água, por ser um solvente universal. Posteriormente, no teste final respondeu “*fenômeno físico-químico*” e fez o seguinte comentário:

Ambos se misturam sem quebrar os átomos. Fica mais densa. (A2)

Pelas respostas do aluno (A2), percebe-se que o mesmo ainda apresenta alguns equívocos sobre a explicação da adição de açúcar na água. Uma vez que os átomos não são quebrados, ocorre a interação entre as moléculas de sacarose e água, devido às ligações de hidrogênio (Martins, 2013, p. 1). Em relação à densidade, sua resposta foi adequada, embora isso não tenha sido tratado nas atividades desenvolvidas, pois a densidade da solução de sacarose é superior à da água, de modo que a mistura ficará mais densa. A seguir, serão apresentadas as respostas do aluno (A3), conforme a (Tabela 5).

Tabela 5 - Respostas do aluno (A3) sobre o processo de dissolução do açúcar na água

Níveis de representação	Pré-teste	Pós-teste
Nível Macroscópico	Fenômeno Físico	Fenômeno Físico
Nível Submicroscópico	Fenômeno Químico	Fenômeno Químico
Nível Simbólico	Fenômeno Físico-Químico	Fenômeno Químico
Nível das Características	Fenômeno Físico-Químico	Fenômeno Químico

Fonte: Autores (2022).

Em nível macroscópico e submicroscópico, o aluno permaneceu com as mesmas respostas. No entanto, em nível submicroscópico no pós-teste, representou a fórmula da sacarose. Em nível simbólico, respondeu “*fenômeno físico-químico*” no pré-teste e “*fenômeno químico*” no pós-teste, em ambos questionários desenhou uma xícara com água e açúcar. Por fim, em nível das características, mencionou “*fenômeno físico-químico*” no pré-teste, e “*fenômeno químico*” no pós-teste, e relatou que:

Sacarose: maior parte apolar, uma extremidade polar, o grupo (OH), vários (OH), pontes de hidrogênio. (A3)

A justificativa do aluno (A3) é relevante e corrobora com a explicação apresentada pela autora Martins (2013). Assim, constata-se que o aluno foi assertivo em suas respostas. No entanto, era esperado que no nível das características no pós-teste, respondesse “*fenômeno físico-químico*”. Contudo, houve uma evolução em sua explicação sobre polaridade da molécula e das ligações de hidrogênio, com isso observa-se que o aluno apresentou uma melhora após o método da Quadrangulação. Abaixo, serão apresentadas as respostas do aluno (A4), de acordo com a (Tabela 6).

Tabela 6 - Respostas do aluno (A4) sobre o processo de dissolução do açúcar na água

Níveis de representação	Pré-teste	Pós-teste
Nível Macroscópico	Fenômeno Físico	Nenhuma menção ao fenômeno
Nível Submicroscópico	Fenômeno Químico	Fenômeno Físico-Químico
Nível Simbólico	Nenhuma menção ao fenômeno	Fenômeno Físico-Químico
Nível das Características	Fenômeno Físico-Químico	Submicroscópico

Fonte: Autores (2022).

Em nível macroscópico, o aluno (A4) respondeu “*fenômeno físico*” no pré-teste, porém no pós-teste não mencionou o fenômeno. Em nível submicroscópico, ele alterou sua resposta no pós-teste para “*fenômeno físico-químico*”, o que não era esperado. Em nível simbólico, inicialmente ele não respondeu à questão, por outro lado, no pós-teste respondeu “*fenômeno físico-químico*” e ainda representou a fórmula da sacarose. Por fim, em nível das características, respondeu “*fenômeno físico-químico*” no pré-teste e relatou que a água é um solvente universal. No teste final, respondeu “*submicroscópico*” e mencionou que o açúcar se dissolve melhor em água quente.

Conforme a conclusão do aluno (A4), observa-se que em nível macro e submicro ele ainda apresenta imprecisões. No entanto, em nível simbólico, ele teve potencial para representar a fórmula da sacarose. Em nível das características, se equivocou ao citar “*submicroscópico*” no pós-teste, mas compreendeu que a dissolução do açúcar é facilitada em água quente. Com isso, pode-se verificar que o estudante obteve uma pequena melhora após o método da Quadrangulação. Em seguida, serão apresentadas as respostas do aluno (A5), conforma mostra a (Tabela 7).

Tabela 7 - Respostas do aluno (A5) sobre o processo de dissolução do açúcar na água

Níveis de representação	Pré-teste	Pós-teste
Nível Macroscópico	Fenômeno Físico	Fenômeno Físico
Nível Submicroscópico	Fenômeno Químico	Fenômeno Químico
Nível Simbólico	Nenhuma menção ao fenômeno	Fenômeno Físico-Químico
Nível das Características	Fenômeno Físico-Químico	Fenômeno Físico-Químico

Fonte: Autores (2022).

Em nível macroscópico e submicroscópico, o aluno (A5) manteve suas concepções, que são cientificamente relevantes. Em nível simbólico, ele não se referiu ao fenômeno no pré-teste, enquanto no pós-teste respondeu “*fenômeno físico-químico*”, e representou a fórmula da sacarose. Finalmente, em nível das características, continuou com a sua resposta “*fenômeno físico-químico*”, o que era esperado pela presente pesquisa. Portanto, verificou-se que o aluno (A5) apresentou uma evolução através do método da Quadrangulação. Seguidamente, serão apresentadas as respostas do aluno (A6), conforma mostra a (Tabela 8).

Tabela 8 - Respostas do aluno (A6) sobre o processo de dissolução do açúcar na água

Níveis de representação	Pré-teste	Pós-teste
Nível Macroscópico	Fenômeno Físico	Fenômeno Físico
Nível Submicroscópico	Fenômeno Químico	Fenômeno Químico
Nível Simbólico	Fenômeno Físico-Químico	Fenômeno Químico
Nível das Características	Nenhuma menção ao fenômeno	Fenômeno Químico

Fonte: Autores (2022).

Em nível macro e submicro, o aluno (A6) sustentou suas respostas, que estão de acordo com o conhecimento científico. Além disso, em nível submicroscópico no pós-teste ele representou a fórmula da sacarose ($C_{12}H_{22}O_{11}$). Em nível simbólico, respondeu “*fenômeno físico-químico*” no pré-teste e “*fenômeno químico*” no pós-teste, em ambos questionários desenhou uma xícara com água e açúcar. Por fim, em nível das características, o aluno não mencionou o fenômeno no pré-teste, e respondeu “*fenômeno químico*” no pós-teste, além disso, descreveu a seguinte explicação:

Sacarose: grande parte apolar e uma extremidade polar, o grupo OH \rightarrow vários hidrogênios fazendo a dissolução. (A6)

Assim, percebe-se que o aluno (A6) foi assertivo em suas respostas, apenas apresentou uma incompreensão no nível das características, no pré e pós-teste. Não obstante, houve um progresso em sua explicação em nível das características. A seguir, serão apresentadas as respostas do aluno (A7), conforme apresentado na (Tabela 9).

Tabela 9 - Respostas do aluno (A7) sobre o processo de dissolução do açúcar na água

Níveis de representação	Pré-teste	Pós-teste
Nível Macroscópico	Fenômeno Físico	Fenômeno Químico
Nível Submicroscópico	Fenômeno Químico	Fenômeno Químico
Nível Simbólico	Fenômeno Físico-Químico	Fenômeno Químico
Nível das Características	Fenômeno Físico-Químico	Fenômeno Químico

Fonte: Autores (2022).

Em nível macroscópico, o aluno (A7) apresentou um declínio em seu desempenho ao responder “*fenômeno químico*” no pós-teste. Em nível submicroscópico, manteve sua resposta “*fenômeno químico*” que é consistente com o conhecimento científico. Em nível simbólico, ele alterou sua resposta para “*fenômeno químico*” no pós-teste. Por fim, em nível das características, o aluno respondeu “*fenômeno físico-químico*” no pré-teste e “*fenômeno químico*” no pós-teste.

Com base nas respostas do aluno (A7), fica evidente que houve uma confusão na classificação do fenômeno em nível macroscópico, pois era esperado que ele respondesse “*fenômeno físico*” no pós-teste. Em nível submicroscópico, ele foi pontual em sua resposta. Em nível simbólico, ele alterou sua resposta para “*fenômeno químico*” no pós-teste, mas não justificou sua resposta. Finalmente, em nível das características, era esperado que a conclusão fosse “*fenômeno físico-químico*”.

Portanto, percebe-se que o estudante apresentou algumas dificuldades em compreender os fenômenos e desenvolver suas respostas, tanto antes quanto depois do método da Quadrangulação. Continuamente, serão apresentadas as respostas do aluno (A8), conforme apresentado na (Tabela 10).

