

Modelo de causalidade e experimentação: explorando relações

Model of causality and experimentation: exploring relationships

Alessandro Damásio Trani Gomes

Universidade Federal de São João del-Rei
alessandrogomes@ufsj.edu.br

Amanda da Silva Bernardes

Universidade Federal de São João del-Rei
amandabernardes174@gmail.com

Resumo

O objetivo deste trabalho é explorar a relação entre o modelo de causalidade, das variáveis envolvidas em uma investigação, desenvolvido pelo estudante e o seu desempenho experimental durante a atividade. Participaram da pesquisa 92 alunos do primeiro ano do Ensino Médio de uma escola pública federal. Os alunos foram indagados sobre a causalidade das variáveis antes e após a realização de uma atividade investigativa por meio de uma simulação computacional. Os resultados sugerem que os participantes que apresentaram um modelo mais adequado de causalidade entre as variáveis envolvidas tenderam a apresentar estratégias mais adequadas de experimentação, resultando em um melhor desempenho experimental e escores superiores no questionário final.

Palavras-chave: causalidade, atividade investigativa, ensino médio.

Abstract

This work aims to explore the relationship between students' causality model of the variables involved in an investigation and their experimental performance during the activity. Ninety-two first-year high school students from a federal public school participated in this research. Students were asked about the causality of variables before and after carrying out an investigative activity through a computer simulation. The results suggest that the participants who presented an adequate model of causality of the variables involved tended to present more adequate experimentation strategies, resulting in better experimental performance and higher scores in the final test.

Key words: causality, investigation, high school.

Introdução

As diretrizes curriculares vigentes em diversos países, inclusive no Brasil, defendem que o ensino de Ciências deva promover a alfabetização científica e a compreensão pública da Ciência, visando não somente o desenvolvimento de conhecimentos amplos e abstratos, mas também conhecimentos práticos e contextualizados, que contribuam para a formação de uma cultura científica efetiva (NRC, 2012; OSBORNE, 2014; RHOTON, 2010).

Considerando esta perspectiva para a Educação em Ciências, o laboratório escolar pode se tornar um componente curricular importante para a criação e o desenvolvimento de atividades mais abertas, de natureza investigativa. Segundo Borges (2002), as atividades investigativas envolvem a resolução de problemas práticos abertos sobre os quais os estudantes não possuem, de antemão, um roteiro ou uma resposta conhecida por eles, fazendo com que se sintam desafiados a solucioná-los com seus próprios recursos. Para que os alunos realizem satisfatoriamente uma atividade investigativa é necessário a mobilização de uma série de competências e habilidades relacionadas à experimentação como: identificar questões e problemas a serem resolvidos; formular hipóteses; propor procedimentos de coleta e análise dos dados; relacionar grandezas e parâmetros relevantes; construir explicações utilizando modelos físicos e os dados disponíveis; comunicar os resultados obtidos; dentre outras (PEDASTRE et al., 2015).

Pesquisadores defendem a hipótese de que as relações de causalidade entre as variáveis envolvidas na resolução de um problema prático influenciam, de forma decisiva, as ações dos estudantes durante a atividade (KESELMAN, 2003; MASNICK; KLAHR; KNOWLES, 2017). Isso pode explicar a diversidade de estratégias de investigação adotada e contribuir para um maior entendimento sobre essa diversidade e a influência das diferenças pessoais no desempenho durante a realização da atividade. Wellman e Gelman (1992) afirmam que muito antes de entrarem na escola, crianças distinguem o mundo físico, o mundo natural e o mundo mental e começam a raciocinar de forma bastante diferente nesses três domínios. Segundo os autores, (a) as crianças reconhecem e fazem distinções ontológicas, (b) utilizam princípios causais característicos para raciocinar em domínios específicos e (c) possuem uma rede coerente de relações causais que interliga vários conceitos dentro de um mesmo domínio.

A produção do conhecimento científico ocorre através do processo de construção de modelos, envolvendo recursos como analogias, metáforas e formalismo matemático. Portanto, o processo de modelagem e seu produto final, os modelos, são componentes fundamentais da prática científica. No seu trabalho, Kuhn et al. (2000) levantam a hipótese de que os indivíduos possuem um modelo mental inadequado de causalidade que explicaria as estratégias incorretas de controle de variáveis, os erros nas análises de sistemas de múltiplas variáveis e, conseqüentemente, as dificuldades na interpretação das evidências.

