



.....
Rafael Vasques Brandão
 E-mail: rafael.brandao@ufrgs.br

Ives Solano Araujo
 E-mail: ives@if.ufrgs.br

Eliane Angela Veit
 E-mail: eav@if.ufrgs.br

Instituto de Física, Universidade
 Federal do Rio Grande do Sul, Porto
 Alegre, RS, Brasil

No contexto científico contemporâneo, o processo de modelagem assume um papel fundamental na busca por respostas que auxiliam o homem a compreender o mundo em que vive. Já no atual contexto educacional [1-4], tem-se visto que estratégias didáticas baseadas na noção e uso de modelos surgem como alternativas para inserção de conteúdos de natureza epistemológica que, imbricados com conteúdos de física, propiciam aos alunos uma visão mais holística sobre a natureza e a construção do conhecimento científico. Nesse contexto, ao discutir aspectos conceituais da modelagem científica, este trabalho pretende fornecer subsídios para a elaboração de estratégias didáticas que permitam aos professores de física caminhar em direção a um ensino que vise a compreensão, em que, como bem salientado por Eric Rogers, “saber dar nomes novos às coisas é algo bem diferente de compreendê-las” [5]. Ou seja, é preciso dar sentido ao que se estuda:

Estratégias didáticas baseadas na noção e uso de modelos surgem como alternativas para inserção de conteúdos de natureza epistemológica que, imbricados com conteúdo de física, propiciam aos alunos uma visão mais holística sobre a natureza e a construção do conhecimento científico

seja por meio da experimentação, seja por meio da conceitualização. Com isso não se quer dizer que o uso da matemática na solução de problemas da física deve ser relegado, senão que a “matematização” da física não deve ser o ponto de partida nem tampouco o objetivo final. Que sentido faz para um aluno de ensino médio o problema a seguir, se o mesmo for pensado como o *ponto de partida* no estudo do movimento?

Dois móveis, A e B, movimentam-se sobre uma mesma trajetória. As funções horárias do espaço para os movimentos são: $s_A = 20t + t^2$ e $s_B = 400 - 10t$, com s em metros e t em segundos.

a) Classifique os movimentos dos móveis A e B. b) Determine a distância entre A e B no instante $t = 0$. c) Determine o instante e o espaço em que os móveis se encontram. [6, p. 49]

Esta crítica não se refere à tentativa de explicar um fenômeno físico utilizando a matemática, nem toma como alvo o estudo da cinemática, tantas vezes criticada de forma injusta. Por este motivo, discutiremos na última seção deste artigo um problema de cinemática para mostrar que, quando ensinada apropriadamente, pode levar o aluno a compreender pontos cruciais da modelagem científica, como as *idealizações* e as *aproximações*. Dessa forma, nossa crítica se dirige, fundamentalmente, às estratégias didáticas que em momento algum estabelecem uma conexão entre o mundo abstrato (ideal) e o mundo concreto (real). Esta desconexão entre teoria e realidade é um problema frequentemente observado, chegando a gerar nos

alunos posições disparatadas, como a apontada por Mazur [7, p. 4], em um diálogo com um aluno seu:

Professor Mazur, como eu devo responder estas questões? De acordo com o que você nos ensinou, ou da forma que eu penso sobre estas coisas?

A passagem acima evidencia um obstáculo a ser superado no ensino de ciências em geral e da física em particular, seja ela clássica ou moderna: a incomensurabilidade entre as visões de mundo que insistem em coabitar a mente do aluno. Uma sendo formada por concepções científicas que parecem ter pouco a ver com a realidade

Tendo em vista as possíveis melhorias que uma adequada compreensão sobre o processo de modelagem científica pode trazer ao ensino de física, no presente trabalho apresentamos algumas relações existentes entre teoria e realidade, através do uso de estratégias didáticas baseadas na noção de modelo científico. Para tanto, discutimos a partir de dois problemas típicos de física (cinemática e termodinâmica), encontrados em livros de texto de nível médio, algumas das idéias do filósofo da ciência Mario Bunge sobre a construção e a testabilidade de modelos científicos.

e a outra que, embora constituída de concepções alternativas às científicas, fornece explicações para muitas das situações do dia-a-dia. O desafio que se impõe a nós educadores está em reduzir o papel desempenhado pelas concepções alternativas em favor das científicas. Nesse sentido, acreditamos que a modelagem, 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 moderna, cuja essência está na criação de modelos [8-10], e que foi bem exemplificada por Moreira [11] no artigo sobre os 50 anos do modelo da dupla hélice para a estrutura do DNA.

