

# Modelos mentais dos estudantes do Ensino Médio sobre chuva ácida e efeito estufa

High School students' mental models of acid rain and greenhouse effect

Kevin Felipe Ramos<sup>1</sup>

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - Campus Presidente Prudente

Gustavo Bizarria Gibin<sup>2</sup>

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - Campus Presidente Prudente

## RESUMO

Os estudantes apresentam dificuldade para desenvolver modelos mentais sobre conceitos químicos em nível macroscópico e submicroscópico. Assim, a pesquisa teve como objetivo analisar os modelos expressos pelos estudantes sobre os conceitos químicos de chuva ácida e Efeito Estufa em diferentes níveis de representação, com o uso de variados recursos pedagógicos. O referencial teórico consiste na teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird. A metodologia pautou nos três momentos pedagógicos propostos por Delizoicov. As aulas e as atividades propostas foram desenvolvidas para os estudantes da terceira série do Ensino Médio de uma escola pública estadual, da região oeste do estado de São Paulo, pela plataforma *Google Meet*. A análise de dados baseou-se no método de análise de *tokens*, de caráter qualitativo, proposto por Johnson-Laird. Por meio da análise de dados, constatou-se que o uso de simuladores e a experimentação auxiliou no desenvolvimento de modelos mentais dos estudantes sobre os conceitos abordados. Além disso, destaca-se a ampliação da investigação dos modelos mentais dos estudantes, nos diferentes níveis de representação dos conceitos químicos, por meio do uso de recursos pedagógicos, pela comunidade acadêmica, a fim de compreender como os estudantes pensam determinados conceitos científicos e tentar promover melhorias nos modelos expressos pelos estudantes.

**Palavras-chave:** Ensino de Química; Química Ambiental; Ensino e aprendizagem; Experimentação; Simuladores.

## ABSTRACT

Students find it difficult to develop mental models about chemical concepts at the macroscopic and submicroscopic levels. Thus, the research aimed to analyze the models expressed by students about the chemical concepts of acid rain and Greenhouse Effect at different levels of representation, using various pedagogical resources. The theoretical framework consists on the Johnson-Laird theory of mental models. The methodology was based on the three pedagogical moments proposed by Delizoicov. The classes and activities proposed were developed for third grade high school students at a state public school in the western region of the state of São Paulo, using the Google Meet platform. Data analysis was based on the qualitative *tokens* analysis method proposed by Johnson-Laird. Through data analysis, it was found that the use of simulators and experimentation helped in the development of mental models for students about the concepts covered. In addition, the expansion of the investigation of students' mental models is highlighted, at different levels of representation of chemical concepts, through the use of pedagogical resources, by the academic community, in order to understand how students think about certain scientific concepts and try to promote improvements in points from the models expressed by the students.

**Keywords:** Chemistry teaching; Environmental Chemistry; Teaching and learning; Experimentation; Simulators.

<sup>1</sup> Licenciado em Química na Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, São Paulo, Brasil. Endereço para correspondência: Rua Roberto Simonsen, 305, Centro Educacional, Presidente Prudente, São Paulo, Brasil, CEP: 19060-900. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-3296-9997> E-mail: [kevin.ramos@unesp.br](mailto:kevin.ramos@unesp.br).

<sup>2</sup> Doutor em Ciências pelo PPGQ - UFSCar. Professor Assistente Doutor na Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Presidente Prudente, São Paulo, Brasil. É credenciado no Programa de Pós-Graduação em Ensino e Processos Formativos. Endereço para correspondência: Rua Roberto Simonsen, 305, Centro Educacional, Presidente Prudente, São Paulo, Brasil, CEP: 19060-900. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-9473-255X> E-mail: [gustavo.gibin@unesp.br](mailto:gustavo.gibin@unesp.br).

## INTRODUÇÃO

Durante a década de setenta as pesquisas em ensino de Ciências eram focadas nas concepções alternativas, entretanto na década de oitenta investigou-se as alterações conceituais dos estudantes e na atualidade, as pesquisas em ensino de Ciências têm pluralizado acerca das representações mentais, em particular dos modelos mentais, conforme aponta Moreira (1996).

Em relação às pesquisas sobre os modelos mentais de estudantes do Ensino Médio no ensino de Química, Crestani, Klein e Locatelli (2016) analisaram as representações mentais dos alunos acerca do conceito de geometria molecular, por meio da construção de modelos moleculares com o uso de softwares e materiais alternativos como ferramenta pedagógica, a partir de uma sistemática fundamentada nos três momentos pedagógicos estabelecidos por Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2009).

No âmbito da Química Ambiental, Thacker e Sinatra (2019) e Varela, Sesto e Rodeja (2020) investigaram os modelos mentais dos estudantes sobre os conceitos atrelados ao efeito estufa, bem como o estudo dos principais compostos químicos envolvidos no fenômeno ambiental, por meio do uso de simulações computacionais. Em suma, a partir do estudo efetivado, os pesquisadores observaram avanços nas representações mentais expressas pelos estudantes. Dessa forma, o uso dessa ferramenta auxiliou os alunos na compreensão do fenômeno ambiental e eles puderam relacionar os níveis de representação, tendo em vista que segundo os pesquisadores, os estudantes apresentam dificuldades em correlacionar os diferentes níveis de representação.

Quanto às investigações dos modelos mentais dos alunos do Ensino superior, Lopes et al. (2018) e Marques (2015) estudaram as representações mentais expressas pelos graduandos do curso de Química sobre geometria molecular a partir do uso de materiais alternativos e ligações químicas, respectivamente. Os estudos apontaram que ao longo do desenvolvimento da metodologia, os estudantes apresentaram modelos que se aproximam da linguagem científica. Dessa forma, os pesquisadores destacam a importância da implementação e ampliação de práticas metodológicas voltadas ao desenvolvimento de modelos para graduandos, a fim de minimizar problemas na formação inicial de professores.

