

Processos de Produção de Representações Vivenciados por Estudantes em Contextos de Ensino Fundamentado em Modelagem

Processes of Creation of Representations Experienced by Students in Modelling-based Teaching Contexts

Procesos de producción de representaciones vividas por los estudiantes en contextos de enseñanza basados en la modelización

Helen Bicalho

Universidade Federal de Minas Gerais [UFMG], Belo Horizonte, MG, Brasil

 <https://orcid.org/0000-0001-9546-7751>

Leandro Oliveira

Universidade Federal de Minas Gerais [UFMG], Belo Horizonte, MG, Brasil

 <https://orcid.org/0000-0002-5597-3438>

Rosária Justi

Universidade Federal de Minas Gerais [UFMG], Belo Horizonte, MG, Brasil

 <https://orcid.org/0000-0001-6535-5046>

E-mail de correspondência: rosariajusti@gmail.com

Recebido em: 29 set 2021 • Aceito em: 20 out 2021 • Publicado em: 16 fev 2022

DOI: 10.12957/impacto.2022.65299

Resumo

Um dos objetivos da Educação em Ciências é que estudantes construam conhecimentos e desenvolvam habilidades que os capacitem a atuar como cidadãos críticos na sociedade. Em relação à Química, aspectos relacionados à compreensão e ao uso de seus três níveis (macroscópico, submicroscópico e simbólico); às transições entre estes três níveis visando uma melhor compreensão de ideias e fenômenos; e à expressão de conhecimentos em diferentes modos de representação são essenciais. Nesse sentido, o envolvimento de estudantes em práticas científicas tem-se mostrado uma



abordagem profícua. Visando investigar a utilização de modos de representação por estudantes ao participarem de atividades centradas em uma dessas práticas – a modelagem –, identificamos e analisamos os modos de representação usados por eles, assim como possíveis relações entre a utilização desses modos e aspectos vivenciados em diversas etapas do processo de modelagem. O estudo envolveu 13 estudantes do terceiro ano do Ensino Médio que participaram de um curso extraclasse cujas atividades se baseavam em modelagem. Os dados foram coletados a partir de gravações em áudio e vídeo das aulas, que foram transcritas e analisadas qualitativamente. Os resultados evidenciam que os contextos de modelagem, a natureza das entidades modeladas, os modos de se promover uma instrução coerente com o referencial teórico adotado por quem conduz o ensino e a criatividade dos estudantes são elementos essenciais para que eles possam comunicar suas ideias criando e utilizando representações. A discussão dos resultados visa contribuir tanto para a literatura da área quanto para fomentar ações docentes relacionadas ao tema.

Palavras-chave: Representações; Ensino fundamentado em modelagem; Ensino de química.

Abstract

One of the aims of science education is to help students to construct knowledge and develop skills that support their actions as critical citizens. Regarding chemistry, aspects related to: the understanding and use of its three levels (macroscopic, sub microscopic, and symbolic); the transitions among them aiming at a better understanding of ideas and phenomena; and the expression of knowledge in different models of representation are essential. Thus, the participation of students in scientific practices has been a fruitful approach. In order to study students' use of modes of representation when participating in activities based on one of these practices – modelling – we identified and analysed the modes of representation they have used, as well as the possible relations between the use of such modes and aspects they have experienced in distinct stages of the modelling process. The sample was comprised by 13 students (aged 15-16 years) who participated in an extra modelling-based course. Data were collected from audio and videorecording of the classes, that were transcribed and analysed qualitatively. The results show that the modelling contexts, the nature of the entities modelled, the conduction of teaching in accordance with the theoretical background adopted, and students' creativity were essential elements to foster students' creation and use of representations when communicating their ideas. The discussion of the results support contributions to the literature as well as teaching actions concerning teaching from such an approach.

Keywords: Representations; Modelling-based teaching; Chemistry teaching.



Resumen

Uno de los objetivos de la Educación en Ciencias es que los estudiantes construyan conocimientos y desarrollen habilidades que les permitan actuar como ciudadanos críticos en la sociedad. En cuanto a la Química, aspectos relacionados con la comprensión y uso de sus tres niveles (macroscópico, sub-microscópico y simbólico); transiciones entre estos tres niveles con el objetivo de una mejor comprensión de las ideas y los fenómenos; y la expresión del conocimiento en diferentes modos de re-presentación son esenciales. En este sentido, la implicación de los estudiantes en las prácticas científicas ha demostrado ser un enfoque fructífero. Con el objetivo de investigar el uso de modos de re-presentación por parte de los estudiantes cuando participan en actividades centradas en una de estas prácticas - modelado -, identificamos y analizamos los modos de representación utilizados por ellos, así como las posibles relaciones entre el uso de estos modos y aspectos experimentado en diferentes etapas del proceso de modelado. El estudio involucró a 13 estudiantes de tercer año de secundaria que participaron en un curso extracurricular cuyas actividades se basaron en el modelado. Los datos fueron recolectados a partir de grabaciones de audio y video de las clases, que fueron transcritas y analizadas cualitativamente. Los resultados muestran que los contextos de modelado, la naturaleza de las entidades modeladas, las formas de promover una instrucción coherente con el marco teórico adoptado por quienes conducen la enseñanza y la creatividad de los estudiantes son elementos esenciales para que estos puedan comunicar sus ideas mediante la creación y el uso de representaciones. La discusión de los resultados tiene como objetivo contribuir a la literatura en el área y promover acciones de enseñanza relacionadas con el tema.

Palabras-clave: Representaciones; Enseñanza basada en modelos; Enseñanza de la química.



INTRODUÇÃO

Na Educação em Ciências, uma prática comum nas salas de aula é a representação. De acordo com Prain e Tytler (2013), há um reconhecimento crescente na literatura desta área de que estudantes precisam aprender a interpretar e construir representações de entidades, conceitos e processos científicos em contextos de aprendizagem nos quais as representações envolvem ambos os processos: saber e conhecer sobre o assunto. Nesses contextos, é esperado que estudantes reconheçam as diferenças entre ideias, as diferentes maneiras como essas ideias podem ser representadas e os fenômenos a que elas se referem. Isso implica que todas as tentativas de se entender ou explicar conceitos em Ciências envolvem trabalho representacional no qual estudantes devem se apropriar e dominar recursos representacionais adequados para dar sentido aos conceitos científicos (PRAIN e TYTLER, 2013).

A representação de conceitos científicos, com foco nos conhecimentos químicos, é inerentemente multimodal, ou seja, envolve a combinação de mais de um modo de representação (CHENG e GILBERT, 2009) e, muitas vezes associações entre diferentes níveis de representação. Nesta perspectiva, o aprendizado bem-sucedido de Ciências envolve associações entre o que estudantes pensam e o que eles representam (CHENG e GILBERT, 2009). Em relação à Química, por exemplo, estes autores enfatizam que estudantes devem realizar processos intramentais relacionando os níveis macroscópico (observável), submicroscópico (não observável) e simbólico (representacional) de fenômenos químicos (denominados originalmente por Johnstone (1982) como descritivo, explicativo e representacional) e externalizá-los, no nível intermental, usando diferentes modos de representação.

Apesar da importância das representações na Química, Wu e Shan (2004), em uma parte de sua revisão da literatura, fornecem uma visão geral sobre estudos correlacionais de erros conceituais de estudantes e dificuldades na compreensão de representações visuais. Justi e Mozzer (2011) afirmam que há muitas razões que podem justificar tal dificuldade, dentre as quais se destacam a falta de foco no nível macroscópico e/ou em suas relações com os outros níveis em contextos de ensino; a complexidade de representar mentalmente entidades submicroscópicas e relacionamentos que as envolvem; e o mau-entendimento sobre variados códigos de representação usados no nível simbólico.



Tendo em vista que, para desenvolver o conhecimento químico, estudantes devem saber usar os três níveis de representação (macroscópico, submicroscópico e simbólico) e expressar tal conhecimento em diferentes modos de representação, quando necessário, eles também são convidados a transitar entre estes três níveis visando uma melhor compreensão de aspectos particulares de um fenômeno. Diante disso, emerge a necessidade de o ensino de Ciências se basear em abordagens que favoreçam o desenvolvimento de uma fluência nesta transição (JUSTI et al., 2009). Em nosso Grupo de Pesquisa, temos buscado atingir tal objetivo a partir do uso de modelos e do Ensino Fundamentado em Modelagem (EFM), isto é, do envolvimento de estudantes em atividades que favoreçam a construção de conhecimentos a partir da vivência de todas as etapas dos processos de elaboração, revisão e utilização de modelos (modelagem) (GILBERT e JUSTI, 2016).

Um modelo é sempre produzido inicialmente na mente de uma pessoa, sendo então chamado de modelo mental (CLEMENT, 1989; GILBERT e JUSTI, 2002) ou proto-modelo (GILBERT e JUSTI, 2016). Para fins de comunicação, o proto-modelo deve se deslocar do plano intramental para o intermental, ou seja, deve ser expresso em diferentes modos de representação, com destaque para os modos concretos, verbais, matemáticos, visuais, gestuais ou uma junção destes (JUSTI et al., 2009).

Não existe uma correspondência restrita entre o nível da entidade cujo modelo está sendo expresso (macro ou submicro) e o modo de representação usado para fazê-lo. Aspectos de ambos os níveis podem ser expressos em todos os modos de representação, enquanto aspectos do nível simbólico são geralmente expressos como modos verbal ou matemático. Isso indica a importância do uso de vários modos de representação em uma compreensão mais abrangente dos três níveis representacionais (JUSTI et al., 2009).

Com a intenção de investigar a utilização de modos de representação por parte de estudantes, em diferentes contextos de modelagem, neste trabalho, identificamos e analisamos os modos de representação usados por eles, assim como possíveis relações entre a utilização desses modos e aspectos vivenciados em diversas etapas do processo de modelagem. Desta maneira, pretendemos contribuir tanto para a literatura da área quanto para fomentar ações docentes relacionadas ao tema.

Referencial Teórico

Papel das Representações em Ciências



Bodner e Domin (2000) afirmam que é muito importante distinguir entre representações internas, isto é, informações construídas e armazenadas na mente (visualizações), e representações externas, que são as manifestações expressas dessas informações. Gilbert (2008) se apropria dessas definições e as amplia, destacando que representação interna é também aquela que denota a criação de um modelo mental ou visualização e que representação externa é a produzida a partir de um ou mais modos de representação. Em contato com uma representação externa, outro indivíduo pode formar, internamente, uma representação do modelo mental do primeiro indivíduo, processo que gera, então, uma nova representação interna (possivelmente diferente da original). Dessa maneira, quando pensamos nos significados do termo representação, podemos partir da ideia de que representar envolve externalizar uma ideia. Diante disto, neste trabalho adotamos o termo visualização para indicar o que é criado internamente na mente de um indivíduo, e o termo representação para indicar o que é externalizado.