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é explorar a relação entre o modelo de causalidade, das variáveis envolvidas em uma investigação, desenvolvido pelo estudante e o seu desempenho experimental durante a atividade. Além disso, objetiva-se entender como a realização da investigação contribui no desenvolvimento e modificação das relações de causalidade entre as variáveis envolvidas.

Modelos mentais, causalidade e experimentação

Nas últimas décadas tem-se observado um aumento considerável de pesquisas relacionadas



aos processos pelos quais o ser humano entende um novo conceito ou situação. Para a construção de qualquer conhecimento, sabe-se que o ser humano tende a criar modelos, e para a criação desses modelos, o homem utiliza vários recursos, tal como a modelagem que pode ser definida como uma contínua reconstrução da realidade de maneira artificial (FERREIRA; FERRACIOLI, 2008). Um dos focos de pesquisas referentes a este tema, está nas concepções e noções dos estudantes nos conteúdos escolares, em especial, na Ciência.

A capacidade de criar modelos mentais é uma característica básica do sistema cognitivo humano. Um modelo mental pode ser definido como um tipo de uma representação icônica, um elemento estrutural, comportamental ou funcional análogo de uma situação, evento, objeto ou processo do mundo real ou imaginário (NERSESSIAN, 2009).

Para Vosniadou (2002), por preservarem a estrutura daquilo que representa, os modelos podem ser utilizados como instrumentos que auxiliam na construção de teorias. Eles também são, ao mesmo tempo, fontes de explicações e previsões e podem ser usados para sugerirem novas hipóteses, auxiliando no processo investigativo.

Partindo-se da aceitação de que só podemos aprender algo novo construindo modelos dele, os modelos mentais caracterizam as formas pelas quais o sujeito entende os sistemas com os quais interage. Quando se tenta explicar coisas com as quais interagimos, é uma forma de entender situações diferentes através de analogias que possuem um papel central na construção de modelos mentais, sendo estas o coração dos modelos (KRAPAS et al., 1997). As analogias servem para explicar algo novo através de um conhecimento já estabelecido e que tenha uma relação com essa nova informação, já que uma comparação entre ambas é feita nesse processo. Modelos envolvem analogias, pois representam ideias, objetos e conceitos por meio delas. Segundo, Gentner e Stevens (1983), os modelos mentais são construídos por analogia com sistemas mais familiares.

Na perspectiva de um ensino de Ciências voltado para a construção de modelos, a aprendizagem é compreendida como o processo de revisão dos modelos mentais individuais de cada estudante e o aprendizado de ciências envolve uma aproximação progressiva e a compreensão dos principais modelos curriculares e históricos da ciência (BORGES, 1997; SOUZA, 2013).

As revisões das pesquisas que identificam o conhecimento específico de indivíduos sobre vários fenômenos naturais (DRIVER et al., 1994; MCCLOSKEY, 1983; WANDERSSE; MINTZES; NOVAK, 1994) mostram que mesmo simples ideias ou concepções intuitivas, muitas vezes pouco ligadas às estruturas de pensamento, até mecanismos de causalidade mais ou menos sofisticados, fundamentados e até mesmo profundamente arraigados, permitem ao indivíduo fornecer explicações sobre domínios mais ou menos específicos do mundo que o cerca.

De acordo com Jonassen (2009), os modelos mentais são desenvolvidos indutivamente enquanto interagimos com objetos com o propósito de raciocinar sobre causalidades em sistemas físicos. Uma vez que o indivíduo obtém uma compreensão geral do que seja uma relação de causalidade, isto é, a noção de que um evento pode causar ou ser responsável por outro evento, ele está em condições de estabelecer relações causais em contextos específicos, formular hipóteses sobre supostas relações causais entre determinados eventos e adquirir, através dessa habilidade, conhecimentos específicos sobre os mais diversos domínios.

