

Concepções e dificuldades dos professores de Física no campo conceitual da modelagem científica

Rafael Vasques Brandão¹, Ives Solano Araujo¹ e Eliane Angela Veit¹

¹Instituto de Física da UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mails: rafael.brandao@ufrgs.br; ives@if.ufrgs.br; eav@if.ufrgs.br

Resumo: Modelos e modelagem científica são indispensáveis à construção do conhecimento científico e, portanto, devem ocupar um lugar de destaque no Ensino de Ciências. Neste estudo propomos uma estrutura conceitual de referência para a modelagem científica em Física, com fins didáticos, que resulta da aproximação entre a teoria dos campos conceituais de Vergnaud e a epistemologia de Mario Bunge. Adotando o estudo de caso como estratégia de pesquisa no contexto de um curso de extensão a distância (40 horas), buscamos identificar concepções e dificuldades apresentadas por oito professores do ensino médio no enfrentamento de situações apresentadas na forma de tarefas enfocando aspectos conceituais da ECR proposta. Os resultados indicam que os professores confundem modelos científicos com teorias, enunciados de lei, equações, analogias e situações. Além disso, apresentam dificuldades em relação a diversos conceitos envolvidos nos processos de construção e análise da razoabilidade dos resultados obtidos pelos modelos científicos, tais como: idealização, aproximação, referente, variável, parâmetro, domínio de validade e grau de precisão. Esses resultados serão considerados no delineamento de futuras situações que permitam investigar procedimentos e modos de raciocínio utilizados pelos professores quando estão envolvidos em atividades de modelagem científica em Física.

Palavras-chave: modelagem científica, campos conceituais, formação de professores.

Title: High school physics teachers' conceptions and difficulties in the conceptual field of scientific modeling.

Abstract: Scientific models and modeling are essential to the construction of scientific knowledge and therefore should occupy a prominent place in science education. In this study we propose a conceptual structure of reference for scientific modeling in physics, with didactic purposes, the result of convergence between Vergnaud's conceptual fields' theory and Mario Bunge's epistemology. Adopting the case study as research strategy in a 40-hour distance learning course, we identify conceptions and difficulties presented by eight high school teachers in coping with the situations presented in the form of tasks focusing on conceptual aspects of the proposed structure. The results indicate that teachers understand scientific models as theories, laws, equations, analogies and situations. Moreover, they present difficulties with regard to many concepts involved in the construction and validation of scientific models, such as: idealization, approximation, referent, variable, parameter,

context of validity and degree of precision. These results will be taken into account in the design of future situations that allow the investigation of the implicit knowledge in the assimilation schemes of teachers.

Keywords: scientific modeling, conceptual fields, teacher's formation.

Introdução

Este trabalho faz parte de uma pesquisa mais ampla sobre a aprendizagem conceitual da modelagem científica por parte de professores de Física do ensino médio. No contexto educacional, modelagem científica pode ser entendida como a atividade de criação e exploração de versões didáticas de modelos concebidos pelos cientistas.

Parte-se do princípio que uma compreensão adequada desse processo, por parte dos professores, pode contribuir para a melhoria do Ensino de Física, constituindo-se em uma possível solução para dois problemas que persistem na área: a abordagem excessivamente formal e descontextualizada dos conteúdos de Física e a apresentação do conhecimento científico como verdade imutável, inquestionável.

Diversos estudos (Meyling, 1997; Ryder, Leach e Driver, 1999; Justi e Gilbert, 2000; Halloun, 2004) têm demonstrado que a estratégia da modelagem aplicada ao Ensino de Ciências, mais do que uma ferramenta útil para a resolução de problemas, pode contribuir de forma significativa para uma visão de ciência adequada à prática científica, cuja essência está na criação de modelos (Bunge, 1974; Giere, Bickle e Mauldin, 2006).

Partindo dessa perspectiva, propusemos uma estrutura conceitual de referência (Otero, 2006; Fanaro, Otero e Arlego, 2009) para a modelagem científica, com fins didáticos. A estrutura conceitual de referência (ECR) proposta serviu de base para: a) delinear uma intervenção didática que visou explicitar conceitos-chave da modelagem científica em Física; e b) analisar as respostas de oito professores do ensino médio às tarefas propostas. A intervenção didática foi implementada na forma de um curso a distância de 40 horas. Esse contexto de ensino nos permitiu responder a seguinte questão de pesquisa: quais as concepções e as dificuldades destes professores de Física do ensino médio no campo conceitual da modelagem científica? A tentativa de resposta a essa questão se constitui numa primeira aproximação ao estudo deste campo conceitual.

Subsidiando este estudo estão a epistemologia de Mario Bunge (1974), no que tange à construção do conhecimento através de modelos científicos, e a teoria dos campos conceituais de Gérard Vergnaud (1990), no que concerne à exposição dos professores a situações que dão sentido aos conceitos-chave da ECR proposta neste trabalho.

A seguir, apresentamos as ideias desses referenciais que sustentam a noção de campo conceitual da modelagem científica, bem como a ECR proposta para o mesmo. Em seguida passamos a descrever o contexto da intervenção didática e o modo como os professores foram analisados, até se chegar a uma síntese interpretativa dos resultados. Finalmente, tecemos considerações que deverão orientar a realização de estudos futuros, principalmente, no delineamento de situações que nos permitam investigar

os conhecimentos largamente implícitos nos esquemas de assimilação dos professores de Física do ensino médio.

Referencial teórico

Na literatura especializada em educação científica torna-se cada vez mais frequente o surgimento de trabalhos enfatizando a importância dos modelos e da modelagem na didática das ciências. Não obstante, o termo modelo é bastante polissêmico tanto em ciências quanto no ensino de ciências (Krapas et al, 1997), causando grande confusão até mesmo entre os pesquisadores de ambas as áreas (Greca e Santos, 2005).

Segundo Bunge (1974), os dois principais sentidos que devem ser considerados para o termo, nas ciências fatuais, são: o modelo enquanto representação esquemática de um objeto concreto e o modelo enquanto teoria relativa a esta idealização (Bunge, 1974, p. 30). O primeiro sentido define o que ele denomina de objeto-modelo de um objeto ou de um fato concreto. Esse conceito pode às vezes ser representado graficamente. O segundo sentido resume o que o autor entende por modelo teórico cujo referente direto é o objeto-modelo que lhe deu origem. Esse conceito é concebido como um sistema hipotético-dedutivo específico e não pode ser representado de outra forma que não por um conjunto de hipóteses amarradas logicamente e expressas de preferência em linguagem matemática.

Embora desempenhem papel fundamental no contexto científico, as teorias gerais, por si sós, não se aplicam diretamente às coisas do mundo real. No extremo oposto, os dados empíricos apesar de muito próximos da realidade, ou ainda, do que se supõe como real, não são passíveis de serem enxertados em sistemas lógicos para gerar conhecimento. A função dos modelos é justamente mediar a relação entre teoria e realidade. Em suma, no processo de modelagem:

...deve-se distinguir as seguintes construções: o objeto-modelo m representando os traços-chave (ou supostos-chave) de um objeto concreto r (ou suposto concreto); o modelo teórico T_s especificando o comportamento e/ou o(s) mecanismo(s) interno(s) de r por meio de seu modelo m ; e a teoria geral T_g acolhendo T_s (e muitas outras) e que deriva seu valor de verdade bem como sua utilidade de diversos modelos teóricos que podemos construir com o seu auxílio – mas jamais sem suposições e dados que a extravasam e recolhidos pelo objeto-modelo m (Bunge, 1974, p. 25).

Adicionalmente, na medida em que todo modelo teórico é, em certo grau, uma invenção, sua falseabilidade deve estar constantemente sendo avaliada. A confiabilidade dos modelos deve ser guiada criticamente por testes empíricos, racionais e de consistência teórica. Para tanto, os cientistas estariam habilitados a abandonar provisoriamente a realidade com toda sua riqueza e complexidade e dedicar-se a atividade típica da pesquisa científica contemporânea: a construção de modelos teóricos e sua comprovação (ibid, p. 30). Esta comprovação não é apenas empírica, pois também envolve questões de natureza epistemológica, metodológica e filosófica; e tampouco definitiva, pois todo o conhecimento construído no

processo de modelagem científica é por definição provisório, sempre passível de revisão.

Já do ponto de vista psicológico, este trabalho apóia-se na teoria dos campos conceituais de Vergnaud (1990), que supõe, por sua vez, que o conhecimento está organizado em campos conceituais cujo domínio ocorre lentamente através da experiência, maturidade e aprendizagem.

Segundo Vergnaud (1982, p. 40), campo conceitual é um conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos, e operações de pensamento, conectados uns aos outros e provavelmente entrelaçados durante o processo de aquisição. Em Física, por exemplo, é possível falar em campos conceituais como o da Termodinâmica, Relatividade Especial e Mecânica Quântica. Pode ser conveniente estudar campos conceituais ainda mais específicos, mas não menos importantes, pois Vergnaud (1983) considera um campo conceitual como uma unidade de estudo para dar sentido às dificuldades observadas na conceitualização do real.

