

Modelos científicos, modelos mentais, modelagem computacional e modelagem matemática: aspectos epistemológicos e implicações para o ensino¹

Marco Antonio Moreira

Resumo

A modelagem é um componente essencial da construção científica e da construção cognitiva. Tudo é construção. Na ciência construímos conceitos, modelos, teorias. No funcionamento cognitivo, o primeiro passo para dar conta de uma situação nova é construir, na memória de trabalho, um modelo mental dessa situação. Esses modelos quase sempre implicam algum nível de modelagem matemática. Então, a modelagem deveria ser um componente importante do ensino de ciências e matemática. Mas não é assim. A modelagem é, geralmente, ignorada. No ensino de ciências, por exemplo, não se transmite a ideia de ciência como construção humana, e muito menos os conceitos de modelo e modelagem. Este trabalho busca chamar atenção, principalmente de professores de ciências e matemática, sobre a importância da modelagem, e seus aspectos epistemológicos, no ensino. Para isso faz-se uso de um instrumento heurístico, o Vê epistemológico de Gowin.

Palavras-chave: modelos científicos; modelos mentais; modelagem computacional; modelagem matemática; ensino de ciências e matemática.

Abstract

Modeling is an essential component of science construction and cognitive construction. Everything is construction. In science we construct concepts, models, theories. In cognition, the first step to handle a new situation is to construct, in the working memory, a mental model of this situation. These models almost always imply some level of mathematical modeling. Thus, modeling should be an important ingredient in science and mathematics education. But it's not like that. Modeling, usually, is ignored. In science education, for instance, it is not transmitted the idea of science as a human construction, and, much less, the concepts of models and modeling. This paper attempts to call attention, specially of science and mathematics teachers, of the importance of modeling, and its epistemological features, for teaching. In order to do this an heuristic instrument is used, Gowin's epistemological Vee.

Keywords: scientific models; mental models; computational modeling; mathematical modeling; science and mathematics education.

¹ Versão estendida de apresentação feita na VIII Conferência Nacional sobre Modelagem na Educação Matemática, UNIFRA, Santa Maria, RS, Brasil, 5 a 7 de junho de 2013. Aula inaugural do Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciência e Tecnologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Ponta Grossa, PR, Brasil, 23 de agosto de 2013.

Considerações iniciais

Epistemologia é o estudo do conhecimento ou, mais especificamente, o estudo da natureza, âmbito e justificação do conhecimento. Epistemologia da Ciência, ou Filosofia da Ciência é o estudo da natureza, abrangência e justificação do conhecimento científico. (Moreira e Massoni, 2011).

O conhecimento científico se caracteriza por buscar explicações sobre eventos e objetos físicos, químicos, biológicos e afins, de acordo com determinados critérios de aceitação sobre o que pode ser uma explicação, uma boa explicação ou uma melhor explicação. Neste processo, observações, conjeturas, experimentos, verificações, refutações, conceitos, modelos, teorias, estão na essência da construção do conhecimento científico. Ou seja, este conhecimento é construído, depende das perguntas feitas, das definições, das metáforas, dos modelos utilizados.

Embora algumas disciplinas, como a Física, por exemplo, sejam chamadas de ciências exatas, elas não são exatas; são aproximadas. Os modelos científicos dependem das aproximações feitas, de como são controladas as variáveis. As teorias científicas não são definitivas. Certamente serão superadas por outras melhores, mais explicativas. Os modelos científicos também.

Estas considerações iniciais têm subjacente a premissa de que o conhecimento científico é construído, ou seja, é uma construção do ser humano. Tais considerações não têm nada de novo para quem faz ciência, os cientistas, ou para quem estuda o que é ciência, os epistemólogos.

Também não são novidade no ensino de ciências. Há, nessa área, trabalhos clássicos sobre modelagem, como, por exemplo, *Modelos e Educação em Ciências* (Colinvaux, 1998), *Notes for a modeling theory of science cognition, and instruction* (Hestenes, 2006) e *Modelagem – uma abordagem para um ensino de ciências mais autêntico* (Justi, 2007).

Mas no ensino de ciências essa construção é ignorada. As teorias e modelos científicos são ensinados como verdades, como “descobertas geniais”, como definitivos, acabados. Os professores de ciência normalmente aceitam que o aluno é um construtor de seu próprio conhecimento e procuram fazer a mediação necessária para a reconstrução interna de conhecimentos científicos externamente construídos. Mas não apresentam estes conhecimentos como construções científicas. Este é um grande problema de ensino de ciências: *ensina-se ciências sem uma concepção do que é ciência. Um paradoxo*. Seguramente há tentativas de ensinar ciências desde uma perspectiva científica, mas na escola contemporânea ainda predomina fortemente o ensino da “resposta correta”, definitiva, o ensino para a testagem.

Conferência proferida no XII Encuentro de Enseñanza de las Ciencias y las Matemáticas, Medellín, Colômbia, 8 e 9 de outubro de 2013 e no IV Encontro Nacional de Ensino de Ciências da Saúde e do Ambiente, Niterói, RJ, Brasil, 13 a 16 de maio de 2014.

O Vê epistemológico

Um exemplo de estratégia instrucional que procura mostrar que o conhecimento científico é construído é o *Vê epistemológico de Gowin* (1981; Moreira, 2006), um diagrama para mostrar a estrutura dessa construção.

Tudo começa com uma *questão-foco*, uma *situação problema*. Para respondê-la, ou resolvê-la, é preciso fazer *registros*, de um *evento* que acontece naturalmente ou que se faz acontecer, ou de um determinado *objeto* de estudo que não é propriamente um evento mas que existe e pode ser observado. Sobre esses registros são feitas *transformações metodológicas* com o objetivo de chegar a possíveis respostas à questão-foco, ou possíveis soluções da situação-problema.

Mas tudo isso é feito interativamente com um domínio conceitual onde estão *conceitos*, *princípios* (proposições norteadoras iniciais), *teorias* e *filosofias* (visões de mundo, paradigmas, tradições de pesquisa). Quer dizer, o conhecimento científico é construído através da interação entre o pensar (*domínio conceitual*) e o fazer (*domínio metodológico*). Esse diagrama está apresentado na *Figura 1*, procurando esclarecer o significado de cada um de seus componentes.

A origem do Vê heurístico é um conjunto de cinco questões a serem aplicadas a qualquer trabalho de pesquisa: 1) *Qual a questão-foco, a pergunta básica?*; 2) *Quais os conceitos-chave, a fundamentação teórica?*; 3) *Quais os procedimentos metodológicos?*; 4) *Quais as asserções de conhecimento, as respostas à questão-foco?*; 5) *Quais as asserções de valor (relativas ao conhecimento produzido)?* Estas são as chamadas cinco questões de Gowin (1981).

