



Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em
Ciências
ISSN: 1806-5104
ISSN: 1984-2686
silnascimento@ufmg.br
Associação Brasileira de Pesquisa em Educação
em Ciências
Brasil

Compreensões de Estudantes do Ensino Médio Sobre Modelos em Biologia

Fernandes, Bruna Levy Pestana

Machado, Juliana

Matos, Guilherme Inocêncio

Compreensões de Estudantes do Ensino Médio Sobre Modelos em Biologia

Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, vol. 22, pp. 1-26, 2022

Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências

Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=571674320038>

DOI: <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2022u909934>

Compreensões de Estudantes do Ensino Médio Sobre Modelos em Biologia

High School Students' Understandings of Models in Biology

Bruna Levy Pestana Fernandes

Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Brasil

bruna.levy3@gmail.com

Juliana Machado

Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Brasil

juliana.machado@cefet-rj.br

Guilherme Inocência Matos

Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Brasil

guilherme.matos@cefet-rj.br

DOI: <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2022u909934>

Recepción: 26 Septiembre 2021

Aprobación: 07 Abril 2022



Acceso abierto diamante

Resumo

O objetivo deste estudo foi identificar e analisar compreensões mobilizadas por estudantes sobre aspectos dos modelos científicos. Para isso, foram realizadas entrevistas semiestruturadas individuais contendo perguntas gerais — sem exemplos — e específicas — com exemplos, envolvendo temas de Biologia. O quadro teórico teve como base as categorias e os níveis de complexidade utilizados por Grünkorn et al. (2014) para a análise e atribuição de significação às respostas obtidas nas entrevistas. O corpus foi analisado e categorizado nos aspectos sobre a compreensão de modelos: natureza, multiplicidade, objetivos, mutabilidade e testagem dos modelos. Os resultados mostraram uma presença expressiva da ideia de modelo como sendo uma cópia do original, assim como a associação entre modelo e método científico, entre outras características das concepções dos participantes. Adicionalmente, foi possível notar que essas concepções variam de acordo com o tipo de pergunta (geral ou específica) e com o conteúdo dos exemplos (no caso das perguntas específicas). Com base nesses resultados, levantamos a hipótese de que essa variabilidade possa ser explicada à luz da Teoria dos Campos Conceituais de G. Vergnaud.

Palavras-chave: MODELOS EM BIOLOGIA, EPISTEMOLOGIA, NATUREZA DA CIÊNCIA, ENSINO DE BIOLOGIA, ENSINO DE CIÊNCIAS.

Abstract

This study aims to identify and analyze students' conceptions about aspects of scientific models. Individual, semi-structured interviews were carried out on high school students, who answered to questions related to biology, grouped into general (without examples) and specific (with examples). The theoretical framework used for the analysis and attribution of meaning to the outcomes of the interviews is based on the categories and levels of complexity developed by Grünkorn et al. (2014). The corpus was examined and classified according to aspects of understanding of models: nature, multiplicity, objectives, mutability and model testing. Data demonstrated a significant presence of the idea of model as 'a copy of the original', in addition to a considerable association between model and scientific method, among other characteristics. Additionally, it was possible to notice that these conceptions vary according to the type of question (general or specific) and the content of the examples, in the case of specific questions. Based on these results, we raise the hypothesis that this variability can be explained in the light of G. Vergnaud's Theory of Conceptual Fields.

Keywords: MODELS IN BIOLOGY, EPISTEMOLOGY, NATURE OF SCIENCE, BIOLOGY TEACHING, SCIENCE TEACHING.

Introdução

Modelos estão presentes no nosso dia a dia e ao nosso redor o tempo todo. A previsão do tempo, por exemplo, é apresentada nos jornais por meio de modelos, o que também acontece para explicações sobre mudanças climáticas, vacinação e imunidade de grupo, dentre outros. Portanto, entender sobre modelos, o processo de construção de modelos e seu uso nas ciências é importante não somente para os cientistas, como também para os cidadãos participantes de discussões sociais e tomadas de decisão no seu dia a dia (Gilbert & Boulter, 2000; Jansen et al., 2019). O conhecimento a respeito de modelos científicos e o processo de construção desses modelos facilita não somente o aprendizado científico como também auxilia no desenvolvimento da compreensão de como a ciência descreve e investiga fenômenos (Gilbert & Boulter, 2000; Grünkorn et al., 2014; Jansen et al., 2019). Sendo assim, estudar modelos científicos seria também estudar a estrutura do conhecimento científico em si.

No ensino de ciências, os modelos possuem um papel importante na comunicação dos alunos com o objeto a ser estudado, através da visualização com o propósito de fornecer uma explicação. Além do papel de explicar, os modelos também podem auxiliar na descrição e na criação de predições sobre determinado objeto e na divulgação de conhecimentos dos cientistas com seus pares e com o público em geral (Oh & Oh, 2011). Portanto, na sala de aula, os professores utilizam modelos como forma de apoio para demonstrar e explicar elementos específicos e mais elaborados do conhecimento científico. No caso do ensino de biologia, em geral, os modelos são muitas vezes apresentados de uma forma limitada, somente com ilustrações e/ou com objetivos de comunicação e explicitação, negligenciando todo o processo científico por trás da construção destes modelos e seu uso nas ciências (Jansen et al., 2019).

Ao considerarmos modelos científicos como importantes para a compreensão da natureza da ciência e dos fenômenos naturais, assim como ferramentas muito utilizadas no ensino de ciências (Grosslight et al., 1991), investigar as concepções que os alunos possuem sobre o tema, sua utilização e seus objetivos, se torna imprescindível para um maior entendimento do que é ensinado sobre ciências nas escolas e, principalmente, como a ciência é compreendida pelos estudantes. Com base nas considerações expostas, desenvolveu-se uma proposta de pesquisa a fim de investigar compreensões sobre aspectos dos modelos científicos mobilizadas por um grupo de estudantes em um conjunto de situações envolvendo subtemas de Biologia, como genética, microbiologia, evolução humana, entre outros.

Breve panorama sobre modelos no Ensino de Ciências

Os modelos podem ser concebidos de formas distintas dependendo do contexto em que se encontram. Podem ser vistos como um tipo de alguma coisa ou marca (como modelo de fogão, modelo de celular, entre outros.), como um padrão a ser seguido (por exemplo: modelo de comportamento, entre outros.) ou ainda como alguma coisa a ser reproduzida (um molde, maquete, entre outros), mas no contexto da Ciência e do ensino de ciências, nenhuma dessas concepções é satisfatória (Almeida et al., 2018). Na literatura de educação em ciências, o termo modelo aparece com frequência mas assume diversos significados (Krapas et al., 1997). É importante ressaltar, contudo, que esse termo não é utilizado de forma equivocada, pelo contrário: esta frequência e pluralidade só evidenciam a sua diversidade de significados (Greca & Moreira, 2000). Ainda que haja um amplo consenso de que modelos são elementos importantes na prática científica, não há estabelecida uma definição única do termo. No entanto, o termo “representação” é comumente utilizado para explicar o que é um modelo científico (Oh & Oh, 2011).

Segundo Crawford e Cullin (2007), o objetivo geral de uma pesquisa científica é desenvolver uma compreensão de como o “mundo real” funciona. Para isso, os cientistas fazem observações, identificam padrões nos seus dados e, assim, desenvolvem e testam explicações para esses padrões. Essas explicações seriam os modelos científicos (Crawford & Cullin, 2007). Novos modelos científicos podem ser criados para expressar ideias abstratas a partir de elementos teóricos. Psicólogos acreditam que os modelos nos auxiliam a explicar e a fazer predições sobre um fenômeno, assim como para resolver problemas que os

envolvam (Gilbert & Justi, 2016). Segundo Gilbert et al. (2000), um modelo seria a representação de um fenômeno, inicialmente produzido para um propósito específico na pesquisa científica. Esse propósito seria a possibilidade de utilizá-lo para investigações que procurem explicações sobre o fenômeno que ele representa. Gilbert et al. (2000) explicitam como os modelos podem ser variados:

Muitos modelos são compostos por partes que são concretas, objetos que são vistos como existindo separadamente (e.g. a roda) ou como parte de um sistema (e.g., roda do carro). Um modelo de um objeto pode ser menor do que o fenômeno que representa (e.g., trem), do mesmo tamanho (e.g., corpo humano) ou maior do que ele (e.g., vírus). Outros modelos são abstrações, partes que são utilizadas como se fossem objetos, exemplo força e energia. Um modelo pode também ser uma ideia. Um modelo pode ser uma mistura de partes que são concretas (e.g. massas) e de partes que são tratadas como se fossem concretas (e.g., forças agindo em massas). Um modelo pode ser um sistema, uma série de partes numa relação fixa entre elas (e.g., as estações e as conexões entre elas numa rede de metrô). Um modelo pode ser de um evento, do comportamento de uma ou mais partes de um sistema por um período específico de tempo (e.g., um modelo de uma corrida de atletismo). Um modelo pode ser de um processo, um ou mais eventos dentro de um sistema que pode ter um resultado distinto (e.g., o método Bosch-Haber de fazer amônia a partir de nitrogênio e hidrogênio) (Gilbert et al., 2000, p. 11, tradução nossa).