Posteriormente, Vergnaud (1988, 1990) também define campo conceitual como sendo, em primeiro lugar, um conjunto de situações. Tais situações requerem o domínio de uma série de conceitos de naturezas distintas. Contudo, um conceito não se forma dentro de uma única classe de situações e uma situação não pode ser analisada por meio de um único conceito. Adicionalmente, a construção e a apropriação de todas as propriedades de um conceito é um processo lento, de larga duração. Para ele, é por meio de situações vivenciadas ao longo do tempo que os conceitos adquirem sentido. Por isso, os conceitos são formados por um triplete de conjuntos, $C = (S, I, R)$, em que: S, o referente do conceito, é o conjunto de situações que dão sentido ao conceito C; I, o significado do conceito, é o conjunto de invariantes (objetos, propriedades e relações) que permite aos indivíduos operacionalizar o conceito de modo a lidar com as situações que compõem o conjunto S; e R, o significado do conceito, é o conjunto de representações simbólicas necessárias para formalizar (indicar e representar) o conjunto I de invariantes e, por conseqüência, as situações que dão sentido ao conceito C. Por se tratar de um estudo exploratório, focaremos nossa atenção às situações, apresentadas como tarefas, na forma de perguntas e problemas de Física do ensino médio, tal como assinalam Escudero et al (2003):

...para Vergnaud la idea de situación es lo suficientemente indefinida como incluir bajo ella problemas, tareas, preguntas, tanto las tradicionalmente escolares como las que están fuera de este ámbito a condición de que permitan llevar a los estudiantes a interrogarse sobre determinadas relaciones complejas y especialmente sobre la coherencia del sistema en estudio.

A pesquisa na qual se insere esse estudo tem como objetivo investigar a aprendizagem do campo conceitual associado à modelagem científica em Física, por parte de professores do ensino médio. A importância de conceber a modelagem científica em Física à luz da teoria dos campos conceituais reside nos fatos de que: (a) modelar em Física apresenta peculiaridades em relação a outras áreas do conhecimento; e (b) a natureza desse processo exige que o sujeito mobilize os domínios conceitual e metodológico de que

dispõe para modelar a situação de interesse. O primeiro, de natureza teórico-preditiva, inclui concepções, teorias, leis, princípios e conceitos científicos ou não. O segundo, de natureza prática-operatória, requer habilidades para coletar, sistematizar e interpretar conjuntos de dados, validar, revisar e fazer asserções de valor acerca dos modelos criados.

A figura 1 ilustra de forma esquemática os conceitos, e suas relações, que compõem o que entendemos por campo conceitual da modelagem científica em Física.

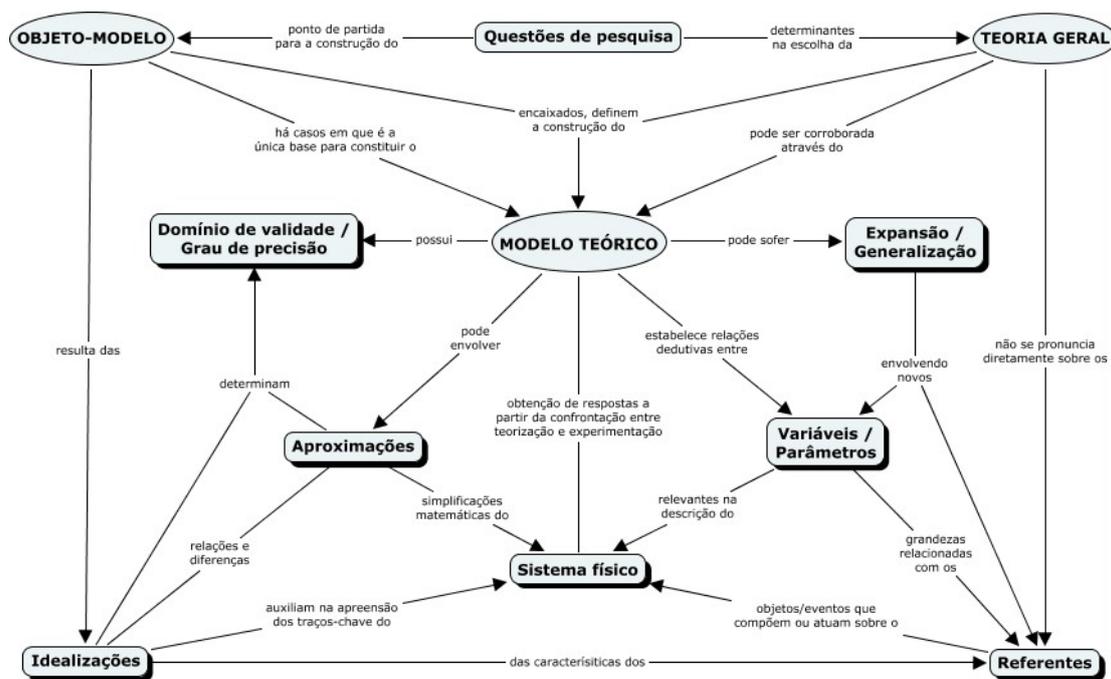


Figura 1.- Estrutura conceitual de referência (ECR) da modelagem científica em Física.

Na parte superior do mapa conceitual vê-se que a modelagem científica é, antes de tudo, um processo de busca por respostas a questões de pesquisa. Segundo Bunge, faz-se ciência formulando questões claras, imaginando modelos conceituais das coisas, às vezes teorias gerais e tentando se justificar o que se pensa e o que se faz, seja através da lógica, seja através de outras teorias, seja através de experiências, aclaradas por teorias (Bunge, 1974, p. 13).

Assim, os cientistas produzem conhecimento formulando questões a respeito de objetos e fatos reais, ou supostos como tais: átomos, moléculas, células, sistemas, processos, máquinas, etc. No processo de teorização, formulam hipóteses e elaboram objetos-modelo que, encaixados em teorias gerais, poderão se constituir em modelos teóricos capazes de gerar resultados que possam ser confrontados com os resultados empíricos provenientes da experimentação com o sistema físico de interesse. Entretanto é preciso dizer que diversas áreas do conhecimento humano não possuem (ou nem sempre possuíram) teorias gerais. Para Bunge, a ausência de teorias gerais e abstratas em certas áreas do conhecimento indica a falta e/ou dificuldade de uma desejável maturidade teórica. Nestes casos, a construção de modelos teóricos (ou teorias específicas) inicia-se

pelo extremo oposto, ou seja, a partir de algumas hipóteses muito próximas dos dados empíricos oriundos da observação e da experimentação.

Porém, quão bem um modelo teórico representa um sistema físico? A adequação de modelos teóricos aos fatos depende basicamente: (a) das questões que pretendem responder; (b) da quantidade de informações disponível sobre os referentes a serem representados, isto é, os objetos e eventos que compõem o sistema a ser modelado e os agentes externos que com ele interagem; (c) do grau de precisão desejável em seus resultados; e (d) das idealizações e aproximações que são assumidas em suas construções.

As idealizações constituem o passo inicial na construção de representações esquemáticas de sistemas físicos. Já as aproximações são simplificações na tentativa de representar matematicamente um sistema previamente idealizado, seja pela limitação das ferramentas disponíveis, seja pela precisão desejada nos resultados. Com isso não se quer dizer que as idealizações não venham a facilitar a representação matemática do sistema físico, senão que elas são pensadas anteriormente às aproximações. Em última análise, tanto as idealizações quanto as aproximações são simplificações associadas ao sistema a ser modelado. Entretanto, as idealizações podem ser vistas como um processo que culmina com o surgimento do objeto-modelo, visto como um análogo estrutural e não especular do sistema físico. Enquanto que as aproximações, em muitos casos, dependem ou são trazidas a reboque pelas idealizações (Portides, 2007).

Contudo, os modelos teóricos não têm a pretensão de representar completamente qualquer sistema físico. E não o fazem pelo fato de que são concebidos para descrever e explicar apenas determinados padrões exibidos pela estrutura e/ou comportamento de um ou mais sistemas. Além disso, possuem um domínio de validade. Por concentrarem-se em um número limitado de características essenciais espera-se que, mais cedo ou mais tarde, falhem ao representar aspectos da realidade. Nestes casos, dizemos que o domínio de validade do modelo foi extrapolado.

Outro aspecto intimamente relacionado à ideia expressa no parágrafo anterior, diz respeito ao processo de expansão de modelos teóricos. A expansão de um modelo teórico visa incluir referentes, variáveis, parâmetros, relações e/ou conceitos não considerados inicialmente. Isso ocorre pela mudança dos pressupostos teóricos, idealizações e/ou aproximações, a fim de fornecer explicações mais adequadas e tornar seus resultados mais precisos. Por fim, outra prática comum entre os cientistas é a generalização de esquemas conceituais e formalismos matemáticos para auxiliar na descrição de fenômenos inteiramente diversos daquele inicialmente modelado. Assim, o processo de generalização de modelos teóricos visa ampliar o domínio de aplicabilidade de objetos (ou eventos)-modelo e modelos teóricos a diferentes sistemas físicos.