O Vê heurístico contém as mesmas questões, porém em um diagrama mais elaborado cuja intenção inicial era a de ajudar os estudantes a entender como o conhecimento é construído pelos seres humanos, sejam eles pesquisadores, professores ou estudantes. *A ideia chave é a de que o conhecimento é construído, ao invés de descoberto*. A descoberta pode ter um papel na produção do conhecimento, mas nunca é mais do que uma das atividades envolvidas na criação de novos conhecimentos (Novak e Gowin, 1983, p. 4).

No diagrama V, entende-se por *evento* qualquer coisa que acontece ou que se faz acontecer e por *objeto* algo que existe e pode ser observado, sempre com a intenção de buscar respostas às questões-foco. Para isso, é necessário fazer *registros* de eventos e/ou objetos e transformar metodologicamente esses registros na busca dessas respostas, as quais constituem o conhecimento produzido. Sobre este conhecimento se faz *juízos de valor* (qual sua importância? para quê?). Este é o lado do *fazer* da pesquisa. O lado do *pensar* é o domínio conceitual, onde se vai desde *conceitos* até *filosofias*; passando por *estruturas conceituais*, *construtos*, *princípios* e *teorias*.

A construção do conhecimento, a produção de respostas às questões de pesquisa, requer uma interação permanente entre os domínios conceitual e metodológico, entre o pensar e o fazer.

Nessa interação o domínio conceitual influi na metodologia de pesquisa, mas o conhecimento produzido pode corroborar esse domínio ou levar a sua reformulação, i.e., a novos modelos e

Conceitos estão na base do domínio conceitual. Vários epistemólogos dão suporte a esta afirmação. Stephen Toulmin (1977), por exemplo, argumenta que conceitos estão na essência da compreensão humana. Para Ernest Mayr (1998), as verdadeiras revoluções científicas são revoluções conceituais. Conceitos são também fundamentais no desenvolvimento cognitivo. Para o psicólogo cognitivo Gérard Vergnaud (1990), a conceitualização é a pedra angular do desenvolvimento cognitivo. Jerry Fodor (1998), outro conhecido psicólogo cognitivo, diz que conceitos são os átomos do pensamento. Pensamos com conceitos.

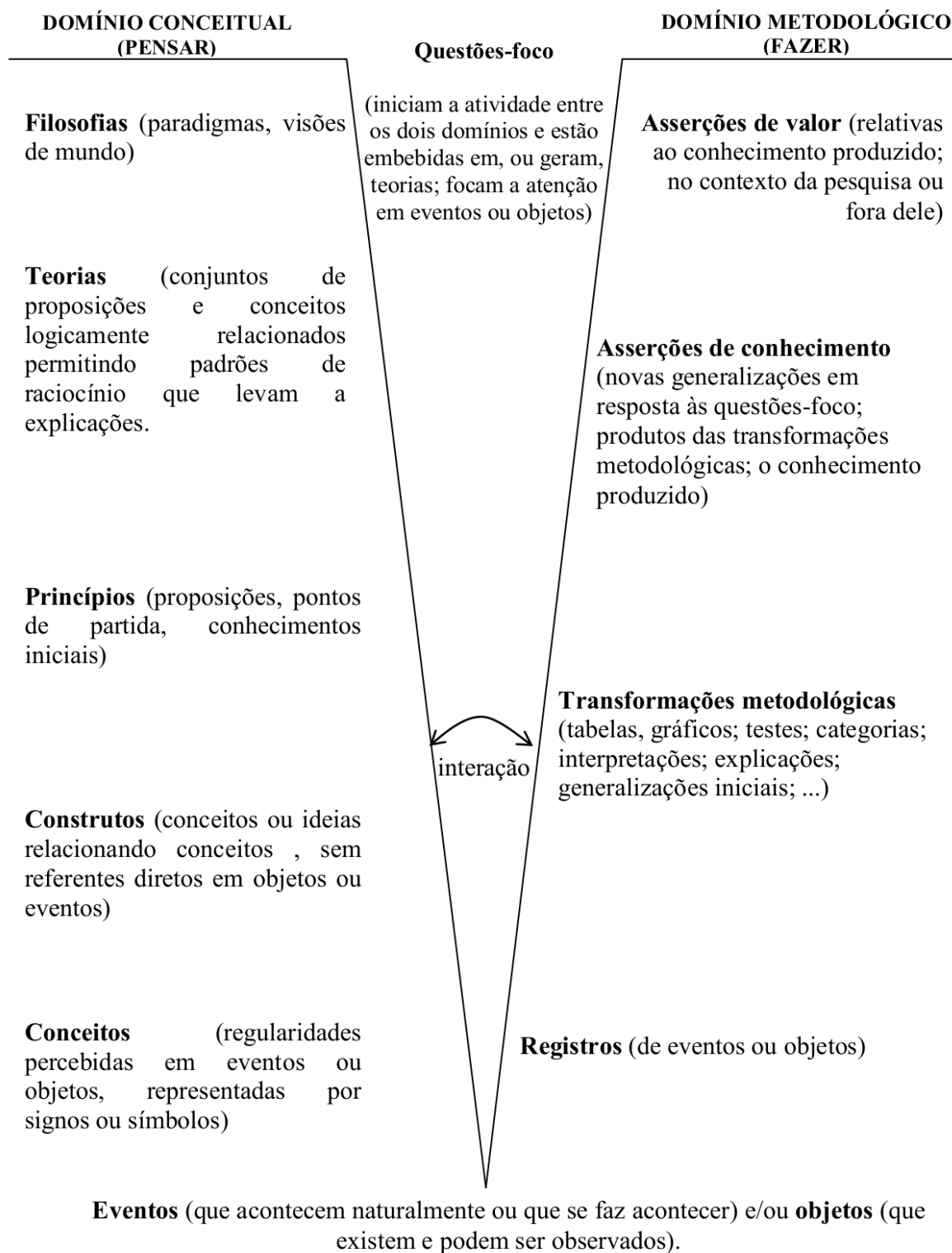


Figura 1. Versão original do **Vê epistemológico**, Vê heurístico, Vê de Gowin (1970, 1981, Novak e Gowin, 1984; Moreira, 1990; Gowin e Alvarez, 2005), Vê do conhecimento (Valadares, 2000) ou diagrama V. O objetivo deste diagrama é o de facilitar a compreensão da estrutura do processo de construção do conhecimento; daí ser chamado de Vê epistemológico ou heurístico.

Com conceitos são construídos *princípios*, ou proposições norteadoras das pesquisas. Esses princípios, por sua vez, fazem parte de *teorias* que se inserem dentro de uma visão mais ampla, paradigmática, i.e., uma *filosofia*. Por exemplo, ter como filosofia o construtivismo abre espaço para várias teorias construtivistas tanto do conhecimento científico como do conhecimento do ser que aprende.