Tabela 10 - Respostas do aluno (A8) sobre o processo de dissolução do açúcar na água

Níveis de representação	Pré-teste	Pós-teste
Nível Macroscópico	Fenômeno Físico	Fenômeno Químico
Nível Submicroscópico	Fenômeno Físico-Químico	Fenômeno Químico
Nível Simbólico	Fenômeno Físico	Fenômeno Químico
Nível das Características	Submicroscópico	Fenômeno Físico-Químico

Fonte: Autores (2022).

Em nível macroscópico, o aluno (A8) reduziu seu desempenho ao responder “*fenômeno químico*” no pós-teste. Em nível submicroscópico, ele respondeu “*fenômeno químico*” no pós-teste, o que o estudo esperava. Em nível simbólico, ele alterou sua resposta para “*fenômeno químico*” no pós-teste, além disso, representou a fórmula estrutural da sacarose (indicando a molécula de glicose e de frutose). Finalmente, em nível das características, o aluno alterou sua conclusão para “*fenômeno físico-químico*” no pós-teste. Além disso, descreveu o seguinte comentário:

O açúcar é a união da glicose e da frutose. Ocorre uma interação entre as moléculas da água com as moléculas junto da glicose como da frutose. Porém, as moléculas de água não conseguem quebrá-las. Por causa do carbono que é apolar e a água polar, e apolar com polar não fazem ligação. (A8)

Com base nas respostas do aluno (A8), era esperado que em nível macroscópico ele mantivesse a classificação de “fenômeno físico” no pós-teste. Em comparação, em nível submicroscópico, foi evidenciado uma melhora na classificação dos fenômenos. Em nível simbólico, ele representou a fórmula estrutural da sacarose, corroborando com o estudo de Ribeiro e Seravalli (2007), segundo o qual a sacarose se dá através da união de uma molécula de glicose com uma molécula de frutose. Finalmente, em nível das características, notou-se que o mesmo compreendeu que devido à interação entre as moléculas de sacarose e água, ocorre a dissolução. Conclui-se que o educando progrediu na compreensão de conceitos químicos e no exercício da argumentação após o método da Quadrangulação.

Questão 2 - Ao adicionar sal na água:

Nesta seção, serão apresentadas as respostas dos estudantes à segunda questão do questionário. A seguir, apresentam-se as respostas do aluno (A1) sobre o processo de dissolução do sal na água (Tabela 11).

Tabela 11 - Respostas do aluno (A1) sobre o processo de dissolução do sal na água

Níveis de representação	Pré-teste	Pós-teste
Nível Macroscópico	Fenômeno Físico	Fenômeno Físico
Nível Submicroscópico	Fenômeno Químico	Fenômeno Químico
Nível Simbólico	Fenômeno Físico	Fenômeno Químico
Nível das Características	Fenômeno Físico-Químico	Fenômeno Físico-Químico

Fonte: Autores (2022).

Em nível macroscópico e submicroscópico, o aluno (A1) foi assertivo em suas respostas. Ainda, em nível submicro, no pré-teste, argumentou:

O Na^+ Cl^- irá se dissolver na água. O sódio fará ligações com o oxigênio e deixando a água branca.
(A1)

Segundo Atkins, Jones e Laverman (2018), um íon é um átomo ou um conjunto de átomos que contém carga elétrica positiva ou negativa. Conforme Fonseca (2013), o cloreto de sódio em contato com a água libera íons na forma de cátion (Na^+) e do ânion (Cl^-). O cloreto de sódio (NaCl) é comumente conhecido como sal de cozinha (Carnevalle, 2012). Neste caso, “o cloreto de sódio (substância polar) em contato com a água, tem seu polo negativo (Cl^-) atraído pelo polo positivo da água (H^+). E o polo positivo do sal (Na^+), é atraído pelo polo negativo da água (OH^-)” (Gewandsznajder, 2012, p. 82). Resultando em uma dissociação iônica, uma vez que a água interage com esses íons e promove a separação, o processo é conhecido como solvatação (Silva, 2004). Sucessivamente no pós-teste, o aluno relatou o seguinte:

O sal é uma rede cristalina, quando adicionamos água, a rede cristalina começa a ser dissolvida pelo oxigênio e hidrogênio. (A1)

De acordo com o Wikibooks (2013), os íons são organizados em uma rede onde cada íon é cercado por íons de sinal oposto. Como por exemplo a reação de (Na) sódio e (Cl) cloro, onde cada átomo de (Cl) ganha um elétron de um átomo de (Na). Desta forma, cada átomo de (Na) torna-se um cátion (Na^+) e cada átomo de (Cl) torna-se um ânion (Cl^-). Devido à carga oposta, os átomos se atraem para formar uma rede iônica, de modo que a fórmula química da rede é NaCl (cloreto de sódio).

Em nível simbólico, o aluno respondeu “fenômeno físico” ao pré-teste e desenhou um copo com água e sal. No pós-teste, ele respondeu “fenômeno químico” e representou as interações que ocorrem entre o cloreto de sódio e a água. Em nível

das características, manteve sua resposta “*fenômeno físico-químico*”. Contudo, no pós-teste, ele respondeu que a água é um solvente universal e, quando entra em contato com o sal, começa a dissolvê-lo.

De acordo com as respostas do aluno (A1), em nível macroscópico ele respondeu de maneira adequada. Em nível submicroscópico, pode-se perceber que sua explicação no (pré-teste) introduz alguns equívocos quanto ao processo de dissolução do sal na água, pois ele acredita que o sódio, quando ligado ao oxigênio, é o que causa a mudança de cor. Em contrapartida, no pós-teste, sua resposta condiz com o que foi visto em aula, porém, ainda apresenta algumas limitações quanto aos processos de solubilidade e interações químicas. Em nível simbólico, verificou-se um aperfeiçoamento em sua resposta ao representar as interações que ocorrem entre o cloreto de sódio e água. Por fim, em nível das características, o educando teve sucesso na classificação do fenômeno e apresentou uma evolução no pós-teste, visto que argumentou a respeito da água como solvente universal. A seguir, serão apresentadas as respostas do aluno (A2), conforme apresentado na (Tabela 12).

Tabela 12 - Respostas do aluno (A2) sobre o processo de dissolução do sal na água

Níveis de representação	Pré-teste	Pós-teste
Nível Macroscópico	Fenômeno Físico	Fenômeno Físico
Nível Submicroscópico	Fenômeno Químico	Fenômeno Químico
Nível Simbólico	Fenômeno Físico-Químico	Fenômeno Físico-Químico
Nível das Características	Fenômeno Físico-Químico	Fenômeno Físico-Químico

Fonte: Autores (2022).

O aluno (A2), não alterou suas respostas ao questionário pós-teste. Especificamente, em nível submicroscópico, no pós-teste ele argumentou que:

O sal se mistura com a água deixando ela branca. Os átomos de sal não se misturam totalmente com a água. (A2)

Das conclusões do aluno (A2), verifica-se que em nível macroscópico, submicroscópico, simbólico e características, ele é consistente em suas respostas. No entanto, em nível submicroscópico, no pós-teste ele não considerou a concentração de soluto (sal) dissolvido no solvente (água) para que ocorra a dissolução. Em nível simbólico, no pré e pós-teste, o aluno desenhou um esquema colocando sal na água. Seguidamente, serão apresentadas as respostas do aluno (A3), conforme apresentado na (Tabela 13).

Tabela 13 - Respostas do aluno (A3) sobre o processo de dissolução do sal na água

Níveis de representação	Pré-teste	Pós-teste
Nível Macroscópico	Fenômeno Físico	Fenômeno Físico
Nível Submicroscópico	Fenômeno Químico	Fenômeno Químico
Nível Simbólico	Fenômeno Físico-Químico	Fenômeno Químico
Nível das Características	Fenômeno Físico-Químico	Fenômeno Químico

Fonte: Autores (2022).

Em nível macro e submicro, o aluno (A3) manteve suas conclusões. Além disso, em nível submicroscópico, no pós-teste, ele inseriu a fórmula química do (NaCl). Em nível simbólico, ele modificou sua resposta ao fenômeno, e em ambos os

questionários desenhou uma xícara com água e sal. Em nível das características, era esperado que ele preservasse a resposta “*fenômeno físico-químico*” no pós-teste.

Deste modo, constata-se que o aluno (A3) foi adequado em suas respostas em nível macroscópico e submicroscópico, obtendo um avanço na caracterização do nível submicroscópico, ao descrever a fórmula química do cloreto de sódio. Todavia, era esperado que sua resposta continuasse a ser um “*fenômeno físico-químico*” no nível das características. Mesmo assim, o estudante demonstrou aspectos positivos em suas conclusões. Abaixo, serão apresentadas as respostas do aluno (A4), conforme apresentado na (Tabela 14).