Para Reinisch e Krüger (2016), uma definição de modelos é difícil de encontrar e pode variar dependendo da literatura utilizada. O agente cognitivo (o criador do modelo) determina o que é um modelo e qual o seu objetivo (Reinisch & Krüger, 2016; Passmore et al., 2014). Portanto, um modelo é o resultado de julgamentos feitos por quem o criou e algo vira um modelo quando o seu criador o vê como modelo de alguma coisa com algum propósito (Reinisch & Krüger, 2016). Oh e Oh (2011), em sua revisão de literatura sobre modelos no ensino de ciências, sustentam a ideia proposta por Gilbert e Boulter (2000) de que modelos seriam a representação de objetos, fenômenos, ideias e/ ou seus sistemas, o que indica que um modelo não é feito para descrever ou definir algo diretamente. Um modelo então, não interage com o alvo diretamente, mas existe através da interpretação do criador do modelo sobre o alvo e o seu objetivo ao criar o modelo. (Gilbert & Boulter, 2000; Oh & Oh, 2011).

Sobre o uso de modelos em sala de aula, Oh e Oh (2011) destacam que “(...) a apresentação de modelos desempenha um papel importante na orientação dos alunos para interpretar e compreender os sistemas alvo e construir seus próprios modelos mentais” (Oh & Oh, 2011, p. 1121, tradução nossa). Ou seja, os modelos apresentados aos alunos são interpretados de acordo com as suas capacidades e estes formarão novos modelos mentais de acordo com seus entendimentos. Van der Valk et al. (2007), apoiando-se em outros autores, descrevem as duas características gerais de modelos como sendo: um modelo sempre está relacionado com um alvo e é projetado para um determinado objetivo; e um modelo serve como uma ferramenta para obter informações sobre um alvo, o qual, sozinho, não é diretamente observável e palpável.

Neste estudo, optou-se pelo conceito de modelos de Gilbert et al. (2000), também utilizado por Grünkorn et al. (2014) de que os modelos são representações de algo (no caso, um original — alvo) que servem de instrumento para atingir algum objetivo. Nessa visão, a concepção de modelos está intimamente atrelada aos seus objetivos, não somente à sua função representativa. No estudo de Grünkorn et al. (2014), esse fator se reflete também na forma de corresponder as respostas obtidas na entrevista com os níveis de complexidade dispostos. Respostas que se conectam mais com o conceito de modelos adotado na pesquisa foram classificadas como sendo de níveis de complexidade maiores, enquanto as que mais se afastam, como sendo de níveis de complexidade menores.

Referencial teórico

Origem do referencial teórico de análise

Grosslight et al. (1991), em seu estudo, fundamentaram cinco aspectos para a compreensão de modelos e seu uso nas ciências: tipos de modelos, objetivos dos modelos, criação de modelos, múltiplos modelos para a mesma coisa e mudando modelos. Com base nesse quadro, desenvolveram um estudo com alunos de ensino médio e anos finais do fundamental, a fim de entenderem suas concepções de modelos. Com seus resultados, elencaram três níveis diferentes de compreensão que refletem visões epistemológicas diferentes

de modelos e seu uso nas ciências (Grosslight et al., 1991; Gilbert, 1991; Mahr, 2009). Esse estudo, além dos trabalhos de Crawford e Cullin (2005) e Justi e Gilbert (2003), foi utilizado por Upmeier zu Belzen e Krüger (2010) como um ponto de partida para desenvolver um referencial teórico para as compreensões dos estudantes acerca de modelos e seus usos na ciência, divididas em categorias e distribuídas em níveis de complexidade. Posteriormente, esse referencial teórico foi avaliado quanto a sua acurácia em refletir tais compreensões por Grünkorn et al. (2014), que sentiram a necessidade em mudar e acrescentar algumas informações e concluíram uma nova forma de análise e embasamento teórico.

Jansen et al. (2019) fizeram um estudo revisando o trabalho feito por Grünkorn et al. (2014) e identificaram a necessidade de ajustar a categorização proposta por estes, a fim de incluir modelos conceituais e de processos. Essa necessidade é justificada tendo em vista que o uso de modelos no Ensino Médio começa a migrar, em maiores proporções, de uma escala mais concreta para uma mais abstrata, ao tratar, por exemplo em Biologia, mais sobre processos, tais como as ações de hormônios e mecanismos celulares, gradualmente incluindo conceitos mais complexos e menos concretos. Portanto, torna-se importante que se aborde também este tipo de modelo ao se fazer um estudo de categorização (Jansen et al. 2019).

No caso do estudo de Grünkorn et al. (2014) as perguntas foram discursivas e feitas por meio de questionários enviados aos alunos, enquanto em Jansen et al. (2019) por meio de entrevistas, como neste artigo. Jansen et al. (2019), em sua conclusão, propuseram pequenas mudanças no quadro de categorias a fim de adaptá-lo melhor à categorização de modelos de processos. Para nosso estudo, optamos também por acrescentar uma questão com um modelo mais processual, referente à ação hormonal que ocorre na digestão humana, mas não houve necessidade de utilizar as categorias propostas no estudo de Jansen et al. (2019) por não ser uma pesquisa baseada em modelos de processos.

Quadro de categorias

Para esta pesquisa, utilizamos de base a categorização proposta por Grünkorn et al. (2014) com algumas mudanças e adaptações necessárias, de acordo com as respostas obtidas nas entrevistas. Essas adaptações visaram também tornar as definições mais claras, já que muitas daquelas propostas por Grünkorn et al. (2014) são similares e, algumas vezes, de contexto divergente das utilizadas nesta pesquisa.

Na Figura 1 todas as categorias utilizadas estão expostas. Cada fragmento foi analisado a fim de classificá-lo tanto no aspecto ao qual correspondia, quanto ao seu nível de complexidade. Os níveis de complexidade vão do inicial (somente para alguns) ao 3, sendo o nível mais baixo aquele em que a ideia apresentada é mais distante daquela relativa ao referencial utilizado na pesquisa e o mais alto, o mais próximo deste. Esses níveis refletem uma visão epistemológica de modelos como métodos e produtos para se produzir ciências (Gilbert, 1991; Mahr, 2009; Grünkorn et al., 2014).

De modo geral, o Nível 1 representa ideias que focam no modelo representacional em si e não no original (Mahr, 2009; Grünkorn et al., 2014), enquanto no Nível 2, apresenta-se uma noção de modelo como ferramenta para algo e há um certo foco no processo de criação destes modelos (Mahr, 2009; Grünkorn et al., 2014). Já no Nível 3, há uma interação entre as duas visões anteriores de modo a entender a sua aplicação nas ciências para delinear conclusões para o original (Mahr, 2009; Grünkorn et al., 2014).

Aspectos	Nível Inicial	Nível 1	Nível 2	Nível 3
Natureza dos modelos	Modelo como método	1a – Modelo como cópia	2a – Modelo como uma variante possível	3a – Modelos como representações hipotéticas
		1b – Modelos com grande similaridade	2b – Modelo como uma representação com um foco específico	
Multiplicidade dos modelos	Vários modelos não muito diferentes entre si	1a – Modelos diferentes para diferentes representações do objeto	2a – Focos em diferentes aspectos	3a – Diferentes suposições
				3b – Diferentes suposições com perspectivas de aplicação diferentes
Objetivo dos modelos	Objetivo de método científico	1a – Modelos para exibição de fatos	2a – Modelos para identificar e explicar relações	3a – Instrumento para testar hipóteses sobre o original
		1b – Modelos para se obter um padrão	2b – Modelos para fazer predições	3b – Instrumento para transferir achados sobre o original para outros fenômenos

Figura 1.
Categorização de modelos utilizada na pesquisa

Aspectos	Nível Inicial	Nível 1	Nível 2	Nível 3
Mutabilidade dos modelos	NA	1a – Alterações devido a novas descobertas sobre o original	2a – Alterações devido a descobertas a partir de experimentações no modelo	3a – Alterações do modelo para adaptação ao objetivo
Testagem dos modelos	NA	1a – Teste de execução do modelo	2a – Comparação entre o modelo e original	3a – Comparação com modelos já existentes carregando a visão de modelo como teoria
		1b – Comparação com outros modelos sobre o mesmo original		

Figura 1.
Categorização de modelos utilizada na pesquisa (continuação)

Nota. NA – Não aplicável.