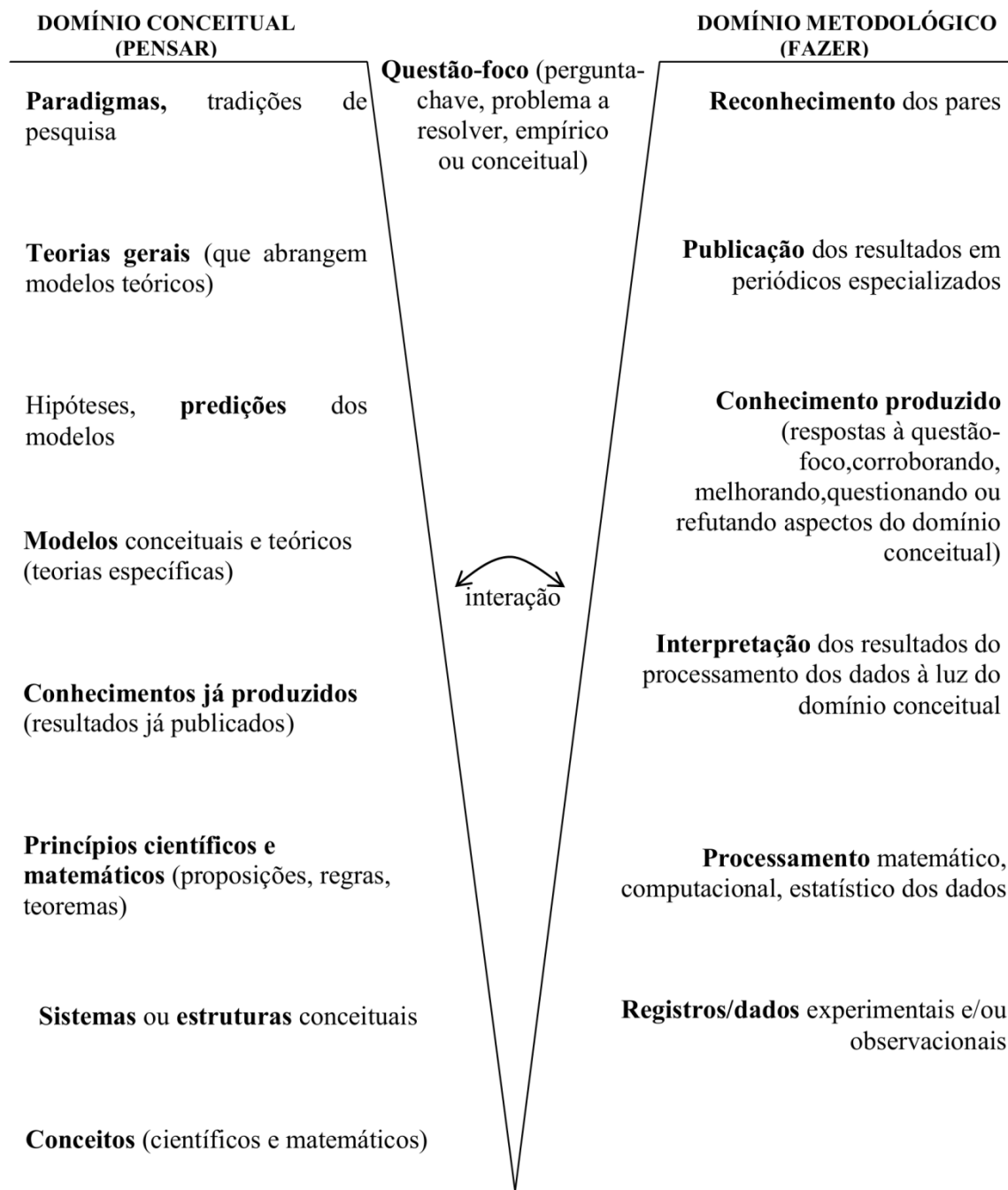
No domínio metodológico do diagrama V aparece ainda a questão do *valor* do conhecimento produzido. Há várias maneiras de atribuir valores aos resultados de uma pesquisa. Por exemplo, gerar novas questões de pesquisa, contribuir para a corroboração ou melhora de uma teoria, de um modelo. Este item tem também um aspecto crítico: afinal qual a importância do conhecimento produzido? Cabe registrar que na *Figura1* não aparecem *modelos*, talvez porque Gowin o propôs como instrumento heurístico para identificar a estrutura do processo de produção de conhecimentos em quaisquer áreas, não especificamente em ciências onde modelos são fundamentais. A *Figura2* apresenta um diagrama V para a produção de conhecimentos em Ciências como, por exemplo, a Física. Nele estão os *modelos*, antes de teorias e paradigmas (filosofias). Estão também as *hipóteses*, como previsões dos modelos, e os *conhecimentos já produzidos*. Na pesquisa científica, sempre se leva em conta o que já existe na área pesquisada, os conhecimentos que já foram produzidos nessa área. Não são definitivos, mas devem ser levados em conta. Este item é pré-requisito, é condição prévia, para um projeto de pesquisa.

Ainda na Figura 2, aparecem dois itens que não estão no Vê do Gowin original, a *publicação* e o *reconhecimento pelos pares*. Quanto à *publicação*, a regra é simples: conhecimento produzido e não publicado, não existe. O conhecimento científico é, por definição, público. Na prática, muitas vezes, esta regra é difícil de ser cumprida porque, particularmente, nos dias atuais a pesquisa, não só a científica, é dominada por um “publicacionismo” exarcebado, cheio de outras regras, que acaba inibindo a criatividade. O *reconhecimento pelos pares* está muito vinculado à publicação, pois os cientistas mais reconhecidos são os que têm mais e/ou melhores artigos científicos publicados. Na academia, na universidade, este é o critério básico para que, mesmo sendo professor universitário, este é praticamente o único critério, o ensino não importa. Esta supervalorização das publicações acaba prejudicando o ensino universitário (Wieman, 2013).

Uma vez apresentado, descrito e exemplificado o Vê epistemológico passaremos agora adaptá-lo à modelagem, ou seja, à construção de modelos científicos, mentais, computacionais e matemáticos.

Nas ciências, praticamente todo conhecimento produzido depende de modelos. As teorias são consideradas mais do que modelos, mas sem estes muitas não existiriam. Modelos são também fundamentais para o desenvolvimento cognitivo. Para dar conta de uma nova situação-problema o primeiro, e indispensável, passo é a construção de um modelo mental (Johnson-Laird, 1983) na memória de trabalho. Na Matemática, a modelagem, como arte de expressar situações-problema por meio da linguagem matemática, é tão antiga como a própria Matemática

(Biembengut e Hein, 2003), porém atualmente está associada à Matemática Aplicada (Almeida et al., 2012). Na educação matemática, o uso da modelagem como estratégia de ensino e aprendizagem é mais recente (Bassanezi, 1994), mas vem ganhando, cada vez mais, espaço nas últimas décadas.



Eventos (que acontecem naturalmente ou que se faz acontecer experimentalmente) e/ou **Objetos** (que existem e podem ser observados)

Figura 2. Um diagrama V para a **produção de conhecimentos em Ciências**, resultante da interação entre teorização, observação e experimentação

Nas próximas seções será discutido o conceito de modelo, em particular das perspectivas da Física, da Psicologia Cognitiva e da Computação, procurando fazer ponte com a *modelagem matemática* e com o Ensino de Ciências e Matemática.