Tabela 14 - Respostas do aluno (A4) sobre o processo de dissolução do sal na água.

Níveis de representação	Pré-teste	Pós-teste
Nível Macroscópico	Fenômeno Físico-Químico	Fenômeno Físico
Nível Submicroscópico	Fenômeno Químico	Fenômeno Químico
Nível Simbólico	Nenhuma menção ao fenômeno	Nenhuma menção ao fenômeno
Nível das Características	Fenômeno Físico-Químico	Macroscópico

Fonte: Autores (2022).

Em nível macroscópico, o aluno (A4) alterou sua resposta para “*fenômeno físico*” no pós-teste e, em nível submicroscópico, conservou sua resposta “*fenômeno químico*” no pós-teste conforme esperado. Em nível simbólico, não fez nenhuma menção ao fenômeno em ambos questionários. Por fim, em nível das características, equivocou-se ao trocar de justificativa para “*macroscópico*”.

Com base nas respostas do aluno (A4), a classificação do fenômeno em nível macro e submicro foi apropriada. No entanto, o educando não mencionou o fenômeno em nível simbólico, além disso, equivocou-se ao responder fenômeno “*macroscópico*” no nível das características. Sob esse ponto de vista, pode-se notar que o aluno passou por uma evolução em nível macroscópico, mas ainda apresenta limitações em nível simbólico e características. A seguir, serão apresentadas as respostas do aluno (A5), conforme apresentado na (Tabela 15).

Tabela 15 - Respostas do aluno (A5) sobre o processo de dissolução do sal na água.

Níveis de representação	Pré-teste	Pós-teste
Nível Macroscópico	Fenômeno Físico-Químico	Fenômeno Físico
Nível Submicroscópico	Fenômeno Químico	Fenômeno Químico
Nível Simbólico	Nenhuma menção ao fenômeno	Fenômeno Físico-Químico
Nível das Características	Fenômeno Físico-Químico	Fenômeno Físico-Químico

Fonte: Autores (2022).

Em nível macroscópico, o aluno (A5) modificou sua resposta para “*fenômeno físico*” no pós-teste e, em nível submicroscópico, manteve a resposta “*fenômeno químico*” no pós-teste conforme o esperado. Em nível simbólico, não respondeu à questão inicialmente e, no pós-teste referiu-se a um “*fenômeno físico-químico*”. Por fim, em nível das características, respondeu “*fenômeno físico-químico*” no pré e pós-teste. Desta forma, houve uma evolução na classificação do fenômeno em nível macroscópico e simbólico e, as demais respostas estão apropriadas. Posteriormente, serão apresentadas as respostas do aluno (A6), conforme apresentado na (Tabela 16).

Tabela 16 - Respostas do aluno (A6) sobre o processo de dissolução do sal na água.

Níveis de representação	Pré-teste	Pós-teste
Nível Macroscópico	Fenômeno Físico	Fenômeno Físico
Nível Submicroscópico	Fenômeno Químico	Fenômeno Químico
Nível Simbólico	Fenômeno Físico-Químico	Fenômeno Químico
Nível das Características	Nenhuma menção ao fenômeno	Fenômeno Químico

Fonte: Autores (2022).

O aluno (A6), foi pertinente em suas colocações em nível macroscópico e submicroscópico. Em nível simbólico, ele modificou sua resposta para “*fenômeno químico*” no pós-teste, e em ambos questionários desenhou uma xícara com água e sal. Por fim, em nível das características, inicialmente não respondeu à questão e no pós-teste referiu-se a um “*fenômeno químico*”.

As respostas do aluno (A6), em nível macroscópico, submicroscópico e simbólico, são adequadas. No entanto, no teste final era esperado a resposta “*fenômeno físico-químico*” em nível das características. Após, serão apresentadas as respostas do aluno (A7), conforme apresentado na (Tabela 17).

Tabela 17 - Respostas do aluno (A7) sobre o processo de dissolução do sal na água.

Níveis de representação	Pré-teste	Pós-teste
Nível Macroscópico	Nenhuma menção ao fenômeno	Fenômeno Químico
Nível Submicroscópico	Fenômeno Físico	Fenômeno Químico
Nível Simbólico	Nenhuma menção ao fenômeno	Fenômeno Químico
Nível das Características	Nenhuma menção ao fenômeno	Fenômeno Químico

Fonte: Autores (2022).

Em nível macroscópico, o aluno (A7) se equivocou ao responder “*fenômeno químico*” no pós-teste, pois a resposta esperada era “*fenômeno físico*”. Em nível submicroscópico, ele apresentou uma melhora ao substituir sua resposta inicial por “*fenômeno químico*” no pós-teste. Em nível simbólico e características, ele não mencionou o fenômeno inicialmente, e no pós-teste respondeu “*fenômeno químico*”. Em conclusão, em nível das características, não chegou à resposta mais adequada, “*fenômeno físico-químico*”. Em seguida, serão apresentadas as respostas do aluno (A8), conforme apresentado na (Tabela 18).

Tabela 18 - Respostas do aluno (A8) sobre o processo de dissolução do sal na água.

Níveis de representação	Pré-teste	Pós-teste
Nível Macroscópico	Nenhuma menção ao fenômeno	Fenômeno Físico-Químico
Nível Submicroscópico	Nenhuma menção ao fenômeno	Fenômeno Químico
Nível Simbólico	Nenhuma menção ao fenômeno	Fenômeno Físico-Químico
Nível das Características	Nenhuma menção ao fenômeno	Fenômeno Físico-Químico

Fonte: Autores (2022).

Em nível macroscópico, o aluno (A8) não alcançou a resposta mais adequada que era “*fenômeno físico*”. Em nível submicroscópico, ele teve uma melhora ao responder “*fenômeno químico*” no pós-teste. Em nível simbólico e características, ele não mencionou o fenômeno no teste inicial, e no pós-teste respondeu “*fenômeno físico-químico*”. Especificamente, em nível simbólico, o escolar representou as interações entre as moléculas de sal e água. No entanto, o estudante se equivocou ao

representar o sódio (Na) com íon negativo e o cloro (Cl) com íon positivo na presença de água (H₂O). Em síntese, o estudante apresentou uma evolução em suas conclusões em nível submicroscópico, simbólico e características.

Questão 3 - O processo da ferrugem:

Nesta seção, serão apresentadas as respostas dos estudantes à terceira questão do questionário. Seguidamente, apresentam-se as respostas do aluno (A1) sobre o processo da ferrugem (Tabela 19).

Tabela 19 - Respostas do aluno (A1) sobre o processo da ferrugem.

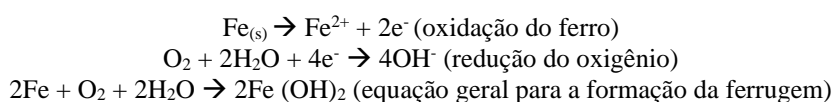
Níveis de representação	Pré-teste	Pós-teste
Nível Macroscópico	Fenômeno Físico	Fenômeno Físico
Nível Submicroscópico	Fenômeno Químico	Fenômeno Químico
Nível Simbólico	Fenômeno Físico	Fenômeno Físico-Químico
Nível das Características	Fenômeno Físico	Nenhuma menção ao fenômeno

Fonte: Autores (2022).

Em nível macroscópico e submicroscópico, o aluno (A1) foi assertivo em suas respostas. Particularmente, em nível submicroscópico no pós-teste, ele mencionou a seguinte explicação:

A umidade e oxigênio do ar entram em contato com o ferro. O oxigênio pega dois elétrons do ferro (Fe⁰) e deixa-o com Fe²⁺, depois rouba um elétron e o ferro passar a ser Fe³⁺. (A1)

Corroborando com o estudo de Silva, Pereira, Codaro e Acciari (2015), o processo da ferrugem passa pela oxidação do ferro e redução do oxigênio. Somando as duas primeiras equações temos a equação geral para a formação da ferrugem. Em geral, o Fe(OH)₂ (hidróxido de ferro II) é oxidado a Fe(OH)₃ (hidróxido de ferro III), geralmente expresso como Fe₂O₃. Em seguida, as duas primeiras equações levam à equação geral para a formação da ferrugem, conforme apresentado abaixo:



Em nível simbólico, o estudante respondeu “*fenômeno físico*” e desenhou um prego exposto ao ar no pré-teste, no pós-teste mudou sua resposta para “*fenômeno físico-químico*” e representou a oxidação do ferro. Por fim, em nível das características, respondeu “*fenômeno físico*” no pré-teste e não mencionou o fenômeno no pós-teste, mas relatou que:

Este processo é demorado e oxigênio é mais importante, mas o hidrogênio o ajuda no processo de oxidação”. (A1)

De acordo com Silva et al. (2015), o oxigênio é essencial para que ocorra o processo de ferrugem, enquanto o H₂O apenas potencializa esse processo, então a explicação do estudante acima é comprovada. Conclui-se que o aluno (A1) progrediu na compreensão dos fenômenos físicos e químicos em ambos os níveis de representação. Após, serão apresentadas as respostas do aluno (A2), conforme apresentado na (Tabela 20).