A realização de uma atividade investigativa tem como objetivo principal, na maioria das vezes, a identificação de causas e efeitos. O contexto de uma investigação, em geral, contém muitas variáveis e o problema é identificar qual variável ou variáveis são responsáveis por



determinado resultado ou como a mudança no valor de uma variável afeta o sistema como um todo. Para se trabalhar com sistemas com diversas variáveis, além de uma boa compreensão da atividade, é preciso que os indivíduos desenvolvam um modelo que envolva as relações de causalidade entre elas. Isso inclui o entendimento de que o resultado final é uma combinação de efeitos das variáveis envolvidas. O domínio desse modelo, segundo Kuhn e colaboradores (2000), é um pré-requisito fundamental para a escolha de uma estratégia produtiva de investigação. “Um indivíduo que possui tal modelo mental pode entender muito sobre um sistema e, em muitos casos, até mesmo prever resultados corretamente (p. 498)”. Por outro lado, quando esse modelo de causalidade é incompleto ou inadequado, o processo de investigação pode ser improdutivo, levando o indivíduo à frustração.

Segundo os autores, é necessário desenvolver certos processos metacognitivos, ou seja, despertar a atenção de o porquê determinada estratégia foi escolhida e outras não, assim como monitorar a sua aplicação e os resultados obtidos. Porém, a regulação desses processos metacognitivos necessita de um modelo operacional de causalidade entre as variáveis envolvidas. A implementação e utilização de um teste adequado e consistente¹, por exemplo, que tem o propósito de determinar o efeito individual de uma variável não será compreendida e valorizada a menos que o indivíduo tenha a consciência de que o resultado obtido é uma combinação de efeitos das variáveis envolvidas. Sem esse real entendimento, pode-se ensinar a implementação de testes adequados e consistentes, pois sua operacionalização é bastante simples (variar apenas um fator e manter os demais fatores constantes). Porém, o estudante pode não compreender a lógica da sua implementação e o porquê de sua utilização.

Assim, a ideia de que os estudantes fazem uso de diferentes modelos para representar a causalidade entre as variáveis envolvidas no problema pode explicar a diversidade de estratégias de investigação adotadas e contribuir para um maior entendimento sobre essa diversidade e a influência das diferenças pessoais na sua seleção. Além disso, pode explicar a observada falta de progresso na sofisticação das estratégias de experimentação.

Aspectos metodológicos

Participantes e contexto da pesquisa

Participaram da pesquisa 92 alunos do primeiro ano do Ensino Médio, cujos pais e/ou responsáveis consentiram a participação mediante a assinatura de um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

A pesquisa ocorreu em uma escola pública federal de Belo Horizonte. Todo processo de coleta de dados foi realizado no início do segundo semestre, em uma semana, durante a qual foram utilizadas, com a devida autorização da diretoria da escola e dos professores envolvidos, as aulas de Física e Informática. Cada turma realizou as atividades da pesquisa em uma aula de 100 minutos. Quando ocorreu a pesquisa, os alunos já haviam estudado cinemática e movimento acelerado, conteúdo abordado na atividade investigativa.

Instrumentos e procedimentos da pesquisa

¹ O teste é adequado se a variável cujo efeito se deseja determinar é tomada como variável independente. O teste é consistente se apenas essa variável se modifica entre duas ou mais repetições experimentais, sendo que todas as outras variáveis são mantidas inalteradas.

Questionários sobre a causalidade das variáveis

Os alunos responderam, individualmente, em dois momentos distintos, a dois questionários, um antes e outro depois da atividade investigativa. No questionário inicial (figura 1), a atividade descrita no enunciado e as variáveis consultadas estariam presentes na investigação e a descrição da atividade no enunciado do questionário coincidia com a atividade que seria realizada. Para cada uma das quatro variáveis, era perguntado se a variável teria influência ou não no resultado. Essa avaliação diagnóstica nos permite inferir aspectos fundamentais do modelo mental inicial, desenvolvido por cada aluno, antes da realização da atividade investigativa.

Figura 1: Questionário inicial, aplicado antes da realização da atividade investigativa.

<p>Considere que um estudante, durante uma aula de laboratório de Física, tenha em sua bancada, rampas de diferentes materiais e várias esferas maciças e homogêneas de mesmo material, mas de massas diferentes. Considere também possível controlar a inclinação das rampas. Suponha que o objetivo da atividade fosse <u>de determinar quais os fatores ou grandezas físicas são importantes para determinar o tempo que as esferas gastam para descer as rampas.</u></p> <p>Para cada uma das grandezas físicas abaixo, diga, de acordo com o seu entendimento, se você acha que esse fator influencia ou não no tempo que as esferas gastam para descer as rampas.</p>	
<p>Inclinação da rampa: <input type="checkbox"/> Influencia. <input type="checkbox"/> Não Influencia.</p>	<p>Atrito entre a rampa e as esferas: <input type="checkbox"/> Influencia. <input type="checkbox"/> Não Influencia.</p>
<p>Massa das esferas: <input type="checkbox"/> Influencia. <input type="checkbox"/> Não Influencia.</p>	<p>A distância que as esferas percorrem sobre a rampa: <input type="checkbox"/> Influencia. <input type="checkbox"/> Não Influencia.</p>

Fonte: Autores.