Em suma, os estudos apresentados evidenciam essencialmente a importância da investigação dos modelos mentais de estudantes em diferentes modalidades de ensino, com o intuito de compreender como os indivíduos compreendem determinados fenômenos e/ou conceitos científicos.

Além disso, esses estudos auxiliam os estudantes, por meio do uso de ferramentas pedagógicas, a expressar seus modelos mentais em diferentes níveis de representação, de modo a propiciar melhorias e aproximá-los dos modelos científicos, visto que os alunos apresentam dificuldades em relacionar os diferentes níveis de representação e também em relação à temática ambiental (CARMO; MARCONDES, 2008). Dessa forma, é ressaltada a valorização da temática na aprendizagem dos alunos.

Como resultado desses estudos, na presente pesquisa, foram analisados os modelos mentais expressos pelos estudantes sobre os conceitos químicos de chuva ácida e efeito estufa nos níveis observável, subatômico e simbólico, com o uso de simuladores virtuais e vídeos demonstrativos experimentais, para nortear as representações de modelos mentais dos alunos por meio da metodologia pedagógica estabelecido por Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2009).

## REFERENCIAL TEÓRICO

Johnson-Laird (1983) propõe uma teoria na área de psicologia cognitiva quanto ao método de aquisição do conhecimento pelo indivíduo, segundo a qual há três formas de elaborar explicações para os fenômenos: representações proposicionais, imagens e modelos mentais.

As representações proposicionais “[...] são cadeias de símbolos que correspondem à linguagem natural”, os modelos mentais “[...] são análogos estruturais do mundo” e imagens “[...] são visualizações de modelos sob um determinado ponto de vista” (JOHNSON-LAIRD, 1983, p. 312). A teoria do autor foi referência para a psicologia cognitiva. Por essa razão, na presente pesquisa representa o principal referencial teórico.

De acordo com Johnson-Laird (1983), os modelos mentais são representações internas de conceitos referentes a determinados eventos ou processos. Segundo o autor, as representações mentais se assemelham a blocos de conhecimentos cognitivos, que se relacionam conforme informações adicionais são adquiridas ou quando o saber é reestruturado. Logo, os modelos mentais proporcionam ao indivíduo o pensamento dedutivo, isto é, permitem explicar o meio externo e fazer previsões.

Conforme Johnson-Laird (1983), as representações mentais são estruturas cognitivas internas, constituídas por um ou mais elementos (*tokens*) que se correlacionam para representar eventos, objetos de um dado sistema, conceitos, fenômenos, relação espacial e estados de coisas. Isto é, cada pessoa constrói um modelo mental próprio, dessa forma espera-se que cada

modelo seja diferente, em relação à quantidade e complexidade de elementos expressos, dessa forma, os modelos podem ser analisados mediante a esses parâmetros.

Conforme proposto por Johnson-Laird (1983, p. 245), as imagens “[...] são formas de visualização dos modelos mentais”. Dessa forma, as representações mentais e as imagens são altamente específicas e esta característica os distingue das proposições. Portanto, as imagens são indispensáveis na investigação sobre os modelos mentais de estudantes, essencialmente no ensino de Ciências e de Química.

Para compreensão da Química devem-se entender os três níveis representacionais diferentes: macroscópico, submicroscópico e simbólico (JOHNSTONE, 1993; 2000). O nível macroscópico refere-se ao que é observável, e é possível abordar esse nível de representação por meio do emprego de vídeos e de experimentos. O nível submicroscópico representa o comportamento de átomos e de moléculas e isso pode ser trabalhado com os estudantes por meio de simuladores virtuais, por exemplo. O nível simbólico consiste na linguagem própria da Química, como as suas fórmulas e equações, por exemplo (UPAHI; RAMNARAIN, 2019).

Gibin e Ferreira (2010) complementam que para construir um modelo mental sobre um conceito ou fenômeno químico, é necessário entender esses três níveis, desenvolver essas representações e transitar entre elas.

Dessa forma, a análise de representações mentais dos estudantes sobre conceitos químicos deve envolver os diferentes níveis de representação, por meio do uso de recursos pedagógicos como a experimentação e simuladores virtuais, de forma a possibilitar a construção de modelos mentais mais adequados sobre conceitos ou fenômenos pelos indivíduos.

## **METODOLOGIA**

### **Coleta de dados**

A metodologia utilizada fundamentou-se nos três momentos pedagógicos propostos por Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2009, p. 368): “problematização inicial, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento”. A metodologia permite a contextualização e a interdisciplinaridade do conhecimento. Além de possibilitar a reflexão dos alunos mediante aos conhecimentos químicos por intermédio de um tema gerador, visto que relacionam o conteúdo químico com o cotidiano (SANTOS; SCHNETZLER, 2003).

Escolheu-se como público alvo estudantes dos terceiros anos do Ensino Médio de uma escola pública estadual, localizada na região oeste do estado de São Paulo. Em suma, as aulas

e as atividades propostas foram desenvolvidas em duas aulas, de aproximadamente sessenta minutos cada, por videoconferência pela plataforma *Google Meet*, com total de 11 estudantes do terceiro ano do Ensino Médio.

Para os encontros por videoconferência, os alunos receberam um link para acesso à sala virtual. Além disso, criou-se uma sala de aula na plataforma *Google Classroom*, para facilitar o contato com os estudantes e a coleta de dados. O Quadro 1 mostra a síntese das atividades pedagógicas.