Com base no que foi exposto acima, a proposição básica que sustenta esta investigação pode ser enunciada da seguinte forma: de modo a progredirem no campo conceitual da modelagem científica em Física, é fundamental que os professores dominem um conjunto de situações e problemas que requerem por sua vez o domínio de conceitos específicos e

de natureza distinta, porém inseparáveis da noção de modelo científico, tais como: idealização, aproximação, referente, variável, parâmetro, domínio de validade, grau de precisão, expansão e generalização.

Metodologia

Neste estudo buscou-se identificar concepções e dificuldades de professores no enfrentamento de situações apresentadas na forma de tarefas enfocando aspectos conceituais da modelagem científica em Física, com fins didáticos. As tarefas consistiram basicamente na resolução de problemas extraídos e adaptados de um livro didático de Física do ensino médio (Gaspar, 2000) e na exploração de simulações computacionais disponíveis na Internet. Porém, as tarefas foram problematizadas de modo a oportunizar aos professores a reflexão sobre os aspectos conceituais da ECR proposta e que costumam permanecer implícitos nas discussões em sala de aula. Reside aí a justificativa para a escolha do conjunto de situações apresentadas a seguir. Se por um lado, os professores já estão acostumados a buscar soluções para essas tarefas do ponto de vista matemático, por outro lado, não estão acostumados a refletir sobre os aspectos conceituais da modelagem em Física. É frente a esses aspectos que o presente estudo está interessado em investigar quais concepções e dificuldades os professores apresentam.

O enfoque metodológico de pesquisa adotado nesse estudo possui um caráter eminentemente qualitativo. Mais especificamente, optou-se pela estratégia de pesquisa de estudo de caso, na acepção de Yin (2005). Yin define a estratégia de estudo de caso por meio de dois enunciados técnicos:

1. Um estudo de caso é uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos (ibid, p. 32).

2. A investigação de estudo de caso enfrenta uma situação tecnicamente única em que haverá muito mais variáveis de interesse do que pontos de dados, e, como resultado, baseia-se em várias fontes de evidências, com os dados precisando convergir em um formato de triângulo, e, como outro resultado, beneficia-se do desenvolvimento prévio de proposições teóricas para conduzir a coleta e a análise de dados (ibid, p. 33).

Partindo da proposição básica desse estudo, cada professor foi pensado como uma unidade de análise independente, com base nos dados coletados a partir: (a) da aplicação de um questionário no início do curso; (b) das soluções apresentadas nas tarefas propostas; e (c) da realização de entrevista semi-estruturada no final do curso (Anexo). Após análise de cada caso, buscou-se evidências de possíveis regularidades sobre as concepções e dificuldades dos professores ao longo do curso a distância.

O questionário aplicado no início do curso serviu para sondar as concepções dos professores sobre a natureza da ciência em geral e dos modelos científicos em particular. Já nas tarefas propostas durante o curso buscou-se identificar as dificuldades associadas aos seguintes conceitos e aspectos da ECR: (a) a formulação de questões a serem respondidas com

os modelos propostos; (b) a importância do enfoque teórico, das idealizações e aproximações assumidas implicitamente nos enunciados de problemas e na construção de simulações computacionais; (c) os referentes, as variáveis, os parâmetros, o grau de precisão e o domínio de validade dos modelos científicos; e (d) a importância dos pressupostos teóricos na interpretação de dados empíricos. A tabela 1 apresenta, para cada tarefa proposta, as categorias de análise que, em última instância, se constituíram nos conceitos e aspectos envolvidos e analisados em cada uma delas.

Tarefa	Descrição geral da tarefa	Categorias de análise
T1	Responder a três questões, após leitura de texto sobre modelos científicos.	Concepção sobre a natureza dos modelos científicos. Concepção sobre o papel dos modelos científicos no Ensino de Física.
T2	Formular questões sobre cinco situações de interesse em Física e propor modelos científicos para respondê-las.	Concepção sobre a natureza dos modelos científicos. Clareza e a objetividade das questões formuladas. Adequação dos modelos científicos para solucionar as questões.
T3	Resolução de problema sobre Cinemática - I	Idealizações assumidas e suas implicações na resolução do problema. Grau de precisão e domínio de validade das soluções encontradas.
T4	Resolução de problema sobre Cinemática - II	Importância do enfoque teórico do enunciado e suas implicações na resolução do problema. Idealizações e aproximações assumidas, e suas implicações na resolução do problema.
T5	Explorar simulação computacional sobre colisões.	Clareza e objetividade das questões formuladas. Referentes envolvidos na simulação computacional. Variáveis e parâmetros envolvidos na simulação computacional.
T6	Explorar simulação computacional sobre lentes e espelhos esféricos.	Clareza e objetividade das questões formuladas. Referentes envolvidos na simulação computacional. Variáveis e parâmetros envolvidos na simulação computacional.
T7	Proposição de situação-problema e solução para a mesma.	Importância do enfoque teórico na formulação e na solução da situação-problema.
T8	Resolução de problema sobre ajuste de curva a dados empíricos.	Importância dos pressupostos teóricos na escolha da função matemática que melhor ajusta os dados empíricos. Atribuição de significado físico aos parâmetros de ajuste.
T9	Elaborar atividade de modelagem voltada para estudantes do ensino médio.	Aspectos conceituais da modelagem científica levados em consideração na preparação de atividade voltada para estudante do ensino médio.

Tabela 1.- Tarefas propostas aos professores e as correspondentes categorias de análise.

Por fim, com base na entrevista semi-estruturada realizada ao final do curso, procurou-se obter evidências de possíveis avanços na conceitualização do processo de modelagem científica em Física, a partir do questionamento de cada conceito da ECR.

Participantes

Participaram desse estudo quatro homens e quatro mulheres na faixa de 25 a 52 anos de idade. Quanto à formação inicial desses professores, cinco haviam concluído o curso de Licenciatura Plena em Física, um estava por concluir e dois haviam concluído o curso de Licenciatura Plena em Matemática.

Contexto da intervenção didática

A intervenção didática proposta foi implementada na forma de um curso a distância, intitulado Fenômenos Físicos e Modelos Científicos, com duração de 40 horas distribuídas ao longo de oito semanas (5 h/semana).

Para a infraestrutura virtual do curso a distância foram utilizados dois softwares: o Ambiente de Ensino a Distância TelEduc (TelEduc, 2010) e a ferramenta de informação e comunicação Macromedia Breeze Meeting Server (MBMS, 2010). Os objetivos com esses dois softwares foram: com o TelEduc, promover a comunicação de modo assíncrono entre o ministrante e os participantes, além de propiciar o acesso dos últimos aos recursos e materiais didáticos utilizados e às tarefas propostas; e com o Breeze, promover a comunicação de modo síncrono entre o ministrante e os participantes. Mais especificamente, o Breeze foi utilizado como suporte para as aulas virtuais em horários previamente agendados no TelEduc.

Durante o curso, os participantes foram incentivados a ler uma série de seis textos de apoio (Brandão, 2008) enfocando os diversos conceitos-chave da ECR, a participar de dois encontros presenciais e de seis aulas virtuais sobre modelagem científica em Física, com auxílio do Breeze, e a debater questões relacionadas à natureza da ciência, aos modelos científicos e à modelagem científica em seis fóruns de discussão no TelEduc. Ao final do curso, subsidiado pela realização individual das tarefas e pela interação nos fóruns de discussão e nas aulas virtuais, cada participante deveria elaborar um projeto final, que corresponde a Tarefa 9 da tabela 1. Esse projeto final foi proposto com o objetivo de que os professores experimentassem as dificuldades em planejar uma atividade de sala de aula para estudantes do ensino médio enfatizando os aspectos conceituais discutidos sobre modelos científicos.

Os textos de apoio e as aulas virtuais, ambas enfocando os conceitos-chave da modelagem científica, foram planejados de modo a se relacionarem com os conhecimentos prévios dos professores. Os conceitos foram introduzidos através de situações de interesse da mecânica, termodinâmica, fluidos, eletromagnetismo, ótica e física atômica, em nível de ensino médio.

Resultados e discussão

Para responder à questão de pesquisa foram analisados os dados relativos aos oito professores. Tendo em vista a limitação de espaço nesse

artigo, serão apresentados somente os resultados obtidos para os três professores que se julgou serem os mais representativos de todo o grupo, com relação às concepções e dificuldades apresentadas. Foram adotados nomes fictícios para preservar a identidade dos participantes.

Professor Paulo

Aos 32 anos de idade, Paulo está por concluir o curso de Licenciatura em Física, não possui experiência didática, exceto a realização de estágio supervisionado, e trabalha em turno integral como técnico em manutenção mecânica de aeronaves, área em que possui dez anos de experiência profissional.