Para que representações façam sentido para uma pessoa, é necessário que ela tenha a capacidade de visualização. Gilbert (2008) explica que esta capacidade pode ser manifestada com um propósito particular, por meio da produção ou expressão de uma versão da entidade original. Ainda segundo o autor, uma visualização tem que ser útil ao indivíduo auxiliando-o no desempenho de funções, tais como as de fazer previsões sobre o comportamento de um fenômeno sob condições específicas, fazer alterações no significado dado a determinado fenômeno, e transitar, durante a compreensão do fenômeno em estudo, entre os três níveis representacionais. Além disso, por meio de um processo criativo, é possível que visualizações sejam reformuladas para formar uma nova visualização que, por sua vez, pode originar uma nova representação.

Gilbert e Justi (2016) afirmam que entidades ou fenômenos podem ser compreendidos, explicados, visualizados ou representados em diferentes perspectivas, vistos os objetivos ou contextos nos quais eles existem ou são referenciados. Considerando tal versatilidade, os autores apresentam uma tipologia de modos de comunicação na qual tais modos são divididos em três tipos: modo baseado no toque, que se subdivide nos modos gestual e concreto; modo baseado na visão, que se subdivide em modo simbólico e visual; e modo verbal. A Figura 1 caracteriza cada um desses modos e seus submodos.

A Figura 1 enfatiza diferentes modos de representar entidades, o que aponta para uma variedade de possibilidades de expressá-las. Além disto, dois ou mais indivíduos podem comunicar algo usando modos distintos, o que garante um multiverso de possibilidades. Assim, não se pode afirmar que existe apenas um modo válido para representar uma entidade, uma vez que cada representação



sofre influências do foco teórico usado como estruturante e guia, ocasionando no reconhecimento de suas limitações e possibilidades que salientam sua significância em termos de affordances (GIBSON, 1986), termo entendido por nós como potencialidades.

Figura 1
Características e Objetivos de Modos e Submodos de Representação

Modos baseados no toque	
<p>Modo gestual: Uso de gestos Esse modo se subdivide em:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gestos dêiticos: dar ênfase a uma entidade real ou imaginária; • Gestos metafóricos: comparar uma abstração a algo familiar; • Gestos emblemáticos: enfatizar a semântica do discurso, o significado que está sendo transmitido; • Gestos destacando o tempo: enfatizar a importância do tempo ou o número de ocorrências do que foi dito. 	<p>Modo concreto: Uso de objetos concretos Esse modo se subdivide em:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Homeomorfos: produzira representação de uma entidade que evidencie uma aparência muito semelhante, mas em tamanho maior ou menor do que o original. Também chamado de <i>em escala</i>; • Paramorfos: produzir a representação de uma entidade com aparência diferente do original, mas relacionada analogicamente. Também chamados de <i>analógicos</i>.
Modos baseados na visão	
<p>Modo simbólico: representações estáticas (fotos, diagramas, figuras, mapas, tabelas, equações etc.)</p>	<p>Modo visual: representações dinâmicas (filmes, vídeos, animações, simulações etc.)</p>
Modo verbal	
<p>Uso de palavras (na forma oral ou escrita) para descrever as entidades e suas relações em uma representação, assim como para explorar as metáforas e analogias nas quais um modelo se baseia.</p>	

Fonte: Adaptado de Gilbert e Justi, 2016

Modelos e Modelagem em Ciências

Em Ciências, modelos têm sido entendidos a partir de diferentes visões, tais como a visão de modelos como representações parciais, adotada por Morrison e Morgan (1999) e a visão de modelos como artefatos epistêmicos, apresentada por Knuuttila (2005), na qual, nos apoiamos neste artigo. Para esta autora, artefatos epistêmicos são artefatos intencionalmente construídos e materialmente incorporados, com status individual de ferramentas de pensamento. Além disso, ela sugere que modelos estão intimamente envolvidos nos processos de produção e investigação, fatores

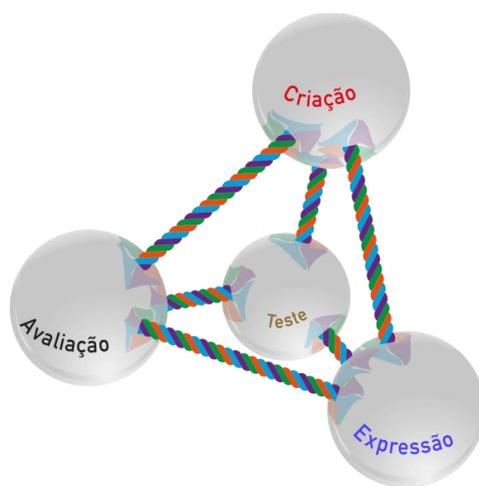


determinantes para atribuição de seu valor epistêmico. Assim, modelos podem operar não apenas como ferramentas e geradores de inferências, mas também como objetos de investigação em práticas científicas.

Pautados nesta visão, Gilbert e Justi (2016) afirmam que modelos são ferramentas de pensamento cujos objetivos são relacionados a práticas epistêmicas, tais como comunicar, validar e legitimar conhecimentos (KELLY, 2008); e a práticas científicas, como simplificar, explicar, abstrair, argumentar, prever, representar, projetar experimentos etc. Tais autores também definem modelagem como um processo cíclico, criativo, não linear, não predeterminado e, portanto, dinâmico de elaboração, reformulação e utilização de modelos. Pautando-se nessas considerações, Gilbert e Justi caracterizam os processos de modelagem (representado na Figura 2) como envolvendo quatro etapas criação, expressão, teste e avaliação que podem ocorrer em ordens variadas ou mesmo simultaneamente.

Figura 2

Diagrama Modelo de Modelagem v.2: Representação do Processo de Modelagem



Fonte: Adaptado de Gilbert e Justi, 2016, p. 36

De acordo com Gilbert e Justi (2016), estas etapas possuem subetapas e podem ser caracterizadas da seguinte maneira:

- **Criação:** é a etapa motivada pela definição dos objetivos do modelo a ser elaborado ou pela compreensão dos mesmos. Para que um modelo seja criado, é necessário obter informações sobre a entidade a ser modelada e selecionar uma base (geralmente analógica ou matemática) para estabelecer os raciocínios iniciais. A integração dessas subetapas, somada à criatividade e ao raciocínio crítico do(s) sujeito(s) que conduz(em) o processo, resulta na elaboração de um proto-modelo;



- **Expressão:** é a etapa na qual o(s) sujeito(s) seleciona(m) o(s) modo(s) de representação para expressar seu proto-modelo. Simultaneamente ou imediatamente após a seleção de um ou mais modos de representação, o(s) sujeito(s) define(m) os códigos de representação, isto é, o significado de cada detalhe utilizado para materializar o modelo;
- **Teste:** é a etapa na qual é realizada a verificação sobre a adequação do modelo aos objetivos para os quais ele foi elaborado. Os testes podem ser empíricos e/ou mentais dependendo, principalmente, da natureza da entidade modelada e dos recursos disponíveis. Caso o modelo não atenda aos objetivos para os quais foi elaborado, ele deve ser modificado ou rejeitado. Quando o modelo é rejeitado, é necessário reiniciar o processo de modelagem;
- **Avaliação:** é a etapa na qual ocorre a verificação da abrangência e das limitações do modelo elaborado. Isto é feito a partir de sua utilização em outro contexto. Nesta etapa, o(s) sujeito(s) tenta(m) convencer outro(s) sujeito(s) de que seu modelo é mais abrangente, por exemplo, por poder ser utilizado para explicar novos aspectos envolvidos no segundo contexto.

Gilbert e Justi (2016) escolheram o tetraedro para representar o processo de modelagem (Figura 2), em virtude de esta ser uma forma geométrica que apresenta quatro vértices equidistantes uns dos outros, podendo ser girada sem que as relações entre os vértices sejam alteradas. Isto permite representar as etapas do processo de modelagem salientando que elas não apresentam ordens específicas de ocorrência. Por exemplo, um proto-modelo pode ser testado mentalmente, antes mesmo de ser expresso, assim como um modelo pode ser testado e avaliado simultaneamente. Portanto, tal forma geométrica reforça a ideia de que o processo é cíclico, porém, não linear, não predeterminado e, conseqüentemente, dinâmico.

Em todas as etapas da modelagem, o(s) sujeito(s) que as conduzem lida(m) com a relação entre representações e visualizações, uma vez que representações imagéticas permeiam todas elas. Por exemplo, experimentos mentais, apesar de serem realizados principalmente na etapa de testes de um modelo, também podem surgir nas etapas de criação de um proto-modelo, expressão e avaliação (GILBERT e JUSTI, 2016). Nesse contexto, uma das ações centrais para a representação de uma visualização é a seleção de um ou mais modos de representação. Tal seleção pode se pautar: no(s) objetivo(s) do modelo; na natureza dos aspectos representados (estáticos ou dinâmicos, concretos ou abstratos); nas práticas epistêmicas envolvidas na elaboração ou manipulação do modelo; e no público-alvo. Durante ou após a seleção do(s) modo(s) de representação de um dado modelo, é preciso definir o(s) código(s) de representação, ou seja, o significado de detalhes específicos do artefato resultante



(por exemplo, cores ou outros recursos gráficos diferentes). No entanto, as ideias expressas em uma representação podem não coincidir totalmente com as do protótipo que a originou (GILBERT e JUSTI, 2016). Isto ocorre porque nem todos os elementos ou aspectos do que está na mente podem ser representados. Gilbert e Justi (2016) explicam que isso pode ser resultado de limitações inerentes aos modos de representação que se relacionam parcialmente à visualização, ou porque tais modos requerem especificidades e sofisticação, além de habilidades e conhecimentos por parte de quem elabora o modelo.

Representações, Visualizações e Modelagem na Educação em Ciências

Gilbert e Justi (2016) afirmam que estudantes precisam ser capazes de demonstrar suas habilidades e competências em representação e visualização relacionando modelos a aspectos da realidade particularmente necessários ao aprendizado de Ciências. Diante disto, os autores apontam quatro ênfases necessárias em contextos de criação ou uso de representações no ensino de Ciências: compreensão completa dos códigos de representação de modos e submodos de representação usados; capacidade de traduzir um determinado modelo entre os modos de representação que são apropriados; capacidade de construir representação em qualquer um dos modos e submodos usados; e capacidade de usar adequadamente uma representação para resolver problemas novos em relação a um determinado fenômeno que esteja sendo estudado.

Bodner e Domin (2000) afirmam que, quando modelos são o objeto central nas pesquisas em Educação em Ciências, é comum configurá-los em contextos de visualização ou de representação. Contudo, assim como Puig et al. (2017), consideramos que esses dois processos são indissociáveis, ou seja, são interdependentes um do outro. Isso foi parcialmente constatado quando estas pesquisadoras investigaram como estudantes construíram e usaram modelos concretos no estudo de Genética. Por exemplo, elas observaram que os estudantes construíram modelos para explicar processos de transcrição de DNA/RNA relacionando-os aos processos mentais e que tal relacionamento era dinâmico. A partir disso, as autoras interpretaram que as representações estão em indissociável interação com as visualizações visto que, no processo de representar um modelo, é necessário gerar uma visualização da entidade a ser modelada ou, em sentido inverso, para gerar uma visualização, é necessário obter dados (externos) da entidade a ser visualizada. Ademais, assim como Kokkonen (2017), concordamos que tais processos são complexos. Apesar da complexidade, esses processos são recorrentes porque há um fluxo contínuo e alternado de criação de visualizações e representações,



originado a partir de raciocínios e de domínio e apropriação de modos de representação pelos sujeitos (WERTSCH, 1998), acesso às informações contextuais e (possivelmente) na interação com outros membros de uma comunidade situada.