Modelos Científicos

Na visão epistemológica de Mario Bunge (1960,1974), para apreender a realidade, o ser humano começa com idealizações e simplificações que permitem construir o que ele define como *objeto-modelo* ou *modelo conceitual* do fenômeno de interesse, da situação-problema em pauta. Esse modelo conceitual pode dar ao seu construtor uma imagem simbólica do real. Depois são atribuídas a ele certas propriedades, em geral não sensíveis, buscando inseri-lo em uma teoria capaz de descrevê-lo teórica e matematicamente. Esta é a etapa do *modelo teórico*, cuja aceitação (sempre provisória), refutação (que pode ser definitiva) ou revisão (introdução de modificações para melhorá-lo) depende da experimentação.

Para Bunge, *toda teoria física encerra um aspecto idealizado de um pedaço da realidade e essa idealização, é chamada de modelo*. A construção de um modelo conceitual começa com a esquematização e simplificação da realidade. O passo seguinte é construir o modelo teórico que tenta especificar o comportamento ou os mecanismos internos desse modelo conceitual. De um modo geral, começa-se com um modelo tipo “caixa preta”, i.e., desprovido de estrutura, depois se acrescenta uma estrutura simples e se prossegue elaborando, refinando, o modelo, introduzindo novos elementos, fazendo uso de conceitos matemáticos, até que ele explique, ou resolva, o que se quer explicar ou resolver. (Moreira e Massoni, 2011).

Modelos Mentais

Modelos mentais, na perspectiva de Philip Johnson-Laird (1983), são análogos estruturais de estados de coisas do mundo. São representações internas de informações que correspondem analogamente ao que está sendo representado. São, portanto, uma forma de representação analógica do conhecimento: existe uma correspondência direta entre entidades e relações presentes na estrutura dessa representação e as entidades e relações que se busca representar.

Na ótica da Física, modelos conceituais e teóricos são projetados como instrumentos para a compreensão ou para o ensino de sistemas físicos, enquanto que modelos mentais são o que as pessoas realmente têm em suas cabeças e o que guia suas ações. (Gentner e Stevens, 1983).

Modelos científicos são construídos por pesquisadores, engenheiros, professores, que procuram representações acuradas, completas, consistentes, de sistemas físicos, enquanto que modelos mentais são construídos pela pessoa buscando, inicialmente, apenas funcionalidade. Quer dizer, modelos mentais não precisam ser tecnicamente acurados (e geralmente não são) mas devem ser funcionais. Interagindo com o sistema representado, a pessoa continuamente modifica seu modelo mental a fim de chegar a uma funcionalidade que lhe satisfaça. (ibid.)

No ensino de ciências, o professor ensina modelos científicos, que foram projetados por pessoas que usam modelos mentais e espera que o aprendiz construa modelos mentais

consistentes com esses modelos científicos que, por sua vez, devem ser consistentes com os sistemas físicos modelados. O objetivo do ensino é, através de modelos científicos e teóricos, levar o aprendiz a construir modelos mentais adequados (i.e., consistentes com os próprios modelos científicos) de sistemas físicos. Ou seja, a mente humana opera só com modelos mentais, mas modelos conceituais e teóricos podem ajudar na construção de modelos mentais que explicam e predizem consistentemente com o conhecimento aceito em uma área. (Greca e Moreira 2000, 2002; Moreira, 2005).

As Figuras 3 e 4 apresentam adaptações do Vê epistemológico para *modelagem científica* e para a *modelagem mental*, respectivamente.

Mas onde entram a Computação e a Matemática em toda essa questão epistemológica envolvendo modelos científicos, modelos mentais e ensino? Certamente elas estão presentes. Vejamos como.

Modelagem Computacional e Modelagem Matemática

Modelagem computacional, segundo Veit e Araújo (2010, p. 145), é um dos pilares fundamentais do desenvolvimento científico atual. É praticamente impossível considerar a pesquisa em disciplinas como Física, Química e Biologia sem computação e, em particular, sem modelagem computacional. Para esses autores, o termo modelagem computacional, em geral, está associado à computação voltada para a elaboração de simulações computacionais de problemas complexos oriundos das mais diversas áreas do conhecimento. Em relação ao ensino, dizem que: *Modelagem computacional aplicada ao ensino pode ser encarada como o processo de construção ou exploração de uma versão computacional de uma representação de um modelo didático-científico* (op. cit., p. 149).

Modelagem matemática é o processo que envolve a construção de um *modelo matemático*. Modelo matemático é um conjunto de símbolos e relações matemáticas que procura traduzir, de alguma forma, um fenômeno em questão ou problema de situação real. (Biembengut e Hein, 2003, p.12). A modelagem matemática está sempre presente na construção de teorias científicas, em particular de teorias físicas. Em decorrência, a modelagem matemática deveria também estar sempre presente no ensino de ciências, particularmente da Física.

Mas aqui voltamos às considerações epistemológicas iniciais: *o conhecimento científico é construído e nessa construção a modelagem conceitual, a modelagem computacional e a modelagem matemática são fundamentais, mas no ensino os modelos são apresentados (ou “dados”) aos alunos em sua versão final e como fossem definitivos.*

Na aprendizagem, a *modelagem mental* é essencial para dar significado aos conteúdos, às situações-problema, mas no ensino isso é ignorado. Os modelos teóricos, que muitas vezes são modelos matemáticos, devem ser simplesmente memorizados mecanicamente.