A modelagem científica

Nos referimos à modelagem científica como um processo de criação de modelos com a finalidade de compreender a realidade. A Fig. 1 ilustra de forma esquemática as relações entre os diversos elementos envolvidos no processo de modelagem.

Na parte superior esquerda do mapa conceitual, vê-se que a modelagem científica é, antes de tudo, um processo de busca por respostas. Assim, os cientistas produzem conhecimento científico formulando questões de pesquisa sobre objetos (ou fatos) reais ou supostos como tais. Por exemplo, átomos, moléculas, células, sistemas, processos, máquinas e sociedades, etc. Nesse processo, eles formulam hipóteses e elaboram modelos conceituais 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. Porém, quão bem um modelo teórico representa o comportamento de um objeto ou fenômeno físico? A adequação de modelos teóricos aos fatos depende basicamente: a) das questões que pretendem responder; b) do grau de precisão desejável em suas previsões; c) da quantidade de informações disponíveis sobre a realidade; e d) das idealizações que são feitas a respeito dos seus referentes.

A modelagem, 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 moderna, cuja essência está na criação de modelos

Adicionalmente, é desejável que os modelos sejam compatíveis com grande parte do conhecimento científico previamente estabelecido. Estes requisitos de cientificidade, embora necessários, de modo algum são suficientes quando alcançados independentemente. Contudo, nenhum modelo teórico tem a pretensão de representar completamente qualquer sistema ou fenômeno físico. Em geral, eles são concebidos para descrever *certos fenômenos* que exibem estrutura e/ou comportamento semelhantes. Por isso, 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. Nesses casos, dizemos que o domínio de validade do modelo foi extrapolado. De forma semelhante, as teorias gerais também possuem limitações. O exemplo clássico é o da mecânica newtoniana que descreve com boa aproximação o movimento de objetos macroscópicos usuais, porém, com o surgimento de outras teorias, suas leis e princípios demonstraram-se limitados para a descrição do movimento nas regiões de altas velocidades (da ordem da velocidade da luz), e de pequenas dimensões (escalas atômica e sub-atômica).

Daqui para frente, utilizaremos o termo “modelo conceitual” como sinônimo de representação simplificada, idealizada, de um sistema ou fenômeno natural, aceita pela comunidade científica. Vejamos um exemplo nesse sentido.

Considere a foto de um homem, um manequim de plástico e um macaco. Qual desses modelos é o mais adequado para representar um homem? A resposta é: depende. A foto deve ser um bom modelo para um pintor, pois retrata a fisionomia da pessoa. O manequim é uma representação tridimen-