Para Boulter e Buckley (2000), a utilização de multimodos de representação na modelagem escolar apresenta muitas vantagens, além de possibilitar representar um único fenômeno de diferentes maneiras. Segundo as autoras, escolher um ou mais modos de representação apropriado(s) para a expressão de modelos é crucial para o desenvolvimento de habilidades de pensamento. Contudo, Steiff et al. (2011) nos lembram que, para isso, estudantes devem mobilizar multimodos de representação, o que exige deles habilidades e capacidades para mapear ou coordenar diversas representações. Kokkonen (2017) ilustra situação semelhante no contexto de modelagem computacional. Segundo o autor, é necessário que estudantes tenham conhecimentos técnicos básicos sobre computação para a elaboração de modelos computacionais e/ou matemáticos a partir do artefato tecnológico em uso. Assim, diferentes formas de representação podem apoiar ou dificultar o raciocínio e a aquisição de conhecimento relacional, que podem influenciar no aprendizado de conceitos científicos específicos.

Alguns pesquisadores buscaram explorar aspectos relacionados à representação em contextos de EFM. Por exemplo, Hitt e Townsend (2015) verificaram que representações visuais usadas por estudantes na elaboração de modelos atuaram como um caminho para o desenvolvimento de suas aprendizagens sobre temperatura e calor, transitando de uma conceitualização empírica a uma abstrata. Eilam e Reifeld (2017) investigaram como estudantes utilizaram representações em perspectiva nos níveis macro e micro no estudo de crescimento e equilíbrio populacional no contexto de Ecologia. Nesse contexto, a maioria dos estudantes melhorou significativamente a compreensão de sistemas populacionais complexos e apresentou um aprimoramento no conhecimento conceitual. No entanto, uma análise de estudantes específicos revelou uma diversidade de níveis de sistematização do pensamento simultâneo e dinâmico e de dificuldades em relação aos conceitos. Além disso, o uso de simulações envolvendo os níveis macro e micro, pelos estudantes: (i) refinou suas percepções sobre o comportamento do sistema dinâmico estudado; (ii) aprofundou suas compreensões conceituais; (iii) forneceu informações complementares nessas duas perspectivas; (iv) favoreceu um vínculo dinâmico entre as representações do sistema; (v) permitiu a clara distinção entre tipos de representações; e (vi) favoreceu a visualização do nível macro como emergente das interações de nível micro. Por fim, na visão dos autores, o uso de simulações como base das atividades desenvolvidas promoveu: (i) melhoria na compreensão em termos conceituais e de habilidades de pensamento (por exemplo, de investigação estruturada, do uso de múltiplas representações complementares, de tradução e transição entre



diferentes representações); (ii) aumento de flexibilidade cognitiva e de construção de relações entre os níveis macro e micro do sistema; e (iii) transições coerentes entre os níveis macro e micro em termos de equilíbrio populacional na Ecologia.

No EFM, Gilbert e Justi (2016) destacam a etapa de expressão do modelo como potencial para a ocorrência dos processos de representar e visualizar, justificando que:

As atividades de modelagem podem apoiar a experiência de estudantes nesta etapa, solicitando que eles não apenas expressem seus modelos, mas também que expliquem por que um determinado modo de representação está sendo usado e o significado dos códigos de representação utilizados em cada um deles. Esse tipo de explicação é importante porque pode apoiar o entendimento de estudantes de que cada modo permite a representação de elementos específicos, bem como que o uso de cada um deles exige operações cognitivas distintas (p. 70).

Assim como Gilbert e Justi (2016) e Kokkonen (2017), defendemos o incentivo de elaboração de visualizações e representações no EFM. Contudo, mesmo sendo processos recorrentes nesta estratégia de ensino, Gilbert e Justi (2016) consideram que reconhecer a construção de uma visualização a partir de uma representação e vice-versa, como importantes subprocessos na modelagem, foi algo negligenciado (ou não destacado) em outras propostas que buscam caracterizá-la na Ciência. Além disso, consideramos que essa negligência também possa estar relacionada à dificuldade de se obter evidências consistentes sobre esses subprocessos. Isso pode ser um dos motivos de não encontrarmos, em nossa busca na literatura de Educação em Ciências, pesquisas empíricas que investigam as relações entre visualizações e representações, de modo dinâmico e recorrente, promovidas por estudantes em contextos de EFM.

Questões de Pesquisa

A partir dos referenciais apresentados no item anterior e considerando a importância de se estudar as relações entre vivência de atividades de modelagem e utilização de modos e submodos de representação, apontada em alguns dos estudos discutidos, os objetivos deste estudo podem ser expressos nas seguintes questões de pesquisa:

- Quais modos e/ou submodos de representação são utilizados por estudantes para produzir representações nas etapas de ensino fundamentado em modelagem vivenciadas por eles?
- Existem relações entre os modos e/ou submodos de representação e as etapas de modelagem vivenciadas pelos estudantes? Em caso afirmativo, quais são elas?



- Quais aspectos influenciam na mobilização de modos de representação por estudantes ao vivenciarem o processo de modelagem em contextos de ensino?

Aspectos Metodológicos

Esta pesquisa foi realizada a partir de um curso extraclasse ofertado por uma professora de Química para estudantes do terceiro ano do Ensino Médio. Este curso foi ministrado em uma Universidade Federal localizada no Sudeste brasileiro. Treze estudantes de escolas situadas na cidade, cuja faixa etária variava entre 16 e 18 anos, participaram do mesmo. O curso contemplou sete encontros que ocorreram semanalmente, com duração aproximada de três horas cada. Para isso, os estudantes se deslocavam para o campus da Universidade nos dias e horários marcados para os encontros do curso, que também foi acompanhado por duas pesquisadoras.

Nesse curso, a professora regente aplicou uma sequência didática, cujas atividades favoreceram aos estudantes vivenciar todas as etapas do processo de modelagem. As atividades eram divididas em três diferentes contextos de modelagem: cotidiano, científico e sociocientífico. No presente estudo, analisamos os dados das atividades de contextos cotidiano e científico, por terem gerado informações suficientes para a análise dos modos e submodos de representação atrelados às visualizações.

A modelagem de contexto cotidiano é contemplada nas Atividades 1, 2 e 3 e tem como objetivos favorecer a vivência de um processo de modelagem simples e a compreensão geral dos estudantes sobre o significado de modelos. Entre um contexto e outro, são desenvolvidas as Atividades 4 e 5 visando discutir, respectivamente, possibilidades de representar uma entidade de diferentes formas e fazer um levantamento dos objetos plásticos que os estudantes usam no dia a dia (contextualizando, assim, as atividades de modelagem no contexto científico). A modelagem de contexto científico envolve as Atividades 6, 7, 8 e 9 e tem como objetivo favorecer a aprendizagem do tema científico plásticos a partir da elaboração de modelos que expliquem, no nível submicroscópico, estruturas, propriedades e comportamentos de tipos de plásticos frente a experimentos específicos. Na Figura 3 é apresentada uma breve caracterização das atividades relacionadas aos processos de modelagem.



Figura 3
Caracterização das Atividades de Modelagem de Contextos Cotidiano e Científico

Contexto	Atividade	Caracterização
Cotidiano	1	Construir um modelo que explique o funcionamento de uma máquina de vender latas de refrigerante. Para tanto, devem ser considerados todos os aspectos possíveis, como recebimento de dinheiro, sistema de refrigeração etc.
	2	Discutir se e como o modelo proposto na Atividade 1 explica as novas situações e observações fornecidas na atividade. Caso não explique, reformular o modelo e apresentar as modificações para a turma. Situações e observações fornecidas na atividade: <ul style="list-style-type: none"> • Situação 1: Deixar a máquina desligada e, em seguida, colocar uma moeda. Observação: O refrigerante não é servido. • Situação 2: Desligar a máquina por duas horas. Ligar novamente e colocar uma moeda. Observação: A máquina não serve a bebida imediatamente. Após alguns minutos, a máquina começa a trabalhar e, decorrido certo tempo, ao ser inserida uma moeda, o refrigerante é servido.
	3	Analisar e discutir se os modelos propostos nas Atividades 1 e 2 conseguem explicar o funcionamento de um caixa eletrônico.
Científico	6	Fazer previsões sobre o comportamento de pedaços de sacola plástica e de carcaça de TV antes de tentar dobrá-los e explicar as previsões. Logo após, fazer os testes empiricamente e explicar o comportamento observado.
	7	Considerando as observações feitas na Atividade 6 sobre o comportamento dos materiais, elaborar modelos que expliquem, no nível submicroscópico, seus comportamentos antes e após a tentativa de dobrá-los. Explicar as características dos modelos elaborados e justificar os materiais usados. Convencer os colegas de que os modelos elaborados explicam as observações feitas.
	8	Considerando os modelos elaborados na Atividade 7, prever o comportamento dos materiais frente a um experimento hipotético de aquecimento desses materiais e justificar se os modelos explicam as previsões realizadas. Os estudantes devem assistir ao vídeo no qual o aquecimento dos dois materiais é realizado e discutir se seus modelos possibilitam explicar as novas observações. Em caso negativo, eles devem reformular seus modelos com esse objetivo.
	9	Fazer previsões em relação ao comportamento de um pedaço de pneu nas situações de tentativa de dobrá-lo e de aquecê-lo. Logo após, tentar dobrar o pedaço de pneu, assistir ao vídeo que mostra o aquecimento deste material e anotar as observações. Discutir a abrangência e possíveis limitações do modelo do grupo quando utilizado neste contexto.

Fonte: Adaptado de Gilbert e Justi, 2016



A professora conduziu as atividades de modelagem com os estudantes organizados em três grupos de 3 a 5 integrantes. As pesquisadoras presentes auxiliaram a professora em momentos específicos do curso, por exemplo, aqueles relacionados à organização dos grupos e participando de discussões com os estudantes.

Todos os encontros foram registrados em áudio e vídeo. O registro em áudio a partir da utilização de um gravador, em cada um dos três grupos, foi feito visando ter acesso às discussões dos estudantes ao longo do desenvolvimento das atividades. Por sua vez, o registro em vídeo, principal método de coleta de dados, foi feito por meio de duas câmeras filmadoras, uma posicionada para registrar a performance da professora e outra para registrar a performance dos estudantes. Tais gravações foram importantes por permitir registrar aspectos que vão além da fala (GARCEZ et al., 2011); observar possíveis relações entre discurso oral e comportamento (PINHEIRO et al., 2005); revisitar os dados quando necessário (LEONARDOS et al., 1999); e selecionar o que era de interesse a partir das questões de pesquisa (SADALLA et al., 2004).