**Quadro 1-** Síntese das atividades pedagógicas

<b>Momentos</b>	<b>Aulas</b>	<b>Ferramentas</b>	<b>Atividades</b>
1º Momento: Problematização inicial	1	Google Meet	Debate sobre problemas ambientais e sustentabilidade
2º Momento: Organização do conhecimento		Google Meet	Abordagem e estruturação dos conteúdos acerca da temática; Esclarecimento de eventuais dúvidas
		Vídeos demonstrativos experimentais; <i>PhET interactive simulations</i> ; <i>Google Forms</i> .	Realização das atividades propostas
3º Momento: Aplicação do conhecimento	2	<i>Google Forms</i>	Reaplicação das atividades propostas
		<i>Google Meet</i>	Interpretação das charges; Debate sobre problemas ambientais e sustentabilidade

**Fonte:** Elaboração pelos autores

Na primeira aula, realizou-se o primeiro momento pedagógico, a problematização inicial, seguido do segundo momento pedagógico, organização do conhecimento. Tendo em vista que, o segundo momento pedagógico implica no estudo minucioso dos conteúdos apresentados na problematização inicial, na segunda aula deu seguimento a organização do conhecimento e concluiu-se o terceiro momento pedagógico, aplicação do conhecimento.

De acordo com Muenchen e Delizoicov (2014), o primeiro momento, denominado de problematização inicial ocorre quando:

Apresentam-se questões ou situações reais que os alunos conhecem e presenciam e que estão envolvidas nos temas. Os alunos são desafiados a expor o que pensam sobre as situações, a fim de que o professor possa ir conhecendo o que eles pensam. A finalidade desse momento é propiciar um distanciamento crítico do aluno ao se defrontar com as interpretações das situações propostas para discussão, e fazer com que sintam a necessidade da aquisição de outros conhecimentos que ainda não detém (MUENCHEN; DELIZOICOV, 2014, p. 620).

Dessa forma, no referido momento foram apresentadas imagens e questões problemas relacionadas com a temática, que serviram de base para guiar uma discussão em torno do conteúdo, e identificar os conhecimentos prévios dos alunos, acerca dos conceitos químicos atrelados aos fenômenos ambientais, especificamente a chuva ácida e efeito estufa, sendo que tais temas foram abordados anteriormente pelo docente de Química da presente instituição.

Para a realização do segundo momento pedagógico, a organização do conhecimento, Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2009), aconselha-se o educador usar diversas estratégias de ensino, como por exemplo: estudo em grupo, atividades experimentais, seminários, visitas técnicas, etc.

Dessa forma, realizou-se o estudo sistemático do conteúdo por meio do desenvolvimento de conceitos e definições relacionados à Química Ambiental, mediante ao sistema terrestre (Hidrosfera, litosfera e atmosfera), com o enfoque principal no sistema atmosférico, visto que o objetivo geral da pesquisa foi analisar a habilidade dos indivíduos em se expressar sobre conceitos químicos de “Chuva ácida” e “Efeito estufa” nos diferentes níveis de representação.

Após a explanação e discussão dos conteúdos, averiguou-se os conhecimentos obtidos dos estudantes em expressar seus modelos mentais nos níveis macroscópico, submicroscópico e simbólico acerca dos fenômenos ambientais “Chuva ácida” e “Efeito estufa”, respectivamente, com o auxílio de simulação e dos vídeos demonstrativos experimentais.

Na avaliação do nível macroscópico de ambos os fenômenos, primeiramente o pesquisador efetuou perguntas pertinentes ao fenômeno ambiental “Chuva ácida” e a relação com a formação dos óxidos de enxofre no meio ambiente, a intensificação do fenômeno e sua consequência à biosfera. Quanto ao fenômeno ambiental “Efeito Estufa”, o pesquisador questionou os indivíduos acerca da relação com a emissão de gases no meio ambiente, como o gás carbônico (CO<sub>2</sub>), por exemplo.

Considera-se que dentro do referencial teórico, a atividade desenvolvida para ambos os fenômenos atende o nível macroscópico (JOHNSTONE, 1993; 2000), visto que na atividade do fenômeno de “Chuva ácida” os estudantes observaram no vídeo de um experimento a formação de uma substância ácida evidenciada pela alteração na cor da solução, e na pétala é evidenciada pela descoloração. E no fenômeno de “Efeito estufa” observaram-se o aquecimento do béquer coberto com plástico após a emissão de radiação infravermelha pela luz.

Na avaliação do nível submicroscópico de ambos os fenômenos ambientais, primeiramente avaliou-se representações das estruturas moleculares dos compostos químicos envolvidos no fenômeno ambiental “Chuva ácida”, como o dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) e trióxido de enxofre ( $\text{SO}_3$ ), no software “Construa uma molécula” disponível na plataforma *PhET Interactive Simulations* (WIEMAN, 2002).

Em seguida, os indivíduos da pesquisa representaram as estruturas moleculares dos compostos químicos relacionados ao fenômeno ambiental “Efeito estufa” como o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) e o gás metano ( $\text{CH}_4$ ), no software “Efeito estufa” e “Absorção de fóton” disponíveis na plataforma *PhET Interactive Simulations* (WIEMAN, 2002).

De acordo com Russel *et al.* (1997) o uso de *softwares* que evidenciam o nível submicroscópico permite aos estudantes relacionar os três níveis de representação do conhecimento químico. Além disso, os autores complementam que as representações mentais exibem uma relação intrínseca com as imagens, de modo a assumir papel fundamental no ensino de Química.