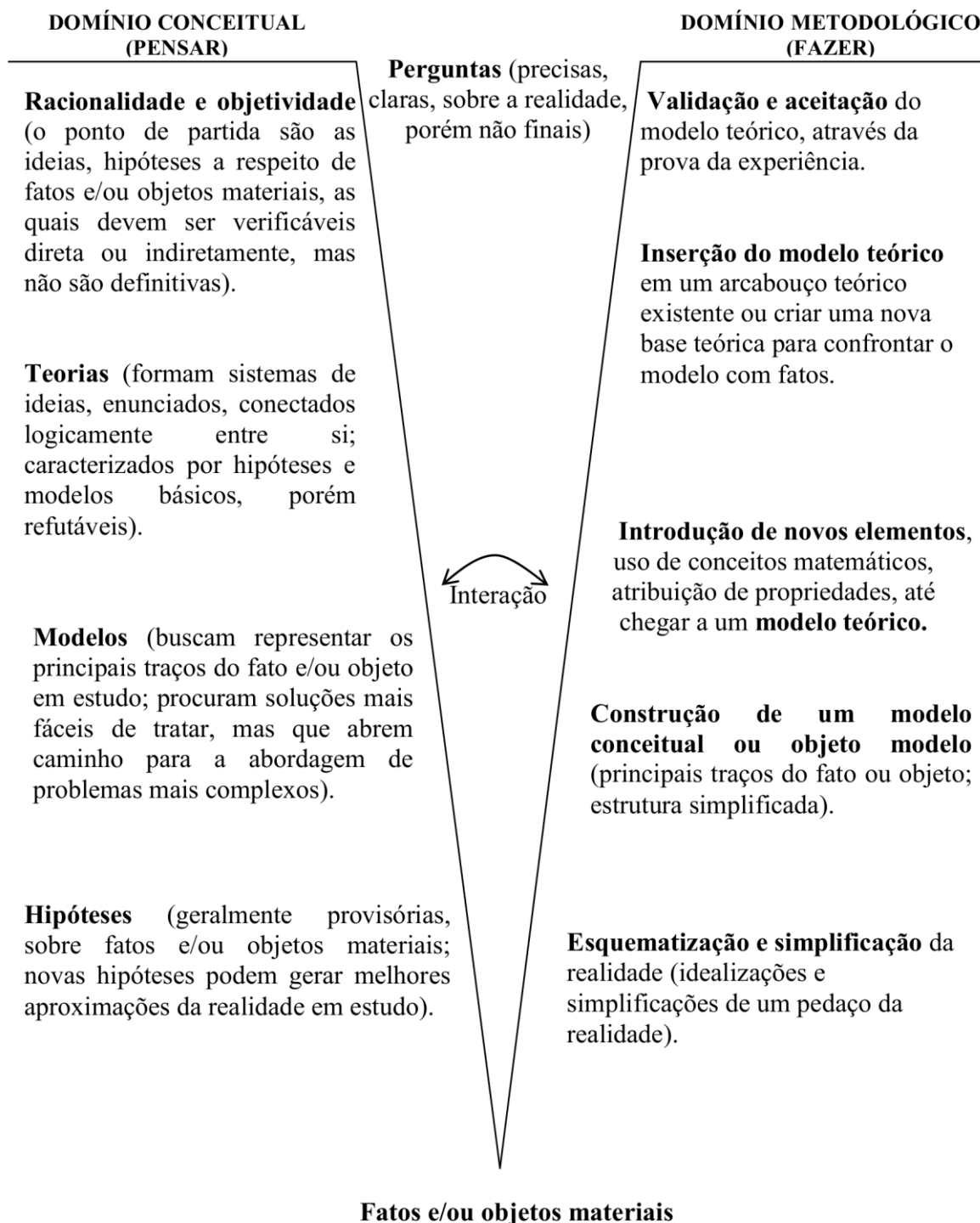


Figura 3. O Vê heurístico adaptado para a **modelagem em ciências** na perspectiva epistemológica de Mario Bunge (1960, 1974). Para explicar a realidade, o cientista começa com

idealizações e simplificações que levam a um modelo inicial (conceitual); depois, descrevendo-o teórica e matematicamente chega a um modelo (teórico) mais sofisticado e complexo.

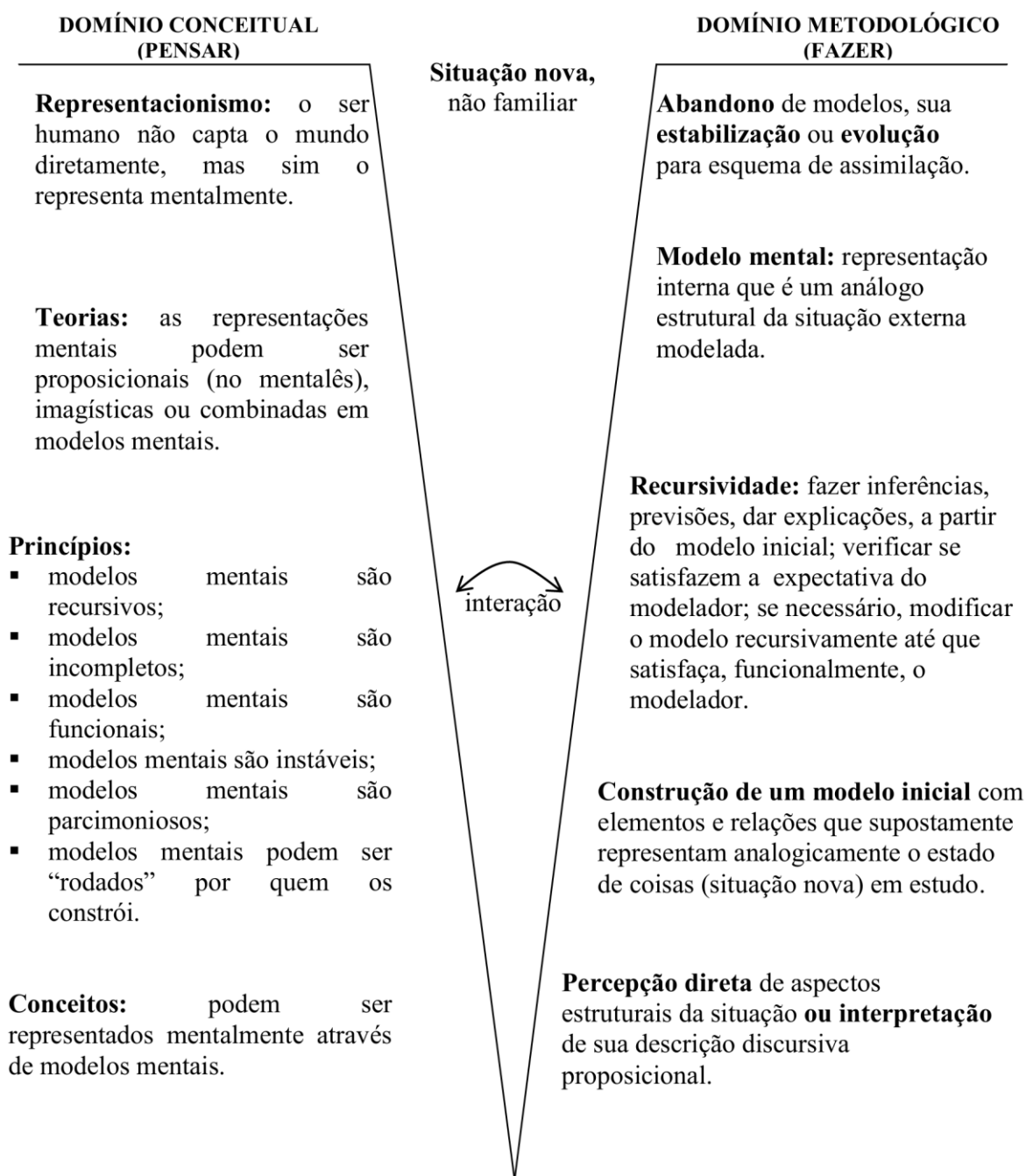


Figura 4. O Vê epistemológico de Gowin adaptado para a **modelagem mental** na perspectiva cognitiva contemporânea da mente representacional computacional, na ótica de Philip Johnson-Laird (1983), segundo a qual quando a situação é nova o primeiro passo para dar conta dela é a construção de um modelo mental na memória de trabalho.