Para analisar os dados, escolhemos um dos grupos, que era composto por cinco integrantes, sendo três do sexo feminino e dois do sexo masculino. Utilizamos como principal critério de escolha deste grupo o engajamento dos estudantes na realização e nas discussões das atividades propostas, aspectos identificados com base no relato das pesquisadoras presentes, nas nossas observações das gravações em vídeo e nas informações contidas nos áudios que escutamos durante o tratamento e análise dos dados. Após essa seleção, transcrevemos o discurso proferido pelos estudantes do grupo. A transcrição do discurso foi importante para oportunizar a análise, ampliando o alcance dos fenômenos estudados (DURANTI, 1997).

A partir dos registros em áudio e vídeo, bem como das transcrições, identificamos e classificamos os modos e submodos de representação (Figura 1) utilizados pelos estudantes durante as interações entre eles e entre eles e a professora.

Inicialmente, buscamos identificar gestos usados por estudante(s) para representar aspectos da entidade visualizada. Tais gestos foram relacionados ao modo verbal usado pelo(s) estudante(s), nas falas proferidas durante a explicação proposta. A partir disso, as características associadas aos gestos foram identificadas, o que favoreceu a classificação dos mesmos a partir do referencial utilizado. Por exemplo, isso ocorreu quando a professora solicitou que os estudantes elaborassem modelos para explicar o funcionamento da máquina de vender latas de refrigerante. Naquele momento, a visualização foi expressa por um dos estudantes por meio dos modos gestual e verbal: “a gente coloca



o dinheiro lá (...) aí ele cai (...) na hora que a moeda cai, parece que tem um sensor lá dentro que faz com que abra alguma coisa lá que faz a lata de refrigerante cair”. Essa visualização, representada pela fala e por gestos, indicava entrada de dinheiro e o caminho percorrido por ele dentro da máquina até resultar na liberação de refrigerante, tal qual foi solicitado pela professora. A análise da expressão dos modos gestual e verbal associado à externalização da visualização possibilitou a classificação dos gestos como emblemáticos por se relacionarem à semântica de movimento no interior da máquina. Na sequência, cada um dos modos e submodos identificados nas ações dos estudantes, ao longo da realização das atividades, foi associado às etapas do EFM como caracterizadas por Gilbert e Justi (2016). Cada um dos três autores realizou a análise de forma independente e, após triangulação dos resultados, as divergências foram discutidas até o estabelecimento de um consenso entre eles.

Em seguida, contabilizamos a quantidade de vezes que modos e submodos de representação foram utilizados pelos estudantes nas sucessivas etapas de modelagem. Por exemplo, durante a etapa de criação de modelos no contexto cotidiano identificamos dois tipos de representação gestual. Por isso, contabilizamos o uso do modo gestual nas duas representações. Com os dados obtidos a partir da análise, foram gerados os gráficos apresentados nas Figuras 4, 5, 8 e 9.

Apesar de as etapas de modelagem serem definidas individualmente, como mencionado anteriormente, frequentemente etapas específicas ocorrem simultaneamente. Por exemplo, nos encontros analisados, a etapa de criação aconteceu simultaneamente à etapa de expressão no momento em que os estudantes elaboravam um modelo para o funcionamento da máquina de vender latas de refrigerante e o expressavam usando os modos gestual e verbal. Em decorrência desta característica, consideramos a ocorrência das etapas de modelagem em pares, tal qual elas foram vivenciadas pelos estudantes, resultando em modos e submodos relacionados a diferentes tipos de combinações entre elas. Organizamos os pares das etapas de modelagem de modo que o primeiro termo indica a etapa na qual os estudantes estavam envolvidos em função de solicitações dos comandos da atividade, enquanto o segundo termo indica a etapa que eles vivenciaram simultaneamente como consequência da dinamicidade do processo. Por exemplo, a etapa denominada criação/teste indica que os estudantes estavam criando um modelo (como solicitado) e, ao mesmo tempo, estavam fazendo testes de tal modelo.

Analisamos também a origem (em termos de momentos e/ou solicitações específicas das atividades) da utilização dos modos e/ou submodos de representação nas etapas da modelagem. Inicialmente, buscamos, identificar situações em que os estudantes pareciam gerar visualizações e os modos de representação utilizados na expressão das mesmas. Visto que havia uma relação temporal



entre as inferências que fizemos sobre a geração de visualizações e a produção de representações, consideramos que o processo era de fato realizado. A partir disso, procuramos as possíveis origens associadas aos modos de representação identificados, como solicitação da professora, solicitação da atividade, materiais disponíveis etc. Por fim, identificamos o conjunto de etapas da modelagem relacionado ao trecho analisado. Isso ocorreu, por exemplo, no trecho em que a professora solicitou que eles desenhassem o modelo da sacola plástica e da carcaça de TV, uma vez que não estavam conseguindo usar o modelo concreto para expressar todas as ideias. Esta solicitação foi relacionada com a origem da utilização do modo simbólico. Os resultados desta parte da análise são apresentados nas Figuras 15 e 16.

Os resultados apresentados nas Figuras 4, 5, 8 e 9 possibilitam responder a primeira questão de pesquisa (Quais modos e/ou submodos de representação são utilizados por estudantes para produzir representações nas etapas de ensino fundamentado em modelagem vivenciadas por eles?), enquanto os resultados apresentados nas Figuras 15 e 16 possibilitam responder as outras questões de pesquisa (Existem relações entre os modos e/ou submodos de representação e as etapas de modelagem vivenciadas pelos estudantes? Em caso afirmativo, quais são elas? e Quais aspectos influenciam na mobilização de modos de representação por estudantes ao vivenciarem o processo de modelagem em contextos de ensino?).

Resultados

As Figuras 4, 5, 8 e 9 mostram os modos e submodos de representação identificados nos conjuntos de etapas de modelagem.

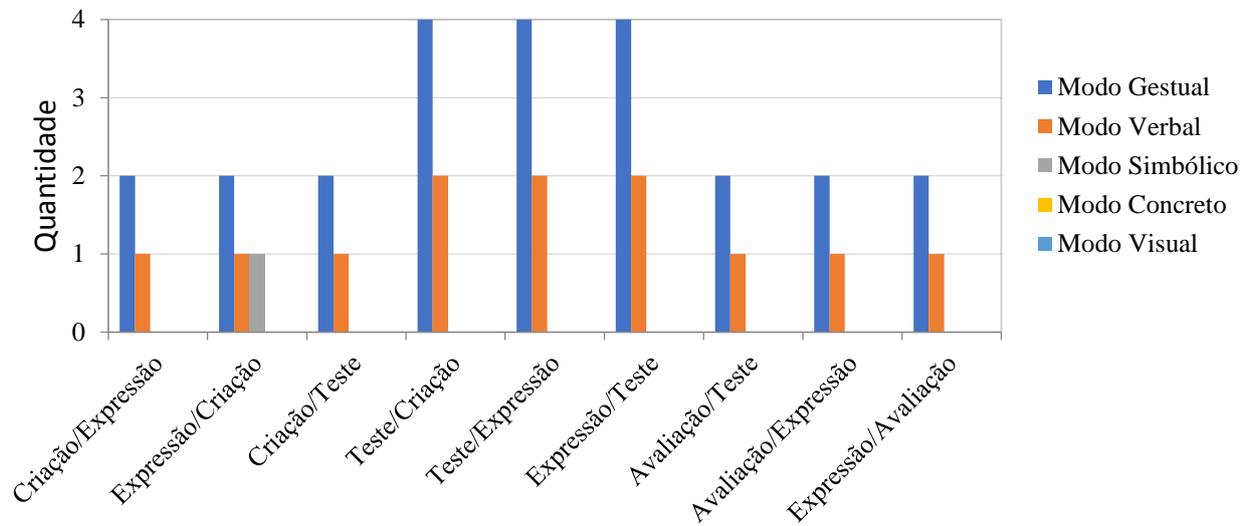
Na Figura 4, observamos que os modos gestual e verbal aparecem com maior frequência e em todas as etapas da modelagem. Estes modos foram usados pelos estudantes durante a realização das atividades em grupo e quando eram solicitados pela professora a explicar o modelo proposto para os colegas. A maior frequência de utilização dos modos gestual e verbal pode ser creditada ao fato de eles serem mais simples e de, geralmente, serem utilizados na maioria dos processos comunicativos cotidianos e em explicações científicas.

O modo simbólico foi usado pelos estudantes apenas quando a professora solicitou que eles expressassem seu modelo para o funcionamento da máquina de vender latas de refrigerante. Tal expressão foi orientada a partir da elaboração de desenhos produzidos durante a expressão/criação do modelo. Os estudantes desenharam o modelo do funcionamento da máquina com setas e legendas para



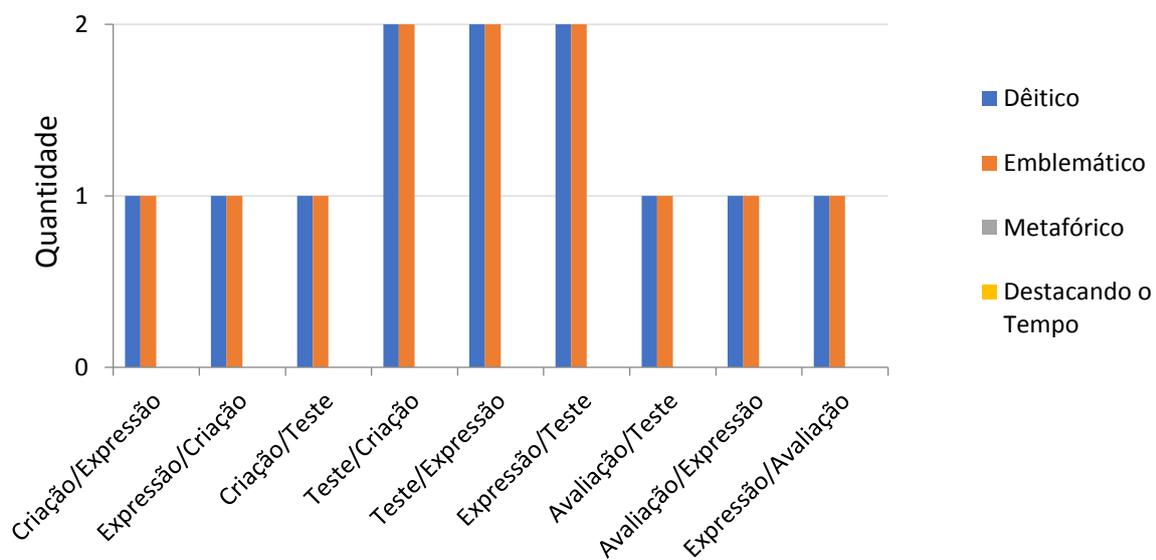
melhor explicar o processo visualizado por eles. A Figura 5 mostra quais foram os submodos de representação do modo gestual utilizados pelos estudantes na modelagem de contexto cotidiano.