Os questionários aplicados, consistiram-se no primeiro movimento de coleta dos dados, uma vez que as respostas dos alunos constituem uma parte dos dados desta pesquisa. A fim de averiguar os conhecimentos obtidos dos estudantes em expressar seus modelos mentais nos níveis macroscópico e submicroscópico, acerca dos fenômenos ambientais “Chuva ácida” e “Efeito estufa”, sem o auxílio da simulação e dos vídeos demonstrativos experimentais, reaplicou os questionários novamente. Esse momento consistiu no segundo momento de coleta dos dados, uma vez que as respostas dos estudantes constituem uma parte dos dados desta pesquisa.

A aplicação do conhecimento, no terceiro momento, refere-se ao instante de retornar a discussão das hipóteses levantadas no primeiro momento, avaliar e caso necessário formular novas hipóteses, como é explanado por Muenchen e Delizoicov (2014):

Momento que se destina a abordar sistematicamente o conhecimento incorporado pelo aluno, para analisar e interpretar tanto as situações iniciais que determinaram seu estudo quanto outras que, embora não estejam diretamente ligadas ao momento inicial, possam ser compreendidas pelo mesmo conhecimento (MUENCHEN; DELIZOICOV, 2014, p. 620).

Dessa forma, no referido momento foram apresentadas as imagens e as questões problematizadas, levantadas no primeiro momento, para retomar a discussão das hipóteses que serviram de suporte para guiar uma discussão e formular nova hipóteses, em torno da temática.

Para finalizar, solicitou-se aos alunos a interpretação de charges relacionadas a temática abordada, com base nos conhecimentos construídos ao longo do desenvolvimento das aulas, de modo a apresentar soluções para os problemas ambientais evidenciados nas charges.

### Análise de dados

A presente pesquisa possui um caráter descritivo exploratório com abordagem metodológica qualitativa. De acordo com Flick (2009, p. 36), a pesquisa qualitativa “é um método de abordagem científica que se baseia no caráter subjetivo do objeto analisado”, de modo a investigar as percepções e reflexões dos indivíduos sobre a natureza geral de uma questão.

Dessa forma, analisou-se qualitativamente as respostas dos estudantes, por meio da análise de *tokens* (elementos) proposta por Johnson-Laird (1983). Esse autor aponta que as representações mentais são constituídas por um ou mais elementos (*tokens*) que se correlacionam para representar objetos de um dado sistema, conceitos, fenômenos, relação espacial e estados de coisas.

Com o intuito de verificar a habilidade dos estudantes em se expressar acerca dos conceitos químicos de Chuva ácida e Efeito Estufa em nível macroscópico e submicroscópico, respectivamente, para ambos os níveis, idealizou-se as categorias de avaliação das representações dos indivíduos, mediante as respostas dos sujeitos da pesquisa em ambas as atividades. O Quadro 2 apresenta as categorias de avaliação no nível macroscópico.

**Quadro 2** - Categorias para análise das respostas dos estudantes em nível macroscópico

<b>Categorias</b>	<b>Descrição</b>
Adequado	Representações mentais totalmente coerentes aos conceitos científicos estudados.
Parcialmente adequado	Representações mentais coerentes aos conceitos científicos estudados, porém com a ausência de algum <i>elemento</i> .
Inadequado	Representações mentais totalmente incoerentes aos conceitos científicos estudados.

**Fonte:** Elaboração pelos autores

Similarmente, no nível submicroscópico ou subatômico, as categorias para a análise das representações dos estudantes foram o número de ligações envolvidas em cada molécula, proporções atômicas e geometria molecular, conforme apontado no Quadro 3.

**Quadro 3 -** Categorias para análise das respostas dos estudantes em nível subatômico

<b>Categorias</b>	<b>Descrição</b>
Proporções atômicas	Número de átomos de cada elemento na molécula.
Geometria molecular	Representação espacial da molécula.
Ligação Química	Números de ligações (simples, dupla, tripla) de cada átomo na molécula.

**Fonte:** Elaboração pelos autores

Para a análise de dados dos sujeitos da pesquisa indiretamente, o pesquisador apropriou-se de códigos A1, A2, A3, ..., sendo A (aluno) e o número do indivíduo, previamente designado pelo pesquisador mediante a proporção de participantes. Dessa forma, a identidade dos participantes foi mantida em sigilo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Análise das representações em nível macroscópico

Para a avaliação das representações dos indivíduos, em nível macroscópico, acerca de ambos os fenômenos em estudo, considerou-se as categorias descritas no Quadro 2. Essas categorias, foram analisadas em duas etapas. Sendo que somente na etapa 1, os estudantes dispunham dos vídeos demonstrativos experimentais. E a etapa 2 foi realizada depois de 30 dias da aplicação da etapa 1, para verificar se houve aprimoramento nas representações mentais sobre os conceitos.

Ao verificar a compreensão dos sujeitos acerca do processo de intensificação da Chuva ácida e sua consequência à hidrosfera atrelada a alteração do potencial hidrogeniônico (pH) do meio. Cerca de 50% dos sujeitos da pesquisa representaram modelos totalmente coerentes aos conceitos científicos estudados, e os outros 50% dos indivíduos representaram modelos parcialmente adequados, em ambas etapas. O Quadro 4 mostra os modelos dos sujeitos A3 e A9, em ambas as etapas, respectivamente.

**Quadro 4 -** Modelos mentais expressos pelos estudantes A3 e A9 em nível macroscópico

<b>Alunos</b>	<b>Etapas</b>	<b>Descrição das respostas</b>
A3	1	<i>“Os óxidos <math>SO_2</math> e <math>SO_3</math> da queima do enxofre, reagiu com a água ficando ácida, e alterou a cor do indicador, simulando a chuva ácida”.</i>
	2	<i>“O <math>SO_2</math> e o <math>SO_3</math> reagiu com água, deixando ela ácida, e o indicador mostrou essa acidez alterando sua cor, e simulou a chuva ácida”.</i>
A9	1	<i>“Houve uma reação química, fazendo com que a água ficasse ácida, e o indicador mudou de cor. ”</i>
	2	<i>“A água estava ácida e alterou a cor do indicador. ”</i>

**Fonte:** Elaboração pelos autores

A partir das representações mentais expressas pelo sujeito A3 em ambas as etapas, pode-se afirmar que as representações corroboram com o conceito científico em estudo, dado que a

redução do potencial hidrogeniônico (pH) da solução aquosa, averiguada pela alteração da coloração do indicador, principiou-se da reação química entre óxidos ( $\text{SO}_2$  e  $\text{SO}_3$ ), formados pela combustão do enxofre, e o meio aquoso.