Após a execução da investigação, os alunos responderam a um questionário final (figura 2) que perguntava sobre a causalidade das variáveis envolvidas na investigação que os participantes tinham acabado de realizar. Nesse questionário, era solicitado ao estudante que, tendo em vista os resultados obtidos durante a atividade, respondesse sobre a influência ou não das quatro variáveis citadas.

Figura 2: Questionário final, aplicado após a atividade investigativa.

<p>A simulação computacional representa esferas de massas diferentes, sendo abandonadas de distâncias diferentes sobre diferentes condições de rampas. <u>De acordo com os resultados obtidos durante a atividade,</u> diga se os fatores abaixo têm influência ou não na determinação do tempo que as esferas gastam para descer a rampa.</p>	
<p>- Inclinação da rampa: <input type="checkbox"/> Influencia. <input type="checkbox"/> Não influencia.</p>	<p>- Atrito entre a rampa e as esferas: <input type="checkbox"/> Influencia. <input type="checkbox"/> Não influencia.</p>
<p>- Massas das esferas: <input type="checkbox"/> Influencia. <input type="checkbox"/> Não influencia.</p>	<p>- A distância que as esferas percorrem sobre a rampa: <input type="checkbox"/> Influencia. <input type="checkbox"/> Não influencia.</p>

Fonte: Autores.

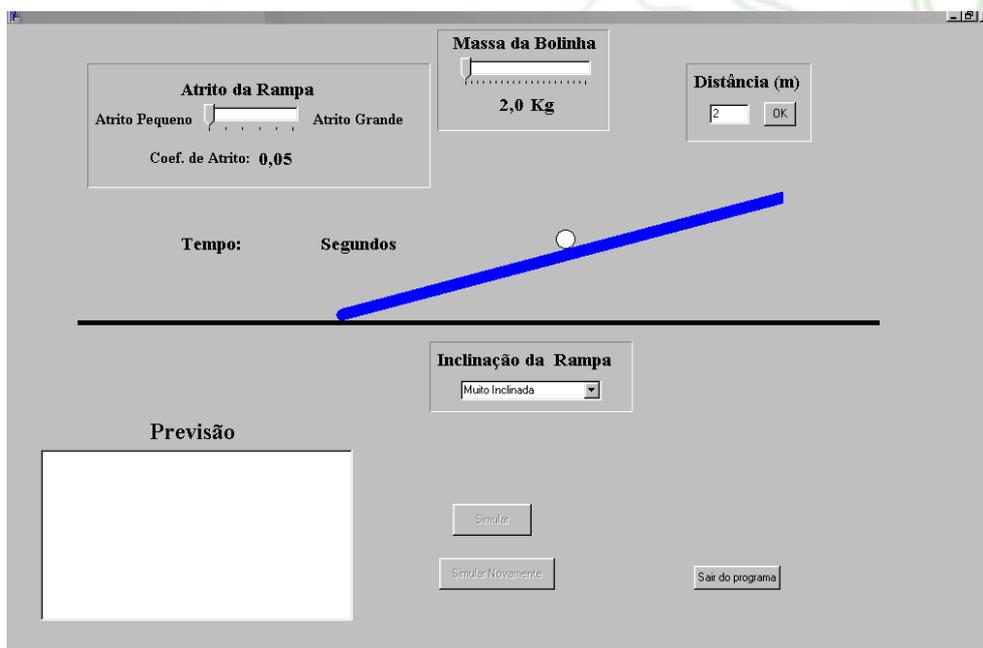
Ao se deparar com uma investigação, o indivíduo constrói, inicialmente, um modelo mental inicial da atividade, levando em consideração seus conhecimentos e a estrutura do problema proposto. À medida que a atividade é desenvolvida, o indivíduo integra novas informações, resultando em modificações e refinamento no modelo inicial (JONASSEN, 2009). O método de perguntar, explicitamente, antes e após atividade prática, sobre a causalidade das variáveis que compõem o tema da investigação, é uma forma de identificar as mudanças produzidas nos modelos mentais dos participantes devida à atividade. Essa prática é comum nas pesquisas da área de cognição e psicologia do desenvolvimento, seja ele feito por meio de questionários ou entrevistas (CHEN; KLAHR, 1999; PENNER; KLAHR, 1996).