Figura 4
Modos de Representação Identificados em Relação às Etapas de Modelagem



Fonte: Elaborado pelos pesquisadores

Figura 5
Submodos de Representação Gestuais Identificados em Relação às Etapas de Modelagem de Contexto Cotidiano



Fonte: Elaborado pelos pesquisadores



Como evidenciado na Figura 5, os submodos dêitico e emblemático foram mobilizados em todas as etapas da modelagem. Por exemplo, durante a realização das atividades, um estudante fez gestos com os braços e a mão direita na posição pronada que indicavam a entrada de dinheiro na máquina e o caminho que a lata de refrigerante percorreria dentro dela (Figura 6). O estudante expressou, por meio dos gestos, a ideia de que ao colocar uma moeda na máquina, ela iria cair e, nesse momento, com o auxílio de um sensor, a lata de refrigerante seria liberada e percorreria o caminho até a abertura da máquina. Tais gestos foram classificados como emblemáticos, por se relacionarem à semântica de movimento no interior da máquina.

Figura 6

Estudante Indicando com Gestos a Entrada de Dinheiro (imagem à esquerda) e o Caminho da Lata de Refrigerante na Máquina (imagem à direita)



Fonte: A pesquisa

Em outro momento, uma estudante utilizou gestos para apontar, com o dedo indicador da mão esquerda, a representação elaborada para a máquina de vender latas de refrigerante (modo simbólico), enfatizando a região específica da máquina de vender latas de refrigerante na qual seria possível recolher as latas de refrigerante após sua liberação (Figura 7). Estes gestos foram classificados como dêiticos por enfatizarem aspectos do modelo durante sua explicação.



Figura 7

Estudante Usando Gestos Dêiticos Enquanto Expressa Verbalmente a Explicação do Modelo

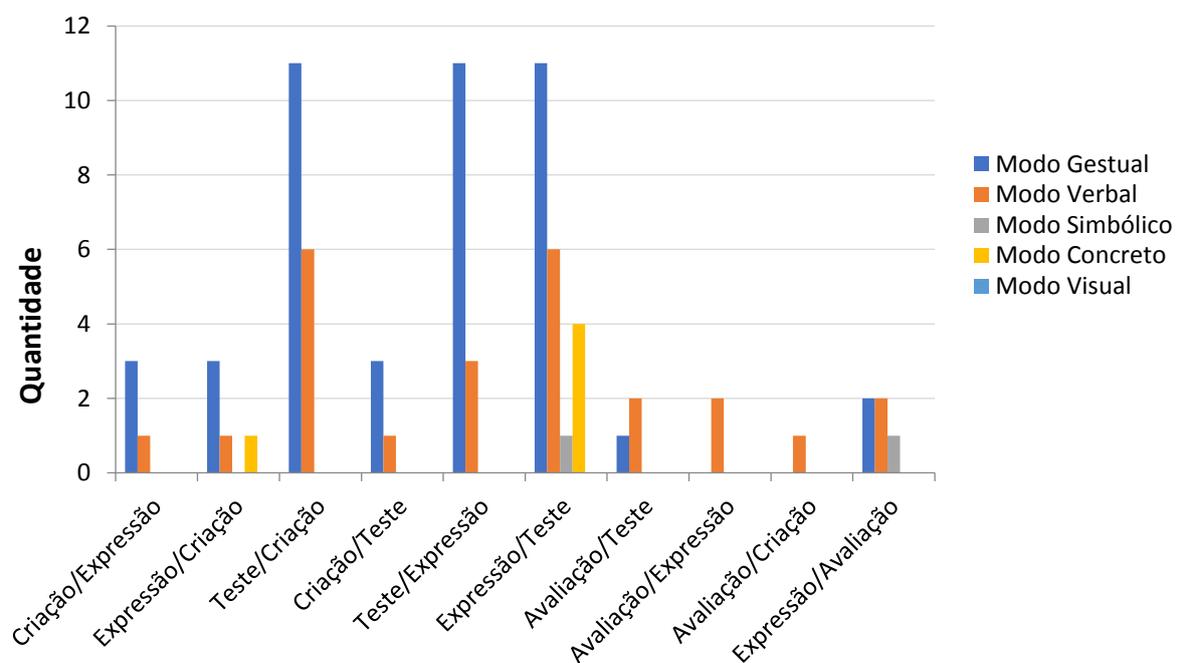


Fonte: A pesquisa

Na modelagem de contexto científico, foi identificada uma maior variedade de modos de representação, como apresentado na Figura 8.

Figura 8

Modos de Representação Identificados em Relação às Etapas de Modelagem de Contexto Científico



Fonte: Elaborado pelos pesquisadores



Na Figura 8, observamos que os modos gestual e verbal foram utilizados pelos estudantes na maioria dos conjuntos de etapas da modelagem de contexto científico. Além disto, o modo gestual foi mais recorrente nos conjuntos de etapas de teste/criação, teste/expressão e expressão/teste (cada um deles com 11 ocorrências) e não foi mobilizado nas etapas avaliação/expressão e avaliação/criação. O modo verbal foi mais recorrente nos conjuntos de etapas de teste/criação e expressão/teste (6 ocorrências em cada). Esses modos foram usados pelos estudantes durante a realização das atividades em grupo e quando eles foram solicitados, pelo comando de questões e pela professora, a explicar os modelos propostos.

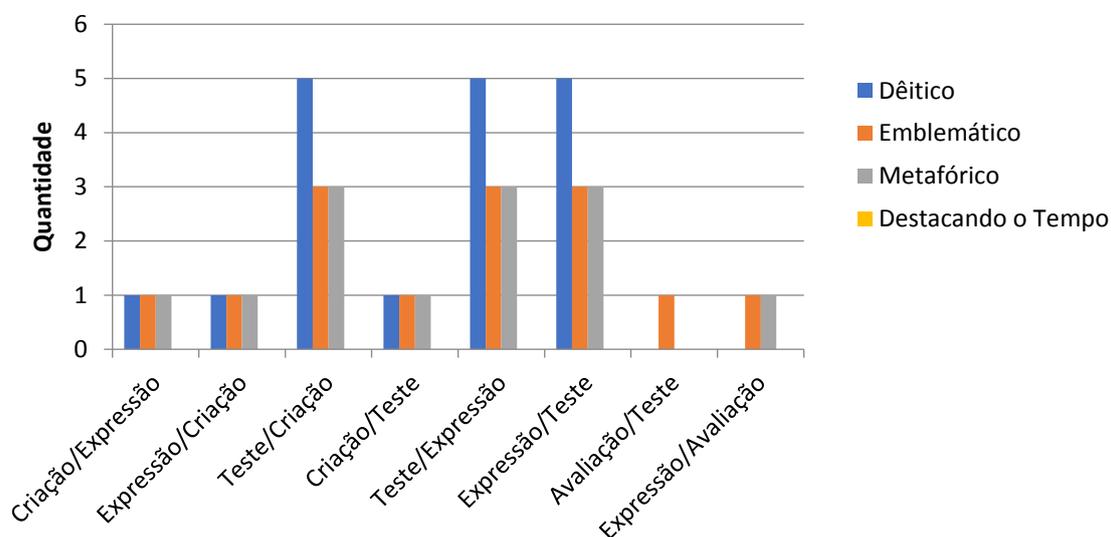
A Figura 8 também mostra que o modo concreto foi utilizado em dois conjuntos de etapas: expressão/criação (1 vez) e expressão/teste (4 vezes), enquanto o modo simbólico foi utilizado em outros dois conjuntos de etapas: expressão/teste (1 vez) e expressão/avaliação (1 vez). Tais modos foram mobilizados pelos estudantes quando foram solicitados pela professora a expressar o modelo que, posteriormente, seria apresentado e explicado para os colegas. Para isso, ela disponibilizou materiais, como bolas de isopor, palitos de dente, massinha de modelar, lápis de cor e giz de cera. Os estudantes optaram por utilizar bolas de isopor, massinha de modelar e palitos de dente para construir as macromoléculas da sacola plástica, da carcaça de TV e do pneu. Neste caso, considerando a relação analógica existente entre os modelos expressos e as macromoléculas, o modelo concreto é do tipo paramorfo.

Para favorecer uma melhor explicação do modelo para a estrutura química de pneus, a professora solicitou que os estudantes representassem seus modelos em desenhos quando eles demonstraram dificuldades em expressar suas ideias usando apenas os modelos concretos elaborados. A partir desta solicitação, eles fizeram desenhos em uma folha e, posteriormente, no quadro para auxiliar na explicação do modelo.

A Figura 9 apresenta os submodos de representação gestuais, identificados durante a realização das atividades de modelagem no contexto científico.



Figura 9
Submodos de Representação Gestual Identificados em Relação às Etapas de Modelagem no Contexto Científico



Fonte: Elaborado pelos pesquisadores

Os gestos emblemáticos foram mobilizados pelos estudantes em todos os conjuntos de etapas da modelagem de contexto científico, sendo mais recorrentes nos conjuntos teste/criação, teste/expressão e expressão/teste (3 vezes em cada). Os gestos metafóricos foram mobilizados na maioria dos conjuntos de etapas de modelagem, exceto no conjunto avaliação/teste. Esses gestos foram mais recorrentes nos conjuntos teste/criação, teste/expressão e expressão/teste (3 vezes em cada). Os gestos dêíticos ocorreram em seis conjuntos de etapas, sendo mais recorrentes nas etapas de teste/criação, teste/expressão e expressão/teste (5 vezes em cada). Gestos destacando o tempo não foram mobilizados pelos estudantes nas atividades de contexto científico.

Para explicar uma dessas situações, durante a realização da atividade 7, no conjunto de etapas expressão/criação, um estudante fez gestos indicando a interação entre os átomos das macromoléculas dos modelos propostos para a sacola plástica e para a carcaça de TV, com o auxílio do modelo concreto de bola-palito construído anteriormente (Figuras 10 e 11). Enquanto isto, explicava:

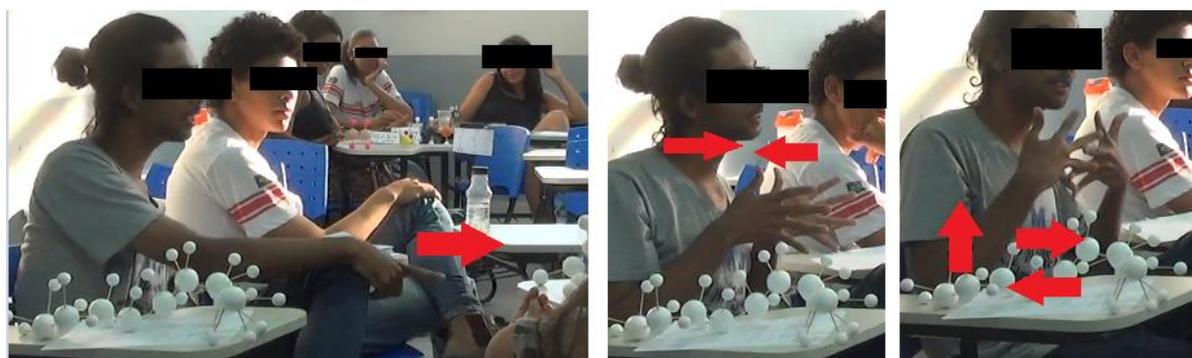
A gente pensou que essa daqui (Figura 10, imagem à esquerda) seria uma cadeia ramificada. Por ela ser ramificada, os átomos estariam um pouco mais aproximados (Figura 10, imagens do meio e à direita) e como essa daqui é mais simples (Figura 11, imagem à esquerda), eles estariam um pouco mais afastados (Figura 11, imagens do meio e à direita). E essa aqui (modelo apontado na Figura 10) ficaria mais rígida do que essa (modelo apontado na Figura 11).