No entanto, o modelo expresso pelo estudante A9, em ambas as etapas, revela uma coerência parcial em relação aos conceitos científicos analisados, dado que o sujeito evidencia apenas a redução do potencial hidrogeniônico (pH) da solução aquosa, ao invés da descrição do mecanismo da reação química entre os reagentes. Em contrapartida, ambos os sujeitos compreendem a função do indicador de pH.

Com o intuito de analisar a compreensão dos indivíduos sobre o mecanismo do fenômeno ambiental “Efeito estufa”, para a manutenção da vida e o agravamento do fenômeno pelas ações antrópicas, de modo geral, ao comparar as representações dos sujeitos da pesquisa, em ambas as etapas, analisou-se que 80% dos sujeitos representaram modelos coerentes, especialmente na etapa 2. No entanto, verificou-se uma diminuição de 20% do total, em relação a etapa 1, ao representaram modelos totalmente coerentes aos conceitos científicos estudados. O Quadro 5 apresenta os modelos expressos pelos indivíduos A1 e A7, em ambas as etapas, respectivamente.

**Quadro 5** - Modelos mentais expressos pelos estudantes A1 e A7 em nível macroscópico

Alunos	Etapas	Descrição das respostas
A1	1	<i>“A temperatura aumentou devido a interação da luz com o <math>\text{CO}_2</math> que tem no ar da atmosfera, dentro do copo e coberto pelo plástico gerou calor, assim simulou o efeito estufa. A luz representou o sol e a camada de ozônio”.</i>
	2	<i>“O plástico manteve o calor dentro do recipiente, quando a luz foi incidida. A luz representou o sol e o plástico a camada de ozônio, simulando o efeito estufa. ”</i>
A7	1	<i>“O calor foi gerado pelo contato da luz e o ar que tem <math>\text{CO}_2</math>, é mantido pelo plástico, a luz representou o sol e o plástico a camada de ozônio, como no efeito estufa. ”</i>
	2	<i>“O calor foi mantido pelo plástico que representou a camada de ozônio e a luz que representou o sol, e simulou o efeito estufa. ”</i>

**Fonte:** Elaboração pelos autores

Com base nos modelos mentais expressos pelos indivíduos A1 e A7, na etapa 1, pode-se afirmar que os modelos expressos pelos estudantes corroboram com o conceito científico, visto que o efeito estufa ocorre pela interação entre os fótons infravermelhos emitidos pelos raios solares e as moléculas gasosas atmosféricas envolvidas no fenômeno ambiental Efeito Estufa (GIBIN et al., 2016).

Em contrapartida, os modelos expressos pelos sujeitos na etapa 2, demonstram coerência parcial aos conceitos científicos, dado que nos modelos expressos houve abstenção

da interação das moléculas atmosféricas, dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) por exemplo, atreladas ao efeito estufa, com a luz. Os sujeitos da pesquisa associaram corretamente os elementos do experimento com o fenômeno ambiental.

### Análise das representações do nível subatômico

As categorias descritas no Quadro 3 foram analisadas em ambas as etapas. Sendo que, somente na etapa 1 os estudantes usaram os simuladores “Construa uma molécula” e “Efeito Estufa”, ambos disponíveis na plataforma *PhET Interactive Simulations*, para representar as estruturas moleculares dos compostos químicos envolvidos nos fenômenos “Chuva ácida” e “Efeito Estufa”, respectivamente. Na etapa 2 não houve nenhuma interação com os sujeitos da pesquisa, sendo realizada depois de aproximadamente 30 dias.

Em suma, quanto a análise das proporções atômicas dos compostos químicos envolvidos nos fenômenos ambientais “Chuva ácida” e “Efeito Estufa”, as espécies analisadas eram simples estruturalmente, entretanto, requeriam o conhecimento prévio acerca de átomos e moléculas dos estudantes. Majoritariamente, cerca de 98% dos sujeitos da pesquisa compreenderam os conceitos de átomos e moléculas, visto que os mesmos representaram cada átomo constituinte das moléculas corretamente em ambas as etapas para os dois fenômenos. Todavia, observou-se um decréscimo de 2% do total, em relação a etapa 1, na representação das proporções atômicas das moléculas. A Figura 1 mostra as representações dos indivíduos A2 e A9, em ambas etapas, para as moléculas envolvidas no fenômeno de chuva ácida.

**Figura 1** - Representações idealizadas pelos indivíduos A2 e A9, respectivamente

ETAPAS	MOLÉCULAS	REPRESENTAÇÃO	ETAPAS	MOLÉCULAS	REPRESENTAÇÃO
1	$\text{SO}_2$		1	$\text{SO}_2$	
	$\text{SO}_3$			$\text{SO}_3$	
2	$\text{SO}_2$		2	$\text{SO}_2$	
	$\text{SO}_3$			$\text{SO}_3$	

Fonte: os autores

As representações do indivíduo A2 consistem em um exemplo de sujeitos que compreenderam os conceitos de átomos e moléculas, em ambas as etapas, dado que o indivíduo representou cada átomo constituinte das moléculas propostas corretamente.