Tabela 20 - Respostas do aluno (A2) sobre o processo da ferrugem.

Níveis de representação	Pré-teste	Pós-teste
Nível Macroscópico	Fenômeno Físico	Fenômeno Físico
Nível Submicroscópico	Fenômeno Químico	Fenômeno Químico
Nível Simbólico	Fenômeno Físico-Químico	Fenômeno Físico-Químico
Nível das Características	Fenômeno Físico-Químico	Fenômeno Físico-Químico

Fonte: Autores (2022).

O aluno (A2), apresentou êxito em suas respostas aos níveis macro e submicro. Em particular, em nível submicroscópico no pós-teste, argumentou que:

O oxigênio, gás carbônico e umidade entram em contato com o ferro e começa a oxidar ele até que ele fique enferrujado. (A2)

Contudo, essa resposta expõe o entendimento de que a ferrugem está no ar e atinge o ferro quando ele está úmido. De acordo com Rosa e Schnetzler (1998), os estudantes costumam interpretar que a ferrugem ocorre na umidade e permanece no ar, atacando o metal quando ele estiver úmido. Além disso, o aluno respondeu de forma inadequada quando mencionou que o gás carbônico faz parte deste processo.

Em nível simbólico e características, ele respondeu “*fenômeno físico-químico*” no pré e pós-teste. Especificamente, em nível das características no pós-teste, argumentou que:

Ferro alaranjado e depois branco e farelento. (A2)

Desta maneira, fica evidenciado que o aluno (A2) exerceu as respostas adequadas em nível macroscópico, submicroscópico, porém, ele acredita que o gás carbônico (CO₂) faz parte do processo de oxidação do ferro. O aluno se destacou em nível das características, pois conseguiu relacionar seu conhecimento cotidiano com o conhecimento científico. Seguidamente, são apresentadas as respostas do aluno (A3), conforme apresentado na (Tabela 21).

Tabela 21 - Respostas do aluno (A3) sobre o processo da ferrugem.

Níveis de representação	Pré-teste	Pós-teste
Nível Macroscópico	Fenômeno Físico	Fenômeno Físico
Nível Submicroscópico	Fenômeno Químico	Fenômeno Químico
Nível Simbólico	Fenômeno Físico-Químico	Fenômeno Químico
Nível das Características	Fenômeno Físico-Químico	Fenômeno Químico

Fonte: Autores (2022).

O aluno (A3) respondeu adequadamente aos níveis macroscópico e submicroscópico. Em especial, em nível submicroscópico no pós-teste, ele descreveu o processo de oxidação do ferro. Em nível simbólico e características, ele respondeu “*fenômeno físico-químico*” ao teste inicial e “*fenômeno químico*” no pós-teste. Especificamente, em nível das características, ele desenhou uma xícara enferrujada (no pré-teste) e um prego enferrujado (no pós-teste). Por fim, em nível das características, ele mudou sua resposta no pós-teste para “*fenômeno químico*”, o que não era esperado. Mas, relatou que:

A ferrugem: o seu procedimento é primeiramente ocorrido em algum objeto que contenha ferro. Com isso, se está exposto este objeto, acaba absorvendo umidade e com isso também oxigênio. (A3)

A partir das respostas do aluno (A3), percebe-se a coerência em suas conclusões. Embora haja evidências de uma mudança inesperada na classificação do fenômeno em nível das características após as atividades. Não obstante, mostrou a sua capacidade de argumentação ao nível das características, mesmo apresentando algumas incorreções, como explicar que a ferrugem se expressa na umidade e permanece no ar atacando o metal quando ele estiver úmido, conforme discutido pelas autoras Rosa e Schnetzler (1998). Em seguida, são apresentadas as respostas do aluno (A4), conforme apresentado na (Tabela 22).

Tabela 22 - Respostas do aluno (A4) sobre o processo da ferrugem.

Níveis de representação	Pré-teste	Pós-teste
Nível Macroscópico	Fenômeno Físico	Fenômeno Físico
Nível Submicroscópico	Fenômeno Químico	Fenômeno Físico
Nível Simbólico	Fenômeno Físico	Nenhuma menção ao fenômeno
Nível das Características	Fenômeno Físico-Químico	Submicroscópico

Fonte: Autores (2022).

O aluno (A4), foi assertivo em sua resposta em nível macroscópico. Em nível submicroscópico, ele cometeu um equívoco ao responder “*fenômeno físico*” no teste final. Em nível simbólico, ele respondeu “*fenômeno físico*” e desenhou uma grade de ferro no pré-teste, no pós-teste não se referiu ao fenômeno. Por fim, em nível das características, o aluno cometeu um deslize ao responder “*submicroscópico*” no pós-teste.

Com base nas conclusões do aluno (A4), nota-se que ele foi apropriado em sua resposta em nível macroscópico, porém, em nível submicroscópico, ele apresentou uma involução em sua colocação, e em nível simbólico, não se referiu ao fenômeno. Além disso, ele se precipitou ao responder “*submicroscópico*” ao nível das características. Após, são apresentadas as respostas do aluno (A5), conforme apresentado na (Tabela 23).

Tabela 23 - Respostas do aluno (A5) sobre o processo da ferrugem.

Níveis de representação	Pré-teste	Pós-teste
Nível Macroscópico	Fenômeno Físico	Fenômeno Físico-Químico
Nível Submicroscópico	Fenômeno Químico	Fenômeno Químico
Nível Simbólico	Fenômeno Físico	Fenômeno Químico
Nível das Características	Fenômeno Físico-Químico	Fenômeno Físico-Químico

Fonte: Autores (2022).

Em nível macroscópico, o aluno (A5) apresentou um piora ao responder “*fenômeno físico-químico*” no pós-teste. Em nível submicroscópico, sua resposta foi adequada e, além disso, descreveu a oxidação do ferro no pós-teste.

Em nível simbólico, no questionário inicial, ele respondeu “*fenômeno físico*” e desenhou um prego enferrujado, no pós-teste respondeu fenômeno químico e desenhou moléculas de água entrando no prego. Percebe-se que inicialmente, ao desenhar o prego enferrujado, o aluno levou em conta os aspectos macroscópicos, e ao representar as moléculas de água ele transcendeu pelo nível submicroscópico da matéria. Por fim, em nível das características, ele também foi pertinente em sua resposta e, descreveu a seguinte explicação no pós-teste:

Quando a gente deixa tipo um prego exposto a umidade, as moléculas de água vão penetrando no prego e com a ajuda do ar ele vai enferrujando. (A5)

Logo, são apresentadas as respostas do aluno (A6), conforme apresentado na (Tabela 24).

Tabela 24 - Respostas do aluno (A6) sobre o processo da ferrugem.

Níveis de representação	Pré-teste	Pós-teste
Nível Macroscópico	Fenômeno Físico	Fenômeno Físico
Nível Submicroscópico	Fenômeno Químico	Fenômeno Químico
Nível Simbólico	Fenômeno Físico-Químico	Fenômeno Químico
Nível das Características	Nenhuma menção ao fenômeno	Fenômeno Químico

Fonte: Autores (2022).

O aluno (A6) foi pertinente em suas respostas em nível macro e submicro. Em específico, em nível submicroscópico relatou no pós-teste que:

A ferrugem é resultado da oxidação de ferro devido ao contato com o oxigênio presente na água. (A6)

Em nível simbólico, o estudante respondeu “*fenômeno físico*” e desenhou uma panela enferrujada no pré-teste, no pós-teste mudou sua resposta para “*fenômeno químico*” e desenhou chuva caindo sob o prego. Por último, em nível das características, ele não alcançou a resposta esperada “*fenômeno físico-químico*”. Posto isto, consta-se que o aluno (A6) em nível macroscópico e submicroscópico obteve resultados satisfatórios. Em nível simbólico, ao retratar a chuva caindo sob um prego, mostra que o estudante aprendeu que a umidade ajuda neste processo. Continuadamente, são apresentadas as respostas do aluno (A7), conforme apresentado na (Tabela 25).

Tabela 25 - Respostas do aluno (A7) sobre o processo da ferrugem.