Na aprendizagem significativa, o primeiro processo cognitivo envolvido na solução de uma situação-problema é a construção de um modelo mental dessa situação. Esse modelo no início é do tipo caixa preta, mas, como a aprendizagem significativa é progressiva, para sua ocorrência ele, pelo menos na aprendizagem da Física, deve passar por um processo de modelagem matemática que o tornará consistente com o modelo conceitual que dá conta dessa situação problema.

Mas como mudar esse ensino de modelos “acabados” ao invés de modelagem? Talvez o Vê epistemológico apresentado na Figura 1 possa ajudar. Araújo, Veit e Moreira (2006; 2010) adaptaram este diagrama V para a modelagem computacional no ensino da Física, tal como mostrado na Figura 5. Na *simulação computacional* o aluno pode inserir valores para variáveis, alterar parâmetros e até mesmo modificar relações entre variáveis, mas não tem acesso a elementos mais básicos, matemáticos ou icônicos, que constituem o modelo, ou seja, não pode modificar o núcleo do modelo. Na *modelagem computacional* sim, o aluno tem acesso a esses elementos básicos. Tanto na simulação computacional como na modelagem computacional o aluno pode explorar um modelo computacional já construído. Este modo de uso chama-se *exploratório* (Araújo e Veit, 2010, p. 149). Mas na modelagem computacional o aluno pode também construir seu próprio modelo, desde sua estrutura matemática ou icônica até a análise dos resultados gerados pelo modelo, ou fazer alterações em modelos computacionais já construídos. Neste caso, o modo de uso é dito *expressivo* ou de *criação* (ibid.)

O diagrama V apresentado na Figura 5, conhecido como diagrama AVM (Adaptação do V para Modelagem), é um instrumento heurístico para que o aluno entenda a modelagem computacional, mesmo no modo expressivo, ou seja, que entenda o modelo construído por ele/ela próprio(a). Nem sempre o aluno entende a modelagem em si, mas o diagrama AVM pode ajudar nesse entendimento.

Ao construir o diagrama AVM o aluno vai explicitando a *filosofia* ou sistema de crenças subjacentes ao processo de modelagem da situação-problema, as *teorias, princípios e leis* que guiam a elaboração do modelo, os *referentes* que se quer modelar, as *idealizações e aproximações* feitas e que determinam o contexto de validade do modelo, as *variáveis e parâmetros* usados para representar estados e propriedades dos referentes do modelo, as *relações* matemáticas ou proposicionais (enunciados) envolvidas, os *resultados conhecidos* no âmbito do fenômeno de interesse no qual se insere a situação-problema que está sendo modelada, assim como suas *predições* na tentativa inicial de responder a(s) questão(ões)-foco.

Tudo isso constitui o lado esquerdo (domínio conceitual) do diagrama AVM. No lado direito (domínio metodológico), o modelador (o aluno, nesse caso) deve explicitar *os dados coletados, os elementos interativos* utilizados, as representações gráficas e/ou sonoras fornecidas pelo modelo computacional construído, a *categorização da modelagem, a validação* do modelo

(comparando com resultados conhecidos e com situações-problema mais simples) as *respostas* à(s) *questão(ões)-foco* e as *possíveis generalizações e expansões do modelo*.



Figura 5. O Vê epistemológico de Gowin adaptado para a **modelagem computacional** (Araújo, Veit e Moreira, 2010, p. 157).

Na *Figura 6* é apresentada uma adaptação, inspirada naquela feita por Araújo, Veit e Moreira para modelagem computacional, do Vê epistemológico para a *modelagem matemática*. Esta adaptação está baseada na proposta de Almeida, Silva e Vertuan (2012, p. 12) sobre o que é uma atividade de modelagem matemática.

A atividade de modelagem matemática começa com uma situação-problema inicial e termina com uma situação final que é uma solução para a situação inicial. Frente à situação-problema inicial, o primeiro e fundamental passo cognitivo do modelador é a representação mental (a construção de um modelo mental dessa situação). Essa representação mental é uma estruturação analógica da situação.

Para ir modificando e melhorando o modelo mental inicial de modo a matematizá-lo e chegar a um modelo matemático para a situação inicial é preciso levar em conta, ou dar-se conta de *conceitos, variáveis, aproximações, referentes e relações*, assim como *inteirar-se da situação* no sentido de pensar que registros são necessários, como fazê-los e como usar técnicas e procedimentos que levem a um *modelo matemático*. Uma vez alcançado este objetivo é preciso abalisar e usar o modelo, comunicar resultados obtidos e convencer a uma audiência que esses resultados são aceitáveis. Uma última etapa, que tem a ver com as asserções de valor contidas no diagrama V original, é verificar se o modelo elaborado pode ser usado em outras situações além daquela inicial que gerou. É a da *generalização*, ou expansão, de modelo matemático

Todas estas etapas, ou partes de Vê epistemológico, não são necessariamente lineares. O processo de produção do conhecimento, ou o processo de elaboração de um modelo matemático, resulta de *interações* entre os domínios conceitual e epistemológico.