Estes gestos foram classificados como dêiticos, quando ele enfatizou e apontou a qual representação se referia; e metafóricos, quando tanto as moléculas quanto as interações foram representadas a partir de gestos com as mãos em posição neutra, indicando movimentos de aproximação e afastamento das macromoléculas. Isto possibilitou inferências sobre as interações entre as macromoléculas visualizadas por ele na proposição dos modelos da sacola plástica e da carcaça de TV.

Figura 10

Estudante Indicando o Modelo Concreto para a Carcaça de TV (imagem à esquerda) e Explicando a Interação entre as Macromoléculas (imagens do meio e à direita)



Fonte: A pesquisa

Figura 11

Estudante Indicando o Modelo Concreto para Sacola Plástica (imagem a esquerda) e Explicando a Interação entre as Macromoléculas (imagens do meio e a direita)



Fonte: A pesquisa

Durante a comunicação do modelo para a turma, uma estudante se referiu à resistência da carcaça de TV por meio de gestos que indicavam como as moléculas estariam organizadas. Ela simulou uma cadeia linear com as mãos em posição neutra e enfatizou a resistência dessa conformação. Além disso, simulou com as mãos como as moléculas ramificadas interagiriam (Figuras 12 e 13) e, ao propor uma explicação, disse que a cadeia seria mais extensa por ser linear (Figura 12, imagem à



esquerda) e que suas moléculas seriam mais maleáveis (Figura 12, imagens do meio e à direita). Ela também destacou que as moléculas da cadeia ramificada iriam interagir entre si (Figura 13, sequência de três imagens a partir do lado esquerdo), tornando a estrutura mais resistente (Figura 13, imagem à direita). Estes gestos foram classificados como metafóricos, pois envolviam a abstração da conformação da cadeia associada à resistência do material.

Figura 12

Estudante Simulando uma Cadeia Linear com as Mãos e Enfatizando a Resistência dessa Conformação



Fonte: A pesquisa

Figura 13

Estudante Simulando com as Mãos como as Moléculas Ramificadas Interagiriam



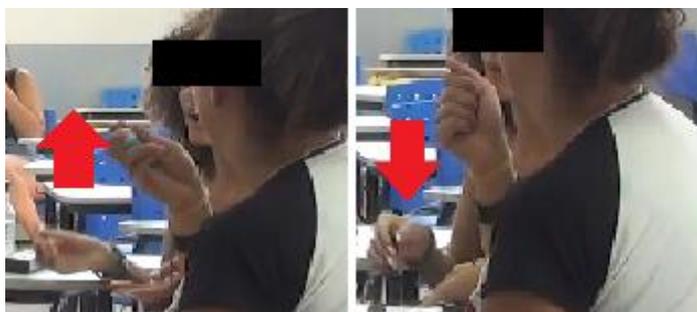
Fonte: A pesquisa

Outra estudante fez gestos ascendentes com as mãos em posição supinada (Figura 14, imagem à esquerda) indicando que o modelo da carcaça de TV deveria ter maior quantidade de átomos em relação ao modelo da sacola plástica. Ela também fez gestos descendentes com a mão em posição pronada (Figura 14, imagem à direita) indicando que, naquele material, haveria menor quantidade de átomos. Estes gestos foram classificados como emblemáticos por enfatizarem o aumento e a diminuição da quantidade de átomos nos modelos propostos.



Figura 14

Estudante Indicando com Gestos a Quantidade de Átomos Presentes nos Modelos da Sacola Plástica e da Carcaça de TV



Fonte: A pesquisa

Em relação aos resultados obtidos para a discussão das questões de pesquisa 2 e 3, nas Figuras 15 e 16 relacionamos exemplos de momentos e/ou solicitações específicas das atividades que originaram a utilização dos modos e/ou submodos de representação nas etapas da modelagem. Nestes quadros, os trechos apenas em itálico correspondem às falas dos estudantes e os que estão em itálico e sublinhado correspondem aos momentos em que eles também utilizaram gestos para expressar suas ideias.

Figura 15

Modos de Representação Presentes nas Etapas de Modelagem no Contexto Cotidiano

Etapas da modelagem	Modos de representação	Origem do aparecimento
Criação / Teste	Gestual e Verbal	Proposição do modelo da máquina de vender latas de refrigerante, quando a expressão de visualizações era feita na etapa de criação. Tal mobilização foi motivada por solicitações da própria atividade e de perguntas feitas pela professora. Por exemplo:
Criação / Expressão	Gestual e Verbal	<ol style="list-style-type: none"> Quando a professora apresentou aos estudantes o comando da questão “Elabore um modelo que explique como funciona uma máquina de vender latas de refrigerante. Explique todas as características do seu modelo por escrito.” e, em seguida, solicitou que eles explicassem esse funcionamento considerando todos os aspectos possíveis (como recebimento de dinheiro, sistema, refrigeração etc.). Os estudantes, então, afirmaram que: <u><i>a gente coloca o dinheiro lá (...) aí ele cai (...) na hora que a moeda cai, parece que tem um sensor lá dentro que faz com que abra alguma coisa lá que faz a lata de refrigerante cair.</i></u>

(continua)



Figura 15

Modos de Representação Presentes nas Etapas de Modelagem no Contexto Cotidiano (continuação)

Etapas da modelagem	Modos de representação	Origem do aparecimento
		<p>2. Quando a professora questionou como seria feita a identificação e verificação de notas pela máquina, os estudantes compararam o leitor de notas da máquina de vender refrigerante com o de um caixa eletrônico: <i>porque tem aquela máquina que fala se a nota é verdadeira ou não (...) eu vi na farmácia (...) sabe aquelas maquininhas que eles conferem o código de barras? Tem uma parecida com uma luz azul que dá pra ver se a nota é falsa.</i></p>
Expressão / Criação	Gestual, Verbal e Simbólico	<p>Expressão do modelo do funcionamento da máquina, ocorrida durante etapas associadas (criação, teste e avaliação). Um exemplo de utilização desses modos ocorreu quando os estudantes desenharam uma máquina no quadro e explicaram seu funcionamento: <u><i>Ao inserir o dinheiro aqui, terá um valor fixo da latinha. Aí, vamos supor que eu coloque cinco reais aqui e a latinha vai ser dois e cinquenta ... aí, vai ter um sensor (...) que vai ficar aqui, vai identificar o valor do dinheiro e identificar se eu vou precisar de troco, (...) se a nota é falsa ou não e vai identificar a moeda pelo relevo. A partir do momento que eu escolhi o sabor (...) uma catraca vai liberar o refrigerante.</i></u></p>
Expressão / Teste	Gestual e Verbal	
Expressão / Avaliação	Gestual e Verbal	
Teste / Criação	Gestual e Verbal	<p>Em um teste mental do modelo da máquina de vender latas de refrigerante, esses modos foram usados em decorrência de solicitações da própria atividade e de perguntas feitas pela professora, como nas seguintes situações nas quais:</p>
Teste / Expressão	Gestual e Verbal	<p>1. Os estudantes leram a atividade e analisaram a situação na qual a máquina estaria desligada: <u><i>não tem como colocar moeda, sendo que a máquina vai estar desligada (...) não vai cair o dinheiro e o negócio da moeda tem que estar aberto. Se estiver desligado, vai estar tudo trancado.</i></u></p> <p>2. Eles analisaram a segunda situação, na qual a máquina seria desligada por duas horas, ligada novamente e colocada uma moeda. Foi também fornecida a informação de que ela só serviria a lata de refrigerante após algum tempo. Quando questionados, eles disseram: <u><i>depois de um tempo desligado vai precisar refrigerar de novo.</i></u> A professora indagou se a refrigeração iria ocorrer com a máquina ligada e eles afirmaram: <u><i>porque é aquele negócio que a gente ia colocar uma bateria no outro modelo, porque a gente não tinha falado no outro.</i></u> (continua)</p>

**Figura 15**

Modos de Representação Presentes nas Etapas de Modelagem no Contexto Cotidiano (continuação)

Etapas da modelagem	Modos de representação	Origem do aparecimento
Avaliação / Teste	Gestual e Verbal	<p>Expressão e explicação sobre como o modelo atendia ou não ao novo contexto ocorreram a partir de solicitações da própria atividade e de perguntas feitas pela professora, como quando:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. A professora questionou se o sistema do modelo de vender latas de refrigerante explicava o funcionamento interno de um caixa eletrônico e o grupo comparou os dois sistemas: <i>O nosso sistema é parecido (com o do caixa eletrônico) na questão de receber e tirar o dinheiro. Vamos supor que no caixa você coloca seu cartão, digita sua senha e, na hora que você faz isso, você pode estar pedindo para pagar uma conta que cairia naquele negócio do laser. Aquilo ali tem a mesma ideia. Então, é o mesmo sistema.</i> 2. Ela questionou quais aspectos do modelo não atenderiam ao funcionamento do caixa eletrônico e os estudantes afirmaram: <i>não mostra o negócio da senha, não mostra o cartão, não mostra a quantia e o valor, não tem câmera e nem digital.</i>
Avaliação / Expressão	Gestual e Verbal	

Fonte: Elaborado pelos pesquisadores

Figura 16

Modos de Representação Presentes nas Etapas de Modelagem no Contexto Científico

Etapas da modelagem	Modos de representação	Origens do aparecimento
Criação / Teste	Gestual e Verbal	<p>Proposição de modelos das estruturas químicas da sacola plástica, da carcaça de TV, e do pneu. Os modos foram usados para expressar e explicar o modelo visualizado na etapa de criação a partir de solicitações da própria atividade e de perguntas feitas pela professora. Exemplos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ao tentar explicar por que os materiais apresentavam comportamentos diferentes, eles relacionaram a proximidade dos átomos na macromolécula (visualização) com características dos materiais: <i>esse aqui (plástico) é duro (...) a gente pode colocar os carbonos mais pertinho (na representação). Quanto mais perto estiver, mais rígido vai ser; quanto mais afastado, mais maleável.</i> <p style="text-align: right;">(continua)</p>
Criação / Expressão	Gestual e Verbal	

**Figura 16**

Modos de Representação Presentes nas Etapas de Modelagem no Contexto Científico (continuação)

