

Um olhar sobre a teoria da modelagem no ensino de física

A look at the modeling theory in physics teaching

Ednilson Sergio Ramalho de Souza

Universidade Federal do Oeste do Pará
ednilson.souza@ufopa.edu.br

Adilson Oliveira do Espírito Santo

Universidade Federal do Pará
adilson@ufpa.br

Resumo

A teoria da modelagem de David Hestenes aborda sobre mecanismos cognitivos implícitos ao uso de múltiplas ferramentas de representação como fator importante para a reformulação de modelos mentais incoerentes sobre o mundo real. Embora nos últimos trinta anos ela já venha sendo utilizada nas salas de aula norteamericanas por meio da instrução por modelagem (*modeling instruction*), no Brasil, verifica-se que raras são as pesquisas que a abordam como quadro teórico central. Nosso objetivo é apresentar pressupostos fundamentais e implicações dessa teoria visando a propô-la como *framework* ao ensino brasileiro de física. Para tanto, fizemos pesquisa bibliográfica em artigos científicos, dissertações e teses com o intuito de levantar contribuições sobre o assunto. Os resultados sugerem que a teoria da modelagem possui potencialidades para o planejamento curricular e práticas pedagógicas face ao contexto brasileiro de ensino de física.

Palavras-chave: teoria da modelagem, ensino de física, instrução por modelagem, ciclo de modelagem.

Abstract

David Hestenes' modeling theory deals with the implicit cognitive mechanisms to use multiple representation tools as an important factor in the reformulation of incoherent mental models of the real world. Although in the last thirty years it has been used in American classrooms through modeling instruction, in Brazil, verified that the researches that approach it as a central theoretical framework are rare. Our goal is to present fundamental assumptions and implications of this theory in order to propose it as a framework for the Brazilian teaching of physics. We did bibliographic research in scientific articles, dissertations and theses with the intention of raising contributions on the subject. The results suggest that modeling theory has potential for curricular planning and pedagogical practices in relation to the Brazilian context of physics teaching.

Keywords: modeling theory, teaching physics, modeling instruction, modeling cycles.

Contorno inicial

A teoria da modelagem (*modeling theory*) consiste de uma teoria cognitiva que procura relacionar o mundo mental, o mundo conceitual e o mundo físico. Em seus pressupostos, prevê que é possível reconfigurar inconscientemente a estrutura de modelos mentais reconfigurando deliberadamente a estrutura de modelos conceituais¹ em situações argumentativas envolvendo múltiplas ferramentas de representação. Para isso, foi elaborada levando-se em consideração fundamentos da ciência cognitiva, da neurociência, da linguística cognitiva, da epistemologia da ciência e da pesquisa em ensino de física (HESTENES, 1987; 1992; 1996; 2006; 2010; 2015; 2016).

Devido a sua complexidade e uma abordagem em profundidade possivelmente não caberia nas linhas destinadas ao presente texto, nosso objetivo é apresentar pressupostos básicos da teoria da modelagem, especialmente o conceito de modelo mental e de modelo conceitual. Além disso, apresentaremos algumas implicações ao ensino brasileiro de física.

Implicações essas que originaram o desenvolvimento de uma didática chamada instrução por modelagem². Trata-se de uma abordagem investigativa que consiste em coordenar múltiplas ferramentas de representação com modelos mentais no processo de modelagem matemática de situações físicas. Para isso, a instrução por modelagem é organizada em ciclos de modelagem (*modeling cycles*) em que cada ciclo é planejado inicialmente para desenvolver modelos matemáticos gerais, cujo objetivo é capacitar estudantes com técnicas e ferramentas próprias de modelagem matemática (WELLS, 1987).

Nesse contexto, duas questões de pesquisa orientarão nossas discussões: quais são os pressupostos básicos da teoria da modelagem de David Hestenes? Em que sentido ela pode impactar no ensino brasileiro de física?

Em termos de procedimentos metodológicos, fizemos pesquisa bibliográfica cuja finalidade foi identificar na literatura da área contribuições teóricas sobre o tema em estudo e levantar convergências e divergências (MALHEIROS, 2011).