Analisando o questionário respondido por Paulo, sua concepção de modelo científico parece estar associada à ideia de um padrão utilizado pela ciência, que serve de exemplo ou norma, para avaliar a coerência das teorias, leis e princípios na descrição da realidade. Para ele, modelo científico pode ser entendido como um padrão para descrever uma certa realidade científica. Através de um modelo científico podemos traduzir de forma coerente as teorias, as leis e os princípios.

Na tarefa 1 (T1), a opinião de Paulo foi ao encontro da ideia do autor, ou seja, de que os modelos servem de instrumentos para que os físicos se aproximem da realidade, simulando-a nas situações em que se mostra inacessível. Por isso, no contexto educacional, Paulo entende que um modelo é uma ferramenta que fará uma mediação entre o indivíduo e a realidade, sendo que através de um modelo coerente o aprendiz se aproxima da realidade.

Na T2, os professores foram apresentados a cinco situações físicas sobre as quais deveriam formular uma ou mais questões a serem respondidas por um modelo científico proposto por eles.

Situação física	Questão-foco	Modelo científico
Um automóvel fazendo uma curva	Em qual parte da curva a aceleração centrípeta é maior?	Uma pedrinha presa a um barbante.
Circuito elétrico constituído de bateria e lâmpadas associadas em paralelo	Qual a corrente que passa nas lâmpadas e sua potência dissipada?	O fluido em movimento corresponde à corrente elétrica, os canos aos fios, os estreitamentos dos canos aos resistores, os reservatórios às baterias e a diferença de pressão (função da altura da água no reservatório) à diferença de potencial.

Tabela 2.- Modelos científicos propostos por Paulo para responder as questões por ele formuladas sobre duas situações físicas propostas.

Na terceira linha da tabela 2, Paulo associa a ideia de analogia à noção de modelo científico. Nas demais situações, a exemplo do que é mostrado na segunda linha, modelo científico é entendido como uma situação exemplar, isto é, uma situação que pode ser analisada de modo semelhante à situação proposta. No que se refere aos conceitos-chave da modelagem

científica, Paulo demonstrou estar compreendendo aspectos relevantes do conceito de idealização, especialmente no fim do curso, como evidencia o trecho de sua entrevista em que ele associa a esse conceito a ideia de simplificação da realidade, por meio de recortes e aspectos a serem desprezados.

Quando se vai trabalhar, por exemplo, com o sistema Sol, Terra, Lua a gente recorta uma parte do Universo e trabalha com uma situação idealizada para ter condições de fazer algum estudo, porque é difícil tratar todas as interações. Eu entendo dessa forma: são alguns aspectos que nós desprezamos para poder dar um tratamento simplificado sobre determinado assunto.

No entanto Paulo demonstra dificuldade em diferenciar o conceito de idealização do conceito de aproximação. Na T6, quando questionado a respeito das idealizações subjacentes a uma simulação computacional envolvendo a formação de imagens em espelhos esféricos e lentes delgadas, Paulo não se pronuncia sobre o fato de que a luz está sendo representada por um conjunto de raios luminosos contidos num plano. Ao invés disso, de modo confuso, Paulo parece entender que a simulação trata apenas de sistemas óticos estigmáticos para os quais são válidas, aproximadamente, as condições de Gauss e as relações matemáticas que descrevem o fenômeno. Em suas palavras:

Desprezar as imperfeições da lente (curvatura do raio). Superfície do espelho deve ser perfeitamente lisa. As imagens geradas por lentes esféricas não são nítidas, porém não são percebidas pelo observador. Essa falta de nitidez pode ser desprezada.

Outra dificuldade relacionada ao conceito de idealização evidenciou-se nas T3 e T4. Em nenhuma delas Paulo foi capaz de compreender a dependência das idealizações com as questões de interesse nos enunciados, e dessas com o enfoque teórico proposto para análise das situações. Na T4, em que se discute o movimento de uma bola de vôleibol à luz da Cinemática, Paulo considera como idealizações a trajetória retilínea, o movimento uniforme e despreza-se o peso e o diâmetro da bola (arraste ou atrito).

O próprio Paulo também reconhece outra dificuldade: a de identificar e diferenciar as variáveis, os parâmetros e os referentes de um modelo científico. Em outro trecho da entrevista fica evidente a confusão entre os dois últimos conceitos.

Referentes é tudo aquilo que eu uso como se fosse um parâmetro para a minha experiência. Uma criança descendo um escorregador, por exemplo. Meus referentes seriam a Terra e o ponto de onde está descendo. A gravidade, que neste caso sofreria uma variação mínima de um ponto até o outro, eu também posso considerar como um referente.

Quanto aos aspectos conceituais relacionados à análise da razoabilidade dos resultados teóricos obtidos com os modelos, Paulo não demonstra clareza na distinção entre domínio de validade e grau de precisão. Mas reconhece um aspecto importante relacionado a esses dois conceitos: a dependência de ambos com as idealizações assumidas.

Domínio de validade de um modelo seria a confiabilidade que eu tenho no modelo para uma determinada circunstância. Se eu faço muitas idealizações, o domínio de validade torna-se restrito. Se eu idealizo menos, eu tenho uma abrangência maior. Seria possível compreender, vamos dizer assim, situações mais complexas.

Na T9, Paulo discute o princípio da conservação de energia mecânica a partir de uma situação completamente idealizada, típica dos livros-texto de Física em nível médio. A situação diz respeito a um bloco que, inicialmente em contato com uma mola comprimida contra uma parede fixa, é projetado sobre uma superfície lisa e horizontal que termina numa rampa inclinada para cima, quando a mola é liberada. A questão-foco formulada por Paulo foi: qual a altura máxima atingida pelo corpo na rampa? Embora tenha explicitado corretamente as idealizações, os referentes, as relações, as variáveis e os parâmetros envolvidos na situação, em momento algum Paulo discutiu a razoabilidade dos resultados obtidos, nem tampouco o domínio de validade do modelo que utilizou para solucionar o problema.

Por fim, questionado ao final do curso sobre o que estava entendendo por modelo científico, Paulo respondeu que os modelos científicos:

são ferramentas que nós usamos para traduzir, ou fazer uma cópia da realidade. Uma cópia, digamos, aproximada da realidade. Isso seria um modelo científico. Que tem todo um formalismo, todo um estudo substancial por trás disso aí.

Nesse sentido, Paulo pareceu estar compreendendo que os modelos devem ser entendidos como instrumentos que permitem representar a realidade de forma aproximada.

Professora Marta

Aos 30 anos de idade, Marta é licenciada em Matemática, possui pós-graduação em nível de especialização em Física, experiência didática de seis anos no ensino médio e leciona em três escolas, totalizando uma carga horária semanal de 42 horas-aula.

Analisando o questionário respondido por Marta, sua concepção de modelo científico parece estar associada a um percurso metodológico pelo qual as teorias científicas devem passar antes de serem criadas ou verificadas.

Entende-se por modelo científico, a construção do conhecimento através de situações variadas, com o objetivo de sustentar uma teoria, ou ainda criar.

Na T1, Marta concordou com as ideias do autor e associou à noção de modelo científico a ideia de representação de um fenômeno físico. No Ensino de Física, Marta entende que os modelos cumprem o papel de descrever situações e aproximá-las da realidade de acordo com a teoria.

Na T2, Marta demonstra que sua concepção de modelo científico parece estar associada a uma equação que descreve matematicamente o sistema a ser estudado ou a uma teoria geral capaz de abordar diretamente a situação proposta. A tabela 3 exemplifica as questões e concepções de modelo científico apresentadas por Marta para duas situações físicas.

Situação física	Questão-foco	Modelo científico
Escoamento de água no interior de uma tubulação residencial	Qual a vazão máxima de saída da água?	Equação da Continuidade. Equação de Bernoulli
Um automóvel fazendo uma curva	Quais as forças que influenciam nesse movimento?	Dinâmica

Tabela 3.- Modelos científicos propostos por Marta para responder as questões por ela formuladas sobre duas situações físicas propostas.

Quanto aos aspectos conceituais envolvidos no processo de modelagem científica, Marta demonstrou dificuldades em relação à maioria dos conceitos. No que se refere às idealizações, Marta entende que as mesmas determinam o tipo de questão a ser formulada sobre o sistema estudado. Essa ideia apareceu explicitamente na sua entrevista final: partindo das idealizações eu retiro as questões-foco. Entretanto as idealizações dependem fortemente do tipo de abordagem que se faz ao problema e das questões que são formuladas sobre o sistema a ser investigado. Essa parece ter sido justamente a dificuldade apresentada por Marta, quando se analisam suas respostas às T3 e T4. Na T4, quando questionada sobre as idealizações que estavam sendo consideradas pelo enunciado do problema, Marta respondeu: as idealizações feitas são de que a bola está sendo considerada como um ponto material, cujas dimensões não interferem no estudo do fenômeno. Também estamos desprezando a resistência do ar. Sua resposta evidencia a falta de clareza quanto ao enfoque teórico (Cinemática) proposto e à simplificação assumida para analisar a situação.