Entretanto, observa-se que o indivíduo A9, representou incorretamente as proporções atômicas das moléculas na etapa 2. Visto que, as moléculas de  $\text{SO}_2$  e  $\text{SO}_3$  apresentam apenas um átomo de enxofre, ao invés de dois e três átomos de enxofre, respectivamente. Além disso, pode-se afirmar que o indivíduo não compreendeu o nível simbólico das espécies, dado que esse nível mostra o número de átomos de cada elemento constituinte da molécula. A Figura 2 mostra as representações dos indivíduos A1 e A9, nas etapas 1 e 2, para as moléculas envolvidas no fenômeno “Efeito Estufa”.

**Figura 2** - Representações idealizadas pelos indivíduos A1 e 9 respectivamente

ETAPAS	MOLÉCULAS	REPRESENTAÇÃO	ETAPAS	MOLÉCULAS	REPRESENTAÇÃO
1	$\text{CO}_2$		1	$\text{CO}_2$	
	$\text{CH}_4$			$\text{CH}_4$	
2	$\text{CO}_2$		2	$\text{CO}_2$	
	$\text{CH}_4$			$\text{CH}_4$	

**Fonte:** os autores

Os modelos expressos pelo estudante A1 representam a classe de sujeitos que compreenderam os conceitos de átomos e moléculas, em ambas as etapas.

No entanto, nota-se que o indivíduo A9 representou incorretamente, na etapa 2, as proporções atômicas da molécula de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), visto que a molécula proposta apresenta dois átomos de carbono, ao invés de um átomo de carbono, além disso, observou-se que o indivíduo A9 também representou incorretamente a molécula de  $\text{SO}_2$  e  $\text{SO}_3$ , conforme evidenciado na Figura 3. Dessa forma, percebe-se que o sujeito A9, representante dessa classe, não compreende o nível simbólico das espécies, dado que esse nível mostra o número de átomos de cada elemento constituinte da molécula.

Dessa forma, Hestness, Mcginnis e Breslyn (2019) destacam que as dificuldades dos estudantes podem ser solucionadas por meio do uso de recursos pedagógicos como os simuladores, visto que segundo os autores, o uso dessa ferramenta resulta num aporte

significativo na representação das estruturas moleculares de compostos químicos, em nível subatômico.

Com relação a categoria de análise das ligações químicas dos compostos químicos envolvidos nos fenômenos ambientais chuva ácida e efeito estufa, aproximadamente 52%, cometeram equívocos ao expressarem as ligações químicas dos compostos químicos, em ambas etapas, dos compostos químicos envolvidos em ambos os fenômenos ambientais. A Figura 3 apresenta os modelos dos indivíduos A11 e A7, em ambas etapas, para as moléculas envolvidas no fenômeno de chuva ácida.

**Figura 3** - Representações idealizadas pelos indivíduos A11 e A7, respectivamente

ETAPAS	MOLÉCULAS	REPRESENTAÇÃO	ETAPAS	MOLÉCULAS	REPRESENTAÇÃO
1	SO <sub>2</sub>		1	SO <sub>2</sub>	
	SO <sub>3</sub>			SO <sub>3</sub>	
2	SO <sub>2</sub>		2	SO <sub>2</sub>	
	SO <sub>3</sub>			SO <sub>3</sub>	

Fonte: os autores

O indivíduo A11, representou a molécula de SO<sub>2</sub>, com ligações simples entre o átomo de enxofre e os átomos de oxigênio, o mesmo erro replica na representação da molécula de trióxido de enxofre (SO<sub>3</sub>), no qual é representada uma ligação simples. Nessa perspectiva, os indivíduos A7 (**Figura 3**) e A8 (**Figura 5**) também representaram incorretamente a molécula de SO<sub>2</sub> com ligações simples entre os átomos de oxigênio e enxofre.

Similarmente, no estudo de Gibin et al. (2016) os sujeitos da pesquisa parcialmente expressaram seus modelos do modo como as moléculas são apresentadas no simulador. Assim, a fim de minimizar equívocos nessa categoria, os autores evidenciam a importância de aprimorar as representações do nível subatômico durante o processo de interação com o *software*.

A figura 4 mostra as representações mentais dos indivíduos A6 e A3, em ambas as etapas, respectivamente, para as moléculas envolvidas no fenômeno de “Efeito Estufa”.

**Figura 4 -** Representações feitas pelos indivíduos A6 e A3, respectivamente

ETAPAS	MOLÉCULAS	REPRESENTAÇÃO	ETAPAS	MOLÉCULAS	REPRESENTAÇÃO
1	CO <sub>2</sub>		1	CO <sub>2</sub>	
	CH <sub>4</sub>			CH <sub>4</sub>	
2	CO <sub>2</sub>		2	CO <sub>2</sub>	
	CH <sub>4</sub>			CH <sub>4</sub>	

Fonte: os autores

Em específico, o indivíduo A6, expressiu a molécula de CO<sub>2</sub>, com ligações simples entre o átomo de carbono e os átomos de oxigênio, o mesmo ocorre na representação do estudante A7 ao representar tracejados em negrito, além disso, o sujeito A3 expressou a molécula de metano (CH<sub>4</sub>) incorretamente, no qual representa ligações duplas entre os átomos de hidrogênio e carbono.

A partir dos modelos expressos, pode-se deduzir que as representações das ligações químicas do simulador podem ter interferido nos modelos expressos pelos indivíduos de forma equivocada, dado que os modelos apresentados pelos estudantes expressam o modo como as moléculas são apresentadas no simulador. Entretanto, destaca-se que mesmo havendo similaridade nas representações, outrora o docente de Química da instituição de ensino lecionou os conceitos químicos envolvidos nessa etapa, bem como o pesquisador revisou os conteúdos químicos para os participantes da pesquisa, dessa forma pode-se deduzir que houve um equívoco por parte dos estudantes.