Definição das categorias de cada aspecto

Natureza dos Modelos

- Nível Inicial (Modelo como método): Modelo é visto como sinônimo de método científico.
- Nível 1a (Modelo como cópia): Modelo como sendo uma cópia aumentada/ reduzida do original. Corresponde ao original em aspectos fundamentais. Aceito como um modelo do original, pois há muita confiabilidade na ci
- Nível 1b (Modelo com grande similaridade): Modelo lembra o original, pouca diferença que pode ou não ser dada por alguma pequena insatisfação com o seu processo de construção. Pode julgar o modelo baseado com suas experiências ou conhecimento prévios.
- Nível 2a (Modelo como uma variante possível): Não demonstra certeza sobre o modelo. Falas abstratas sobre propriedades similares e/ou sobre a “clareza” do modelo. Uma versão possível entre várias, já que algumas partes talvez não possam ser julgadas pela falta de conhecimento sobre o original, pela dificuldade em se obter informações sobre o original ou pela falta de conhecimento sobre o processo de construção do modelo
- Nível 2b (Modelo como uma representação com foco específico): Focada em um elemento do original, dá ênfase em certos traços/propriedades. Indica que há um objetivo específico para o modelo.
- Nível 3a (Modelos como representações hipotéticas): O modelo é visto como uma hipótese justa de um original. Não vê a necessidade de o modelo ser uma representação fiel do original. Considera ou não um objetivo específico para o modelo.

Multiplicidade dos modelos

- Nível Inicial (Vários modelos não muito diferentes entre si): Pressupõe múltiplos modelos, mas pode indicar que a diferença entre eles seria pouco significativa. A ideia de um modelo mais correto/completo para representar um original pode estar presente.

- Nível 1a (Modelos diferentes para diferentes representações do objeto): Entende modelos diferentes com foco na diferença de apresentação. Diferentes métodos de apresentação (ex. 2D, 3D, cores diferentes e gráficos), diferentes características/atributos (ex. pequeno ou grande, macio ou duro); diferentes formas de construção (ex. materiais finos ou grossos, elementos separados ou únicos).

- Nível 2a (Foco em diferentes aspectos): Entende modelos diferentes devido a complexidade do original que permite perspectivas e formas diversas de focar no original (interior ou exterior, estrutura ou função, entre outros). Cada modelo focaria em um aspecto do original.

- Nível 3a (Diferentes suposições): Pode haver várias ideias e suposições sobre o original (formas de analisar e compreender o original). Modelos diferentes são válidos ao mesmo tempo.

- Nível 3b (Diferentes suposições com perspectivas de aplicação diferentes): Percepções sobre o original são “nomeadas” de acordo com objetivos científicos. A existência de múltiplos modelos se relaciona com os objetivos deles.

Objetivo dos Modelos

- Nível Inicial (Objetivo de método científico): Falas que indicam uma visão de modelo e método como sendo sinônimos (explicitamente ou não), sendo assim, o modelo teria o objetivo do método científico.

- Nível 1a (Modelo para exibição de fatos): Fala de um modo geral de modelos apresentarem fatos e/ou o modelo ser didático. Não identifica as relações presentes no modelo.

- Nível 1b (Modelo para se obter um padrão): Indica que o modelo é necessário para que, ao analisar o mesmo original, diferentes pessoas partam do mesmo modelo. Serve para base de pesquisas.

- Nível 2a (Modelos para identificar e explicar relações): Vê o modelo como algo que descreve e/ou explica relações entre diferentes aspectos do original para entender fatos conhecidos ou a natureza. Aqui, já existe mais detalhamento sobre o que o modelo mostra e as relações ali presentes.

- Nível 2b (Modelos para fazer predições): Indica que o modelo poderia ser usado para fazer predições, mostra-se insatisfeito com os possíveis resultados.

- Nível 3a (Modelos como instrumento para testar hipóteses sobre o original): Servindo como instrumento para testar hipóteses sobre o original, ideias gerais sobre a utilização dos modelos podem ser mencionadas.

- Nível 3b (Modelos como instrumento para transferir achados sobre o original para outro fenômeno): Testar hipóteses sobre o original e servindo para tirar conclusões sobre o original, ideias concretas são mencionadas. Serve para transferir achados sobre o original para outro fenômeno.

Mutabilidade dos modelos

- Para esse parâmetro não se aplica o Nível Inicial.

- Nível 1a (Alterações devido a novas descobertas sobre o original): Integrar novas descobertas sobre o original no modelo/melhorar a tecnologia leva a novas descobertas sobre o modelo.

- Nível 2a (Alterações devido a descobertas a partir de experimentações no modelo): Ajustar o modelo de modo a refletir descobertas sobre o original baseado num experimento feito no modelo ou negação da hipótese por trás do modelo.

- Nível 3a (Alterações do modelo para adaptação ao objetivo): Mudança para adaptar o modelo ao objetivo da sua utilização ou para mudar a perspectiva de observação do modelo.

Testagem dos modelos

- Para esse parâmetro não se aplica o Nível Inicial.

- Nível 1a (Teste de execução do modelo): Falas que relacionam a validação do modelo com a sua capacidade de ser replicado novamente por quem o fez ou pela comunidade científica. Neste caso, percebe-se uma definição de modelos como sinônimo, ou algo muito próximo, ao que seria o método científico.

- Nível 1b (Comparação com outros modelos sobre o mesmo original): Falas que atribuem a testagem de um modelo à comparação do mesmo a outros modelos já existentes sobre o mesmo tema. Mas nesse caso, vê modelo como sinônimo de método científico e, desta forma, a aplicação de modelos (métodos) conhecidos, poderia levar a um novo modelo sobre determinado original.

- Nível 2a (Comparação entre o modelo e o original): Falas que indicam uma comparação entre propriedades do original (sejam elas sobre estrutura ou sobre a função) e do modelo, fazendo uma experimentação no original para analisá-lo e, assim, ver se ele e o modelo estão de acordo. Pode comparar propriedades entre modelo e original e apresentar, ou não, os ajustes que seriam necessários para esta congruência. Carrega a ideia de que um modelo mais próximo ao original seria o objetivo.

- Nível 3a (Comparação com modelos já existentes carregando a visão de modelo como teoria): Testar um modelo comparando-o com modelos previamente existentes para representar o mesmo original. Semelhante ao anterior, mas apresenta uma visão mais teórica de modelos. Pode comparar os resultados com situações reais ou não. Não vê modelo como método.

Desenvolvimento metodológico

A presente pesquisa consiste em um estudo de natureza exploratória, que busca caracterizar as compreensões dos alunos sobre modelos em Biologia. Para alcançar esse objetivo, os procedimentos metodológicos utilizados foram orientados pela natureza da pesquisa qualitativa. Esta concentra-se no estudo dos fenômenos sociais e na valorização das perspectivas dos sujeitos participantes, baseando-se na visão de que o conhecimento é fruto do contexto social (Lodico et al., 2006).

Contexto da pesquisa e os participantes

Os participantes da pesquisa constituíram um grupo de seis estudantes do ensino Médio- Técnico, que desenvolviam uma atividade de bioinformática, em uma situação de ensino sobre microbiologia e ecologia. Os estudantes participantes (três do sexo feminino e três do sexo masculino, com faixa etária entre 17 e 20 anos) já trabalhavam em projetos com professores da área de Biologia e, portanto, já tinham contato com a área científica e demonstravam um certo esclarecimento sobre a construção do pensamento científico, os elementos necessários para elaborar uma pesquisa científica de qualidade e onde pesquisar artigos científicos. A atividade de bioinformática que congregou os participantes foi acompanhada pelos autores e, embora sua estruturação não faça parte do escopo deste estudo, foi possível observar que discussões sobre a natureza e o papel dos modelos na ciência perpassaram a interação entre estudantes e professores, ainda que não ocupassem a centralidade. Em diálogo com os pesquisadores, o docente responsável pelo planejamento da atividade de bioinformática informou que um dos seus objetivos era o incentivo à reflexão sobre o papel dos modelos, ainda que em caráter introdutório e explícito apenas em alguns momentos.

Cada participante recebeu o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, a fim de que possuíssem conhecimento a respeito da pesquisa e consentissem sua participação. Os entrevistados menores de 18 anos tiveram seus termos lidos e assinados pelos devidos responsáveis. Para preservar a identidade dos participantes, todos os nomes aqui apresentados são fictícios.