Na primeira seção, apresentaremos algumas ideias básicas da teoria da modelagem, destacando os conceitos de modelo conceitual e de modelo mental. Na seção seguinte, comentaremos sobre a instrução por modelagem com foco na aplicação do ciclo de modelagem. Finalizaremos com algumas implicações para o ensino de física.

A teoria da modelagem

David Hestenes³ propõe como tese central da teoria da modelagem que a cognição em ciência, matemática e vida cotidiana é basicamente a construção e a manipulação de modelos mentais (HESTENES, 2006; 2010). No ensino de física, esta tese torna-se importante ao estabelecer íntima relação entre modelos mentais e modelos matemáticos (SOUZA, 2018). Tal relação

1 Hestenes (2010) assume basicamente dois tipos principais de modelos conceituais: os modelos científicos, elaborados para representar fenômenos da natureza (eventos físicos, químicos, biológicos) e os modelos matemáticos, quando os modelos científicos são elaborados por meio de ferramenta matemática.

2 Utilizaremos a tradução livre “instrução por modelagem” para o termo em língua inglesa “*modeling instruction*” com a ressalva de que a palavra “instrução” significa educação, ensino, orientação geral e não treinamento ou doutrinação.

3 Físico e educador estadunidense que, de acordo com a *American Modeling Teachers Association* (AMTA), atualmente tem se destacado como um dos grandes colaboradores para a reformulação do ensino de ciências norteamericano.

implica que modelos mentais são construções privadas na mente de um indivíduo, podem ser convertidos a modelos matemáticos pela codificação estrutural em representações simbólicas que, por sua vez, ativam e correspondem a modelos mentais de outros indivíduos.

Haja vista o caráter introdutório deste artigo não nos aprofundaremos no campo cognitivo, mas queremos enfatizar a relação entre modelos mentais e modelos conceituais como aspecto fundamental na teoria da modelagem. A figura a seguir ilustra essa relação.

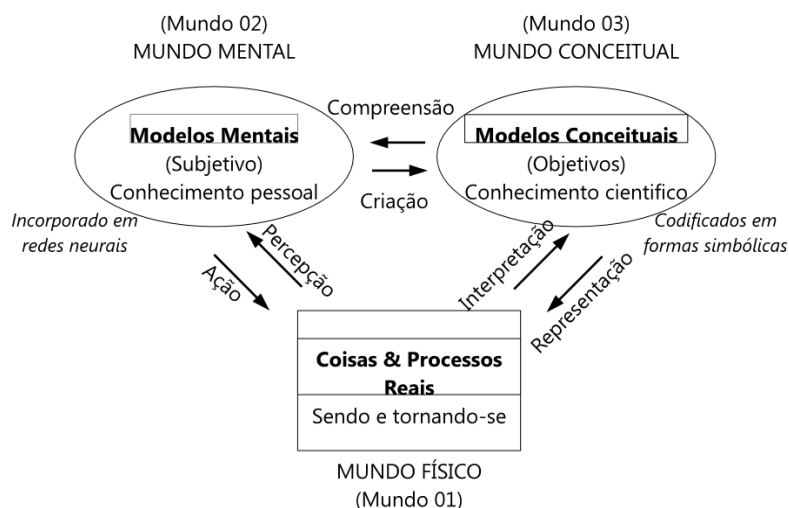


Figura 1: Modelos mentais versus modelos conceituais (HESTENES, 2006, p. 44).

Uma possível leitura da Figura 1 é considerar que, no mundo mental, predominam os modelos mentais caracterizados pelo conhecimento subjetivo e que possibilitam a criação de modelos conceituais, isto é, modelos matemáticos e modelos científicos; estes caracterizados pelo conhecimento objetivo, permitindo, portanto, a compreensão dos modelos mentais dos outros indivíduos. Nesse direcionamento, enquanto os modelos mentais geram percepção/ação, os modelos conceituais geram interpretação/representação de coisas e de processos do mundo real.