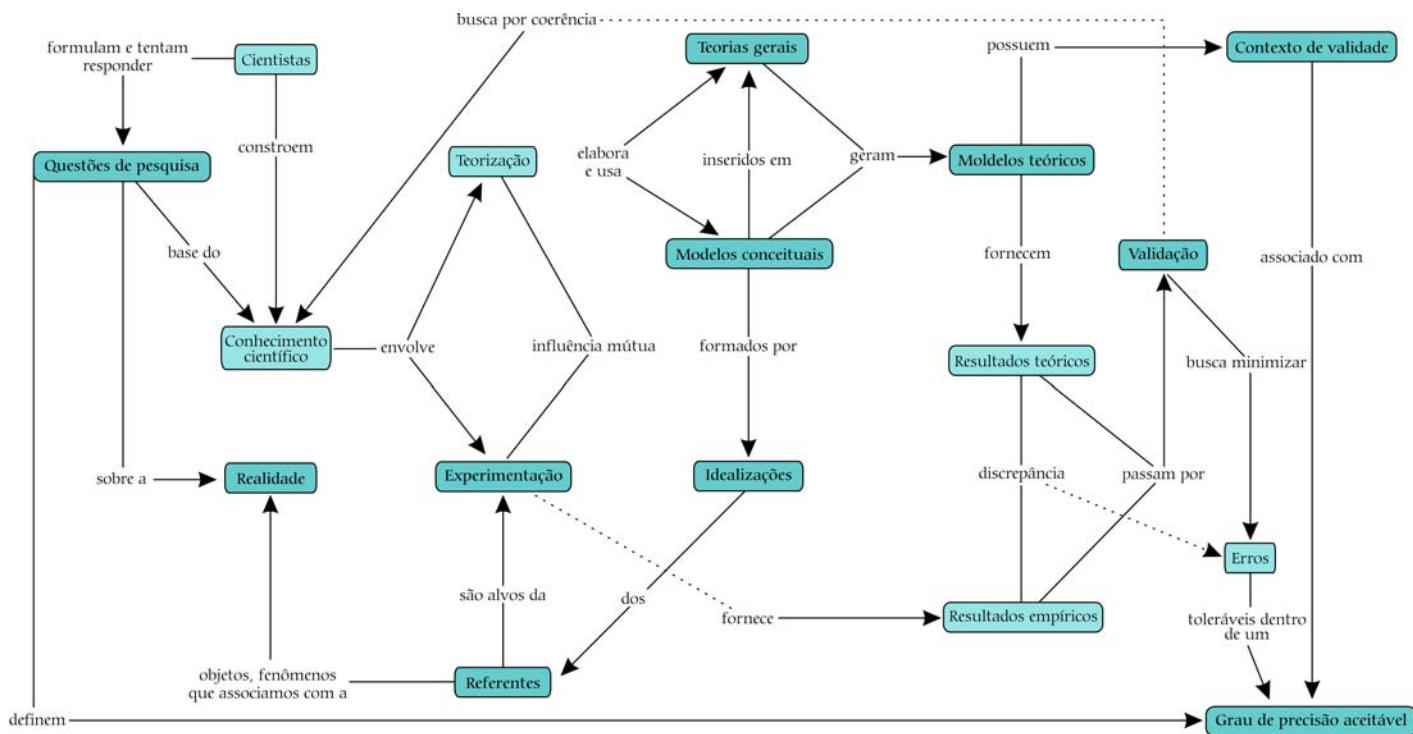


Figura 1. Mapa conceitual relacionando os diversos elementos presentes no processo de modelagem de aspectos da realidade.

sional do corpo humano, sendo um bom modelo para um alfaiate. Já o macaco é fisiologicamente semelhante ao ser humano e deve ser o modelo preferido por um biólogo. [12, p. 44]

O exemplo acima ilustra também uma outra idéia muito importante quando se trabalha com modelagem: a de que não existem modelos corretos, mas sim adequados. Alguns modelos conceituais são mais adequados do que outros por enfatizarem certos aspectos negligenciados pelos demais. Para tanto, analisemos um exemplo de interesse da física: o movimento real de um projétil. Até que ponto esta situação pode ser representada por um

O computador, visto como uma ferramenta didática no auxílio da aprendizagem, pode fornecer oportunidades ímpares para a contextualização, visualização e apresentações das mais diversas situações físicas que possam dar sentido ao conceito físico que esteja sendo trabalhado pelo professor

modelo de partícula em movimento parabólico sob a ação da força da gravidade? Em outros termos, faz sentido comparar os resultados de um modelo que despreza a resistência do ar, a variação da aceleração gravitacional, o empuxo, o raio de curvatura da Terra e a sua velocidade de rotação, com os dados experimentais (para o alcance, a altura máxima, o tempo de voo, etc.)? E a resposta poderia ser: faz sentido dependendo do tipo de projétil, das condições iniciais de lançamento (posição e velocidades de translação e rotação) e do grau de precisão que se deseja. Ou seja, todas essas hipóteses simplificadoras, ou melhor, idealizações, são *válidas* para condições muito específicas. Assim, um objeto de área “pequena”, densidade “muito maior” do que a do ar, velocidade linear “baixa” e que gire “pouco” pode ser descrito com boa aproximação por um modelo baseado nas hipóteses acima. As expressões entre aspas podem adquirir diferentes interpretações, dependendo do grau de precisão que se deseja obter com