Modelando e aprendendo

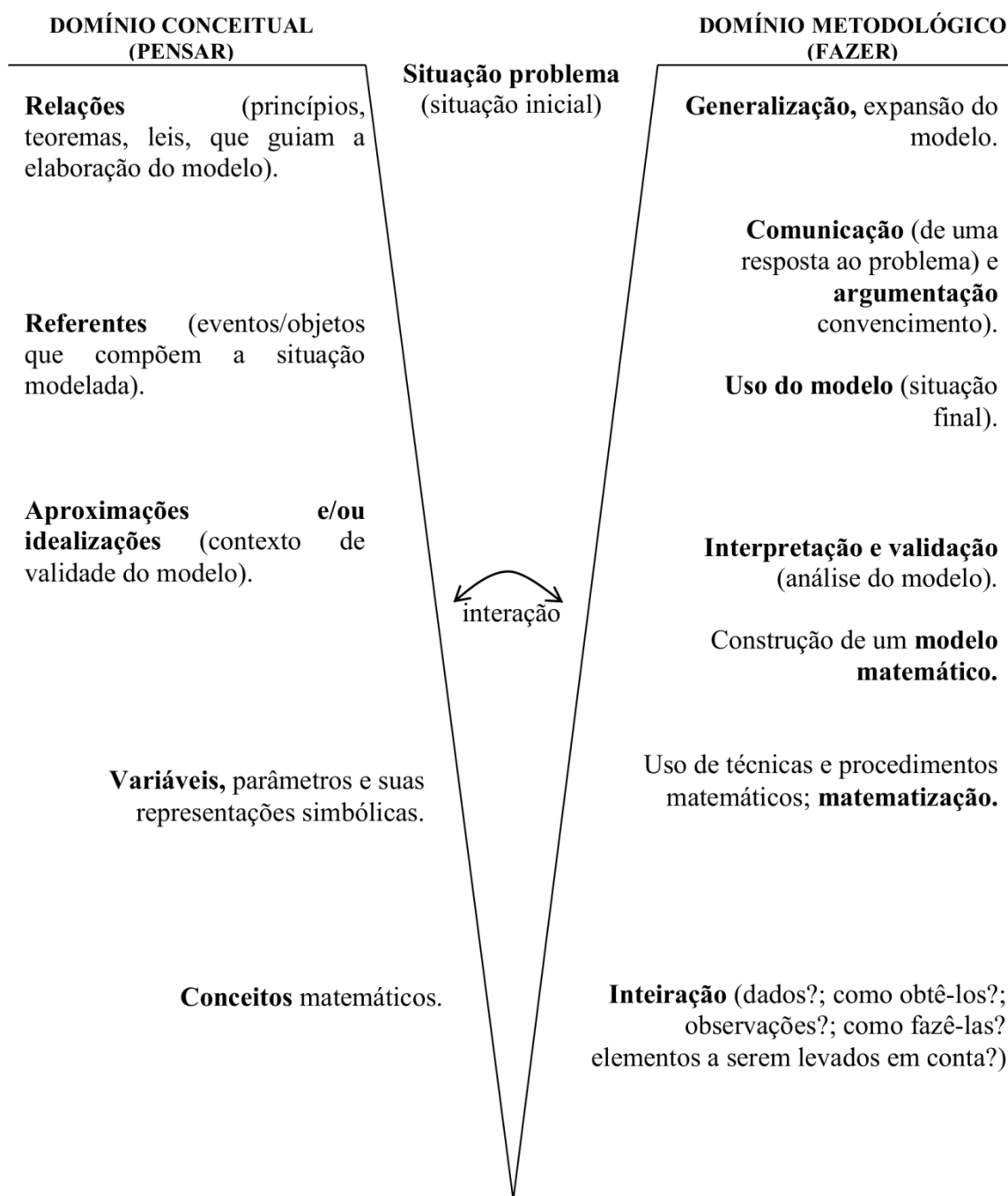
Como foi dito no início, apesar da importância que os modelos têm nas Ciências e na Matemática, no ensino dessas disciplinas a modelagem é ignorada e o foco é o treinamento para respostas certas nas provas. É o *teaching for testing*, o ensino para a testagem, onde o significado e a construção do conhecimento não são importantes.

Certamente a construção de um diagrama V para uma experiência de laboratório em ciências, uma atividade de modelagem matemática ou a construção de um modelo computacional em situação do conhecimento não são importantes.

Mas aprender Ciências e Matemática é muito mais do que construir um ou outro modelo, ou incorporar cognitivamente um modelo pronto, como se fosse definitivo. É modelar permanentemente!

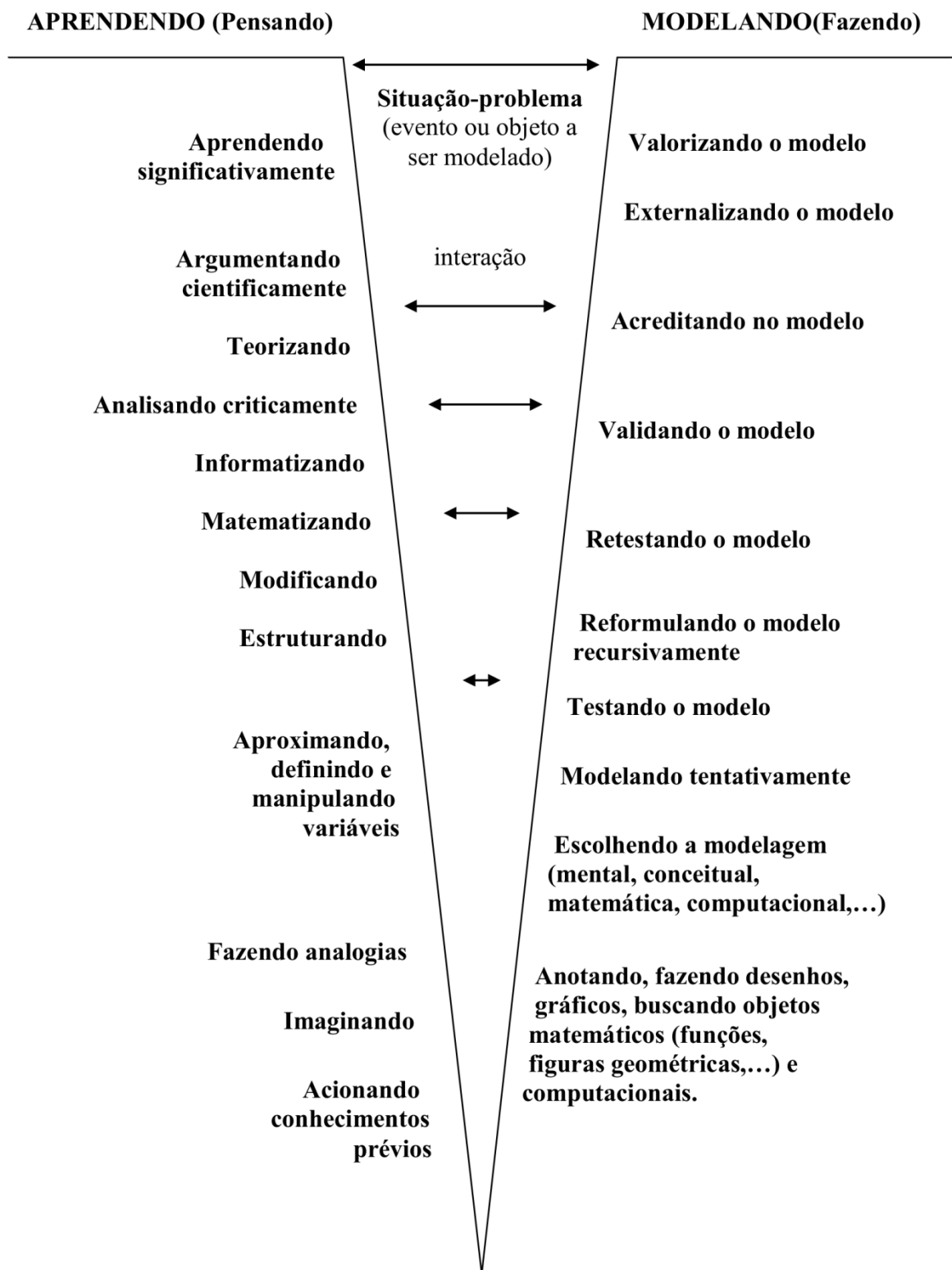
A aprendizagem significativa implica uma interação cognitiva entre conhecimentos prévios e novos conhecimentos, uma dinâmica cognitiva onde a diferenciação progressiva e a

reconciliação integrativa são processo básicos (Moreira, 2011). Mas a modelagem permeia tudo isso. Aprender e modelar estão intrinsecamente relacionados. Enquanto está modelando, o sujeito, o(a) aluno(a) no caso, está aprendendo e vice-versa. É isso que sugere o diagrama V da Figura 7.