Desse modo, modelos conceituais referem-se a modelos mentais (ou a características destes). Embora qualquer modelo conceitual seja referente a um modelo mental, o inverso não é verdadeiro. Isso porque o cérebro cria toda forma de construção mental, modelos mentais são apenas uma delas. A teoria da modelagem chama essas construções mentais genericamente de ideias ou de intuições que podem ser convertidas a conceitos, desde que possam ser representadas por meio de símbolos. *“Ideias e intuições são elevadas a conceitos pela criação de símbolos para representa-los!”* (HESTENES, 2006, p. 46) (grifos do autor, tradução nossa).

Assim, um dos pontos fortes da teoria da modelagem é trazer considerações da linguística cognitiva e postular que modelos conceituais não se referem diretamente a coisas e a processos do mundo real, mas a modelos mentais na mente do sujeito modelador (HESTENES, 2010). Considerando que na física a maioria dos modelos conceituais são modelos matemáticos, significa que, por exemplo, o estudante não modela matematicamente um objeto em queda livre em si, mas um modelo mental que ele elabora para raciocinar sobre essa situação cotidiana. Isso muda o foco do ensino-aprendizagem em física para a relação entre modelos mentais e modelos matemáticos, pois infere-se que a modelagem matemática passa a ser vista como abordagem educacional importante no contexto da sala de aula. Nesse prisma é que foi desenvolvida a instrução por modelagem (WELLS, HESTENES e SWACKHAMER, 1995; JACKSON, DUKERICH e HESTENES, 2008; AMTA, 2018).

Instrução por modelagem

Na instrução por modelagem, os estudantes são engajados no discurso e no debate compartilhado de conteúdos e de técnicas científicas. A essência dessa didática é corrigir inconsistências do ensino meramente expositivo, principalmente com relação à fragmentação do conhecimento, à passividade dos estudantes e à persistência de concepções incoerentes sobre o mundo físico. Por meio dela, o professor procura desenvolver habilidades nos estudantes para que deem significado a experiências concretas, para que compreendam afirmações científicas, para que articulem coerentemente suas próprias opiniões e as defendam com argumentos convincentes visando a avaliar evidências para apoiar e para justificar seus discursos (JACKSON, DUKERICH e HESTENES, 2008; BREWE, 2008).

Ao analisar a literatura da área, vemos que na prática efetiva do ensino de física a instrução por modelagem geralmente é organizada por meio de ciclos de modelagem.

O ciclo de modelagem

Um ciclo de modelagem possui dois estágios básicos: elaboração do modelo e implementação do modelo (HEIDEMANN, ARAÚJO e VEIT, 2012), conforme ilustrado na seguinte figura:

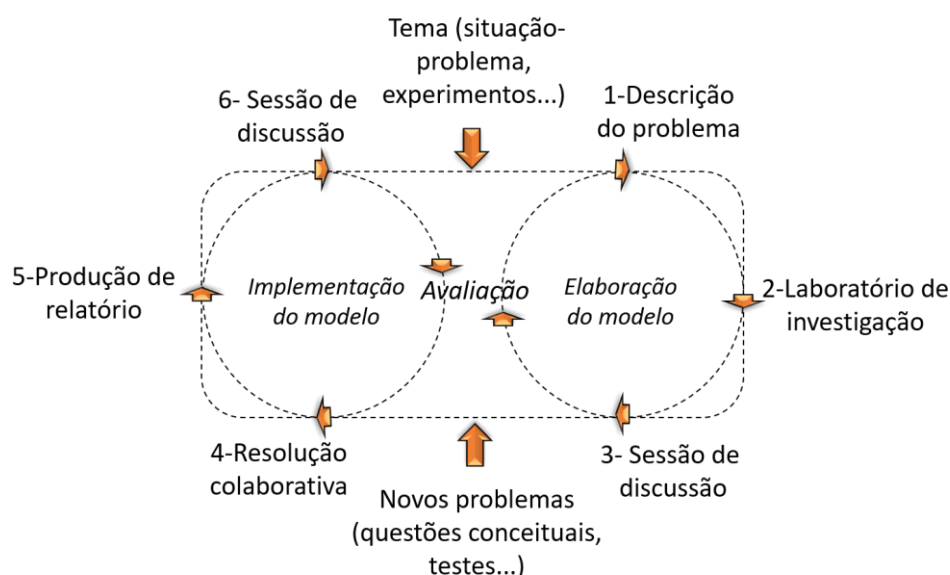


Figura 2: Um ciclo de modelagem (Elaboração nossa, 2018).