o modelo. Entretanto, para outras condições que não estas, os efeitos acima podem-se tornar relevantes. No artigo em que discutem a aerodinâmica da bola de futebol, Aguiar e Rubini [13] concluem que a trajetória descrita pela bola que Pelé chutou no jogo de futebol Brasil x Tchecoslováquia pela Copa de 1970 no México, próximo à linha do meio-campo, em direção à meta adversária – jogada que ficou conhecida como “o gol que Pelé não fez” – só pode ser entendida ao levarmos em conta os efeitos de resistência do ar, incluindo a crise do arrasto, e o Efeito Magnus devido à rotação da bola em torno do seu centro.

Apesar de não ser o foco do presente trabalho, destacamos que uma das formas mais promissoras para a integração de discussões sobre modelagem científica em sala de aula possa dar-se por meio da modelagem computacional aplicada ao ensino de física. O computador, visto neste processo como uma ferramenta didática no auxílio da aprendizagem, pode fornecer oportunidades ímpares para a contextualização, visualização e apresentações das mais diversas situações físicas que possam dar sentido ao conceito físico que esteja sendo trabalhado pelo professor. Para saber um pouco mais sobre este assunto, sugerimos a leitura dos trabalhos de Medeiros e Medeiros [14], Araujo *et al.* [15] e Dorneles *et al.* [16].

Em suma, o processo de modelagem reside no fato de que teorias gerais, que em princípio não se pronunciam diretamente sobre a realidade, ao serem enxertadas por modelos conceituais, produzem representações de parte da realidade, isto é, modelos teóricos que fornecem soluções a situações-problema particulares. A Tabela 1, inspirada em Bunge [17, p. 35],

ilustra alguns exemplos de representações feitas em física.

A fim de que se possa avaliar a aplicabilidade dos diversos conceitos associados à modelagem, trataremos de exemplificar o modo como eles podem ser inseridos no contexto de sala-de-aula.

A discussão em sala-de-aula

Nosso objetivo aqui é apresentar uma discussão baseada nas idéias da modelagem sobre dois problemas típicos de livros de texto de física, em nível médio, com a expectativa de que possam servir de exemplos para outras discussões nas demais áreas da física. Vejamos o primeiro exemplo:¹

Um caminhão com 20,0 m de comprimento atravessa uma ponte com 80 m de extensão com velocidade constante de 72,0 km/h (20,0 m/s), como ilustra a Fig. 2.

O fenômeno físico de interesse refere-se ao movimento dos corpos. Seu enunciado contextualiza este fenômeno ao descrever a situação de um caminhão atravessando uma ponte. A partir dessa contextualização é possível formular algumas questões: qual o peso máximo do caminhão que a ponte pode suportar? Qual o valor do coeficiente de atrito entre os pneus do caminhão e a ponte? Qual deve ser a velocidade do caminhão para atravessar a ponte em um certo intervalo de tempo? Qual o intervalo de tempo gasto pelo caminhão para atravessar a ponte com certa velocidade? As duas primeiras questões pressupõem o estudo das forças envolvidas na situação real, enquanto nas duas últimas o foco está nas variáveis que descrevem o comportamento observável do caminhão ao atravessar a ponte, a saber: o tempo, o comprimento e a velocidade do caminhão, e a extensão da ponte. Ou seja, enquanto as duas primeiras perguntas envolvem a dinâmica do sistema, as duas últimas são típicas de uma descri-

Tabela 1. Alguns exemplos de situações-problema que são modeladas pela física.

Situação-problema a ser modelada	Modelo conceitual	Teoria geral	Modelo teórico
Escoamento da água no interior de uma tubulação	Fluido contínuo sem viscosidade Fluido contínuo com viscosidade	Mecânica dos fluidos	Modelo de fluido ideal Modelo de fluido viscoso
Certa quantidade de gás contida num recipiente fechado	Sistema de partículas, termicamente isolado, que interagem via colisões perfeitamente elásticas	Mecânica estatística e mecânica clássica Mecânica estatística e mecânica quântica	Modelo de gás ideal clássico Modelo de gás ideal quântico
Comportamento da matéria em nível microscópico	Sistema planetário	Mecânica clássica e eletromagnetismo	Modelo atômico de Rutherford
Movimento dos planetas do Sistema Solar		Mecânica clássica	Modelo gravitacional de Newton