Níveis de representação	Pré-teste	Pós-teste
Nível Macroscópico	Nenhuma menção ao fenômeno	Fenômeno Químico
Nível Submicroscópico	Fenômeno Físico-Químico	Fenômeno Físico
Nível Simbólico	Nenhuma menção ao fenômeno	Fenômeno Químico
Nível das Características	Nenhuma menção ao fenômeno	Fenômeno Físico-Químico

Fonte: Autores (2022).

O aluno (A7), não obteve êxito na classificação dos fenômenos em nível macroscópico e submicroscópico. Em nível simbólico, no teste inicial ele não mencionou o fenômeno e no pós-teste respondeu “*fenômeno químico*”. Por fim, ao nível das características, ele progrediu respondendo “*fenômeno físico-químico*” no pós-teste.

A partir das respostas do aluno (A7), percebe-se a dificuldade de compreensão dos fenômenos físicos e químicos. Visto que, não alcançou resultados satisfatórios em nível macroscópico e submicroscópico. Entretanto, ele mostrou sua interpretação em relação ao nível simbólico e apresentou uma melhora na compreensão e descrição do nível das características. A seguir, são apresentadas as respostas do aluno (A8), conforme apresentado na (Tabela 26).

Tabela 26 - Respostas do aluno (A8) sobre o processo da ferrugem.

Níveis de representação	Pré-teste	Pós-teste
Nível Macroscópico	Fenômeno Físico-Químico	Fenômeno Físico-Químico
Nível Submicroscópico	Fenômeno Químico	Fenômeno Químico
Nível Simbólico	Fenômeno Químico	Fenômeno Químico
Nível das Características	Macroscópico	Fenômeno Físico-Químico

Fonte: Autores (2022).







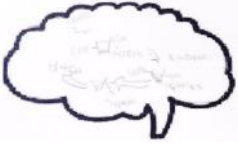


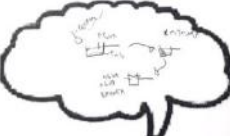














Em nível macroscópico, o aluno (A8) não alcançou a resposta esperada que era “*fenômeno físico*”. Mas, representou a carga elétrica do ferro no pós-teste. Em submicroscópico, ele respondeu adequadamente. Em nível simbólico, manteve sua resposta de que é “*fenômeno químico*”, e respondeu de forma sintetizada as etapas de oxidação do ferro no pós-teste. Por fim, em nível das características, preservou a sua resposta “*fenômeno físico-químico*” no pós-teste, e descreveu a seguinte explicação:

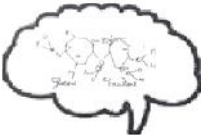
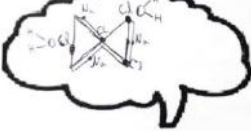

As moléculas da água não são o que geram a ferrugem são apenas o caminho digamos, o que realmente vai fazer gerar o F2, F3 é o oxigênio. (A8)

Em conformidade com as respostas do aluno (A8), nota-se que em nível macroscópico não houve uma evolução na classificação do fenômeno, por outro lado apresentou um aperfeiçoamento na descrição do nível macroscópico. Em nível submicroscópico, o mesmo foi coerente no pré e pós-teste. Em nível simbólico, sua interpretação permaneceu a mesma. Finalmente, em nível das características, ele avançou na classificação do fenômeno e sobretudo na sua interpretação, numa linguagem mais coloquial conseguiu expor seus novos conhecimentos científicos.

Conforme Silva et al. (2015), o processo de corrosão, envolve reações de oxidação e de redução (redox). O $\text{Fe}_{(s)}$ é instável na presença de $\text{O}_{2(g)}$. Por esta razão, na presença de oxigênio, ocorre a oxidação do ferro. A ação de $\text{O}_{2(g)}$ e $\text{H}_2\text{O}_{(g)}$ na atmosfera, em contato com o ferro, torna o ambiente mais severo para o material, e acaba formando uma camada porosa e mais espessa conhecida como ferrugem. Por isso, o estudante relatou que o oxigênio é fundamental nesse processo. Por fim, em relação ao nível simbólico, o aluno respondeu “*fenômeno químico*” no pré e pós-teste. No pós-teste, ele descreveu o processo simplificado de oxidação do ferro. A seguir, serão apresentadas as representações dos alunos acerca do nível simbólico (Quadro 2).

Quadro2 - Representações dos alunos quanto ao nível simbólico

Al.	Quest.	Questão 1	Questão 2	Questão 3
A1	PRÉ			
	PÓS			
A2	PRÉ			Sem representação
	PÓS			Sem representação
A3	PRÉ			Sem representação
	PÓS			Sem representação
A4	PRÉ	Sem representação	Sem representação	
	PÓS	$C_{12}H_{22}O_{11}$	Sem representação	Sem representação
A5	PRÉ	Sem representação	Sem representação	
	PÓS		Sem representação	
A6	PRÉ			
	PÓS			
A7	PRÉ	Sem representação	Sem representação	Sem representação
	PÓS	Sem representação	Sem representação	Sem representação

	PRÉ	Sem representação	Sem representação	Sem representação
A8	PÓS			

Fonte: Autores (2022).

Com base na interpretação das respostas, percebe-se que a maioria dos estudantes do 1º ano do Ensino Médio na modalidade Ensino Regular/Magistério se esforçaram para responder às questões propostas. Desta maneira, pode-se verificar que o aluno (A1) se destacou em relação aos demais estudantes na abordagem de termos científicos, enquanto o educando (A2) utilizou mais frequentemente a química do dia a dia para explicar o conhecimento científico. O aluno (A3) avançou pouco na compreensão dos fenômenos no pós-teste. Em contrapartida, os alunos (A4), (A5) e (A7) tiveram dificuldades em desenvolver suas explicações, tanto no pré-teste quanto no pós-teste. Por fim, os alunos (A1), (A6) e (A8) apresentaram uma melhora significativa no desenvolvimento da argumentação científica sobre os fenômenos da matéria no questionário pós-teste.

Ao analisar as respostas dos alunos, foi possível verificar diferenças no progresso de aprendizagem de cada educando. Assim, quando se discute o ensino de química, deparamo-nos com limitações que muitas vezes decorrem do conteúdo em si, mas também do processo individual de cada sujeito. Portanto, é preciso ter uma visão cautelosa, respeitando o desenvolvimento intelectual de cada aluno (Sivico, Gomes, Ventura & Mendes, 2021).

Conforme mencionado pela professora da turma, os estudantes utilizavam o Livro de Química (Ciscato, Pereira, & Chemello, 2015) e de Biologia (Mendonça, 2016), ambos do 1º ano do ensino médio. O Livro de Química, no Capítulo 2 intitulado “O mundo microscópico da matéria”, apresenta a estrutura atômica e os elementos químicos, e as primeiras ideias sobre a constituição da matéria. No desenvolvimento do tema, discutem as leis ponderais de Lavoisier e Proust, modelos atômicos, partículas subatômicas, formação de íons, e eletrosfera do átomo. Por outro lado, o Livro de Biologia trata sobre ecologia, origem da vida e biologia celular, embriologia e histologia. Porém, não aborda o tema, matéria.

Continuadamente, para a questão 1 do questionário os alunos representaram da seguinte forma, conforme mostrado na (Figura 5) e seguidamente na (Figura 6).

Figura 5 - Figura dos quatro níveis de representação sobre a questão do açúcar (Grupo 1).



Fonte: Autores (2020).

Resumidamente, no (Quadro 3) estão as transcrições dos alunos para cada nível de representação, conforme mostrado na (Figura 5).

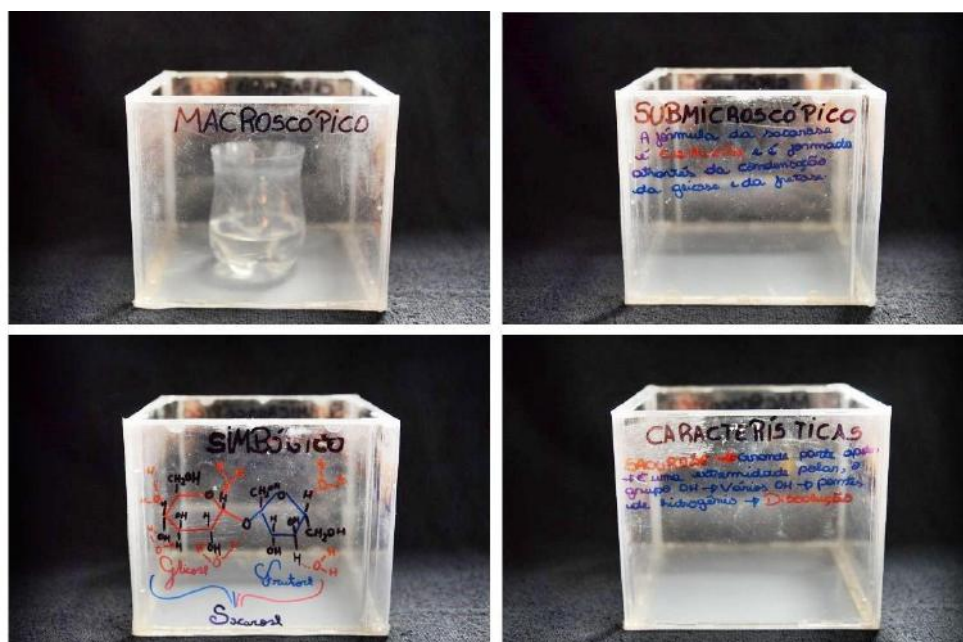
Quadro 3 - Representação simplificada dos alunos acerca da questão do açúcar (Grupo 1).