Na Figura 2, o estágio de elaboração do modelo inicia com a descrição do problema. O problema pode ser proposto pelo professor ou pelos grupos de estudantes a partir de um tema da realidade, de um experimento, de uma simulação computacional. Seja qual for o tema principal, o importante é que seja atendido tanto os objetivos pedagógicos quanto o interesse dos estudantes pelo objeto de pesquisa.

O objetivo principal da descrição do problema é evidenciar princípios, leis, teorias físicas, variáveis e constantes; ou seja, grandezas que se inter-relacionam no contexto da situação enfrentada. Hestenes (1987) argumenta que a descrição de um sistema é norteada por alguma teoria científica, pois é a teoria que especifica quais tipos de objetos e de propriedades podem ser modelados e quais tipos de modelos podem ser desenvolvidos.

Após a descrição do problema, inicia-se a etapa de laboratório de investigação, em que a

classe é organizada em grupos pequenos (de três a cinco componentes) chamados de grupos colaborativos (DESBIEN, 2002). Ressaltamos que a palavra laboratório não deve ser entendida como um ambiente fechado cheio de equipamentos técnicos especializados, mas um momento em que serão planejadas e realizadas atividades que envolverão a observação de campo, a experimentação, a prática de determinada arte ou habilidade, os erros e os acertos.

Em se tratando da física, o produto do laboratório de investigação é um modelo matemático na perspectiva da teoria da modelagem, ou seja, um conjunto de representações simbólicas deliberadamente coordenadas a modelos mentais.

Para o registro e o compartilhamento dos modelos matemáticos entre os grupos colaborativos, é de fundamental importância o uso dos *whiteboards* (pequenos quadros brancos de aproximadamente 80 cm x 60 cm) conforme figura que segue.



Figura 3 – Produção de registros em um *whiteboard* (Arquivo do autor, 2016).

Como ilustrado na Figura 3, cada *whiteboard* sistematiza um modelo matemático (ou parte dele) que será defendido e discutido coletivamente pelos grupos colaborativos na sessão de discussão.

Na primeira sessão de discussão, as equipes apresentam seus modelos matemáticos e justificam procedimentos e raciocínios. Heidemann (2015) chama a atenção que os grupos fundamentam suas conclusões de forma oral e escrita e as ferramentas de representação aprimoram a capacidade de argumentação dos estudantes. [...]. A participação ativa dos estudantes nas etapas anteriores do ciclo de modelagem melhora a qualidade dessa discussão de encerramento (HEIDEMANN, 2015, p. 43).

Nesse processo argumentativo, conforme os modelos matemáticos vão sendo avaliados coletivamente pelos grupos, as discussões sobre pontos convergentes e pontos divergentes permitem compreensão comum a respeito da estrutura epistêmica de um modelo geral, que será aprofundado no segundo estágio do ciclo de modelagem: a implementação do modelo.

A implementação do modelo inicia com a resolução colaborativa de problemas diversos. Problemas esses que suscitem a estrutura epistêmica do modelo matemático em foco. Nesse sentido, podem-se utilizar problemas adaptados do livro-texto, testes de múltipla escolha, questões conceituais, experimentos de baixo custo, simulações computacionais etc. Importante ressaltar que não se trata de uma lista de exercícios repetitivos, mas preza-se pela qualidade de poucos problemas desafiadores a serem investigados colaborativamente pelos grupos.

Para sistematizar por escrito as soluções dos problemas de implementação do modelo, as equipes produzem relatórios em que organizam suas respostas focalizando conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais, bem como discussões críticas. O relatório é importante como forma de incentivar a produção textual coletiva entre os integrantes da comunidade de aprendizagem (DESBIEN, 2002).