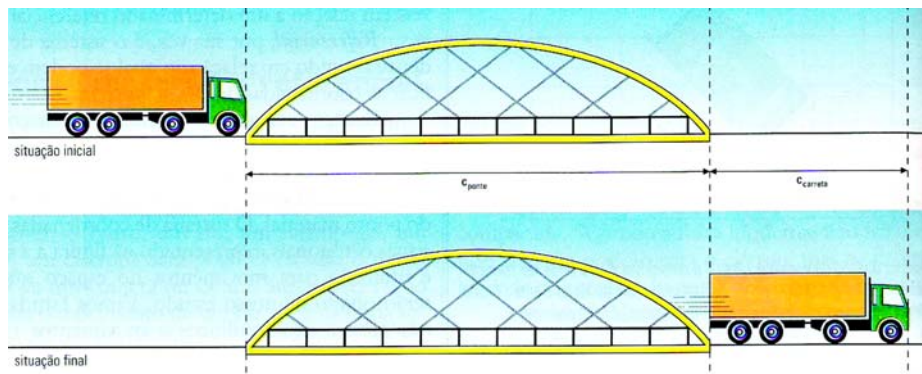


Figura 2. Na parte superior, o instante em que o caminhão entra na ponte. Na parte inferior, o instante em que o caminhão cruza completamente a ponte [18, p. 44].

ção cinemática do movimento. Nesse sentido, a situação descrita acima pode ser objeto de estudo tanto da cinemática quanto da dinâmica. Contudo, em ambas: a) delimitamos o sistema a ser estudado, selecionando os objetos relevantes que farão parte do modelo, isto é, os referentes; b) fazemos idealizações de modo a simplificar o tratamento do problema em função das variáveis e dos parâmetros associados aos referentes; c) estimamos os erros introduzidos pelas idealizações a fim de alcançarmos um grau de precisão aceitável; e d) discutimos a validação da solução encontrada. Em suma, construímos um modelo teórico capaz de gerar resultados que possam ser confrontados com os dados empíricos e analisamos a razoabilidade dos mesmos. Do ponto de vista da cinemática, os referentes envolvidos nesta situação são dois: o caminhão e a ponte. Se estivéssemos tratando o problema do ponto de vista da dinâmica teríamos que incluir a Terra e, ao considerar a resistência do meio, o ar como referentes, também. Consideremos o problema do ponto de vista da cinemática, como proposto por Gaspar [17], formulando as seguintes questões:

- Qual o intervalo de tempo que o caminhão leva para atravessar completamente a ponte?;
- Supondo que a ponte tenha 2000 m de extensão, qual deve ser o intervalo de tempo gasto pelo caminhão para atravessar a mesma?;
- Em qual das situações o caminhão pode ser considerado um ponto material?

A fim de tratar a situação de forma simplificada, faremos as seguintes idealizações: a) desprezaremos todo o tipo de ondulação ao longo da ponte, considerando-a perfeitamente plana; b) consideraremos o movimento do caminhão uniforme, como o próprio enunciado afirma; e c) desprezaremos todo o tipo de sinuosi-

dade durante o movimento, ou seja, o caminhão atravessará a ponte ao longo da direção que coincide com o comprimento da mesma. Com base nestas idealizações, obtemos uma representação esquemática (modelo conceitual) na qual o caminhão descreve um movimento retilíneo e uniforme. Para determinar o intervalo de tempo gasto pelo caminhão ao atravessar a ponte de 80 m de extensão (do item “a” do problema), basta aplicar o conceito de velocidade média à situação idealizada, lembrando que o deslocamento do caminhão equivale à soma da extensão da ponte mais o seu próprio comprimento, de modo que

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Leftrightarrow \Delta t = \frac{\Delta x}{\bar{v}} = \frac{80 \text{ m} + 20 \text{ m}}{20 \text{ m/s}} = 5 \text{ s},$$

onde \bar{v} é a velocidade média do caminhão, Δx o seu deslocamento e Δt o intervalo de tempo gasto para atravessar a ponte. De forma análoga, para determinar o intervalo de tempo gasto pelo caminhão para atravessar a ponte de 2.000 m (item “b”), temos que