Coleta e análise de dados

O principal instrumento de coleta de dados foi a realização das entrevistas com os alunos participantes da pesquisa. O protocolo de realização das mesmas foi construído com base em três artigos que serviram de referência para criação das perguntas e categorização das respostas para as análises de dados: Crawford e Cullin (2007), Grünkorn et al. (2014) e Jansen et al. (2019). As entrevistas foram do tipo semiestruturadas, na qual perguntas são previamente estabelecidas mas há abertura para que outras surjam

espontaneamente durante o processo (Lodico et al., 2006). Foram feitas, pelo menos, 22 perguntas em cada entrevista.

O protocolo foi dividido em duas partes: uma primeira parte com perguntas gerais e outra com específicas. A primeira parte teve como base o trabalho de Crawford e Cullin (2007), a fim de abranger os aspectos pré-definidos (natureza dos modelos, multiplicidade dos modelos, objetivo dos modelos, testagem dos modelos e mutabilidade dos modelos) de maneira objetiva. Nela, cada pergunta é feita diretamente englobando cada uma das categorias utilizadas. Apesar das perguntas terem sido retiradas do artigo supracitado, pequenas mudanças foram feitas para adequá-las melhor aos objetivos da pesquisa, de modo que nem todas foram utilizadas e houve um acréscimo de uma pergunta direta sobre a testagem dos modelos. A segunda parte, de perguntas específicas, foi inspirado no trabalho produzido por Grünkorn et al. (2014). Cada uma das perguntas continha exemplos para compreender melhor as perspectivas dos alunos sobre os mesmos aspectos citados anteriormente. Apesar das perguntas terem sido elaboradas de uma forma bem semelhante, os exemplos dados foram diferentes para que contemplassem melhor modelos microbiológicos e de processos. O único exemplo utilizado da mesma forma que no artigo de Grünkorn et al. (2014) foi o do Neandertal. Cada entrevista teve duração média de 34 minutos, sendo a mais longa contendo 44 e a mais curta 28 minutos. Todas as entrevistas foram transcritas (totalizando 3 horas e 40 minutos de áudio) em 58 páginas, constituindo assim o corpus da pesquisa. Esse material foi então submetido a uma Análise de Conteúdo (Bardin, 1977). A análise de conteúdo é uma metodologia analítica das comunicações do que foi dito ou observado pelo pesquisador que se utiliza de instrumentos metodológicos sistemáticos. Após a fase de codificação do material, os fragmentos foram analisados individualmente e categorizados usando a proposta de Grünkorn et al. (2014), inicialmente atribuindo cada fragmento a um dos aspectos (natureza, mutabilidade, objetivo, multiplicidade e testagem dos modelos). Em uma segunda fase de categorização, os fragmentos foram organizados de acordo com o nível de complexidade. Esse trabalho analítico foi realizado inicialmente de forma individual pela primeira autora, sendo posteriormente enriquecido com outras participações, descritas na subseção seguinte.

Validação das análises

Algumas das medidas tomadas para favorecer a confiabilidade do estudo foram o engajamento prolongado e a observação persistente (Lincoln & Guba, 1995), pelos quais a primeira autora acompanhou os alunos na atividade de bioinformática, assistiu a suas apresentações ao final do projeto e realizou a leitura dos materiais produzidos pelos participantes que resultaram daquela atividade, além do seu envolvimento com o estudo mais detalhado do corpus produzido com as entrevistas.

Para garantir a validade da análise de conteúdo, desenvolvemos uma auditoria de confirmabilidade (Guba, 1981) por meio de um procedimento de verificação de concordância interjuízes, no qual a segunda autora categorizou independentemente a totalidade do corpus e o nível de concordância foi calculado utilizando-se o coeficiente kappa de Cohen, que corrige os acordos que podem ocorrer ao acaso. Os valores mais próximos de 1 são considerados mais confiáveis enquanto os mais distantes, menos confiáveis (McHugh, 2012; Landis & Koch, 1977). Para a interpretação do valor do coeficiente, utilizou-se como base Landis e Koch (1977) que propõem que um grau de concordância entre 0 e 0,20 seria fraco, entre 0,41 e 0,60 moderado, 0,61 e 0,80 substancial e entre 0,81 e 1 quase perfeito.

Assim, após a totalidade dos fragmentos ser categorizada pela segunda autora, o índice de concordância encontrado foi de 0,73, valor significativo de acordo com o referencial. Posteriormente, as categorias foram também analisadas e discutidas com outros dois pesquisadores da área de Ensino de Ciências com experiência na pesquisa sobre modelos. Considerando essas últimas contribuições e repensando os pontos de discordância da análise inicial, as autoras discutiram conjuntamente acerca da categorização até atingir um acordo com relação ao resultado. Adicionalmente, para reforçar a confiabilidade do estudo, o material foi disponibilizado para revisão (Lodico et al., 2006).

Resultados

Nesta seção, os resultados serão analisados pelas categorias pertencentes a cada aspecto sobre modelos. A quantidade de ocorrências para cada uma das categorias pode ser visualizada na Tabela 1.

	Natureza	Multiplicidade	Objetivos	Mutabilidade	Testagem
Inicial	7	17	2	NA	NA
1a	10	4	10	12	1
1b	9	NA	3	NA	1
2a	8	10	7	4	20
2b	12	NA	1	NA	NA
3a	3	8	8	3	4
3b	NA	14	7	NA	NA

Tabela 1.

Número de ocorrências em cada categoria
Tabela elaborada pelos autores.

As falas dos entrevistados (fragmentos de respostas) serão apresentados entre aspas e em itálico. A quantidade de ocorrências em cada categoria foi superior a quantidade de entrevistados, já que cada entrevistado, em suas respostas, apresentava múltiplas concepções de modelos e seu uso nas ciências. Não foi incomum perceber, inclusive, falas contraditórias sobre os mesmos conceitos.

Natureza dos Modelos

Para este aspecto, 49 fragmentos foram selecionados ao todo. Na pergunta geral: “Para você, o que é um modelo científico?”, foram retirados para categorização oito fragmentos de resposta. A maioria desses fragmentos (sete) foi identificada na categoria “Modelo como método”, a qual só apareceu nesta pergunta. A maioria dos participantes fez correlações entre método científico e modelo científico, tais como: “Ah, uma metodologia dessas hipóteses. Uma metodologia testada, criada, a partir de uma hipótese” (César); “[...] Eu penso em [...] método científico...” (Gisele); “Quando eu penso em modelo científico me vem o método científico que os professores falam...” (Luana).

A categoria 1a, “Modelo como cópia”, apareceu em sua maioria na questão que perguntava em qual nível o modelo de célula procarionte proposto corresponderia a estrutura real das bactérias. Esta categoria foi identificada em trechos como: “Então [...] para mim representa bem. Para uma pessoa leiga [...] acho que representa bem” (Luana) e “Acho que sim [quando pergunto se esse modelo teria elementos “reais”]. Acho que já tiveram estudos suficientes para chegarem a essas informações” (Gisele); “Ele [modelo de célula procarionte] ilustra as características gerais de uma célula procarionte” (Leonardo), indicando que o modelo pode representar seu alvo em aspectos fundamentais e reafirmando uma confiabilidade na ciência.

Já a segunda categoria, 1b, “Modelo com grande similaridade”, apareceu em maior quantidade quando a mesma pergunta citada anteriormente foi feita, mas utilizando um modelo de Neandertal e, também, na pergunta: Qual dos modelos (se tiver algum) você considera mais próximo do original? que comparava os dois modelos (Neandertal e célula procarionte). “Aqui [célula procarionte] [...] tem várias possibilidades, vários estudos, vários exemplos, vários objetos, o [Neandertal] [...], só temos um crânio. [...] não tem vários crânios, de forma a identificar qual seria o padrão...” (Antônio); “[...] eu acho que representa bem. Eles são humanos entre aspas, mas eles têm pequenas diferenças entre a gente...” (Vinícius); “Eu acredito que a bactéria. Porque temos mais disponibilidade para fazer mais estudos para chegar numa representação...” (Antônio). Nos exemplos de fragmentos pertencentes a esta categoria fica claro, mesmo apesar de considerarem o modelo (ou a maior parte dele) uma representação válida do original, que os participantes recorrem aos seus conhecimentos prévios sobre a construção de modelos e/ou o original para basear suas respostas.