Representação mental da situação (modelo mental); estruturação da situação.

Figura 6. O Vê epistemológico de Gowin adaptado a uma atividade de **modelagem matemática** no contexto do ensino, baseado na proposta de Almeida et al. (2012) sobre o que é uma atividade de modelagem matemática.



Percebendo/Experienciando o evento ou objeto a ser modelado

Figura 7. O Vê da modelagem. A interação permanente entre aprender e modelar, na aprendizagem significativa.

A aprendizagem significativa é cognitivamente ativa e a modelagem é inerente a essa atividade. Aprender significativamente envolve pensar, é claro, mas esse pensar envolve imaginar,

fazer analogias, buscar diferenças e semelhanças, fazer aproximações, modificar, matematizar, informatizar, analisar criticamente, teorizar, argumentar, etc., não necessariamente nesta ordem. Tudo isso para quê? Para ir modelando os novos conhecimentos recebidos, ou para ir construindo novos conhecimentos através da modelagem.

O ensino da Ciências e Matemática deveria fomentar esta interação permanente entre aprender e modelar. Simplesmente estimular, exigir, a memorização de respostas, fórmulas, equações, algoritmos é um ensino não só ineficaz mas também anticientífico (Wieman, 2013, p.212).

A modo de conclusão

Assim como o conhecimento científico não é definitivo, acabado, pois está sempre em construção, a presente discussão sobre modelos e modelagem está longe de ser definitiva, acabada. Foram abordados distintos tipos de modelagem – *científica, mental, computacional, matemática* –

segundo a perspectiva de determinados autores: Bunge na científica, Johnson-Laird na mental, Araújo et al. na computacional e Almeida et al. na matemática. Mas certamente outros autores podem ter olhares diferentes para essas modelagens. Foi utilizado um instrumento heurístico, o Vê epistemológico, para esquematizar cada uma delas. Mas poderia ter sido usado um outro instrumento, o mapa conceitual, por exemplo.

O importante, não é o tipo de modelagem ou o tipo de instrumento, mas sim o fato de que modelos são componentes essenciais da construção científica, da construção cognitiva e da aprendizagem significativa. O presente trabalho procura chamar atenção, principalmente de professores de ciências e matemática sobre a importância da modelagem, e seus aspectos epistemológicos, no ensino. Uma tarefa difícil em uma época em que o que se estimula é a aprendizagem mecânica de respostas corretas para as provas.

Referências

Almeida, L.W., Silva, K.P., Vertuan, R.E. (2012). *Modelagem matemática na educação básica*. São Paulo: Editora Contexto. 157p.

Araújo, I.S., Veit, E.A., Moreira, M.A. (2010). Adaptação do Vê de Gowin para a modelagem e simulação computacionais aplicadas ao ensino. Em Moreira, M.A., Veit, E.A. *Ensino superior: bases teóricas e metodológicas*. São Paulo: E.P.U. 225p.

- Araujo, I.S., Veit, E. Moreira, M.A. (2006) Adapting Gowin's V diagram to computational modelling and simulation applied to physics education. In: *GIREP, 2006 Conference, Amsterdam. Proceedings*.
- Bassanezi, R.C. (1994). Modelling as a teaching-learning strategy. *For the Learning of Mathematics*, 14(2): 31-35.
- Biembengut, M.S., Hein, N. (2003). *Modelagem matemática no ensino*. São Paulo: Editora Contexto. 127p.
- Bunge, M. (1960). *La ciencia su método y su filosofía*. Buenos Aires: Ediciones Siglo Veinte. 110p.
- Bunge, M. (1974). *Teoria e realidade*. São Paulo: Editora Perspectiva.
- Bunge, M. (1985). *Epistemología*. Barcelona Editorial Ariel. 275p.
- Colinvaux, D. (1998) (Org.) Modelos e educação em ciências. Rio de Janeiro: Ravil. 96 p.
- Fodor, J.A. (1998). *Concepts: Where cognitive science went wrong*. New York: Oxford University Press Inc. 174p.
- Gentner, D., Stevens, A.L. (1983). *Mental Models*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates. 348p.
- Gowin, D.B. (1970). The structure of knowledge. *Educational Theory*, 20(4): 319-328.
- Gowin, D.B. (1981). *Educating*. Ithaca, N.Y.: Cornell University Press. 210 p.
- Gowin, D.B., Alvarez, M.C. (2005). *The art of educating with V. diagrams*. New York, N.Y: Cambridge University Press. 231p.
- Greca, I.M., Moreira, M.A. (2000). Mental models, conceptual models, and modelling. *International Journal of Science Education*, 22(1): 1-11.
- Greca, I.M., Moreira, M.A. (2002). Mental, physical, and mathematical models in the teaching and learning of physics. *Science Education*, Vol. 86, 106-121.
- Hestenes, D. (2006). Notes for a modeling theory of science, cognition, and instruction. In Proceedings of the GIREP Conference. Amsterdam, August 20-26, pp. 34-65.
- Johnson-Laird, P.J. (1983). *Mental models*. Cambridge, MA: Harvard University Press. 513p.
- Justi, R. (2007). Modelagem – Uma abordagem para um ensino de ciências mais autêntico. *Tecné, Episteme y Didaxis*, Número Extraordinário: 23-38.
- Mayr, E. (1998). *O desenvolvimento do pensamento biológico*. Brasília: Editora da Universidade de Brasília. 1107p.
- Moreira, M.A. (2005). (Org). *Representações mentais, modelos mentais e representações sociais*. Porto Alegre: Instituto de Física, UFRGS. 178p.

- Moreira, M.A. (2006). *Mapas conceituais & diagramas V*. Porto Alegre: Ed. do Autor. 103p.
- Moreira, M.A., Massoni, N.T. (2011). *Epistemologias do século XX*. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária. 207p.
- Moreira, M.A. (1990). *Pesquisa em ensino: O Vê epistemológico de Gowin*. São Paulo: E.P.U. 94p.
- Novak, J.D., Gowin, D.B. (1984). *Learning how to learn*. New York, N.Y: Cambridge University Press. 199p.
- Toulmin, S. (1977). *La comprensión humana – volumen 1: El uso colectivo y la evolución de los conceptos*. Madrid: Alianza Editorial.
- Valadares, J. (2000). A importância epistemológica e educacional de Vê do conhecimento. In *Actas do III Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa*. Lisboa: Universidade Aberta.
- Veit, E.A., Araújo, I.S. (2010). Modelagem computacional aplicada ao ensino de ciências. Em Moreira, M.A., Veit, E.A. *Ensino superior: bases teóricas e metodológicas*. São Paulo: E.P.U. 225p.
- Vergnaud, G. (1990). La théorie des champs conceptuels. *Récherches en Didactique des Mathématiques*, 10(23), 133-170.
- Wieman, C. (2013). Transformation is possible if a university really cares. *Science*, Vol, 340, 292-296.

Marco Antonio Moreira – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: moreira@if.ufrgs.br.