Níveis de representação	Representação
Nível Macroscópico	Recipiente com água e açúcar
Nível Submicroscópico	A fórmula da sacarose é $C_{12}H_{22}O_{11}$ e é formada através da condensação da glicose e da frutose
Nível Simbólico	Fórmula estrutural da sacarose
Nível das Características	Sacarose \rightarrow grande parte apolar \rightarrow E uma extremidade polar, o grupo OH \rightarrow vários OH \rightarrow Pontes de hidrogênio \rightarrow Dissolução
Obs. Os alunos pretendiam representar a fórmula estrutural da sacarose no nível simbólico, porém, não houve espaço na face do modelo para representar toda a fórmula.	

Fonte: Autores (2022).

Continuadamente, para a questão 1 do questionário, o outro grupo representou da seguinte forma, conforme mostrado na (Figura 6).

Figura 6 - Figura dos quatro níveis de representação sobre a questão do açúcar (Grupo 2).



Fonte: Autores (2020).

Sinteticamente, no (Quadro 4) estão as transcrições dos alunos para cada nível de representação, conforme mostrado na (Figura 6).

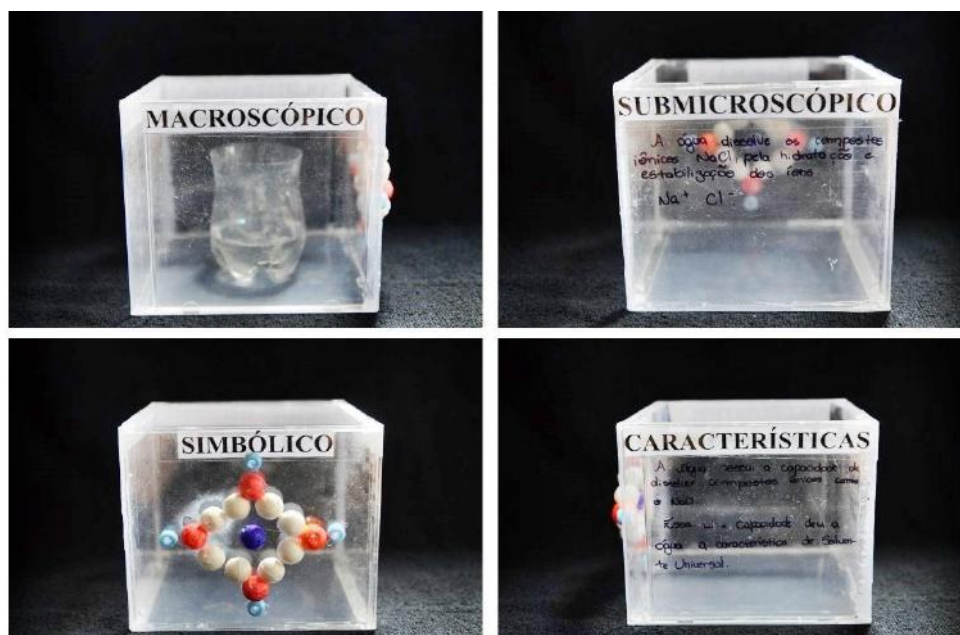
Quadro 4 - Representação simplificada dos alunos acerca da questão do açúcar (Grupo 2).

Níveis de representação	Representação
Nível Macroscópico	Recipiente com água e açúcar
Nível Submicroscópico	A fórmula da sacarose é $C_{12}H_{22}O_{11}$ e é formada através da condensação da glicose e da frutose
Nível Simbólico	Fórmula estrutural da sacarose
Nível das Características	Sacarose → grande parte apolar → E uma extremidade polar, o grupo OH → vários OH → Pontes de hidrogênio → Dissolução

Fonte: Autores (2022).

Para a questão 2 do questionário sobre o que acontece se adicionar sal na água, os estudantes representaram da seguinte maneira, conforme mostrado na (Figura 7) e seguidamente na (Figura 8).

Figura 7 - Figura dos quatro níveis de representação sobre a questão do sal (Grupo 1).



Fonte: Autores (2020).

Sinteticamente, no (Quadro 5) estão as transcrições dos alunos para cada nível de representação, conforme mostrado na (Figura 7).

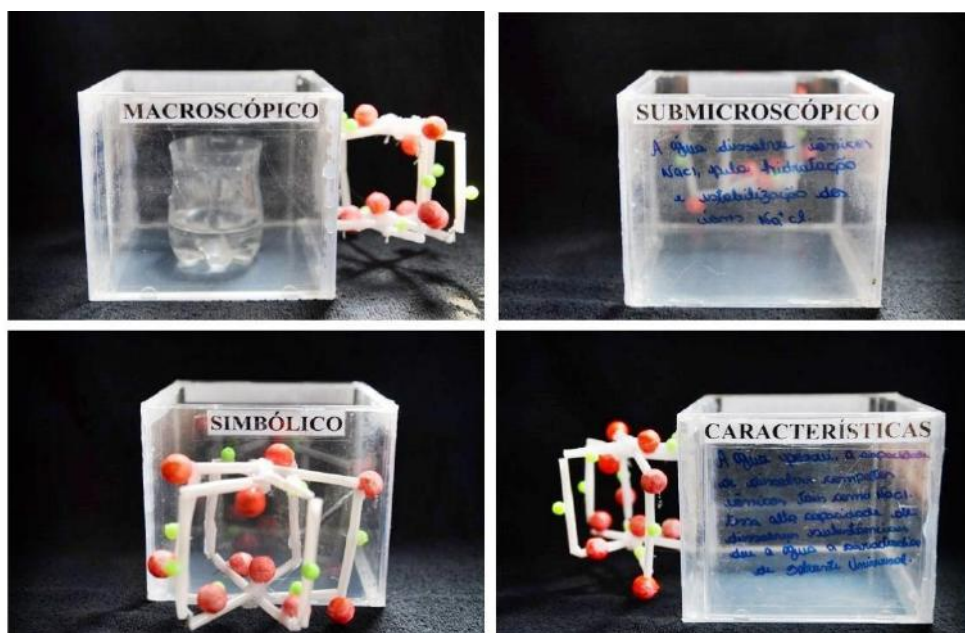
Quadro 5 - Representação simplificada dos alunos acerca da questão do açúcar (Grupo 1).

Níveis de representação	Representação
Nível Macroscópico	Recipiente com água e sal
Nível Submicroscópico	A água dissolve os compostos iônicos NaCl, pela hidratação e estabilização dos íons Na^+ Cl^-
Nível Simbólico	Moléculas de água interagindo com o cloreto de sódio
Nível das Características	A água possui a capacidade de dissolver compostos iônicos como o NaCl. Essa sua característica deu a água a característica de Solvente Universal

Obs. Em nível simbólico, as bolinhas brancas representaram os hidrogênios e as vermelhas os oxigênios. A miçanga azul claro simboliza o sódio (Na^+) e a azul marinho o (Cl^-). Os estudantes representaram quatro moléculas de água interagindo com (NaCl).

Fonte: Autores (2022).

Figura 8 - Figura dos quatro níveis de representação sobre a questão do sal (Grupo 2).



Fonte: Autores (2020).

Em síntese, no (Quadro 6) estão as transcrições dos alunos para cada nível de representação, conforme mostrado na (Figura 8).