Nos dois questionários, cada item foi corrigido de forma dicotômica, sendo atribuído o valor de um ponto caso o aluno respondesse corretamente sobre a causalidade ou não da variável em questão e zero, em caso de equívoco. Após a correção, obteve-se um escore total para cada respondente, somando-se os itens avaliados corretamente. Dessa forma, os escores dos estudantes variaram entre 0 e 4 pontos em cada um dos questionários.

Atividades investigativas

A realização da atividade investigativa ocorreu por meio de uma simulação computacional, cuja tela principal está exibida na figura 3.

Figura 3: Tela principal da simulação.



Fonte: Autores.

A investigação abordou o tema plano inclinado/movimento acelerado. O objetivo da atividade era o de determinar quais variáveis, dentre um conjunto de variáveis independentes, exerciam influência sobre o tempo que a esfera leva para alcançar o final da rampa. Dentre as variáveis independentes, havia três causais – atrito, inclinação e distância (que influenciam na variável dependente) e uma, não causal – massa da esfera (que não tem influência sobre a variável dependente).

A investigação foi realizada em duplas. Durante toda a coleta de dados, os estudantes



preencheram os valores das variáveis independentes, justificando, em um espaço apropriado, os valores determinados. Em seguida, ao clique de um botão, o resultado era fornecido, com uma breve animação, e era solicitado um comentário sobre o resultado obtido. Ao finalizar o comentário, a dupla tinha a opção de continuar com a investigação ou sair do programa. Ao sair, todas as informações eram gravadas e armazenadas em um arquivo de extensão 'txt', que permanecia disponível para análise. Por meio deste arquivo (Figura 4), que representa o histórico da investigação, pode-se saber se os alunos realizaram testes experimentais adequados e consistentes, as estratégias utilizadas, as dificuldades enfrentadas, a influência dos resultados parciais nas concepções de causalidade etc.

Figura 4: Exemplo de histórico de investigação.

<u>Aluno X e Aluno Y - 4 variáveis - 1ª atividade</u>	
<p>Experimento: 1 Previsão: Colocamos 0.30 de atrito da rampa, 4 kg da massa da bolinha, 4 metros a distância e a inclinação da rampa normal. Nós esperamos que a massa da bolinha aumente a velocidade do corpo, porém o atrito irá freá-lo, o que vai influenciar no tempo gasto pela bolinha. Quanto maior a distância, maior deverá ser a velocidade da bolinha e quanto maior a inclinação, maior a aceleração da bolinha.</p>	<p>Dados: Distância: 4 m Coef. de Atrito da Rampa: 0.05 Massa da Bolinha: 4 kg Inclinação: Nível 1 Tempo: 1.4 segundos</p>
<p>Dados: Distância: 4 m Coef. de Atrito da Rampa: 0.3 Massa da Bolinha: 4 kg Inclinação: Nível 1 Tempo: 1.8 segundos</p>	<p>Comentário: O resultado foi o esperado, o tempo foi menor, pois o tempo em nossa primeira observação foi de 1.8 s enquanto agora foi de 1.4.</p>
<p>Comentário: Nós esperávamos que o tempo seria maior, devido ao atrito e a inclinação por não ser a máxima. O tempo gasto foi 1.8 segundos.</p>	<p>Experimento: 4 Previsão: Nessa quarta observação, esperamos que o tempo seja menor, pois a distância percorrida será menor do que da primeira observação.</p>
<p>Experimento: 2 Previsão: Alteramos nessa segunda simulação a inclinação da rampa que passou a ser a muito inclinada. Os outros dados continuaram os mesmos. Nós esperamos que a o tempo seja menor, pois acreditamos que a aceleração será maior.</p>	<p>Dados: Distância: 2 m Coef. de Atrito da Rampa: 0.3 Massa da Bolinha: 4 kg Inclinação: Nível 1 Tempo: 1.3</p>
<p>Dados: Distância: 4 m Coef. de Atrito da Rampa: 0.3 Massa da Bolinha: 4 kg Inclinação: Nível 2 Tempo: 1.3 segundos</p>	<p>Comentário: O resultado foi o esperado, pois o tempo gasto foi menor (1.3s) em relação a nossa primeira observação (1.8s).</p>
<p>Comentário: Ocorreu o previsto e isso comprova que quanto maior a inclinação, maior a aceleração do sistema, logo o tempo será menor.</p>	<p>Experimento: 5 Previsão: Esperamos nessa quinta observação que o tempo seja maior, pois diminuímos a massa da bolinha para 2 kg.</p>
<p>Experimento: 3 Previsão: Nós esperamos que nessa terceira previsão o tempo gasto seja menor, pois o atrito foi reduzido e o atrito tem a função de "frear" o sistema.</p>	<p>Dados: Distância: 4 m Coef. de Atrito da Rampa: 0.3 Massa da Bolinha: 2 kg Inclinação: Nível 1 Tempo: 1.8 segundos</p>
	<p>Comentário: O resultado não foi esperado pois o tempo gastos em ambos foi igual (1.8s). Isso comprova que a massa não influencia no tempo.</p>