Na segunda sessão de discussão, os grupos colaborativos sistematizam e defendem as soluções aos problemas de implementação do modelo matemático, justificando procedimentos e pensamentos com argumentos científicos. O professor assume a importante tarefa de orientar o discurso de modelagem de modo a fazer com que os estudantes insiram suas justificativas em teorias e em leis físicas. Wells, Hestenes e Swackhamer (1995) propõem, como forma de motivar episódios argumentativos, que os relatórios sejam redistribuídos entre os grupos colaborativos de modo a fazer com que uma equipe avalie criticamente as soluções de outra equipe. Conforme as soluções dos problemas vão sendo compartilhadas e refinadas, a estrutura epistêmica do modelo matemático ganha novos significados, que favorecem compreensões e aplicações em novas situações.

Antes de discutir sobre algumas implicações da teoria da modelagem no contexto do ensino brasileiro de física, frisamos que a avaliação na instrução por modelagem é formativa durante o processo de modelagem. No entanto, o professor pode checar de alguma maneira a aprendizagem individual dos estudantes e decidir em resolver outros problemas ou iniciar novo ciclo de modelagem para o estudo de outro campo conceitual.

Contorno final

Nosso objetivo no presente texto foi apresentar pressupostos fundamentais da teoria da modelagem de David Hestenes e levantar implicações ao ensino brasileiro de física. Apresentados os pressupostos nas seções anteriores, passaremos a discutir brevemente sobre algumas implicações com exemplos concretos de sala de aula.

A implicação que consideramos imediata consiste em que o professor pode orientar ciclos de modelagem de modo que os estudantes argumentem sobre pensamentos e ações durante a resolução de problemas em física, fazendo uso deliberado de múltiplas ferramentas de representação a fim de reformularem inconscientemente modelos mentais incoerentes em episódios argumentativos.

O professor pode, por exemplo, solicitar que os grupos de estudantes avaliem se os semáforos de uma determinada via apresentam tempo de abertura (sinal verde) suficiente para que uma pessoa idosa possa atravessá-la em segurança. Os dados produzidos em campo podem ser organizados em modelos matemáticos constituídos por esquemas, equações, tabelas, gráficos devidamente registrados nos *whiteboards*. Na sessão de discussão dos modelos, o professor pode gerar episódios argumentativos em que os grupos devem analisar seus modelos matemáticos para responder ao problema investigado. No movimento discursivo, conceitos como velocidade, aceleração, espaço, tempo são debatidos entre os grupos colaborativos. É esse debate coletivo que pode promover a reformulação de eventuais modelos mentais incoerentes.

Além dessa implicação fundamental, consideramos que outra implicação importante diz respeito à grade curricular da disciplina. Na instrução por modelagem em física, os conteúdos são estudados conforme a necessidade para a elaboração e para a implementação de um modelo matemático. Ou seja, os conteúdos conceituais, procedimentais, atitudinais não são apresentados em tópicos fragmentados, infelizmente, como ainda é comum em algumas salas de aula. Em vez disso, eles são estudados “ao redor” de um modelo matemático geral. Isso é importante porque os modelos matemáticos são unidades básicas do conhecimento físico coerentemente estruturado. Por meio deles, podemos fazer inferências diretas sobre sistemas físicos e fazer comparação com dados experimentais.

No caso do exemplo do semáforo apresentado acima, os conceitos de espaço, de tempo, de

velocidade, de aceleração, de origem, são estudados de maneira imbricada no contexto do desenvolvimento de um modelo matemático utilizado para analisar qual deve ser o tempo de abertura de um semáforo suficiente para que uma pessoa idosa possa atravessar determinada via. Isso envolve, ainda, fazer estimativas, levantar e testar hipóteses, argumentar, prever, explicar etc. O desenvolvimento de um modelo matemático em sala de aula pode, portanto, favorecer a aprendizagem integrada de campos conceituais distintos.