Etapas da modelagem	Modos de representação	Origens do aparecimento
		<p>2. Eles afirmaram que as estruturas químicas das macromoléculas da carcaça de TV seriam ramificadas enquanto as da sacola plástica não ramificadas e que, neste caso, elas ocupariam mais espaço, aumentando sua flexibilidade, e que o contrário valeria para a ramificada: <u>as macromoléculas estariam mais juntas. A gente pensou que essa daqui (da carcaça de TV, uso de gesto dêitico de apontamento) seria uma cadeia ramificada. Por isso, os átomos estariam um pouco mais aproximados. Como essa daqui (da sacola, uso de gesto dêitico de apontamento) é simples, eles estariam um pouco mais afastados.</u></p>
Teste / Criação	Gestual e Verbal	<p>Após a realização de testes mentais e durante a criação de modelos para as estruturas da sacola plástica, carcaça de TV e pneu, os modos foram usados por eles para representar as macromoléculas desses materiais e explicar seus comportamentos (solicitado pela atividade e pela professora). Isto ocorreu, por exemplo, quando eles:</p>
Teste / Expressão	Gestual e Verbal	<p>1. foram solicitados pela professora a fazer previsões relacionadas ao comportamento da sacola plástica e da carcaça de TV frente ao aquecimento, e explicaram que a sacola iria: <u>derreter e se tornar cinza (...) virar matéria orgânica, eu imagino, vai derreter em resíduos e a carcaça de TV vai derreter em partes pequenas, tipo as pontinhas e se tornar mais maleável;</u></p> <p>2. responderam ao questionamento da professora sobre se apenas a existência de uma ramificação seria suficiente para justificar uma diferença tão grande de comportamento: <u>aqui a ligação é mais fraca, então, ela vai se romper com muito menos energia. E aqui, a gente percebe que é uma cadeia muito mais organizada, então as interações são mais fortes, muito mais difíceis de romper.</u></p> <p style="text-align: right;">(continua)</p>

**Figura 16**

Modos de Representação Presentes nas Etapas de Modelagem no Contexto Científico (continuação)

Etapas da modelagem	Modos de representação	Origens do aparecimento
Expressão / Criação	Gestual, Verbal e Concreto	Expressão de modelos concretos (bola-palito) e desenhos usados para representar as estruturas químicas dos três materiais, juntamente com fala e gestos para explicar a visualização relacionada a seus comportamentos. A professora solicitou que eles desenhassem seus modelos quando tiveram dificuldades de explicar suas ideias usando apenas os modelos concretos do tipo bolas-palito ou apenas usando a fala.
Expressão / Teste	Gestual, Verbal, Concreto e Simbólico	
Expressão / Avaliação	Gestual, Simbólico e Verbal	
Avaliação / Criação	Verbal	Expressão e explicação sobre aspectos do modelo que atendiam e não atendiam ao novo contexto. Isto ocorreu: <ol style="list-style-type: none"> 1. Após a professora entregar a atividade e solicitar que eles fizessem previsões em relação ao comportamento do pneu ao ser dobrado e aquecido. A partir disso, eles explicaram que: <i>ele não vai dobrar cem por cento, ele vai envergar. Ele é elástico, então, quando você faz assim ele volta.</i> 2. Após a solicitação da professora para que os estudantes dissessem se modificariam o modelo proposto anteriormente. Eles responderam que iriam <i>pegar os dois modelos e juntar</i> e que: <i>ele é maleável, mas na hora de aquecer não acontece nada. Aí a gente acha que é uma mistura dos dois modelos.</i> A partir desta afirmação, o grupo tentou agregar o modelo da carcaça de TV ao modelo da sacola plástica para gerar o modelo do pneu. A professora perguntou se o modelo do pneu teria menos ramificações do que o modelo da sacola plástica, tendo a confirmação disso pelo grupo que acrescentou que ela seria <i>uma cadeia, assim, com algumas ramificações aleatórias.</i>
Avaliação / Teste	Gestual e Verbal	
Avaliação / Expressão	Verbal	

Fonte: Elaborado pelos pesquisadores

Em relação às possíveis relações entre os modos e/ou submodos de representação e as etapas de modelagem vivenciadas pelos estudantes, os resultados indicam que não é possível identificar uma relação clara entre eles. O que nos chama atenção é que, como evidenciado nas Figuras 15 e 16, muitos fatores interferiram na mobilização de modos de representação, como os comandos das atividades, as interferências realizadas pela professora, os materiais disponíveis para a confecção dos modelos etc.



Esta constatação nos faz considerar o importante papel da instrução no processo de modelagem. Isto porque observamos que, quando não era exigido dos estudantes o uso de algum tipo de representação específico, eles geralmente usavam os modos gestual e verbal em uma unidade comunicativa. Outros modos menos usuais, como o concreto, só foram mobilizados a partir de instruções feita pelos comandos das questões ou pelos sujeitos que conduziam o processo de ensino. Portanto, habilidades de representação e criatividade podem ser potencializadas quando estudantes são orientados a desenvolvê-las ao vivenciarem processos de modelagem.

Também não é possível afirmar que existe uma relação da utilização dos submodos de representação com as etapas da modelagem, uma vez que nossa análise evidenciou uma relação entre utilização dos diferentes gestos e tipo de visualização e/ou explicação fornecida, o que está intimamente relacionado à natureza contextual dos processos de modelagem vivenciados (cotidiano e científico). Se a visualização e/ou criatividade no processo exigia um nível de abstração, os estudantes tendiam a utilizar o gesto metafórico, por exemplo. Uma evidência disto é a maior ocorrência do submodo gestual metafórico na modelagem de contexto científico, que exigia um maior nível de abstração, como mostra a Figura 9.

Apesar de não podermos explicitar uma relação clara entre o uso dos modos e submodos e as etapas do EFM, destacamos uma relação que salta aos olhos na análise das Figuras 4 e 8. Ao analisar tais figuras, constatamos que os conjuntos de etapas associadas aos testes apresentam um quantitativo maior de modos de representação. Possíveis explicações para isso são que nesses conjuntos, os estudantes precisam explicar melhor suas ideias, apresentar justificativas frente a novas informações ou observações, usar mais o raciocínio analógico etc., o que demanda deles uma maior mobilização de tais modos. Um exemplo deste movimento está na descrição, presente na Figura 16, sobre os testes realizados pelos estudantes na modelagem científica (nos conjuntos de etapas que contemplavam esses testes).

Em relação à terceira questão de pesquisa (Quais aspectos influenciam na mobilização de modos de representação por estudantes ao vivenciarem o processo de modelagem em contextos de ensino?), após a análise, identificamos que muitos aspectos influenciaram na mobilização dos modos de representação pelos estudantes como: a natureza do contexto de modelagem (cotidiana ou científica); a orientação da professora; a instrução dos comandos das questões; a disponibilização de materiais para a produção de modelos; a criatividade dos estudantes; a natureza da entidade a ser modelada (processos ou entidades submicroscópicas (moléculas)). Por exemplo, como explicitado na Figura 16 nos conjuntos de etapas que contemplam a expressão, os estudantes optaram por usar alguns



materiais disponibilizados pela professora para elaborar modelos concretos e, também, representações em desenho, uma vez que seus modelos concretos e o modo verbal não foram suficientes para as explicações. A partir disso, afirmamos que eles utilizaram os modos simbólico e concreto por solicitação da professora e por ter materiais disponíveis para a confecção dos modelos nas respectivas representações (o modo concreto e o modo simbólico). É importante ressaltar que, como foi solicitado que eles desenhassem o modelo, não é possível afirmar se eles teriam expressado o modelo por esse modo de representação por acharem mais viável.

A partir da análise, identificamos particularidades frente aos modos mobilizados pelos estudantes em algumas etapas específicas. Por exemplo, na etapa de testes para o modelo, os estudantes mobilizaram exclusivamente os modos gestual e verbal (oral) para representar suas ideias e como forma de expressar e explicar as modificações e inconsistências visualizadas por eles na etapa de criação do proto-modelo. Nessa etapa da modelagem, não foi solicitado que o modelo fosse elaborado/explicado em um modo específico porque, para realizá-la, os estudantes deveriam discutir em grupos (única exigência feita a eles). Portanto, não houve nenhum direcionamento, por parte da professora ou da atividade sobre o que e como fazer. Entendemos que os modos gestual e verbal foram usados nessas situações, talvez, por serem mais comuns e pelo fato de os estudantes já estarem dominando o conteúdo, uma vez que, quando existem mais dúvidas, os desenhos ou modelos concretos parecem ajudar mais. Isto pode estar relacionado ao fato de que desenhos e modelos concretos apresentam materialidade mais duradoura do que gestos e fala, visto que estes últimos desaparecem instantaneamente após serem mobilizados enquanto desenhos e modelos concretos permanecem materializados (Oliveira et al., 2019) até o momento desejado pelos estudantes.

Por sua vez, nas etapas de expressão, além dos modos gestual e verbal, o modo concreto também foi utilizado. Porém, essa mobilização do modo concreto não aconteceu naturalmente, tal como acontecia com os modos gestual e verbal, mas sim a partir de solicitações explícitas para que isto fosse feito. Em algumas delas, esse modo foi solicitado quando os estudantes não conseguiam explicar somente falando e gesticulando. Neste caso, também associamos a potencialidade do modo concreto frente à fala e aos gestos relacionada à manutenção da materialidade daquele modo frente a estes. Portanto, sustentar uma visualização a partir de sua expressão por mais tempo pode auxiliar os estudantes na organização do pensamento em situações comunicativas nas quais tal expressão é importante. Isto foi verificado, por exemplo, no evento representado na Figura 7, quando uma estudante fixava um ponto do desenho feito no quadro enquanto discursava sobre ele.



CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES

Nesta pesquisa, analisamos como estudantes do Ensino Médio utilizaram representações para explicar suas ideias e elaborar modelos em situações de EFM. Nessas situações, representações feitas por eles em dois contextos (cotidiano e científico), solicitadas por questões apresentadas pelas atividades ou pela professora, foram mapeadas e analisadas. Na modelagem de contexto cotidiano, modelos para o funcionamento de máquinas de vender refrigerantes foram elaborados e, na de contexto científico, foram elaborados modelos para tipos de polímeros (sacola plástica, carcaça de TV e pneu).