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{\bar{v}} = \frac{2000 \text{ m} + 20 \text{ m}}{20 \text{ m/s}} = 101 \text{ s}.$$

Os intervalos de tempo acima foram determinados considerando-se as dimensões do caminhão, isto é, tratando-o como corpo extenso. O item “c” do problema sugere a possibilidade de se considerar o caminhão como um ponto material. A fim de avaliarmos esta possibilidade, calcularemos o erro percentual introduzido por esta simplificação, ou seja, o erro devido à idealização que ignora as dimensões do caminhão, nos dois casos. Para a ponte de 80 m, o intervalo de tempo gasto pelo ponto material ao atravessá-la seria de

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{\bar{v}} = \frac{80 \text{ m}}{20 \text{ m/s}} = 4 \text{ s}.$$

Conseqüentemente, o erro percentual

associado ao primeiro caso pode ser calculado da seguinte forma

$$e\% = \frac{5 \text{ s} - 4 \text{ s}}{5 \text{ s}} \times 100\% = 0,2 \times 100\% = 20\%,$$

onde $e\%$ é o erro percentual associado à idealização. De modo semelhante, o intervalo de tempo gasto pelo ponto material para atravessar a ponte de 2000 m seria de

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{\bar{v}} = \frac{2000 \text{ m}}{20 \text{ m/s}} = 100 \text{ s}.$$

Em conseqüência, o erro percentual associado à idealização, nesta situação, seria de

$$e\% = \frac{101 \text{ s} - 100 \text{ s}}{101 \text{ s}} \times 100\% \approx 0,01 \times 100\% = 1\%.$$

A resposta ao item “c” do problema, com base na análise do erro percentual devido à redução das dimensões do caminhão a um ponto material, poderia ser: embora a simplificação resulte, em ambos os casos, em uma diferença de 1 s entre os intervalos de tempo considerando o caminhão ora como corpo extenso, ora como ponto material, o modelo de ponto material alcança um grau de precisão aceitável somente no caso em que a ponte possui extensão de 2000 m. Outro aspecto importante é a análise da razoabilidade das soluções encontradas. Mesmo um erro de 1%, 1 s, poderia ser relevante na situação hipotética em que a ponte estivesse na iminência de cair. Frequentemente, esta análise acaba servindo como ponto de partida para a formulação de outras questões inicialmente não consideradas, como, por exemplo: e se considerássemos a possibilidade da ponte desmoronar? Neste caso, parece razoável considerar o comprimento do caminhão como sendo a distância entre os seus eixos dianteiro e traseiro para fins de determinação do intervalo de tempo necessário para o caminhão atravessar efetivamente a ponte, antes que a mesma se rompa. Este tipo de questionamento pode contribuir para a conexão entre teoria e realidade, para a conceitualização das grandezas envolvidas e, provavelmente, para uma maior motivação do aluno.

Por último, discutiremos de forma qualitativa um segundo problema de termodinâmica:²

Uma barra de alumínio de comprimento $L = 80 \text{ cm}$ e de seção reta $A = 200 \text{ cm}^2$ tem uma de suas extremidades introduzida em uma caldeira com água em ebulição. A outra extremidade da barra se encontra no ar ambiente, a 20° C . Determine o fluxo de calor Φ que é transferido através da barra para o ar ambiente.

O fenômeno físico de interesse deste problema se refere ao processo de transferência de energia, na forma de calor, denominado condução. O enunciado acima contextualiza este fenômeno ao descrever a situação em que a extremidade de uma barra de alumínio é introduzida em uma caldeira com água a uma temperatura maior do que a temperatura do ambiente em que se encontra o restante do corpo da barra. Com base nesta contextualização, o problema formula a seguinte questão: qual o fluxo de calor Φ transferido ao longo da barra? Em física, o fluxo de calor é definido como sendo a quantidade de energia ΔQ , na forma de calor, que atravessa a área de uma superfície qualquer por unidade de tempo, ou seja