Quanto às aproximações, em momento algum Marta foi capaz de relacioná-las às simplificações de natureza matemática que auxiliam na descrição de aspectos da realidade. A ideia que parece ter permanecido está associada ao fato de que os modelos são construções que se aproximam dos fenômenos físicos.

Às vezes ele [o modelo] pode aproximar da realidade ou do fenômeno. Mas nem sempre. Quase sempre ele não aproxima. Algumas coisas aproximam do fenômeno. O modelo que a gente faz aproxima, ou seja, ele fica parecido com o fenômeno de estudo, mas às vezes, quando tu vai procurar nos livros têm coisas que saem totalmente fora daquilo que é a realidade.

Quanto aos aspectos conceituais envolvidos na análise da razoabilidade de modelos científicos, Marta não demonstra avanços em relação aos conceitos de domínio de validade, grau de precisão, expansão e generalização. Sua resposta à T8 evidencia outra dificuldade que pode estar atuando como obstáculo epistemológico à compreensão desses conceitos: a possibilidade de avaliar o domínio de validade de um modelo apenas com base na qualidade dos dados empíricos, sem levar em conta as considerações teóricas sobre o sistema físico em questão. Questionada sobre qual ajuste matemático um físico escolheria para fitar os dados obtidos para altura a em função do tempo de queda t de uma esfera de aço abandonada próximo à superfície terrestre, Marta optou pelo polinômio de maior grau (e menor somatório dos quadrados dos resíduos) dentre as

opções propostas. Segundo ela, um físico escolheria a função $H = 12327t^4 - 17051t^3 + 8170t^2 - 1126t$, pois o somatório dos quadrados dos resíduos é bem menor, ou seja, a diferença entre o valor obtido experimentalmente e o valor estimado pela função é o mais aproximado. Sem refletir sobre o significado físico dos coeficientes que multiplicam as potências de t , Marta parece possuir uma concepção empirista-indutivista, acreditando que o modelo mais adequado é aquele que melhor descreve os resultados experimentais, independentemente dos pressupostos teóricos.

Por último, na ocasião da entrevista final, Marta demonstrou outra dificuldade, a exemplo da maioria dos professores, a saber: a de determinar o que venha a ser o sistema físico de interesse na situação a ser modelada, incluindo não só os objetos que o constituem como também os agentes externos que com ele interagem. Essa dificuldade se refletiu na falta de clareza ao identificar os referentes, mais especificamente, o agente externo (Terra) que atua sobre o sistema físico em duas situações propostas pelo entrevistador: (a) a de uma criança descendo por um escorregador e; (b) a de um mouse de computador posto a oscilar num plano vertical, suspenso pelo cabo. Segundo Marta:

Os referentes são aquilo que eu vou tomar de referência para fazer o estudo. É o ponto de referência de onde eu estou partindo para poder fazer o estudo. Então, por exemplo: se eu trato da criança escorregando, o que eu tenho que levar em consideração? A criança e o escorregador. São os objetos, digamos assim, que eu vou levar em consideração para poder fazer o estudo do fenômeno. No caso do mouse, seria só o mouse mesmo.

Embora não se tenha indícios de avanços no domínio do campo conceitual associado à modelagem científica por parte dessa professora, pode-se afirmar que o curso chamou sua atenção para a importância de compreender os diversos conceitos trabalhados e que, segundo ela, jamais haviam sido enfocados. Em suas palavras:

Para mim esse curso foi algo bem diferente. Inclusive os conceitos que foram trabalhados. Para mim foi tudo muito novo. Totalmente diferente daquilo que eu tinha visto na minha pós-graduação, por exemplo.

Professor Pedro

Aos 35 anos de idade, Pedro é licenciado em Física, possui experiência didática de dez anos e leciona em uma escola particular e três cursos pré-vestibulares, totalizando uma carga horária semanal de 30 horas-aula. Adicionalmente, Pedro trabalha em um laboratório de divulgação científica ligado a uma instituição de ensino superior.

Analisando o questionário respondido por Pedro, sua concepção de modelo científico parece estar associada à ideia de descrição aproximada de um fenômeno físico. Em suas palavras:

Um modelo é uma ferramenta que utilizamos para descrever um fenômeno físico, porém um modelo pode não descrever perfeitamente o fenômeno. Ex.: com um software podemos construir uma simulação para descrever a queda de dois corpos com massas diferentes sem a

ação do ar, porém sabemos que no ar as quedas dos corpos podem ter resultados diferentes p/ algumas situações. Mas o modelo pode se aproximar de algumas condições.

Na T1, Pedro salientou o papel mediador dos modelos entre teoria e realidade. Em suas palavras:

Um modelo é uma representação de determinados fenômenos, tentando estar o mais próximo da realidade. Um modelo é a melhor descrição dos fenômenos naturais buscando aproximar a teoria do evento.

Dessa tarefa também se inferiu que a noção de modelo enquanto imagem especular da realidade aparece de forma implícita na concepção de Pedro, visto que ele concebe os modelos como um construto que deve apreender da melhor forma possível toda a complexidade do sistema ou fenômeno físico a que se refere.

Já na T2, Pedro parece confundir modelos científicos com enunciados de leis. A tabela 4 exemplifica as questões e os respectivos modelos científicos propostos por Pedro para duas situações físicas.

Situação física	Questão-foco	Modelo científico
Condução de calor através de uma barra metálica	Qual barra metálica de diversos materiais conduz melhor o calor?	Lei de Fourier
Uma xícara de chá quente em temperatura ambiente	Quanto tempo o chá leva para atingir a temperatura ambiente?	Lei de resfriamento de Newton

Tabela 4.- Modelos científicos propostos por Pedro para responder as questões por ele formuladas para duas situações físicas propostas.

Em relação aos aspectos conceituais do processo de modelagem científica, Pedro demonstrou avanços na maioria dos conceitos associados à noção de modelo científico. Contudo, a exemplo de outros professores, Pedro parece não ter compreendido a relação entre as idealizações e as diversas molduras teóricas em que as situações podem ser analisadas. Essa confusão evidencia-se ao final do comentário em que Pedro esclarece quais idealizações faria para tratar da situação em que uma criança desce por um escorregador.

Eu desprezaria os efeitos de atrito com a rampa e de resistência com o ar. Essas são idealizações que eu faria para calcular que velocidade a criança teria na base desse escorregador. [...] Em boa parte dos conteúdos que a gente trabalha no ensino médio, nós desprezamos realmente os efeitos do ar. E isso são idealizações. A gente também despreza o tamanho dos corpos. Isso são idealizações. É como a criança que passa a ser um objeto pontual, mas não é pontual. [...] Porque na Cinemática a gente passa fazendo idealizações a respeito do atrito e na Dinâmica a gente passa a inserir o atrito, ou seja, a gente vem trabalhando com modelos que vão se aperfeiçoando. As idealizações vão se reduzindo. Acho que isso não é comentado com os alunos. Acho que isso é um ponto importante.

Quanto aos referentes, às variáveis e aos parâmetros envolvidos na construção de modelos, Pedro progrediu rapidamente em seu domínio conceitual. Na continuação da entrevista, ele identifica e comenta sobre os referentes envolvidos na situação da criança que desce pelo escorregador.

Sim, os referentes: a criança, a Terra e o escorregador. São os objetos que eu tenho internamente e que influenciam no meu sistema. Bem, eu acho que isso aí me acrescentou um pouco. [...] Eu acho que em relação aos referentes, determinar quem são os referentes em alguma situação ou outra, talvez eu tenha que pensar um pouco mais. Isso muitas vezes é como eu te falei: faz a gente parar para pensar quem são os meus objetos de interesse dentro do problema, resumidamente, os referentes. [...] Quando tu tens um sistema, onde tu tens dois corpos que vão colidir, será que um objeto que está ao lado deles faz parte do sistema? [...] Ou quando a gente trabalha com um sistema que contém um gás de moléculas: quais são os referentes? Quem são os objetos que na realidade vão alterar, ou trocar entre si, suas grandezas como, por exemplo, quantidade de movimento e velocidade que, como bem sabemos, estarão se alternando. Então, eu acho que nisso aí houve um acréscimo. [...] Eu nunca tinha parado para pensar na questão das idealizações e dos referentes.

Porém os maiores avanços de Pedro parecem ter sido na compreensão dos aspectos conceituais envolvidos na confrontação dos resultados teóricos com os dados empíricos. A discussão que Pedro estabeleceu com os seus estudantes, durante a implementação do seu projeto final em sala de aula, evidencia avanços, principalmente, em relação aos conceitos de domínio de validade, grau de precisão e expansão de modelos. Ao propor a realização de uma atividade experimental, envolvendo o princípio da conservação de energia mecânica, Pedro incentivou seus estudantes a comparar os resultados previstos por um modelo construído por eles com os dados empíricos obtidos para o alcance de uma pequena bola de vidro abandonada do alto de uma rampa. Na parte mais baixa da rampa a bola colide com uma segunda bola idêntica, inicialmente em repouso, fazendo com que a última seja lançada horizontal e obliquamente até tocar o chão. Na entrevista, Pedro comenta a discussão que se estabeleceu em sala de aula, ao ser questionado sobre o que ele entendia por domínio de validade de um modelo.