A categoria 2a “Modelo como uma variante possível” foi identificada em oito fragmentos, sendo aqui a maior identificação de ocorrência em perguntas distintas. Apesar de ter uma ocorrência ligeiramente maior na pergunta sobre o modelo de Neandertal, já mencionada previamente (com 4 identificações), é válido destacar aqui que, dentro deste aspecto, somente nesta categoria foi identificado um fragmento proveniente de uma pergunta cujo objetivo direto não era obter respostas sobre Natureza dos Modelos e sim Multiplicidade: “Pode ser que sejam o mesmo, pode ser que sejam diferentes (tipos de vírus). [...] Não quer dizer que eles sejam assim” (Antônio). Nesta questão sobre diferentes modelos de vírus, Antônio evidencia sua incerteza sobre o modelo mas aceitação de que são versões possíveis entre várias outras. Já Gisele, após concordar que o modelo de célula procarionte apresentado representa relativamente bem uma bactéria na realidade, indica que haveria uma dificuldade em se obter informações sobre o original através do seguinte apontamento: “Se a gente não conhece nem completamente o nosso corpo, o ambiente que a gente vive, o planeta no geral que é uma coisa grande, como é que a gente vai conhecer tão bem uma célula bacteriana que seja?”.

A categoria 2b “Modelo como uma representação com foco específico” foi a quemais teve ocorrências neste aspecto, como pode ser visto na Tabela 1. Doze fragmentos foram identificados, sendo sete na pergunta sobre o modelo de célula procarionte, por exemplo: “São elementos reais da bactéria mas de uma forma mais visual para que possamos entender ...” (César); “[...] acho que ele representa muito a parte mais simples da matéria. Meio que para inserir as pessoas naquilo...” (Vinícius); “Acho que é mais ilustrativo mesmo [...] Para as pessoas, para os alunos mesmo quando vão estudar conseguirem idealizar” (Gisele). Nos trechos expostos, fica evidente a identificação no modelo de célula procarionte de um objetivo específico e, na maioria dos casos, de uma função didática.

A categoria do nível 3 “Modelos como representações hipotéticas” obteve somente três ocorrências: “A célula não se divide de uma forma assim [...] Isso foi cortado num espaço e num tempo e [...] foi organizado [...] para uma pessoa entender como é dentro de tal célula” (Antônio); “Cada vez mais a gente tenta chegar mais próximo possível das descobertas, mas (difícil) dizer exatamente como era. Até porque fazer a imagem de um Neandertal nem sempre vai dizer como todos eram, porque nós mesmos seres humanos temos cada um, uma característica...” (Gisele); “[...] é a forma estática. A gente não vê o que acontece de forma contínua e sendo uma forma didática, [...] a gente pode ser que apague certos erros de conectivos...” (Antônio). Em todos os casos, o modelo foi considerado uma hipótese justa e um recorte específico, uma representação que não precisaria, nem conseguiria, ser completamente igual ao original.

Multiplicidade dos Modelos

No presente aspecto, 53 fragmentos foram categorizados em cinco categorias como pode ser visto na Tabela 1.

No nível “Inicial”, há uma categoria referente a compreensão de haver mais de um modelo para o mesmo original sem que eles tenham uma diferença significativa: “Vários modelos não muito diferentes entre si”. Dos 17 fragmentos identificados nesta categoria, 11 foram obtidos na pergunta sobre a existência de múltiplos modelos de vírus: “São vírus diferentes, [...] Mas eles têm características em comum” (Leonardo); “Eu acho que a estrutura expressa uma diferença entre cada um deles senão não seriam diferentes visualmente...” (Gisele); “Os dois [modelos para um mesmo vírus] existiriam mas ficaria a questão, não saberia dizer qual é o mais certo ou não...” (Luana); “Eu acho que tem um mais correto...” (Vinícius). Os exemplos de fragmentos evidenciam a compreensão dos modelos como sendo de diferentes vírus e, ao serem perguntados sobre a existência de diferentes modelos para o mesmo vírus, alguns trouxeram a ideia de que seria possível mas teria um mais correto e/ou mais completo.

Ao analisar o nível 1a — “Modelos diferentes para diferentes representações do objeto” — foi possível observar que existem menos fragmentos correspondentes do que a categoria anterior, distribuídos igualmente entre duas perguntas: “(...) Explique por que existem múltiplos modelos de vírus” — com exemplos — e outra direta perguntando se poderia haver mais de um modelo para o mesmo original e porque — sem exemplos. Os fragmentos apresentaram a ideia de que haveria uma diferença entre a forma

de representação dos modelos relacionada à sua construção: “[...] a diferença desse [A] para esse [D] é que o primeiro apresenta uma imagem mais simples da definição de vírus [...] o [C] mas ele teria menos detalhes [...] por ser um modelo 2D” (Vinícius); “[...] mas tem outras pessoas que não vão entender mostrando esse modelo gráfico mas mostrando um modelo prático elas já entenderiam mais...” (César).

Na categoria 2a, “Foco em diferentes aspectos”, a maioria dos fragmentos identificados foram obtidos na pergunta semelhante à de vírus mas utilizando diferentes tipos de modelos para representar o DNA: “[...] esses dois aqui [A e D] são [...] bons para poder mostrar as ligações...” (Luana); “[...] eles falam da mesma coisa só que de formas diferentes...” (Luana); “[apesar das diferenças de representação] [...] no final eles explicam a mesma coisa.” (Gisele) “[...] todos dizem a mesma coisa só que estão diferentes, como se fosse um desenho: todo mundo desenhou o sol só que com os seus traços...” (Luana). Em oposição ao que foi visto na maioria dos fragmentos sobre os modelos de vírus, os modelos de DNA foram entendidos como diferentes mas representando o mesmo original.

Na categoria 3a, “Diferentes suposições”, a maioria dos fragmentos foi identificada nas respostas à pergunta geral, que questionava diretamente se era possível haver mais de um modelo para o mesmo original e se eles poderiam coexistir. “Acho [que modelos diferentes sobre o mesmo original] podem coexistir. Nem sempre a academia entra em consenso sobre determinada coisa.” (Vinícius); “Podem [coexistir] harmonicamente. Pode-se chegar a outro resultado de uma outra perspectiva do mesmo objeto de estudo [...]” (Antônio); “[...] modelos diferentes consideram parâmetros diferentes de explicação para análise dessa mesma coisa.” (Leonardo); “Se algum cientista chegar em outro modelo, por métodos diferentes, acredito que sim...” (Antônio). Os fragmentos sugerem que pode haver diferentes suposições sobre o mesmo original e que modelos diferentes sobre o mesmo alvo seriam válidos.

Já a categoria 3b, “Diferentes suposições com perspectivas de aplicação diferentes”, foi mais identificada nas respostas para a questão já mencionada anteriormente, sobre os diferentes tipos de modelos de DNA apresentados. A maioria dos fragmentos atribuiu esta diferença aos objetivos de utilização deles e há uma descrição maior das utilizações de cada modelo: “Nesses aqui [A e D], você tem uma representação química maior dos elementos [...] eu acho que seria mais um estudo bioquímico, uma pesquisa relacionada à essa área [...]” (Vinícius); “Essa imagem aqui de cima [B], seria a forma da exposição mas ainda seria meio plana, uma forma geográfica meio plana. Aqui seria mais volumétrico [C], uma coisa mais de volume [...] depende também de como ele vai ser usado” (Antônio); “Acho que depende do que a gente quer apresentar com eles [...] o modelo na dupla hélice é mais para tentar dar uma visualização [...] Esse daqui que são as bases nitrogenadas [...] na hora de ensinar fica mais didático...” (Gisele); “[...] esse aqui [B] tem um objetivo mais ilustrativo, mostrar as ligações [...] esse aqui [D] eu acho que está focando mais nas ligações entre as bases nitrogenadas...” (Leonardo).

Objetivos dos Modelos

O presente aspecto apresentou 38 fragmentos que foram categorizados em 7 categorias como pode ser visto na Tabela 1.

Como em “Natureza dos Modelos” alguns sujeitos haviam correlacionado modelo e método científico, essa equiparação também foi vista neste aspecto: “Assim, eu estou pensando como se fosse um sinônimo de método científico. Sendo assim, acho que o objetivo seria gerar uma hipótese e tentar comprovar ela...” (Luana). Deste modo, a categoria do Nível Inicial “Objetivo de método científico” só ocorreu na pergunta geral, na qual não havia exemplos e era diretamente perguntado qual era o objetivo de um modelo científico: “Qual seria o objetivo de um modelo científico?”.