Em específico, ao fenômeno de efeito estufa, essa categoria é essencial para a representação de modelos acerca da temática, visto que as ligações químicas dessas moléculas interatuam com os fótons infravermelhos emitidos pelos raios solares, de modo a resultar no Efeito Estufa (GIBIN et al., 2016).

Para a análise da geometria molecular dos compostos químicos envolvidos em ambos os fenômenos ambientais em estudo, cerca 50% dos sujeitos representaram corretamente a geometria molecular dos compostos químicos, sem o auxílio do simulador, em contrapartida,

outros 50% dos indivíduos representaram incorretamente a geometria molecular dos compostos químicos evidenciados.

As representações dos estudantes A8 e A4, para as moléculas envolvidos no fenômeno “Chuva ácida”, nas etapas 1 e 2, representam essas classes, conforme mostra a Figura 5.

**Figura 1** - Representações realizadas pelos indivíduos A8 e A4, respectivamente

ETAPAS	MOLÉCULAS	REPRESENTAÇÃO	ETAPAS	MOLÉCULAS	REPRESENTAÇÃO
1	SO <sub>2</sub>		1	SO <sub>2</sub>	
	SO <sub>3</sub>			SO <sub>3</sub>	
2	SO <sub>2</sub>		2	SO <sub>2</sub>	
	SO <sub>3</sub>			SO <sub>3</sub>	

Fonte: os autores

Os modelos expressos pelos sujeitos A11 (**Figura 3**) e A8 (**Figura 5**), exprimem a classe de indivíduos que representaram incorretamente a geometria molecular dos compostos químicos, pois os estudantes expressaram a molécula de SO<sub>2</sub> na conformação linear com ângulo reto de 90°, de modo a desconsiderar a repulsão dos pares de elétrons livres do átomo de enxofre sob os átomos de oxigênio.

Em contrapartida, o indivíduo A4, representou a geometria molecular da molécula SO<sub>2</sub> corretamente na conformação angular com ângulo de aproximadamente 119°. Entretanto, o indivíduo A11, bem como o sujeito A4 cometeram um equívoco ao representarem a geometria molecular da molécula SO<sub>3</sub>, de conformação espacial com ângulo de 90°, entre os átomos de oxigênio e enxofre, de modo a omitir a repulsão entre os átomos de oxigênio e enxofre.

A Figura 6 mostra as representações mentais dos indivíduos A7 e A10, em ambas as etapas, respectivamente, para as moléculas envolvidas no fenômeno “Efeito Estufa”.

**Figura 6 -** Representações produzidas pelos indivíduos A7 e A10, respectivamente

ETAPAS	MOLÉCULAS	REPRESENTAÇÃO	ETAPAS	MOLÉCULAS	REPRESENTAÇÃO
1	CO <sub>2</sub>		1	CO <sub>2</sub>	
	CH <sub>4</sub>			CH <sub>4</sub>	
2	CO <sub>2</sub>		2	CO <sub>2</sub>	
	CH <sub>4</sub>			CH <sub>4</sub>	

Fonte: os autores

Os indivíduos A3 (**Figura 4**), A4 (**Figura 5**), A7 (**Figura 6**), descrevem a classe de sujeitos que representaram corretamente a geometria molecular da molécula de CO<sub>2</sub> na conformação linear. Entretanto, o sujeito A10 cometeu um equívoco ao representar a molécula de CO<sub>2</sub> na conformação angular, sendo a conformação linear a considerada correta.

Nessa perspectiva, os indivíduos A4 (**Figura 5**) e A6 (**Figura 6**) expressaram corretamente a molécula de metano (CH<sub>4</sub>) na conformação tetraédrica com ângulo de aproximadamente 109,5°. Em contrapartida, o indivíduo A10, representou incorretamente a geometria molecular de CH<sub>4</sub> na conformação gangorra, de modo a considerar um par de elétrons livre no átomo de carbono. O mesmo equívoco ocorre na representação da molécula de CH<sub>4</sub> do sujeito A7 (**Figura 3**), ao expressarem a molécula na conformação quadrado plana, de forma a considerar dois pares de elétrons livres no átomo de carbono.

Segundo Majid e Prahani (2017) nessa categoria, a dificuldade dos indivíduos ao expressarem modelos, pode ser atribuída à complexidade de visualização tridimensional dos compostos químicos.

Varela, Sesto e Rodeja (2020) destaca a ampliação do uso dessa ferramenta no ensino de Química, tendo visto que auxilia os estudantes a visualizar tridimensionalmente as estruturas moleculares em estudo, de modo a minimizar as dificuldades dos indivíduos ao representarem seus modelos mentais.

Dessa forma, destaca-se a relevância da análise dessa categoria para representar modelos, visto que os compostos químicos são dispostos na atmosfera na forma tridimensional. Johnson-Laird (1983) aponta que qualquer conjunto de símbolos, representação ou notação é

fundamental para o ensino de Química, pois a partir delas o estudante passa a internalizar o mundo exterior e reconstruí-lo no mundo interior.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em suma, os indivíduos compreenderam a temática abordada, no presente trabalho, visto que houve progresso nos modelos expressos pela maioria dos sujeitos sobre a compreensão dos conceitos e espécies químicas envolvidas nos fenômenos ambientais e seus impactos.

Observou-se que majoritariamente os estudantes expressaram os conceitos químicos atrelados aos fenômenos ambientais, no nível macroscópico adequadamente. Tal resultado corrobora com a literatura, visto que o nível macroscópico se refere ao que as pessoas observam, sendo possível demonstrar por meio de vídeos e experimentos, de modo a proporcionar aos estudantes uma aprendizagem efetiva dos conceitos científicos.