Bem, até isso deu para comentar na atividade experimental. Até que ponto vale o modelo que a gente está utilizando? Eu disse a eles: vou fazer uma proposta para vocês. A gente vai utilizar um sistema conservativo. Agora a pergunta: esse modelo é válido? Ele tem validade para qualquer situação. Aí eles começaram a pensar também a respeito disso. Até que ponto esse modelo de conservação, onde tu desprezas a ação do ar, é válido? Talvez para pequenas alturas da rampa o efeito do ar seja praticamente desprezível. Então, aquele modelo tem um domínio de validade, vamos dizer assim. A precisão vai ficar muito próxima do resultado que a gente estava querendo atingir. Agora se tu pensares em botar aquela bolinha aqui em cima do prédio e o papel lá embaixo, provavelmente esse modelo já começará a ter problemas. Então, o domínio dele já começará a perder sua

validade. Por quê? Porque as idealizações que eu fiz já não vão ser mais tão irrelevantes.

Questionado ao final da entrevista sobre o que estava entendendo por modelo científico, após as discussões e atividades do curso, Pedro respondeu:

Um modelo, vamos dizer assim, obedece a um conhecimento que a pessoa vai formular a partir do que ela imagina a respeito de um fenômeno. Esse modelo científico que ela escreve tenta se aproximar, o melhor possível, da realidade. A busca basicamente é essa. Então, um modelo científico é tentar buscar uma modelagem, a própria palavra diz isso, uma modelagem do que nós temos na realidade. E, esse modelo científico possui idealizações, que nós já comentamos aqui. Esses modelos científicos podem passar por expansões, pode ser melhorado ou, até mesmo, cair fora. Um modelo científico não é também a palavra final. Eu acho que isso é uma coisa que eu aprendi, a gente obedece um modelo, por que hoje nós temos algumas leis que na realidade predizem que aquele modelo é o melhor, embora no próprio artigo que a gente leu, tu podes conseguir obter equações a partir dos dados que se ajustam melhor a eles. Então, porque não abandonar o modelo quando tu tens resultados melhores com outros "modelos" [ajustes matemáticos]. A gente só não abandona, porque existe, vamos dizer, esse modelo científico, esse modelo conceitual, que prediz algo sobre aquela situação.

Na próxima subseção, a título de reflexão, será apresentada uma síntese interpretativa dos resultados obtidos com os oito professores analisados.

Síntese interpretativa dos resultados

Analisando o questionário respondido pelos participantes no início do curso, foram obtidas as primeiras evidências das concepções dos professores de Física sobre modelos científicos (Anexo). A exemplo do estudo realizado por Islas e Pesa (2002), em nenhuma das respostas foi possível identificar explicitamente a noção de modelo enquanto representação simplificada de um sistema ou fenômeno real. Já a concepção de modelo como cópia da realidade pode estar atuando como obstáculo à compreensão de uma ideia fundamental quando se pensa em modelagem científica: a de que não existem modelos corretos, mas sim mais adequados do que outros por enfatizarem determinados aspectos negligenciados pelos demais. Reside aí a importância de oportunizar aos professores o enfrentamento de situações que favoreçam o uso das diversas representações possíveis para um único sistema (ou classe de sistemas).

No questionário, Paulo, Roberta e Marta associaram a noção de modelo científico a um delineamento metodológico característico da ciência, que serve de exemplo ou norma, para avaliar a coerência, a maturidade e a necessidade das teorias científicas. Já Pedro e Helena enfatizaram o caráter limitado e provisório dos modelos científicos por descreverem os fenômenos físicos de forma aproximada e sob constante reformulação. Desse instrumento de pesquisa também se inferiu que Carlos apresentava notável dificuldade em conceitualizar modelo científico. Sua concepção parecia estar

associada a um artefato que pode ser reproduzido tantas vezes quantas forem necessárias para um fim específico. Por sua vez, Rosane associou a noção de modelo científico a um conjunto de variáveis articuladas por meio de hipóteses que precisam ter consistência teórica e ser corroboradas empiricamente.

Na T1, Roberta, Marta e Pedro salientaram o papel mediador dos modelos entre teoria e realidade. Nessa tarefa se inferiu que a ideia de modelo como imagem especular da realidade aparecia de forma implícita nas concepções de Roberta e Pedro, visto que eles pareciam conceber os modelos como um construto que deve apreender da melhor forma possível toda a complexidade do sistema ou fenômeno físico a que se refere. Já Rosane entendia justamente o contrário, ou seja, que apesar de essenciais para a compreensão da realidade, deve-se enfatizar para os estudantes que os modelos possuem simplificações. Para Vicente, os modelos podem servir como uma ferramenta de ajuda para o entendimento da teoria geral, o qual deve ser o objetivo principal do professor ao ensinar.

Na T2, a noção de modelo como um enunciado de lei ou teoria científica obteve a maior representatividade entre o total das respostas dadas pelos oito professores de Física (18 de 34 respostas). Foi possível identificar, ainda, quatro outras ideias associadas à noção de modelo científico com a mesma representatividade (4 de 34 respostas): modelo como sinônimo de equação matemática; modelo enquanto analogia; modelo enquanto situação exemplar que pode exibir o comportamento a ser estudado; e o fato de que em algumas situações não é preciso construir modelos, pois o que se pretende investigar é diretamente acessível aos sentidos. Nesta tarefa, novamente, evidenciou-se a dificuldade de Carlos em propor modelos científicos capazes de responder as questões-foco por ele formuladas.

Em relação aos aspectos da estrutura conceitual de referência envolvidos nas demais tarefas, a primeira dificuldade enfrentada pelos professores de Física foi a de propor questões que pudessem ser respondidas com o uso ou a construção de modelos científicos. Segundo Vergnaud (1983, p. 401), de nada adianta contornar as dificuldades em um campo conceitual. Elas precisam ser superadas e enfrentadas pelo sujeito que as possui. Nesse sentido, não existem receitas que ensinem o sujeito a propor questões que o levem a construir ou selecionar modelos apropriados para respondê-las. Mas existem estratégias e recursos didáticos que podem estimular suas formulações. A T2 é apenas um exemplo de que se pode fazer uso.

Outra dificuldade associada ao que foi exposto acima, diz respeito ao fato de que os professores não percebem a dependência das idealizações com as diferentes molduras teóricas, a partir das quais as situações podem ser problematizadas. Atividades em que o sujeito tenha a oportunidade de problematizar situações particulares munidos de diferentes teorias científicas podem contribuir para estreitar as relações entre as questões a serem formuladas, as idealizações a serem assumidas e os modelos (representações) a serem construídos.

No que diz respeito às idealizações e aproximações, Portides (2007) afirma que embora não haja consenso nem mesmo entre os filósofos e cientistas de como elas influenciam as representações teóricas, do ponto de vista do Ensino de Ciências, a compreensão de suas relações e diferenças

pode contribuir para a compreensão do processo da modelagem científica. Como exemplo de situação a ser explorada, o autor discute a modelagem do pêndulo simples para dar sentido às propriedades lógicas e relações que caracterizam esses conceitos.

Outra dificuldade apresentada pelos professores foi a de identificar, diferenciar e selecionar os referentes, as variáveis e os parâmetros relevantes nas situações a serem modeladas. Acredita-se que parte desta dificuldade se deve às deficiências de conteúdo do conhecimento, mais especificamente, à dificuldade em se determinar qual é o sistema físico de interesse, incluindo não só os objetos que o constituem como também os agentes externos que com ele interagem. Além disso, outro aspecto que parece estar servindo de obstáculo ao domínio conceitual destes conceitos é o que poderíamos resumir pela expressão: perda da realidade objetiva. Em outros termos isso quer dizer que não há uma clara diferenciação entre os objetos reais, ou supostos como tais, que compõem o sistema a ser estudado e as grandezas físicas que passam a descrever suas propriedades e/ou caracterizam seus estados. Esta dificuldade tende a se acentuar na medida em que a porção de realidade a ser representada se constitui por entidades cada vez menos acessíveis à percepção.

No que diz respeito à relação entre os aspectos conceituais que fazem parte da construção de modelos e aqueles envolvidos na análise da razoabilidade de seus resultados, a combinação de atividades experimentais com o uso de simulações computacionais permite a confrontação das previsões de modelos teóricos com os dados empíricos. Atividades que integrem experimentação e modelagem parecem se constituir em ferramentas potencialmente facilitadoras à compreensão de conceitos como domínio de validade, grau de precisão, expansão e generalização de modelos científicos.