Fonte: Autores.

Análise e discussão

O primeiro quesito de análise foi a contribuição da atividade investigativa para a sofisticação dos modelos dos alunos sobre a causalidade das variáveis envolvidas. Ou seja, desejamos saber se, com a realização da atividade investigativa, os alunos adquiriram conhecimento específico sobre o tema investigado. Em diversas pesquisas, o método utilizado para medir a aquisição de conhecimento específico de domínio é o de comparar os resultados dos questionários sobre a causalidade das variáveis envolvidas nas investigações antes (Qi) e depois da realização da atividade (Qf). A tabela 1 exibe as médias dos alunos nos testes de causalidade, aplicados antes e após a atividade investigativa.

Tabela 1: Média dos alunos antes e após a realização da investigação.

Questionário	Média	Desvio padrão	Mediana
Inicial (Qi)	3,1	0,7	3,0
Final (Qf)	3,6	0,6	4,0

Fonte: Autores.

Percebe-se que a média geral no Qf é superior à média no Qi. Realizou-se o teste não-paramétrico de postos com sinais de Wilcoxon² para avaliar a diferença entre as médias. O resultado do teste ($Z = -6,24$; $p < 0,001$) indica uma diferença estatisticamente significativa entre as médias dos alunos antes e depois da atividade. Dos 92 alunos, 54 melhoram o escore, obtendo um escore superior no Qf, 33 obtiveram o mesmo escore e 5 alunos obtiveram um escore menor no Qf. Esse resultado indica que a realização da atividade contribuiu para sofisticar o modelo dos participantes sobre a causalidade das variáveis envolvidas.

Analisou-se também a diferença dos escores médios das duplas (considerando a média dos dois alunos) nos testes de causalidade antes e depois da atividade. Para isso, foram considerados os dados das 46 duplas participantes.

Tabela 2: Média das duplas antes e após a realização da investigação.

Questionário	Média	Desvio padrão	Mediana
Inicial (Qi)	3,1	0,5	3,0
Final (Qf)	3,6	0,6	4,0

Fonte: Autores.

Os resultados exibidos na tabela 2 reforçam a afirmação de que a atividade contribuiu para a sofisticação do modelo de causalidade dos participantes. A diferença entre as médias das duplas é estatisticamente significativa, segundo o teste de Wilcoxon ($Z = -4,790$; $p < 0,001$) realizado. 35 duplas obtiveram um escore superior no Qf, 6 obtiveram o mesmo escore e 5 duplas obtiveram um escore menor no Qf.

Tentou-se estabelecer uma relação entre o modelo de causalidade dos estudantes e o seu desempenho durante a atividade. Para isso, analisamos os 46 históricos das investigações

² Os testes de Wilcoxon e de Kruskal-Wallis foram utilizados por não requererem uma distribuição normal da variável independente para cada valor do(s) fator(es) considerado(s).

realizadas pelas duplas (exemplo na Figura 4). Utilizamos as categorias presentes no quadro 1 para classificar a qualidade da investigação realizada. Essa categorização diz respeito, sobretudo, à exploração do campo experimental e à utilização de testes experimentais adequados e consistentes. Tal categorização se mostrou muito eficiente em Nascimento e Gomes (2018) para evidenciar a relação entre o conhecimento conceitual e o desempenho experimental na atividade.