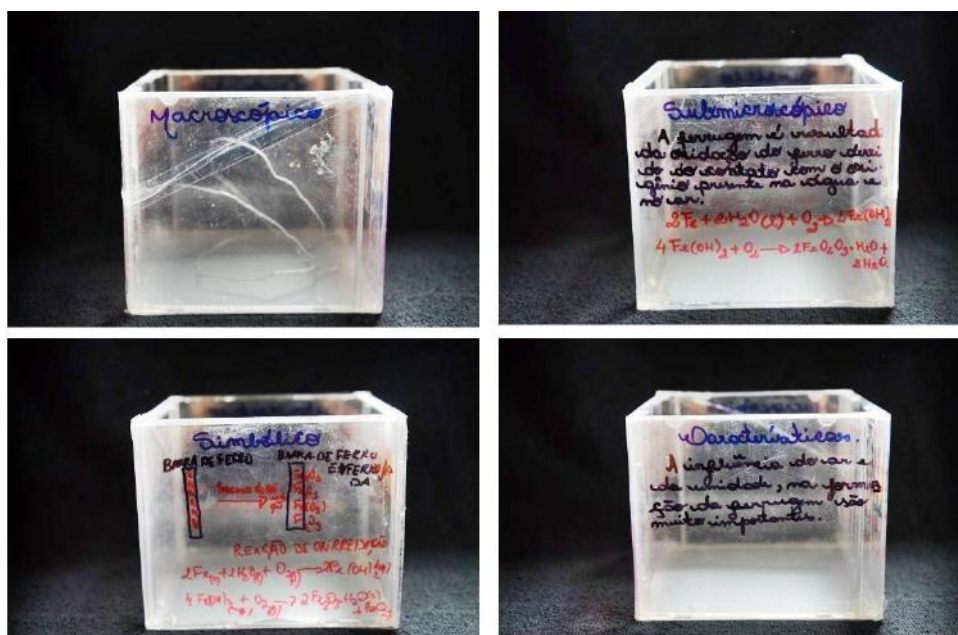
Quadro 6 - Representação simplificada dos alunos acerca da questão do açúcar (Grupo 2).

Níveis de representação	Representação
Nível Macroscópico	Recipiente com água e sal
Nível Submicroscópico	A água dissolve iônicos NaCl pela hidratação e estabilização dos íons Na^+ Cl^-
Nível Simbólico	Estrutura cristalina do cloreto de sódio
Nível das Características	A água possui a capacidade de dissolver compostos iônicos tais como NaCl. Esta alta capacidade de dissolver substâncias deu a água a característica de Solvente Universal
Obs. Os alunos representaram a estrutura cristalina do cloreto de sódio, em vermelho (Cl^-) e em verde (Na^+). Os ânions (Cl^-) se ligam aos Cátions (Na^+) formando a estrutura cristalina do Cloreto de Sódio (NaCl).	

Fonte: Autores (2022).

Para a questão 3 do questionário sobre como ocorre o processo de ferrugem, eles se expressaram da seguinte forma (Figura 9):

Figura 9 - Figura dos quatro níveis de representação sobre a questão da ferrugem (Grupo 1 e 2).



Fonte: Autores (2020).

Sinteticamente, no (Quadro 7) estão as transcrições dos alunos para cada nível de representação, conforme mostrado na (Figura 9).

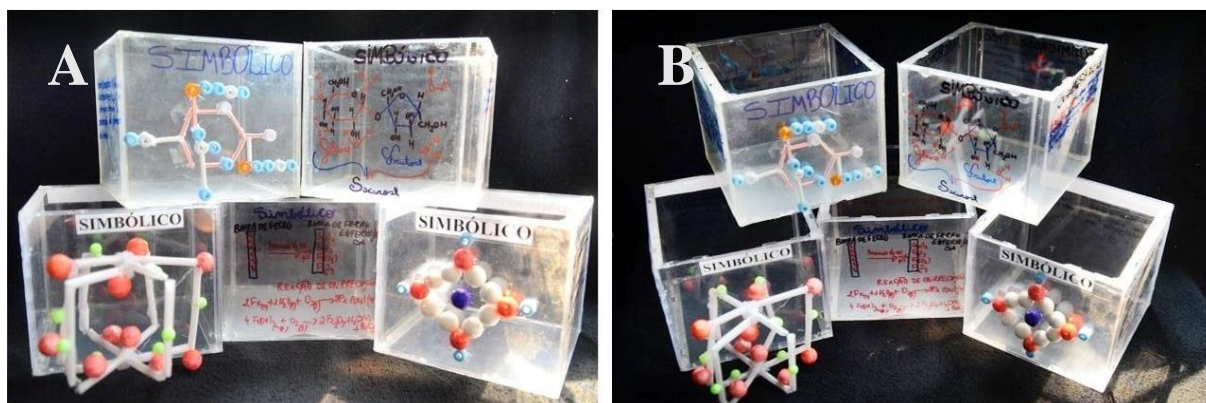
Quadro 7 - Representação simplificada dos alunos acerca da questão do açúcar (Grupo 1 e 2).

Níveis de representação	Representação
Nível Macroscópico	Fio de aço em contato com o ar
Nível Submicroscópico	A ferrugem é resultado da oxidação do ferro devido ao contato com o oxigênio presente na água e no ar
Nível Simbólico	Reação de oxirredução do ferro: $2Fe + 2H_2O(l) + O_2 \rightarrow 2Fe(OH)_2$ $4Fe(OH)_2 + O_2 \rightarrow 2Fe_2O_3 \cdot H_2O + 2H_2O$
Nível das Características	A influência do ar e da umidade, na formação da ferrugem são muito importantes
Obs. Em nível submicroscópico, os alunos também representaram a reação de oxirredução do ferro.	

Fonte: Autores (2022).

Por fim, observa-se a representação do nível simbólico em cada questão (Figura 10):

Figura 10 - Os níveis simbólicos de acordo com cada questão.



Legenda: (A): imagem de frente. (B): imagem de cima. Fonte: Autores (2020).

Nesse âmbito, para lidar com fenômenos químicos ou transformações químicas da matéria, geralmente é usado o conceito de reação química. Todavia, existe outra forma de transformação da matéria relacionada aos fenômenos físicos. Portanto, é necessário fazer um levantamento da percepção dos alunos sobre as transformações físicas e químicas da matéria. Nesse caso, o conceito de reação química ajuda a distinguir entre fenômenos físicos e químicos. Assim, compreender o conceito de reação química é importante para esclarecer quando uma substância se transforma em outra ou quando não há alteração na matéria (Stavridou & Solomonidou, 1989).

Neste estudo, pode-se verificar que no questionário inicial, a maioria dos sujeitos da pesquisa apresentou ideias focadas em aspectos macroscópicos e que ainda têm dificuldades em classificar fenômenos da matéria. No entanto, é necessário mencionar que a pesquisa de Cañas e Braibante (2019) foi realizada com acadêmicos do Curso de Química Licenciatura Plena do sétimo semestre de uma Universidade Federal do Brasil e, mesmo assim, os estudantes universitários ainda não possuem uma visão clara dos níveis de representação da matéria.

Nessa perspectiva, o ensino de química visa explicar cientificamente o mundo natural e os fenômenos, mas será que os alunos usam esse conhecimento científico para explicar os fenômenos na vida cotidiana? Esse conhecimento coopera com a organização conceitual do aluno? (Stavridou & Solomonidou, 1998). Para reflexão, como educadores, o que podemos fazer para solucionar esse problema?

Segundo Santos (2007), as escolas não têm ensinado os alunos a desenvolver a linguagem científica e usar a argumentação científica. Nesse contexto, os educadores de ciências têm se restringido aos processos de memorização e uso de fórmulas, sem que os estudantes consigam entender o verdadeiro significado desta linguagem. De acordo com Tebaldi-Reis, Bevilacqua, Sineiro e Coutinho-Silva (2022), a argumentação científica proporciona criatividade aos sujeitos, fortalecendo-os na tomada de decisões sobre assuntos relacionados à Ciência. Conforme Chiaro e Aquino (2017), a argumentação científica pode ser uma alternativa interessante para estruturar um ambiente reflexivo e crítico em sala de aula. Pois, colabora com o funcionamento metacognitivo dos alunos na construção do conhecimento científico nas aulas de química.

4. Considerações Finais

No decorrer das intervenções, foi possível evidenciar que os estudantes do Ensino Médio estavam dispostos a realizar as atividades, além do mais, afirmaram que ao solucionar as questões com o auxílio dos quatro níveis de representação o estudo das transformações da matéria tornou-se mais divertido e desafiador. Além disso, o nível designado como “nível das características” no método da Quadrangulação colaborou como processo de ensino-aprendizagem dos estudantes, visto que ao

explicarem em termos coloquiais seus entendimentos acerca do conhecimento científico, o pensamento crítico, a autorreflexão, a busca por respostas e as habilidades cognitivas fizeram parte do processo.

Portanto, o método da Quadrangulação pode proporcionar várias contribuições para o estudo das transformações físicas e químicas que foram verificadas nos resultados obtidos neste estudo:

- Os alunos transcenderam de aspectos macroscópicos para submicroscópicos da matéria.
- Exibiram melhorias no nível simbólico constatado através dos desenhos.
- Apresentaram progresso na argumentação e na linguagem científica.
- Relacionaram o conhecimento cotidiano ao conhecimento científico.
- Despertou a curiosidade dos estudantes em relação à química do cotidiano.
- Colaborou com a motivação do ensino-aprendizagem na sala de aula.
- E, incentivou o trabalho em equipe.