Nos dois contextos, a modelagem favoreceu a conexão entre o que eles conheciam sobre as entidades a ser modeladas e suas representações (algo que eles não conheciam ou que não era visível para eles). No contexto cotidiano, os estudantes conheciam o processo externo de uma máquina de vender refrigerantes, mas tiveram que criar modelos para seu funcionamento interno. Isto nos leva a entender que a influência da natureza e do contexto desse tipo de modelagem influenciou mais na mobilização dos modos de representação gestual e verbal (e alguns de seus submodos) do que as etapas do processo de modelagem vivenciadas em qualquer tipo de modelagem. Por exemplo, a entidade modelada no contexto cotidiano é um processo (funcionamento de máquinas) e, nesse contexto, alguns submodos de representação gestual eram significativos e suficientes na elaboração de modelos. Na modelagem de contexto científico, eles conheciam os materiais poliméricos, mas tiveram que pensar em suas estruturas submicroscópicas e relacioná-las a observações empíricas usando, para isso, principalmente seus conhecimentos sobre interações intermoleculares e ligações químicas. Portanto, a natureza e contexto deste tipo de modelagem exigiu que os estudantes lidassem com entidades abstratas e conceitos científicos específicos na elaboração do modelo. Isto requereu a mobilização de outros modos de representação para além dos modos verbal e gestual (e outros submodos deste, como gestos dêiticos e emblemáticos), tais como os modos simbólico e concreto. Portanto, a natureza da entidade a ser modelada também parece ter influenciado em quais modos e submodos foram utilizados, algo que, novamente, não pareceu ter sido influenciado pelas etapas de modelagem vivenciadas. Apenas nos pares de etapas que contemplavam testes para os modelos ficou proeminente o uso de mais modos de representação, aspecto que consideramos ser resultado da natureza da etapa, na qual são exigidas explicações sobre características e funções dos modelos, de modo a analisá-los criticamente.

Assim, nos dois contextos, representações foram criadas pelos estudantes para apoiar o que pensavam e o que visualizavam em suas mentes e nos pareceu que algumas situações favoreceram a mobilização mais natural de modos de representação específicos, com destaque para os modos gestual e verbal.



Destacamos também que o fato de as atividades apresentarem comandos claros para que os estudantes produzissem representações específicas influenciou consideravelmente em quais modos e submodos de representação foram utilizados. Algo semelhante foi observado no que se refere à instrução da professora sobre o que, ou como fazer, para além daquilo que estava indicado nos roteiros das atividades. Isto permitiu que os estudantes produzissem e/ou utilizassem modos e submodos de representação diferenciados, como modelos concretos e desenhos, o que potencializou a comunicação de suas ideias. Por isto, reconhecemos a importância de solicitações claras, objetivas e explícitas, seja em roteiros ou feitas por professores, sobre como estudantes podem produzir representações, não somente ao vivenciar processos de modelagem, mas ao participar de quaisquer práticas científicas.

As atividades de modelagem oferecem aos estudantes condições para que eles possam criar, expressar, testar e avaliar seus modelos para, por exemplo, tecer explicações sobre o mundo natural (GILBERT e JUSTI, 2016). Porém, nossos dados apontam que é necessário mais do que roteiros de atividades para que estudantes criem representações em atividades de modelagem. São necessários e fundamentais, em complemento a estes roteiros, que professores criem condições e oportunidades, para uma instrução relevante e significativa para estudantes (NORMAN, 2013), contextos, condições e materiais favoráveis para a realização das tarefas (SENSEVY et al., 2015) incluindo a disponibilidade de recursos educacionais necessários à realização das atividades (OLIVEIRA e MORTIMER, 2020). Diante disso, compartilhamos das concepções de Puig et al. (2017) de que as possibilidades de expressar conhecimentos sejam explícitos durante o processo de modelagem para que estudantes consigam relacionar as representações à teoria e aos fenômenos, aplicando o conhecimento para construí-las e explicá-las. Entendemos que isto seja particularmente relevante em relação a conhecimentos químicos, geralmente muito abstratos.

Assim, neste estudo, constatamos que a natureza e os contextos de modelagem (cotidiano e científico), a natureza das entidades a serem modeladas, os modos de se promover uma instrução coerente com um referencial teórico adotado por quem conduz o EFM e a criatividade de estudantes (aspecto que não desconsideramos nos processos) são elementos essenciais para eles possam comunicar suas ideias adotando-se representações.

Em termos de contextos educacionais, entendemos que nossas conclusões podem subsidiar tanto a produção de atividades de modelagem como o planejamento da atuação de professores em situações de EFM que favoreçam a mobilização, por parte de estudantes, de modos e submodo de representação e as consequentes aprendizagens daí derivadas (como discutido na parte inicial deste artigo). Isto porque, como explicam Gilbert e Justi (2016), na modelagem, enquanto estudantes pro-



duzem representações, outros processos podem ocorrer, tais como argumentação, raciocínio analógico e realização de experimentos mentais. Mesmo não sendo foco deste estudo, observamos que esses processos ocorriam enquanto eles produziam suas representações. Reconhecendo tal contribuição, defendemos também a discussão desta temática a partir de exemplos aqui citados em cursos de formação de professores de Ciências como uma maneira de evidenciar (i) a importância e potencialidade de fomentar a elaboração e discussão de visualizações e representações em aulas de Ciências e (ii) ações que podem permear a prática de professores ao promover tais situações de ensino.

Para o futuro, sugerimos que sejam realizados estudos sobre a construção de representações por estudantes no EFM levando em consideração outros contextos de modelagem, como o sociocientífico, no qual podem ser discutidas temáticas e fenômenos mais amplos. Julgamos importante também que sejam investigados outros contextos de ensino e aprendizagem (como situações regulares de sala de aula), para que processos semelhantes, mas envolvendo um número maior de estudantes, possam ser compreendidos. Além disso, pesquisas sobre elementos específicos da modelagem (como contextos, temáticas, questões de atividades e professores) que influenciam na mobilização pelos estudantes de representações podem contribuir para a melhor compreensão de fatores que influenciam nessa mobilização.

Agradecimentos

Ao CNPq pelos apoios financeiros individuais e coletivo que possibilitaram a realização deste estudo e favoreceram nossa dedicação a ele.

REFERÊNCIAS

- BODNER, George M.; DOMIN, Daniel S. Mental models: The role of representations in problem solving in chemistry. *University Chemistry Education*, v. 4, n. 1, 2000.
- BOULTER, Carolyn J.; BUCKLEY, Barbara C. Constructing a typology of models for science education. In: *Developing models in science education*. Springer, Dordrecht, 2000. p. 41-57.
- CHENG, Maurice; GILBERT, John K. Towards a better utilization of diagrams in research into the use of representative levels in chemical education. In: *Multiple representations in chemical education*. Springer, Dordrecht, 2009. p. 55-73.
- CLEMENT, John. Learning via model construction and criticism (pp. 341-381). 1989.
- DURANTI, Alessandro. *Linguistic Anthropology*. Cambridge University Press, 1997.



- EILAM, Billie; REISFELD, Dorit. A curriculum unit for promoting complex system thinking: the case of combined system dynamics and agent based models for population growth. *Journal of Advances in Education Research*, v. 2, n. 2, p. 39-60, 2017.
- GARCEZ, Andrea; DUARTE, Rosalia; EISENBERG, Zena. Production and analysis of video recordings in qualitative research. *Educação e Pesquisa*, v. 37, p. 249-261, 2011.
- GIBSON, James. Jerome. *The ecological approach to visual perception*. Lawrence Erlbaum, Hillsdale, 1986.
- GILBERT, John Kenward. *Visualization: An emergent field of practice and enquiry in science education*. In: *Visualization: Theory and practice in science education*. Springer, Dordrecht, 2008. p. 3-24.
- GILBERT, John Kenward; JUSTI, Rosária. Models of modelling. In: *Modelling-based Teaching in Science Education*. Springer, Cham, 2016. p. 17-40.
- HITT, Austin Manning; TOWNSEND, J. Scott. The heat is on! using particle models to change students' conceptions of heat and temperature. *Science Activities*, v. 52, n. 2, p. 45-52, 2015.
- JOHNSTONE, Alex H. Macro and microchemistry. *Chemistry in Britain*, v. 18, n. 6, p. 409-410, 1982.
- JUSTI, Rosária; GILBERT, John Kenward; FERREIRA, Poliana Flávia Maia. The application of a 'model of modelling' to illustrate the importance of metavisualisation in respect of the three types of representation. In: *Multiple Representations in Chemical Education*. Springer, Dordrecht, 2009. p. 285-307.
- JUSTI, Rosária; MOZZER, Nilmara Braga. Modelling-based Knowledge Building—The case of a blind student. In: *National Association for Research in Science Teaching*, Orlando, FL, United States. Orlando: NARST Conference. 2011.
- KELLY, Gregory. Inquiry, activity and epistemic practice. In: *Teaching scientific inquiry*. Brill Sense, 2008. p. 99-117.
- KNUUTTILA, Tarja et al. Models as epistemic artefacts: Toward a non-representationalist account of scientific representation. 2005.
- KOKKONEN, Tommi. Models as relational categories. *Science & Education*, v. 26, n. 7, p. 777-798, 2017.
- LEONARDOS, Ana Cristina; FERRAZ, Ernani Almeida; GONÇALVES, HMO. O uso do vídeo em metodologia de avaliação. *Lumina*, v. 2, n. 1, p. 123-33, 1999.



MORRISON, Margaret; MORGAN, Mary Susanna. 'Model as Mediating Instruments', in: MORGAN, Mary Susanna and MORISSON, Margaret (eds) Models as Mediations. Perspectives on Natural and Social Science. Cambridge: Cambridge University Press, 1999, pp. 10-37.

NORMAN, Don. The design of everyday things: Revised and expanded edition. Basic books, 2013.

OLIVEIRA, Leandro; MORTIMER, Eduardo Fleury. Os percursos de transformação da ação mediada por recursos educacionais: o ponto de vista de uma professora de química orgânica de ensino superior. Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências, v. 22, 2020.

OLIVEIRA, Leandro Antonio; SÁ, Eliane Ferreira de; MORTIMER, Eduardo Fleury. Transformação da ação mediada a partir da resignificação do uso de objetos mediadores em aulas do ensino superior. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, p. 251-274, 2019.

PINHEIRO, Eliana Moreira; KAKEHASHI, Tereza Yoshiko; ANGELO, Margareth. O uso de filmagem em pesquisas qualitativas. Revista Latino-Americana de Enfermagem, v. 13, p. 717-722, 2005.

PRAIN, Vaughan; TYTLER, Russell. Representing and learning in science. In: Constructing representations to learn in science. Brill Sense, 2013. p. 1-14.

PUIG, Blanca; AGEITOS, Noa; JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, María Pilar. Learning gene expression through modelling and argumentation. Science & Education, v. 26, n. 10, p. 1193-1222, 2017.

SADALLA, Ana Maria Falcão de Aragão; LAROCCA, Priscila. Autoscopia: um procedimento de pesquisa e de formação. Educação e Pesquisa, v. 30, p. 419-433, 2004.

SENSEVY, Gérard; GRUSON, Brigitte; FOREST, Dominique. On the nature of the semiotic structure of the didactic action: The joint action theory in didactics within a comparative approach. Interchange, v. 46, n. 4, p. 387-412, 2015.

STIEFF, Mike; HEGARTY, Mary; DESLONGCHAMPS, Ghislain. Identifying representational competence with multi-representational displays. Cognition and Instruction, v. 29, n. 1, p. 123-145, 2011.

WERTSCH, James V. Mind as action. Oxford University Press, 1998.

WU, Hsin-Kai; KRAJCIK, Joseph S.; SOLOWAY, Elliot. Promoting understanding of chemical representations: Students' use of a visualization tool in the classroom. Journal of Research in Science Teaching, v. 38, n. 7, p. 821-842, 2001.