As concepções de modelo científico e as dificuldades apresentadas pelos professores estão sintetizadas nas tabelas 5 e 6, respectivamente.

Considerações finais

Esse trabalho teve como objetivo: (a) propor uma estrutura conceitual de referência (ECR) para o processo de modelagem científica em Física, com fins didáticos; e (b) identificar concepções e dificuldades dos professores de Física do ensino médio no enfrentamento de tarefas enfocando aspectos conceituais da ECR proposta.

Os principais resultados alcançados estão relacionados ao enriquecimento das concepções dos professores sobre os modelos e a modelagem científica em Física. Destacam-se dificuldades de conceitualização da noção de modelo científico, em particular, daquelas associadas às diferenças e relações que precisam ser estabelecidas entre os seus atributos, tais como: (a) referentes, variáveis, parâmetros, idealizações e aproximações envolvidas na construção de modelos; e (b) o domínio de validade e o grau de precisão dos resultados com eles obtidos, na sua validação.

Concepção de modelo científico como:
...delineamento metodológico prototípico da ciência, que serve de exemplo ou norma, para avaliar a coerência, a maturidade e a necessidade das teorias científicas.
...instrumento para aproximar os cientistas da realidade, simulando-a nas situações em que se mostra inacessível. Nas situações em que a realidade se mostra acessível aos sentidos não é preciso construir ou fazer uso de modelos científicos.
...imagem especular da realidade, visto que deve apreender da melhor forma possível toda a complexidade do sistema ou fenômeno físico a que se refere.
...artefato que pode ser reproduzido tantas vezes quantas forem necessárias para um fim específico.
...conjunto de variáveis articuladas por meio de hipóteses que precisam ter consistência teórica e ser corroboradas empiricamente.
...enunciado de lei, teoria científica ou equação matemática.
...analogia ou situação que pode exibir o comportamento a ser estudado.

Tabela 5.- Síntese das concepções de modelo científico apresentadas pelos professores de Física do ensino médio.

Dificuldade no campo conceitual da modelagem científica para:
...propor questões que possam ser respondidas com o uso ou a construção de modelos científicos.
...compreender que as idealizações dependem das diferentes molduras teóricas, a partir das quais as situações podem ser problematizadas.
...diferenciar entre idealizações e aproximações assumidas pelos modelos científicos.
...identificar, diferenciar e selecionar os referentes, as variáveis e os parâmetros relevantes nas situações a serem modeladas.
...determinar o que venha a ser o sistema físico de interesse na situação a ser modelada, incluindo não só os objetos que o constituem como também os agentes externos que interagem com o sistema.
...diferenciar entre domínio de validade e grau de precisão de modelos científicos.
...avaliar a razoabilidade dos resultados obtidos pelos modelos científicos, sem deixar de levar em conta as considerações teóricas sobre o sistema físico em questão.

Tabela 6.- Síntese das dificuldades apresentadas pelos professores de Física do ensino médio no campo conceitual da modelagem científica.

Do ponto de vista da teoria dos campos conceituais, esses resultados são importantes, haja vista que as concepções e dificuldades dos professores na conceitualização da modelagem científica em Física devem ser entendidas: por um lado, como precursoras para a aquisição de conhecimentos (conceitos e competências) para lidar com distintas situações de modelagem em Física; por outro lado, algumas delas podem estar funcionando como obstáculos epistemológicos à construção de significados e conceitos cientificamente aceitos. Elas precisam ser identificadas, explicitadas e abordadas em diferentes situações de ensino.

Finalmente, em virtude do caráter exploratório e da abordagem canônica ao estudo de um campo conceitual proposta por Vergnaud (1988), um novo ciclo de investigação deve ter início com o delineamento de situações que, levando em conta os resultados aqui apresentados, permitam coletar e interpretar dados sobre outros procedimentos e modos de raciocínio dos

professores quando estão envolvidos em atividades de modelagem em Física, com fins didáticos.

Referências bibliográficas

Brandão, R.V. (2008). *A aprendizagem do campo conceitual associado à modelagem científica por parte dos professores de Física do ensino médio*. 2008. 204 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

Bunge, M. (1974). *Teoria e realidade*. São Paulo: Perspectiva.

Escudero, C.; Moreira, M.A. e C.M. Caballero (2003). Teoremas-en-acción y conceptos-en-acción en clases de física introductoria en secundaria. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2, 3, 201-226. Em: <http://www.saum.uvigo.es/reec/>

Fanaro, M.A.; Otero, M.R. e M. Arlego (2009). Teaching the foundations of quantum mechanics in secondary school: a proposed conceptual structure. *Investigações em Ensino de Ciências*, 14, 1, 37-64.

Gaspar, A. (2000). *Física*. São Paulo: Editora Ática.

Giere, R.N.; Bickle, J. e R.F. Mauldin (2006). *Understanding scientific reasoning*. Toronto: Thomson Wadsworth.

Greca, I.M. e F.M.T. Santos (2005). Dificuldades da generalização das estratégias de modelação em ciências: o caso da física e da química, *Investigações em Ensino de Ciências*, 10, 1, 31-46.

Halloun, I.A. (2004). *Modeling theory in science education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Islas, S.M. e M.A. Pesa (2002). Qué ideas tienen los profesores de Física de nivel medio respecto al modelado? *Ciência & Educação*, 8, 1, 13-26.

Justi, R. e J. Gilbert (2000). History and philosophy of science through models: some challenges in the case of "the atom". *International Journal of Science Education*, 22, 9, 993-1009.

Krapas, S.; Queiroz, G.; Conlivaux, D. e C. Franco (1997). Modelos: uma análise de sentidos na literatura de pesquisa em ensino de ciências. *Investigações em Ensino de Ciências*, 2, 3, 185-205.

MBMS (2010). Em: <http://www.adobe.com/br/products/breeze/>.

Meyling, H. (1997). How to change students' conceptions of the epistemology of science. *Science & Education*, 6, 4, 323-329.

Otero, M.R. (2006). Emociones, sentimientos y razonamientos en Didáctica de las Ciencias, *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 1, 1, 24-53. Em: <http://reiec.sites.exa.unicen.edu.ar/>

Portides, D.P. (2007). The relation between idealisation and approximation in scientific model construction. *Science & Education*, 16, 7-8, 699-724.

Ryder, J.; Leach, J. e R. Driver (1999). Undergraduate science students' imagines of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 36, 2, 201-219.

TelEduc (2010).Em: <http://teleduc.nied.unicamp.br>.

Vergnaud, G. (1982). A classification of cognitive tasks and operations of thought involved in addition and subtraction problems. In T.P. Carpenter, J.M. Moser, T.A. Romberg (Eds.), *Addition and Subtraction: a cognitive perspective* (pp. 39-59). Hillsdale: Lawrence Erlbaum.

Vergnaud, G. (1983). Quelques problèmes théoriques de la didactique a propos d'un exemple: les structures additives. *Atelier International d'été: Recherche en Didactique de la Physique*. La Londe les Maures, França, 26 de junho a 13 de julho.

Vergnaud, G. (1988). Multiplicative structures. In H. Hiebert e M. Behr (Eds.), *Research Agenda in Mathematics Education. Number Concepts and Operations in the Middle Grades* (pp. 141-161). Hillsdale: Lawrence Erlbaum.

Vergnaud, G. (1990). La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 10, 2, 133-170.

Yin, R.K. (2005). *Estudo de caso: planejamento e métodos*. Porto Alegre: Bookman.

Anexo

Questionário

1) O que você entende por modelo científico? Justifique sua resposta dando um exemplo.

2) O que você entende por teoria científica? Justifique sua resposta dando um exemplo.

3) No contexto da Ciência, o que você entende por verdade? Em outros termos, existem teorias científicas verdadeiras?

4) Do seu ponto de vista, qual o objetivo maior da Ciência?

5) Do seu ponto de vista, o que distingue o conhecimento científico de outras formas de conhecimento?

Tarefas

Tarefa 1

Os três parágrafos e a figura abaixo foram extraídos do capítulo introdutório do livro Física: Mecânica de Alberto Gaspar, publicado pela Editora Ática no ano de 2000. Este livro corresponde ao primeiro volume da coleção de três livros de texto didáticos destinados ao ensino de Física em nível médio. O texto aborda os modelos na ciência em geral e na Física em particular.

“Para entender o que é um modelo, vamos descrever como alguns povos antigos imaginavam a Terra. Os maias acreditavam que a Terra fosse, na verdade, as costas de um gigantesco lagarto ou crocodilo estendido num enorme lago; para os babilônios a Terra era plana, circundada de oceanos e no centro localizava-se a Babilônia. Os filósofos gregos formulavam outras hipóteses: Anaxíandro supunha que a Terra fosse um cilindro e que todos os seres habitassem a sua face circular superior; Anaxímenes acreditava que ela fosse apenas um disco; enquanto Eratóstenes já admitia que ela tivesse a forma esférica. Todas essas idéias são diferentes modelos da forma da Terra.