Compreende-se a complexidade deste tema e a necessidade de ampliar as discussões sobre os fenômenos que ocorrem na matéria, investindo em modelos didáticos que colaborem com o processo de ensino-aprendizagem dos estudantes. Observou-se que a maioria dos estudantes não compreende que um mesmo fenômeno pode contar com alterações físicas e químicas simultaneamente. Neste contexto, a diferenciação entre os fenômenos físicos e químicos é muito mais profunda do que a maioria dos livros didáticos e professores mostram. Desta maneira, ressalta-se a necessidade de mais estudos que abordem sobre as transformações da matéria.

Agradecimentos

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos, à Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), à escola, à professora de Química responsável pela turma e aos alunos do 1º ano do Ensino Médio na modalidade Ensino Regular/Magistério.

Referências

- Atkins, P.; Jones, L & Laverman, L (2018). *Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente*. (7a ed.) Porto Alegre: Bookman.
- Autora 1 (2020). *O processo da Quadrangulação: uma nova perspectiva metodológica no Ensino de Ciências* (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Santa Maria, RS, Brasil.
- Autora 1 (2021). O método da Quadrangulação no estudo das transformações da matéria com licenciandos em Química. In W. L. da C. Alves (Eds.), *Educação Contemporânea: novas metodologias e desafios* (pp. 151-171). Belo Horizonte: Synapse Editora.
- Ausubel, D P.; Novak, J D & Hanesian, H (1978). *Educational psychology: a cognitive view*. (2a ed.) New York: Holt Rinehart and Winston.
- Björn, A (1990). Pupils' Conceptions of Matter and its Transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*, 18(1), 53-85.
- Cañas, G J S & Braibante, M E F (2019). A Química dos Alimentos Funcionais. *Química e Sociedade*, 41(3), 216-223.
- Carnevalle, M R (2012). *Jornadas.cie - Ciências 9º ano*. (2a ed.) São Paulo: Editora Saraiva.
- Chiaro, S & Aquino, K (2017). Argumentação na sala de aula e seu potencial metacognitivo como caminho para um enfoque CTS no ensino de química: uma proposta analítica. *Educação e Pesquisa*, 43(2), 411-426.
- Ciscato, C M.; Pereira, L & Chemello, E (2015). *Química - Vol. 1: Ensino médio*. São Paulo: Editora Moderna.
- Driver, R (1989). Students' conceptions and the learning of science. *International Journal of Science Education*, 11(5), 481-490.
- Filho, B (1998). Sequência básica na elaboração de protocolos de pesquisa. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, 71(6), 735-740.
- Fonseca, M R M (2013). *Química Geral*. São Paulo: Ática.
- Gabel, D.; Briner, D & Haines, D (1992). Modeling with magnets: A unified approach to chemistry problem solving. *The Science Teacher*, 59(3), 58-63.
- Gabel, D (1993). Use of the particle nature of matter in developing conceptual understanding. *Journal of Chemical Education*, 70(3), 193-194.

- Garnett, P J.; Garnett, P J & Hackling, M W (1995). Students' alternative conceptions in chemistry: a review of research and implications for teaching and learning. *Studies in Science Education*, 25(1), 69-95.
- Gewandsznajder, F (2012). *Projeto Teláris - Ciências*. São Paulo: Ática.
- Harrison, A & Treagust, D (1998). Modelling in science lessons: Are there better ways to learn with models? *School Science and Mathematics*, 98(8), 420-429.
- Johnstone, A H (1982). Macro- and micro-chemistry. *School Science Review*, 64, 377-379.
- Johnstone, A H (1989). Some messages for teachers and examiners: an information-processing model. In J. Alex (Org.), *Assessment of Chemistry in Schools* (pp. 23-39). London: Royal Society of Chemistry Education Division.
- Johnstone, A H (2000). Teaching of chemistry - logical or psychological? *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 1(1), 9-15.
- 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.
- Levy-Nahum, T.; Hofstein A.; Mamlok-Naaman, R & Bar-Dov, Z (2004). Can final examinations amplify students' misconceptions in chemistry? *Chemistry Education: Research and Practice*, 5(3), 301-325.
- Mahaffy, P (2004). The future shape of chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 5(3), 229-245.
- Martins, C.; Lopes, W & Andrade, J (2013). Solubilidade das substâncias orgânicas. *Química Nova*, 36(8), 1248-1255.
- Matos, C.; Oliveira, C.; Santos, M & Ferraz, C (2009). Utilização de modelos didáticos no Ensino de Entomologia. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, 9(1), 19-23.
- Mendonça, C O.; & Santos, M W O (2011). Modelos didáticos para o ensino de ciências e biologia: aparelho reprodutor feminino da fecundação a nidação. *Anais do Congresso São Cristovão V Colóquio Internacional "Educação e Contemporaneidade"*, Sergipe, SE, Brasil. Recuperado de http://hpc.ct.utfpr.edu.br/~charlie/docs/PPGFCET/4_TRABALHO_03_MODELOS%20DID%C3%81TICOS.pdf
- Mendonça, V L (2016). *Biologia: ecologia: origem da vida e biologia celular embriologia e histologia*. (3a ed.) São Paulo: Editora AJS.
- Moreira, M A (2011). *Metodologias de Pesquisa em Ensino*. São Paulo: Livraria da Física.
- Nakhleh, M (1992). Why some students don't learn chemistry: chemical misconceptions. *Journal of Chemical Education*, 69(3), 191-196.
- Pozo, J I.; & Crespo, M A G (2009). *A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico*. (5a ed.) Porto Alegre: Artmed.
- Ribeiro, E.; & Seravalli, E A G (2007). *Química de Alimentos*. (2a ed.) São Paulo, SP: Blucher.
- Rosa, M & Schnetzler, R (1998). Sobre a importância do conceito transformação química no processo de aquisição do conhecimento químico. *Química Nova na Escola*, 8, 31-35.
- Santos, W (2007). Educação científica na perspectiva de letramento como prática social: funções, princípios e desafios. *Revista Brasileira de Educação*, 12(36), 474-550.
- Silva, J S da.; Oliveira, N C R de.; Sousa F S de.; Silva Neto, C Q da.; Saraiva, E. de S.; Brito, M V de.; Sá, G H de & Amorim, L V. (2021). Modelos didáticos de DNA no ensino de genética: experiência com estudantes do ensino médio em uma escola publicado Piauí. *Research, Society and Development*, 10(2), 1-9.
- Silva, L.; Martins, C & Andrade, J (2004). Por que todos os nitratos são solúveis? *Química Nova*, 27(6), 1016-1020.
- Silva, M.; Pereira, M.; Codaro, E & Acciari, H (2015). Corrosão do aço-carbono: uma abordagem do cotidiano no ensino de química. *Química Nova*, 38(2), 293-296.
- Silva, S M.; Eichler, M L & Del Pino, J C (2012). Concepções alternativas de calouros de química para o fenômeno da dissolução. *Anais do Congresso Salvador XVI Encontro Nacional de Ensino de Química (XVI ENEQ) e X Encontro de Educação Química da Bahia (X EDUQUI)*, Salvador, BA, Brasil. Recuperado de <https://periodicos.ufba.br/index.php/anaiseneq2012/article/view/7254>
- Sivico, M J.; Gomes, R. da V.; Ventura, LA & Mendes, A. N. F. (2021). Reflexão da prática docente no ambiente escolar: Um diálogo singular necessário sob o olhar do educando de Química na Educação Básica. *Research, Society and Development*, 10(6), 1-9.
- Stavridou, H & Solomonidou, C (1998). Conceptual reorganization and the construction of the chemical reaction concept during secondary education. *International Journal of Science Education*, 20(2), 205-221.
- Stavridou, H & Solomonidou, C (1989). Physical phenomena - chemical phenomena: do pupils make the distinction? *International Journal of Science Education*, 11(1), 83-92.
- Taber, K (2013). Revisiting the chemistry triplet: drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education. *Chemical Education Research and Practice*, 14(2), 156-168.
- Talanquer, V (2011). Macro, Submicro, and Symbolic: The many faces of the chemistry "triplet". *International Journal of Science Education*, 33(2), 179-195.
- Tebaldi-Reis, L.; Bevilacqua, G. D.; Sineiro, S. C. A.; Coutinho-Silva, R. (2022). Investigative activities as promoters of argumentation in science teaching. *Research, Society and Development*, 11(1), 1-18.
- Thomas, G (2017). Triangulation: an expression for stimulating metacognitive reflection regarding the use of 'triplet' representations for chemistry learning. *Chemical Education Research and Practice*, 18(4), 533-548.