Outra categoria que também só ocorreu na pergunta geral foi a 1b, “Modelo para se obter um padrão”, com três ocorrências, cujos fragmentos expressam a ideia de que um modelo é necessário para que, ao analisar o mesmo original, diferentes pessoas partam do mesmo princípio, um modelo “base”: “Para que se tenha um padrão. Te instruir em um caminho, dar uma base, um exemplo...” (Gisele); “Tem vários tipos mas normalmente tem alguns [...] mais usados, aí a gente utiliza [...] como um padrão [para outras

análises]” (César); “... imagino que as pessoas usem ele para fazer outras coisas, para se basear nisso [...] usar ele como exemplo para alguma coisa, que possa se basear...” (Gisele);

A categoria 1a, “Modelo para exibição de fatos”, foi a que obteve maior ocorrência neste aspecto, com 10 fragmentos. Na questão em que havia um modelo do funcionamento das correntes atmosféricas e dos oceanos e era perguntado o objetivo deste modelo, a maioria dos fragmentos (4) foi identificada: “Pode servir para fazer com que a pessoa entenda melhor as várias seções, os vários ciclos...” (César); “O que está acontecendo, como funciona todo o mecanismo, o sistema...” (Luana); “Acho que serve [para descrever]. Mostrar o funcionamento do ecossistema em uma determinada área...” (Vinícius); “[Mostrar os ciclos] da água, de evaporação, precipitação [...] e como funciona a maré” (Gisele). É possível observar que em todos os fragmentos, de modo geral, o modelo é visto como algo mais descritivo e demonstrativo, não há uma identificação das possíveis relações ali presentes.

A categoria 2a, “Modelos para identificar e explicar relações”, apareceu de maneira homogênea entre as perguntas com a finalidade de obtenção de respostas referentes a “Objetivos dos Modelos”. Os fragmentos identificados indicam que apesar da função explicativa no modelo, existem mais as relações presentes no mesmo, como: “Se uma bactéria cresce mais rápido em uma temperatura maior, isso fala até mesmo de como ela se comporta no meio ambiente...” (Gisele); “Isso [o modelo] de forma didática para ensinar [...] um aluno ou até para chegar a parte que se quis chegar ou aprofundar em tal assunto [...] Então [...] aqui pode ser um ponto de partida e uma forma didática de chegar num outro objetivo...” (Antônio). Em ambos os casos há uma inferência mais aprofundada sobre o que o modelo representa e, no segundo fragmento, uma ideia de que ele poderia ser introdutório para falar de algo mais complexo no futuro.

Já a categoria 2b, “Modelos para fazer previsões”, apresentou apenas um fragmento de resposta: “(...) não seriam tão boas as previsões porque você não depende só de dados visuais para lidar com um determinado evento, mas em determinados aspectos ele seria bom para prever mas não medir a realidade” (Vinícius). O presente fragmento indica que o modelo poderia ser usado para fazer previsões mas o sujeito mostra-se insatisfeito com os possíveis resultados quando consideradas outras perspectivas.

A categoria 3a, “Instrumento para testar hipóteses sobre o original” foi identificada, em sua maioria, nos fragmentos de respostas para a questão em que havia um modelo do funcionamento das correntes atmosféricas e dos oceanos e era perguntado o objetivo deste modelo, sendo seis fragmentos, dos oito totais, encontrados aqui. Os entrevistados, de fato, enxergaram que o modelo ali exposto servia como instrumento para testar hipóteses sobre o original: “[...] Previsões no sentido de você sabendo como isso se estrutura e se organiza, comparar com a realidade e procurar isso e fazer previsões sim. Talvez não muito acuradas [...]” (Leonardo); “Então seria bom para [...] desenvolver alguma tecnologia aí você tendo essas informações consegue desenvolver porque você sabe ‘ah, não vou fazer isso porque acontece isso na natureza’” (Luana); “[...] acho que o objetivo é você ter uma informação visual de como ocorrem os processos aqui na atmosfera e no oceano [...] aí eu posso usar isso para diversas coisas, desde explicação até para propor novas hipóteses de como acontecem esses fenômenos [...]” (Leonardo).

A categoria 3b, “Instrumento para transferir achados sobre o original para outros fenômenos”, teve maior ocorrência em fragmentos de respostas à questão que havia um gráfico demonstrando a taxa de crescimento de uma bactéria ao longo do tempo de acordo com a variação de temperatura. “Acredito que tem muito a ver com, não só com o estudo de bactérias como a aplicação na realidade que isso gera. [como] estudar os componentes que formam um antibiótico [...]” (Vinícius); “Você talvez tenha que beber um remédio que contém um bactéria lá que precisa ser aquecida a 20 graus Celsius para que ela cresça da forma que ela vai controlar algum tipo de sintoma no seu corpo [...]” (César); “Tem um jardim e quero de alguma forma fazer com que as plantas cresçam mais rapidamente, aí eu posso ver qual é a melhor bactéria [...] para ajudar o meu solo a ficar mais fértil de acordo com as temperaturas...” (Gisele). Nesta categoria, os fragmentos são mais claros sobre uma aplicação real, portanto, é possível observar que há uma descrição de alguma utilização prática do modelo apresentado.

Mutabilidade dos Modelos

No presente aspecto, 19 fragmentos foram agrupados em três categorias como pode ser visto na Tabela 1.

A categoria pertencente ao Nível 1a — “Alterações devido a novas descobertas sobre o original”, teve o maior número de ocorrências neste aspecto, sendo identificados 12 fragmentos. A metade deles ocorreu na questão que perguntava quais seriam as razões para alterar os modelos de célula procarionte e Neandertal propostos, enquanto os outros fragmentos se dividiram em outras duas perguntas. “Esse aqui [célula procarionte] seria mais o avanço da tecnologia, outras descobertas [...]” (Vinícius); “[...] aqui na parte do Neandertal, a gente pode continuar avançando nos estudos científicos e analisar, encontrar novas características [...]” (Antônio); “Uma nova descoberta [...]” (César); “O Neandertal [...] eu acho que se achassem outro tipo de crânio e aí fizessem um estudo e o crânio [...] A célula talvez se achassem alguma outra estrutura mesmo [...]” (Gisele); “Novos estudos [...] No caso do Neandertal, talvez novos achados que eles fizessem e da célula também” (Luana). Os fragmentos indicam que esses modelos seriam alterados a partir de novas descobertas no original.

Na categoria do Nível 2a na Tabela 1 — “Alterações devido a descobertas a partir de experimentações no modelo” —, só foram identificados fragmentos pertencentes a este nível na questão que pedia razões para alterar o modelo de regulação hormonal da digestão humana proposto. Nos trechos: “Eu iria testar primeiro, eu não iria descartar a ideia da outra pessoa logo de cara, eu iria testar para ter diferentes comparações” (César); “[...] seriam testes em várias pessoas [para verificar a veracidade do modelo], não poderia ser em uma só por exemplo. Se algumas das fases não ocorresse” (Gisele), fica evidente a ideia de alterar um modelo para ajustá-lo de acordo com a condução de testes.

A categoria do Nível 3 agrupa fragmentos que evidenciam que um modelo pode ser alterado para adaptá-lo ao objetivo da sua utilização. Esta perspectiva foi a menos identificada neste aspecto e teve a maioria das suas ocorrências (duas de três) na pergunta geral, em que diretamente eram perguntados os motivos para se alterar um modelo. “[...] vai depender também de como o modelo vai se encaixar no experimento que quer utilizá-lo, em qual objetivo de estudo que você vai aplicar o modelo [...]” (Antônio); “[...] pode mudar [um modelo] [...] vai depender do contexto [em que será utilizado] [...]” (César).

Testagem dos Modelos

No total, 26 fragmentos foram identificados como pertencentes a este aspecto e nele categorizados. Na categoria 1a, “Teste de execução do modelo”, somente um fragmento foi identificado, sendo esta categoria criada justamente a partir desta resposta à questão geral. Ao ser perguntado “como seria possível testar se um modelo é válido?”, um fragmento associou a validação do modelo com a sua capacidade de ser replicado novamente por quem o fez ou pela comunidade científica: “Ele fez experimento, escreveu, mandou para Academia e lá eles reproduziram o experimento. Se chegou no mesmo resultado [...] é um método provável para chegar em tal modelo” (Antônio). É possível observar aqui que a base da ideia também traz uma associação entre os conceitos de modelo e método previamente estruturados pelo estudante.

A categoria 1b, “Comparação com outros modelos sobre o mesmo original” também só obteve uma ocorrência e foi obtida como resposta ao ser perguntado sobre como e o que seria necessário para construir um modelo sobre algo que nunca construíram antes. É válido ressaltar que esta questão surgiu de maneira espontânea, específica e condizente com o contexto de uma entrevista feita com um dos alunos, não constante no protocolo inicial das entrevistas. O fragmento identificado carrega a ideia de que seria necessário observar modelos já existentes sobre um mesmo tema: “Seria por exemplo aplicando modelos de outrora, que já foram aplicados antes em outras coisas, em outros objetos [...] se não tiver o resultado esperado [...] que não foi satisfatório, continue aplicando outras formas e outros métodos até chegar num modelo mais crescente” (Antônio). Neste, como na categoria anterior, também há a convergência dos conceitos de modelo e método científicos.