Em geral, os físicos recorrem a modelos para poder desenvolver o seu trabalho. A forma como entendemos a estrutura da matéria, composta de moléculas, átomos, elétrons, prótons, nêutrons e outras partículas distribuídas em núcleos ou orbitais, é um modelo elaborado pelos físicos e químicos. Como nossos antepassados, que propunham diferentes formas para a Terra porque não podiam vê-la à distância, os cientistas propõem formas para a estrutura da matéria porque ainda não há como observá-la diretamente.

É claro que os modelos, como leis e os princípios, também são provisórios e sujeitos a reformulações. No caso da Terra, por exemplo, não há mais sentido em fazer modelos da sua forma – ela já é conhecida, foi vista e fotografada à distância por satélites e naves espaciais. No entanto, é possível considerá-la como um ponto em determinadas situações, como, por exemplo, ao medir a sua distância ao Sol. Essa é uma outra idéia de modelo muito utilizada em Física – a simplificação de determinada situação ou problema, desconsiderando os aspectos não relevantes ou desprezíveis” (GasparR, 2000, p. 15).

Agora, responda as questões que seguem: (a) Com base na leitura do texto e na figura, o que o autor entende por modelos em ciência? (b) Qual é a sua concepção sobre modelos em ciência? Ela está de acordo com a concepção do autor? Em caso negativo, explicita os pontos em que você diverge? (c) Com base nos itens (a) e (b), que papel você atribuiria aos modelos no ensino da Física

Tarefa 2

Na primeira coluna da tabela abaixo, constam cinco situações em Física. Formule uma ou mais questões interessantes, para cada situação-problema apresentada, e indique que modelo científico você usaria para tentar respondê-las. Para dar uma idéia do tipo de resposta que se espera, é apresentado um exemplo na primeira linha da tabela.

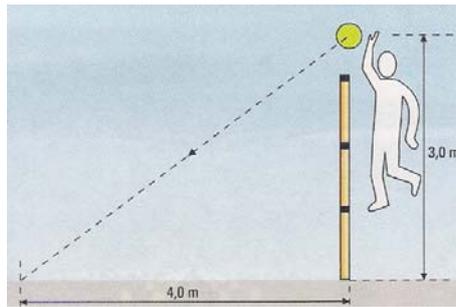
Situação	Questões-foco	Modelo científico
Emissão de radiação eletromagnética por um corpo a uma temperatura maior que o zero absoluto.	A que se deve essa emissão? Qual a frequência da radiação eletromagnética	Modelo atômico de Thomson
Escoamento de água no interior de uma tubulação residencial.		
Condução de calor através de uma barra metálica.		
Um automóvel fazendo uma curva.		
Um circuito elétrico constituído de uma bateria e lâmpadas associadas em paralelo.		
Uma xícara de chá quente em temperatura ambiente.		

Tarefa 3

Uma carreta de 20 m de comprimento atravessa uma ponte de 60 m de comprimento com velocidade constante de 72 km/h (20 m/s). Determine: (a) o intervalo de tempo gasto para a carreta atravessar completamente esta ponte; (b) qual deve ser o intervalo de tempo gasto para a carreta atravessar completamente uma ponte de 2000 m de comprimento; (c) em qual das situações anteriores é possível considerar a carreta como uma partícula pontual; justifique sua resposta estimando o erro percentual no intervalo de tempo gasto para a travessia em ambos os casos; (d) que implicações físicas decorrem de considerar a carreta como uma partícula pontual. Adaptado de: GASPARG, Alberto. Física: Mecânica. São Paulo: Editora Ática, 2000, v. 1, p. 44.

Tarefa 4

Marcelo Negrão, numa partida de vôlei, deu uma cortada na qual a bola partiu com uma velocidade de 126 km/h (35 m/s). Sua mão golpeou a bola a 3,0 m de altura, sobre a rede, e ela tocou o chão do adversário a 4,0 m da base da rede, como mostra a figura.



Nessa situação pode-se considerar, com boa aproximação, que o movimento da bola é retilíneo e uniforme. Considerando essa aproximação, qual o tempo decorrido entre o golpe do jogador e o toque da bola no chão? Adaptado de: GASPAR, Alberto. Física: Mecânica. São Paulo: Editora Ática, 2000, v. 1, p. 73. Com base na situação acima, responda: (a) Por que o autor afirma que a situação acima é uma “boa aproximação” para a situação real de jogo? (b) Do seu ponto de vista, quais são as idealizações feitas na situação da figura acima?

Tarefa 5

- 1) Primeiramente, você deve acessar o link abaixo: http://www.walter-fendt.de/ph14br/collision_br.htm.
- 2) Em seguida, você deve familiarizar-se com a simulação computacional. Dica: interaja com todos os recursos disponíveis e reflita sobre a Física envolvida nesta situação-problema.
- 3) Formule 2 questões interessantes para serem respondidas a partir desta simulação computacional.
- 4) Que idealizações foram consideradas pelo autor da simulação computacional?
- 5) Quais os referentes envolvidos nesta simulação computacional?
- 6) Responda as questões-foco explicitando as relações, as variáveis e os parâmetros envolvidos na sua solução.

Tarefa 6

- 1) Primeiramente, você deve acessar o link abaixo: <http://www.phy.ntnu.edu.tw/ntnujava/index.php?topic=48.0>.
- 2) Em seguida, você deve familiarizar-se com a simulação computacional. Ela trata dos fenômenos da convergência e da divergência da luz em lentes e espelhos, do ponto de vista da Ótica Geométrica. Dica: nesta simulação podem ser alterados: a distância focal f , a distância objeto-espelho (ou lente) p , a distância imagem-espelho (ou lente) q e o aumento m (definido como a razão $m = -q/p$).
- 3) Formule 2 questões interessantes para serem respondidas a partir desta simulação computacional.
- 4) Que idealizações foram consideradas pelo autor da simulação computacional?
- 5) Quais os referentes envolvidos nesta simulação computacional?

6) Responda as questões-foco explicitando as relações, as variáveis e os parâmetros envolvidos na sua solução.

Tarefa 7

Para o fenômeno de interesse da "Conservação de energia", propor uma situação-problema, formular questões-foco interessantes, fazer as idealizações necessárias, selecionar os referentes, as relações, as variáveis e os parâmetros do modelo científico utilizado e propor uma solução ao problema. Ou seja, quero que realizem a mesma tarefa que fizemos em conjunto no último encontro. Como todos preferiram o fenômeno do "ato de caminhar", o da conservação de energia ficou como tarefa.

Tarefa 8

Num experimento deixa-se uma pequena esfera de aço cair no ar a partir do repouso. Para diversos valores da altura H que a esfera foi abandonada, mediu-se o tempo de queda t. Os resultados são apresentados na tabela abaixo.

H (cm)	t (s)
0	0
30	0,29
60	0,34
90	0,43
120	0,50
150	0,57
180	0,59
210	0,63

Utilizando-se o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) procedeu-se o ajuste de diversas funções a esses pontos, isto é, determinou-se pelo MMQ o(s) parâmetro(s) livre(s) das funções de ajustamento. A tabela abaixo apresenta as funções que resultaram desses ajustamentos, bem como o somatório dos quadrados dos resíduos (SQ). Resíduo é a diferença entre o valor obtido experimentalmente e o valor estimado pela função ajustada. Os valores dos parâmetros ajustados estão indicados em itálico.

Ajuste	Função	SQ (cm ²)
1	H = 265t	6244
2	H = 500 t ²	505
3	H = 591t ² -50t	360
4	H = 575t ^{2,24}	345
5	H = 450t ³ +160t ² +47t	329
6	H = 12327t ⁴ -17051t ³ +8170t ² -1126t	138

Com base na tabela acima, responda: (a) Qual dessas funções você acha que um físico elegeria como a melhor candidata a descrever esses resultados experimentais? Justifique a sua escolha. (b) Para a função escolhida, identifique os parâmetros de ajuste com grandezas físicas e especifique as suas unidades.

Roteiro da entrevista semi-estruturada

1) Você enxerga alguma aplicação do que foi discutido neste curso para a situação de sala de aula no ensino médio? Você vislumbra alguma estratégia didática capaz de transpor os conceitos abordados neste curso para os seus alunos?

2) O que você entende por idealização de um modelo científico? Você poderia dar um exemplo?

3) O que você entende por aproximação de um modelo científico? Você poderia dar um exemplo?

4) O que você entende por referente de um modelo científico? Você poderia dar um exemplo?

5) O que você entende por variável e parâmetro de um modelo científico? Você poderia dar um exemplo?

6) O que você entende por domínio de validade de um modelo científico? Você poderia dar um exemplo?

7) O que você entende por grau de precisão de um modelo científico? Você poderia dar um exemplo?

8) O que você entende por expansão de um modelo científico? Você poderia dar um exemplo?

9) O que você entende por generalização de um modelo científico? Você poderia dar um exemplo?

10) O que você entende por modelo científico?