Quadro 1: Categorização do desempenho experimental na investigação realizada.

Desempenho	Descrição
Muito Bom	Quando a dupla realizou pelo menos um teste experimental adequado e consistente para todas as variáveis independentes.
Bom	Quando a dupla realizou pelo menos um teste experimental adequado e consistente para pelo menos 50% das variáveis independentes.
Regular	Quando a dupla realizou a maioria dos testes experimentais de forma inconsistente e explorou a influência de poucas variáveis independente.

Fonte: Autores.

Das 46 duplas, 20 tiveram seu desempenho nas atividades categorizados como Muito Bom, 10 foram classificadas como Bom e 16 tiveram seu desempenho nas atividades categorizados como Fraco. Para cada um dos três grupos de desempenho, calculou-se o escore médio das duplas nos testes de causalidade antes e após as atividades. Os dados estão sintetizados na tabela 3.

Tabela 3: Diferença entre os escores médios em função do desempenho das duplas.

Desempenho	Número de duplas	Média dos escores das duplas	
		Pré-teste	Pós-teste
Fraco	16	2,8	3,2
Bom	10	3,3	3,8
Muito bom	20	3,2	3,9

Fonte: Autores.

Para os três grupos de desempenho, o escore médio das duplas no teste de causalidade após as investigações foi superior ao escore médio no pré-teste.

Foi realizado testes de Kruskal-Wallis para se investigar a magnitude das diferenças entre as médias obtidas entre os grupos nos questionários. No Q_i , o resultado ($H=4,723$; $p=0,092$) aponta para uma diferença marginalmente significativa entre os grupos investigados. Já no Q_f , o resultado ($H=17,396$; $p<0,001$) indica uma diferença significativa entre os escores médios dos grupos analisados. Esses resultados indicam que a diferença entre os grupos era menor antes da atividade. O desempenho das duplas durante as investigações contribuiu para aumentar a diferença entre os escores no Q_f , sobretudo entre os grupos de desempenho Muito Bom e Bom com relação ao grupo Fraco.

Os resultados também demonstram a relação mútua existente entre modelos de causalidade dos alunos e suas estratégias de experimentação, reforçando resultados de pesquisas anteriores que sugerem que as estratégias utilizadas durante uma atividade experimental refletem os diferentes níveis de compreensão, tanto conceitual quanto procedimental, e que o modelo de

causalidade afeta de forma decisiva essas estratégias, tendo um forte impacto sobre o teste de hipóteses (experimentação) e sobre a interpretação dos resultados (KOSLOWSKI, 2013; LEHRER; SCHAUBLE, 2015).

Considerações finais

Este trabalho teve como objetivo explorar a relação entre o modelo de causalidade, desenvolvido pelo estudante, das variáveis envolvidas em uma investigação e o seu desempenho experimental durante a atividade.

Os resultados indicaram que, para a maioria dos estudantes, a investigação realizada contribuiu para sofisticar o modelo de causalidade das variáveis envolvidas na situação-problema. Os resultados permitem inferir que alunos que apresentam um modelo mais adequado de causalidade entre as variáveis envolvidas em uma situação-problema tendem a apresentar também, um maior domínio de estratégias mais adequadas de experimentação, resultando em um melhor desempenho experimental.

Dessa forma, o aumento na sofisticação do pensamento científico envolve, portanto, a mudança de estratégia e o desenvolvimento de relações causais mais coerentes. Isso corrobora a visão de Schauble (1996, p.18) de que

o raciocínio apropriado suporta a escolha de uma estratégia apropriada de investigação e a estratégia de investigação válida e sistemática suporta o desenvolvimento de um conhecimento mais apurado e complexo.

Mais pesquisas devem ser conduzidas para uma melhor compreensão da origem e do desenvolvimento dos modelos de causalidade entre as variáveis desenvolvidas pelos estudantes e a sua relação com o processo de investigação. Apesar de existir, ainda permanece aberta a discussão sobre a natureza dessa relação e quais outros fatores podem também envolver a execução de uma atividade investigativa.

Agradecimentos e apoios

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo financiamento de pesquisa (APQ-00701-18).

Referências

BORGES, Antônio Tarciso. Um estudo de modelos mentais. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 2, n. 3, p. 207-226, 1997.

BORGES, Antônio Tarciso. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de ensino de Física**, v. 19, n. 3, p. 291-313, 2002.