Já na categoria 2a, “Comparação entre modelo e original”, foi encontrada a maioria dos fragmentos do presente aspecto. Destes, a maior parte se dividiu entre as perguntas sobre a testagem do modelo de célula procarionte e da digestão humana propostos e carregavam a ideia de comparação entre o modelo e original

para sua validação: “Por exemplo: pegar um cadáver, abrir, pegar o órgão que você tem no modelo [...] abrir esse órgão para ver como ele funciona por dentro.” (Vinícius); “Como é uma forma ilustrada, tem que identificar se tem realmente tais elementos que tão listados ali [no original] [...]” (Antônio); “[...] a gente pegaria um estômago de uma pessoa real e tentaria, de alguma forma, fazer ele funcionar ainda [...] e vê como ele funcionaria [...]” (César); “Pegando esse modelo e comparando com uma amostra de bactéria.” (Antônio); “Pegando essas células mesmo e tentando analisar elas, seja através de microscópio ou estudos mesmo para ver as partes que as compõe[...]” (Gisele).

Na categoria 3a, todos os fragmentos foram identificados nas respostas à questão geral. Neste caso, há a visão de modelos como algo teórico e a testagem do modelo se daria através da comparação com modelos previamente existentes para representar o mesmo original: “Comparando com outros modelos que já foram constituídos. [...] quando a gente fala de modelo estamos falando de teorias [...]” (Leonardo); “Botar ele a todos os testes [...] dentro daquele modelo de pesquisa e testando ele com diferentes valores” (Vinícius); “Procura ver a validade desses modelos dentro dos outros modelos que você tem e das teorias que foram instituídas [...]” (Leonardo). Os fragmentos evidenciam a ideia de que é possível utilizar modelos já consolidados para testar a validade de outro.

Conclusões

Com relação à natureza dos modelos, destaca-se o baixíssimo grau de consideração do caráter hipotético, parcial e aproximativo dos modelos, com apenas três ocorrências identificadas no nível mais elevado de complexidade. De maneira geral, sobressaíram-se concepções de modelos que enfatizam sua semelhança com o objeto, inclusive como cópia. Esse resultado vai ao encontro de outras investigações nessa linha (Grosslight et al., 1991). Por outro lado, não era esperada a associação que os estudantes estabeleceram entre modelo e método científico, principalmente pelos entrevistados já terem envolvimento com projetos de iniciação científica, que predominou na questão geral (que indagava diretamente o que os estudantes entendem por modelo científico), sendo reforçada na questão geral sobre o objetivo dos modelos e aparecendo também no aspecto relativo à testagem. Importa registrar que essa concepção de modelo como método surge, quase sempre, nas questões gerais, mas não naquelas em que se propõe um modelo específico.

Quanto ao aspecto da multiplicidade dos modelos, a categoria com maior ocorrência é a que tende a minimizar as diferenças entre eles, correspondente ao menor nível de complexidade. Apesar disso, a noção de nível mais alto de complexidade também obteve uma presença expressiva, com o reconhecimento de que os diferentes modelos servem a distintos objetivos de aplicação. Esses objetivos, por sua vez, investigados no terceiro aspecto, tendem a ser vistos predominantemente como de descrição ou demonstração do fenômeno alvo, ou seja, para exibir os fatos, mas também para relacionar variáveis e transferir achados, embora esses dois últimos objetivos surgissem, geralmente, em uma questão específica que já trazia um gráfico da taxa de crescimento bacteriano com a temperatura, o que talvez tenha sugerido tal resposta.

Ainda em multiplicidade dos modelos, também fica evidente como os sujeitos tiveram maior tendência a analisar o DNA como algo único e os vírus como diferentes. Normalmente o DNA é explorado nas aulas de ciências e biologia com um tipo de representação mas que pode variar dependendo dos objetivos de análise deste ácido nucleico, ao contrário dos vírus que geralmente são expostos nas aulas como tendo uma estrutura similar mas variando de acordo com alguma doença que podem causar. Já era esperado, portanto, que os entrevistados fizessem estas associações e por isto optou-se por colocar as duas questões.

Sobre a mutabilidade dos modelos, prevaleceu a concepção segundo a qual o que faz um modelo mudar é uma nova descoberta empírica sobre o original, seguida de longe pela aceitação de que experimentações sobre o próprio modelo também poderão levar a modificações deste. Essa visão empirista sobre a atividade de modelização foi ainda mais forte no último aspecto, no qual a testagem dos modelos é quase exclusivamente atribuída à comparação entre o modelo e seu original. Essa comparação, nas falas dos estudantes, é entendida de maneira empírica e direta (pegar um cadáver e abrir, visualizar a célula pelo microscópio), pelo que entendemos revelar-se aqui, mais uma vez, uma noção implícita de modelo como cópia do original.

Adicionalmente vale ressaltar que, muitas vezes, os sujeitos responderam às perguntas que visavam analisar suas concepções sobre mutabilidade dos modelos justificando a multiplicidade dos mesmos ou a testagem, argumentando que um modelo poderia mudar porque cada modelo diferente consideraria um parâmetro e isso justificaria a existência de múltiplos modelos. Em alguns momentos, os entrevistados atrelam as mudanças no modelo ao fato de serem testados e comprovados como insuficientes, dependendo do contexto, e esses fragmentos foram categorizadas como “testagem dos modelos”. Este fator, juntamente à falta de correspondência de “mutabilidade dos modelos” proveniente de outras questões, pode justificar a menor quantidade de fragmentos encontrada neste aspecto.

Além dessas observações que se reportam mais diretamente ao objetivo principal da presente investigação, foi possível notar uma variabilidade nas concepções expressas pelos participantes de acordo com a questão. Assim, determinadas categorias tiveram maior frequência em certos tópicos, associados a certos exemplos de temas biológicos pertencentes a microdomínios diferentes. Em adição, alguns níveis de complexidade foram atingidos apenas na questão geral, mas não nas específicas, ou vice-versa, ou ainda, tiveram frequências relativas muito superiores em um tipo de questão em relação ao outro. Portanto, essa variabilidade nas concepções foi presente tanto no comparativo acerca do tipo de questão: geral — aberta, sem proposição de situações — e específica — baseada em uma situação, quanto no comparativo inter-microdomínios (microbiologia, biologia celular, biologia evolutiva).

Considerações Finais

Ao reconhecer a ubiquidade dos modelos e sua centralidade na constituição do próprio conhecimento científico, compartilhamos das preocupações trazidas nas seções iniciais deste artigo acerca da necessidade de promover, na educação científica, uma compreensão do que significa construir modelos dos fenômenos com os quais lida a Ciência. A prevalência de concepções de modelo como cópia, por exemplo, além da escassez do reconhecimento de características fundamentais dos modelos exigem, a nosso ver, uma abordagem explícita dessas questões em sala de aula, como já foi indicado de forma geral acerca das questões sobre Natureza da Ciência (McComas, 2008; Martins, 2015).

Para essa abordagem ser efetivada, consideramos importante conhecer as concepções trazidas pelos estudantes, e nessa direção pudemos evidenciar a potencialidade do referencial desenvolvido por Grünkorn et al. (2014) ao proporem uma categorização estruturada por aspectos e níveis de complexidade. Com auxílio de alguns ajustes ao quadro de categorias, foi possível organizar as compreensões dos participantes dessa pesquisa de modo a possibilitar um panorama que permite responder ao problema e evidenciar aspectos relevantes. Portanto, consideramos que tal referencial poderá ser frutífero para futuros estudos que visem investigar o conhecimento das concepções de sujeitos acerca dos modelos científicos em diversos domínios e níveis escolares, ou mesmo para avaliar a evolução dessas concepções, em estudos longitudinais.

Vale ressaltar a percepção de que é necessário fazer adaptações ao referencial teórico dependendo do tipo de questões e modelos que serão utilizados e dos sujeitos que serão consultados. Na entrevista utilizada nesta pesquisa, foram colocados tipos de modelos diferentes do que os autores utilizaram no artigo original, gerando assim respostas igualmente distintas. Os entrevistados também já haviam tido um contato prévio com conceitos de modelos científicos e suas aplicações assim como participado de projetos de iniciação científica, estando familiarizados com alguns processos da construção de pesquisas nas ciências. Sendo assim, muitos ajustes foram feitos a partir das categorias do referencial teórico, porém, utilizando a estrutura, os aspectos e os níveis propostos pelos autores.