Para finalizar, ressaltamos que as considerações feitas neste artigo sobre a teoria da modelagem de David Hestenes são introdutórias quando comparadas ao seu potencial pedagógico, não somente para o ensino de física, mas para o ensino de ciências e de matemática. Nossa intenção foi apenas ter lançado sementes sobre o assunto e, quem sabe, tais sementes possam ser germinadas por outros pesquisadores interessados em melhorar de alguma maneira o ensino brasileiro de física.

Agradecimentos e apoios

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Referências

AMTA. **American Modeling Teachers Association**. 2018. Disponível em <<http://modelinginstruction.org/>>. Acesso em 02 set 2018.

BREWE, E. Modeling theory applied: Modeling Instruction in introductory physics. **American Journal of Physics**, Melville, v. 76, n. 12, p. 1155-1160, dec. 2008.

DESBIEN, D. M. **Modeling discourse management compared to other classroom management styles in university physic**. 2002. 100f. Dissertation (Doctor of Philosophy)-Arizona State University Arizona, Arizona, 2002.

FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. 46 ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2005.

HEIDEMANN, L. A. **Ressignificação das atividades experimentais no ensino de física por meio do enfoque no processo de modelagem científica**. 2015. 298f. Tese (Doutorado em Ensino de Física)-Instituto de Física. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

HEIDEMANN, L. A.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. **Ciclos de modelagem**: uma proposta para integrar atividades baseadas em simulações computacionais e atividades experimentais no ensino de física. *Cad. Bras. Ens. Fís.*, v. 29, n. Especial 2, 2012, p. 965-1007.

HESTENES, D. O. Conceptual Modeling in physics, mathematics and cognitive science. **SemiotiX**, 2015. Disponível em: <<https://semioticon.com/semiotix/2015/11/conceptual-modeling-in-physics-thematics-and-cognitive-science/>>. Acesso em 02 set 2018.

_____. Modeling games in the Newtonian World. **American Journal of Physics**. Melville, v. 60, n. 8, p. 732-748, aug. 1992.

_____. Modeling methodology for physics teachers. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON UNDERGRADUATE PHYSICS EDUCATION, 1996, College Park. **Proceedings...** College Park, 1996, p. 935-958.

_____. **Modeling theory and modeling instruction for stem education.** 2016. Disponível em: <http://episteme6.hbcse.tifr.res.in/index.html>. Acesso em 06 jun. 2018.

_____. modeling theory for math and science education. In: LESH, Richard et al. **Modeling student's mathematical modeling competencies.** New York: Springer, 2010.

_____. Notes for a modeling theory of science, cognition and instruction. In: **Proceedings Girep Conference.** Amsterdam: University of Amsterdam, 2006, p. 34- 65.

_____. Toward a modeling theory of physics instruction. **Am. J. Phys.** v. 55, n. 05, 1987, p. 440-454.

JACKSON, J.; DUKERICH, L.; HESTENES, D. Modeling instruction: an effective model for science education. **Science Educator**, v. 17, n. 01, 2008, p. 10-17.

MALHEIROS, B. T. **Metodologia da pesquisa em educação.** 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

MAZUR, E. **Peer instruction:** a revolução da aprendizagem ativa. Tradução Anatólio Laschuk. Porto Alegre: Penso, 2015 (Livro Eletrônico).

SOUZA, E. S. R. **Modelagem matemática gerando ambiente de alfabetização científica:** discussões no ensino de física. 2018. 237f. Tese (Doutorado em Educação em Ciências e Matemática) – Universidade Federal de Mato Grosso/Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

WELLS, M. **Modeling instruction in high school physics.** 1987. 166f. Dissertation (Doctor of Education)-Physics Department, Arizona State University, Arizona, 1987. Disponível em <http://modeling.asu.edu/thesis/WellsMalcolm_dissertation.doc>. Acesso em: 18 out. 2017.

WELLS, M.; HESTENES, D.; SWACKHAMER, G. A modeling method: for high school physics instruction. **J. Phys**, v. 63, n. 07, 1995, p. 606-619.