De modo geral, no nível subatômico, os estudantes representaram adequadamente as estruturas moleculares dos compostos químicos envolvidos nos fenômenos ambientais de chuva ácida e efeito estufa. Os equívocos cometidos nas representações mentais pelos estudantes foram comuns, em especial, sobre as ligações químicas e geometria molecular, pois a visualização em três dimensões é um aspecto que pode ter proporcionado tais dificuldades.

Dessa forma, pode-se concluir que o uso de simuladores no ensino de Química, dentro dessa proposta didática, mostrou-se satisfatório, dado que os indivíduos puderam acompanhar a evolução do processo, a partir da interação com o software.

Entretanto, destaca-se a ampliação de estudos, pela comunidade acadêmica, acerca da investigação dos modelos mentais dos estudantes, nos diferentes níveis de representação dos conceitos químicos especificamente subatômico, por meio do uso de recursos pedagógicos, em diferentes níveis de representação, a fim de compreender como os estudantes pensam sobre determinados conceitos científicos e tentar promover melhorias e aproximá-los dos modelos científicos.

## REFERÊNCIAS

CARMO, M. P.; MARCONDES, M. E. R. Abordando soluções em sala de aula: uma experiência de ensino a partir das ideias dos alunos. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 28, n. 9, p. 37-41, dez. 2008.

CRESTANI, E. R. M. F.; KLEIN, C.; LOCATELLI, A. Representação de moléculas com balinhas de goma e o ensino de geometria molecular. In: **II Mostra Gaúcha de Validação de Produtos Educacionais**. Anais da II Mostra Gaúcha de Validação de Produtos Educacionais - UPF, 2016.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de Ciências: fundamentos e métodos**. 3 ed. São Paulo: Cortez Editora. 2009. 368 p.

FLICK, U. **Introdução à Pesquisa Qualitativa**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2009. 405 p.

GIBIN, G. B.; FERREIRA, L. H. Contribuições de formas de coleta de dados para a investigação de modelos mentais sobre o fenômeno de dissolução de compostos iônicos. In: **XV Encontro Nacional de Didática e Prática de Ensino**. Anais do XV Encontro Nacional de Didática e Prática de Ensino - UFMG, 2010.

GIBIN, G. B. *et al.* Investigação sobre modelos mentais de alunos do Ensino Médio sobre o efeito estufa: uso de simulações computacionais como auxílio no desenvolvimento. In: **XVIII Encontro Nacional de Ensino de Química**. Anais do XVIII Encontro Nacional de Ensino de Química - UFSC, 2016.

HESTNESS, E.; MCGINNIS, J. R.; BRESLYN, W. Examining the relationship between middle school students' sociocultural participation and their ideas about climate change. **Environmental Education Research**, United Kingdom, v. 25, n. 6, p. 912-924, 2019.

JOHNSON-LAIRD, P. N. **Mental models: towards a cognitive science of language, inference, and consciousness**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1983.

JOHNSTONE, A. H. The development of chemistry teaching. **University Chemistry Education**, Cambridge, v. 70, n. 9, p. 701-705, 1993.

JOHNSTONE, A. H. Chemical education research: where from here? **University Chemistry Education**, Cambridge, v. 4, n. 1, p. 34-38, 2000.

LOPES, F. A. M. H *et al.* Modelos Mentais: Uma construção teórica significativa no processo de ensino-aprendizagem de Química. In: **I Encontro Regional de Química/ IV Semana de Química da UFCG**. Anais do I Encontro Regional de Química/ IV Semana de Química da UFCG - UFCG, 2018.

MAJID, A.; PRAHANI, B. K. Analyze of Students' Learning Outcomes Based On Mental Models of Atomic Structure. **IOSR J. Res. Method Educ**, New York, v. 7, n. 1, p. 120-124, 2017.

MARQUES, D. A. **Estudo do desenvolvimento de modelos mentais sobre o conceito de ligações químicas e sua relação com obstáculos epistemológicos**. 2015. Dissertação (Mestrado em Química), Universidade Federal do Amazonas, Manaus/AM, 2015, 177 p.

MOREIRA, M. A. Modelos mentais. **Investigações em ensino de ciências**, Porto Alegre, v. 1, n. 3, p. 193-232, 1996.

MUENCHEN, C.; DELIZOICOV, D. Os três momentos pedagógicos e o contexto de produção do livro “Física”. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 20, n. 3, p. 617-638, 2014.

SANTOS, W. L. P.; SCHNETZLER, R. P. **Educação em Química**: compromisso para cidadania. Unijuí: Ijuí, 2003.

THACKER, I.; SINATRA, G. M. Visualizing the greenhouse effect: Restructuring mental models of climate change through a guided online simulation. **Education Sciences**, Los Angeles, v. 9, n. 1, p. 14, 2019.

UPAHI, J. E.; RAMNARAIN, U. Representations of chemical phenomena in secondary school chemistry textbooks. **Chemistry Education Research and Practice**, United Kingdom, v. 20, n. 1, p. 146-159, 2019.

VARELA, B.; SESTO, V.; RODEJA, I. G. An investigation of secondary students’ mental models of climate change and the greenhouse effect. **Research in Science Education**, Springfield, v. 50, n. 2, p. 599-624, 2020.

WIEMAN, Carl. **PhET interactive simulations**. 2002. Disponível em:  
<[https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/](https://phet.colorado.edu/pt_BR/)>. Acesso em: 16/03/2020.

**Submetido em:** 23 de dezembro de 2021.

**Aprovado em:** 25 de janeiro de 2022.

**Publicado em:** 02 de fevereiro de 2022.