CHEN, Z.; KLAHR, D. All Other Things Being Equal: Acquisition and Transfer of the Control of Variables Strategy. **Child Development**, v.70, n.5, p.1098-1120, 1999.

DRIVER, Rosalind et al. **Making sense of secondary science: Research into children's ideas**. Routledge, 2014.

FERREIRA, T. Q.; FERRACIOLI, L. Modelos e modelagem no contexto do ensino de

ciências no Brasil: uma revisão de literatura de 1996-2006. **Revista Didática Sistemática**, v. 8, p. 80-100, 2008.

GETNER, Dedra; STEVENS, A. L. (Eds). (1983). **Mental models**. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

JONASSEN, David. Model Building for Conceptual Change. In. Vosniadou, Stella (Ed). **International Handbook of Research on Conceptual Change**. New York: Routledge, p. 676- 693, 2009.

KESELMAN, Alla. Supporting inquiry learning by promoting normative understanding of multivariable causality. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 40, n. 9, p. 898-921, 2003.

KOSLOWSKI, Barbara. Scientific reasoning: Explanation, confirmation bias, and scientific practice. In: FEIST, G. J; GORMAN, M. E. **Stevens' handbook of experimental psychology and cognitive neuroscience**. New York: Springer Publishing Company, p. 151-192, 2013.

KRAPAS, Sonia et al. Modelos: uma análise de sentidos na literatura de pesquisa em ensino de ciências. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 2, n. 3, p. 185-202, 2016.

KUHN, Deanna et al. The development of cognitive skills to support inquiry learning. **Cognition and instruction**, v. 18, n. 4, p. 495-523, 2000.

LEHRER, Richard; SCHAUBLE, Leona. Development of scientific thinking. In R. Lerner, L. Liben, & U. Müller (Eds.), **Handbook of child psychology and developmental science: Vol. 2. Cognitive processes**. Hoboken, NJ: Wiley, p. 671–714, 2015.

MASNICK, Amy M.; KLAHR, David; KNOWLES, Erica R. Data-driven belief revision in children and adults. **Journal of Cognition and Development**, v. 18, n. 1, p. 87-109, 2017.

MCCLOSKEY, Michael. Naive theories on motion. In: GENTNER, D.; STEVENS, A. L. (Eds). **Mental Models**. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 1983. p.299-324.

NASCIMENTO, Rafaela Dinali; GOMES, Alessandro Damásio Trani. A Relação entre o conhecimento conceitual e o desempenho de estudantes em atividades investigativas. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, p. 935-965, 2018.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas**. Washington, DC: National Academies Press, 2012. 385p.

NERSESSIAN, Nancy J. Mental Modeling in Conceptual Change. In. Vosniadou, Stella (Ed). **International Handbook of Research on Conceptual Change**. New York: Routledge, p. 391-416, 2009.

OSBORNE, Jonathan. Teaching scientific practices: Meeting the challenge of change. **Journal of Science Teacher Education**, v. 25, n. 2, p. 177-196, 2014.

PEDASTE, Margus et al. Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. **Educational Research Review**, v. 14, p. 47-61, 2015.

PENNER, David E.; KLAHR, David. The Interaction of Domain-Specific Knowledge and Domain-General Discovery Strategies: A Study with Sinking Objects. **Child Development**, v.67, p. 2709-2727, 1996.

RHOTON, Jack (Ed.). **Science education leadership: Best practices for the new century**. NSTA Press, 2010.

SCHAUBLE, Leona. The development of scientific reasoning in knowledge-rich contexts. **Developmental Psychology**, v. 32, n. 1, p. 102, 1996.

SOUZA, Ednilson Sérgio Ramalho. A formação de modelos mentais na sala de aula. **Revista Exitus**, v. 3, n. 1, p. 169-184, 2013.

VOSNIADOU, Stella. Mental models in conceptual development. In: **Model-based reasoning**. Springer, Boston, MA, 2002. p.353-368.

WANDERSEE, James H.; MINTZES, Joel J.; NOVAK, Joseph D. Research on Alternative Conceptions. In: GABEL, D. L. (Ed). **Handbook of Research on Science Teaching and Learning**. New York: Macmillan Publishing Company, p. 210, 1994.

WELLMAN, Henry M.; GELMAN, Susan A. Cognitive development: Foundational theories of core domains. **Annual review of psychology**, v. 43, n. 1, p. 337-375, 1992.