Consideramos necessário aprofundar esse estudo pela ótica do acoplamento entre tipos e conteúdo das questões e as correspondentes concepções evocadas pelos estudantes. Acreditamos que esse acoplamento possa ser interpretado à luz da Teoria dos Campos Conceituais de Gérard Vergnaud. Nesse contexto, o conhecimento é estruturado por situações, no sentido de tarefas a resolver, as quais podem ser organizadas em classes, que por sua vez acham-se relacionadas a determinados esquemas que compreendem o significado dos conceitos envolvidos. Dessa forma, o que distingue as questões (como as aqui realizadas)

pode ser entendido como o seu pertencimento a diferentes classes de situações. Embora nossos resultados indiquem uma variabilidade de concepções de acordo com as diferentes situações, o estabelecimento detalhado dessa relação encontra-se além do escopo desse estudo, demandando investigações futuras.

Ao percebermos a construção de modelos como parte da construção da Ciência em si, é possível entendermos a importância de relacionar modelos científicos com sua construção e objetivo ao apresentá-los em sala de aula e não os reduzir a apenas ilustrações de algo que será estudado (Reinisch & Krüger, 2016). Sendo assim, evidenciamos a possibilidade de outra perspectiva de estudo englobando também os professores a fim de contrastar as concepções de estudantes e seus docentes, de maneira geral ou em um contexto específico, com o propósito de obter uma maior compreensão de concepções de modelos científicos veiculadas no contexto escolar.

A partir desta análise, destacamos a importância de que a formação dos educadores em ciências inclua uma abordagem a respeito da natureza da ciência pela ótica dos modelos científicos e que permita refletir criticamente acerca dos aspectos desses modelos, aqui levantados. Acreditamos, então, na necessidade de trazer essas discussões para as propostas curriculares das licenciaturas nas áreas científicas, a fim de priorizar a construção de profissionais mais capacitados, reflexivos e que sejam capazes de reconhecer e conduzir esta temática de maneira mais consciente em suas aulas. Por fim, ressaltamos a importância destes temas serem também abordados em formações continuadas de professores e cursos de pós-graduação, como parte do propósito de formar cidadãos mais conscientes do processo de construção do conhecimento científico e de suas implicações na sociedade.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior — Brasil (CAPES). Os autores agradecem ao Prof. Dr. Marco Braga (CEFET/RJ) e ao Prof. Dr. Ulisses Nunes da Rocha (Helmholtz Centre for Environmental Research) pelo apoio à realização desta pesquisa.

Referências

- Almeida, D. J. E., Almeida, R. B. S., & Ferry, A. S. (2018). MAES-3DMF: Mapeamento estrutural de um Modelo Analógico do Espaço Sideral 3D em Meio Fluido para o ensino de Ciências. *Latin American Journal of Science Education*, 5(2), e22004(1–17). http://www.lajse.org/nov18/2018_22004.pdf
- Bardin, L. (1977). *Análise de conteúdo*. 70.
- Crawford, B. A., & Cullin, M. J. (2005). Dynamic assessments of pre-service teachers' knowledge of models and modelling. In K. Boersma, M. Eijkelhof, M. Goedhart & O. Jong (Orgs.), *Research and the quality of science education* (pp. 309–323). Springer.
- Crawford, B. A., & Cullin, M. J. (2007). Supporting prospective teachers' conceptions of modelling in science. *International Journal of Science Education*, 26(11), 1379–1401. <https://doi.org/10.1080/09500690410001673775>
- Gilbert, J. K., & Boulter, C. J. (Eds.) (2000). *Developing models in science education*. Springer Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/978-94-010-0876-1>
- Gilbert, J. K., Boulter, C. J., & Elmer, E. R. (2000). Positioning Models in Science Education and in Design and Technology Education. In J. K. Gilbert, & C. J. Boulter (Orgs.), *Developing Models in Science Education* (pp. 3–17). Springer Dordrecht.
- Gilbert, J. K., & Justi, R. (2016). Models of Modelling. In J. K. Gilbert, & R. Justi (Orgs.), *Modelling-based Teaching in Science Education* (pp. 17–40). Springer International Publishing.
- Gilbert, S. W. (1991). Model building and a definition of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(1), 73–78. <https://doi.org/10.1002/tea.3660280107>
- Ginsburg, H. (1997). What Happens in the Clinical Interview?. In H. Ginsburg (Org.), *Entering the Child's Mind: The Clinical Interview in Psychological Research and Practice* (pp. 70–114). Cambridge University Press.
- Greca, I. M., & Moreira, M. A. (2000). Mental models, conceptual models, and modelling. *International Journal of Science Education*, 22(1), 1–11. <https://doi.org/10.1080/095006900289976>
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. L. (1991). Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 799–822. <https://doi.org/10.1002/tea.3660280907>
- Grünkorn, J., Upmeyer Zu Belzen, A., & Krüger, D. (2014). Assessing students' understandings of biological models and their use in science to evaluate a theoretical framework. *International Journal of Science Education*, 36(10), 1651–1684. <https://doi.org/10.1080/09500693.2013.873155>
- Guba, E. G. (1981). Criteria for assessing the trustworthiness of naturalistic inquiries. *Ectj*, 29(75), 75–91. <https://doi.org/10.1007/BF02766777>
- Jansen, S., Knippels, M.-C. P. J., & Van Joolingen, W. R. (2019). Assessing students' understanding of models of biological processes: a revised framework. *International Journal of Science Education*, 41(8), 981–994. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1582821>
- Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2003). Teachers' views on the nature of models. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1369–1386. <https://doi.org/10.1080/0950069032000070324>

- Krapas, S., Queiroz, G., Colinvaux, D., & Franco, C. (1997). Modelos: uma análise de sentidos na literatura de pesquisa em ensino de ciências. *Investigações em Ensino de Ciências*, 2(3), 185–205. <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/627/416>
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *International Biometric Society*, 33(1), 159–174. <https://doi.org/10.2307/2529310>
- Lederman, N. G., Abd-el-khalick, F., Bell, R. L., & Schwartz, R. S. (2002) Views of Nature of Science Questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 497–521. <https://doi.org/10.1002/tea.10034>
- Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). *Naturalistic Inquiry*. Sage.
- Lodico, M. G., Spaulding, D. T., & Voegtler, K. H. (2006). *Methods in educational research: from theory to practice*. Jossey-Bass.
- Mahr, B. (2009). Information science and the logic of models. *Software & Systems Modeling*, 8(3), 365–383. <https://doi.org/10.1007/s10270-009-0119-2>
- Martins, A. F. P. (2015). Natureza da Ciência no ensino de ciências: uma proposta baseada em “temas” e “questões”. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 32(3), 703–737. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2015v32n3p703>
- McComas, W. F. (2008). Seeking historical examples to illustrate key aspects of the nature of science. *Science & Education*, 17(2–3), 249–263. <https://doi.org/10.1007/s11191-007-9081-y>
- Mchugh, M. L. (2012). Interrater reliability: The kappa statistic. *Biochemia Medica*, 22(3), 276–282. <https://hrcak.srce.hr/89395>
- Oh, P. S., & Oh, S. J. (2011). What teachers of science need to know about models: an overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109–1130. <https://doi.org/10.1080/09500693.2010.502191>
- Passmore, C., Svoboda, J. G., & Giere, R. N. (2014). Models in science and in learning science: focusing scientific practice on sense-making. In M. R. Matthews (Orgs.), *International handbook of research in history, philosophy and science teaching* (pp. 1171–1202). Springer.
- Reinisch, B., & Krüger, D. (2016). Preservice Biology Teachers' Conceptions about the Tentative Nature of Theories and Models in Biology. *Research in Science Education*, 48, 71–103. <https://doi.org/10.1007/s11165-016-9559-1>
- Taber, K. S. (2012). The natures of scientific thinking: Creativity as the handmaiden to logic in the development of public and personal knowledge. In M. S. Khine (Org.), *Advances in Nature of Science Research* (pp. 51–74). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-2457-0_3
- Upmeier Zu Belzen, A., & Krüger, D. (2010). Modellkompetenz im Biologieunterricht [Model competence in biology education]. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften [Journal of science education]*, 16, 41–57. https://archiv.ipn.uni-kiel.de/zfdn/pdf/16_Upmeier.pdf
- Van Der Valk, T., Van Driel, J. H., & De Vos, W. (2007). Common characteristics of models in present-day scientific practice. *Research in Science Education*, 37(4), 469–488. <https://doi.org/10.1007/s11165-006-9036-3>
- Vergnaud, G. (1986). Psychologie du développement cognitif et didactique des mathématiques. *Grand N*, 38, 21–40.
- Vergnaud, G. (2013). Pourquoi la théorie des champs conceptuels?. *Infancia y Aprendizaje*, 36(2), 131–161. <https://doi.org/10.1174/021037013806196283>