$$\Phi = \frac{\Delta Q}{\Delta t},$$

em que ΔQ se mede em joules e Δt em segundos, no S.I. Logo, Φ se mede em J/s. A explicação para a transferência de energia de uma extremidade à outra da barra é fornecida pelo modelo cinético-molecular da matéria, no qual o excesso de movimento dos constituintes microscópicos da região mais aquecida da barra, à temperatura T_2 , se transfere à região menos aquecida, à temperatura T_1 , enquanto a diferença de temperatura se mantém entre elas. A partir de resultados experimentais, verifica-se que o fluxo de calor Φ ao longo da barra pode ser calculado por

$$\Phi = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = k A \frac{T_2 - T_1}{L},$$

onde A é a área da seção reta da barra, $\Delta t = T_2 - T_1$ é a diferença de temperatura entre as suas extremidades, e L é o seu comprimento. A constante de proporcionalidade k , na expressão acima, é a condutividade térmica do material de que é feita a barra. Logo, a determinação do fluxo de calor transferido ao longo da barra é meramente uma questão de aplicação da última expressão para Φ . O que

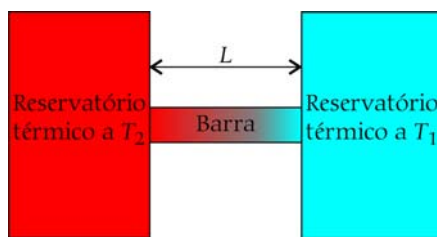


Figura 3. Situação idealizada em que cada extremidade da barra metálica, de comprimento L , encontra-se em contato com um reservatório térmico à temperatura constante, com $T_2 > T_1$.

poucas vezes se discute é a questão do domínio de validade desta equação. A Fig. 3 ilustra de forma esquemática a situação ideal em que: a) a barra é perfeitamente homogênea; b) cada extremidade da barra é mantida em contato com um reservatório térmico à temperatura constante, com $T_2 > T_1$; c) a superfície lateral da barra está envolvida por paredes adiabáticas que evitam a perda de energia para o meio que a circunda; e d) a barra se encontra em regime estacionário, ou seja, é possível associar a cada ponto da barra um valor de temperatura que não depende do tempo, somente da sua localização ao longo da barra.

Como consequência destas idealizações, o fluxo de calor se mantém constante através de qualquer seção reta da barra, o que dá origem à equação apresentada anteriormente. Assim, a validade da equação para o fluxo de calor está relacionada com o cumprimento das condições apresentadas acima, o que, em geral, não se satisfaz. Logo, o que obtemos, na verdade, é uma estimativa (valor aproximado) do fluxo de calor ao longo da barra de alumínio, pois: a) *supomos* a barra como sendo homogênea; b) *tratamos* a caldeira e o ar ambiente como reservatórios térmicos; c) *desprezamos* a perda de energia através da superfície lateral da barra; e d) *supomos* que a barra atinge a condição de regime estacionário após um curto intervalo de tempo. Por fim, esse tipo de discussão levanta uma série de outras questões, tais como: existem reservatórios térmicos? E paredes adiabáticas? Como podemos minimizar os efeitos acima, ao realizar um experimento? Se nos restringirmos à mera aplicação de fórmulas, estaremos deixando de lado toda a física envolvida no problema.

Considerações finais

Neste trabalho chamamos atenção para o distanciamento entre o ensino de ciências e a realidade experienciada pelos estudantes, devido ao modo excessivamente formal como as disciplinas científicas vêm sendo abordadas. Esta abordagem faz uso de regras e esquemas associados especificamente ao contexto escolar de modo que “dois mundos” disjuntos passam a coabitar a mente dos estudantes. Torna-se, então, necessário redirecionar o objetivo do ensino de ciências para a reconstrução conceitual da realidade, ou, em outros termos, dar sentido para aquilo que se quer ensinar. Nesse sentido, discutimos alguns aspectos conceituais envolvidos no processo de modelagem por acreditar que estratégias didáticas baseadas na noção e uso de modelos podem contribuir de forma

significativa para uma melhor compreensão do mundo em que vivemos e do desenvolvimento científico propriamente dito.

Agradecimento

Ao Prof. Alberto Gaspar e à Editora Ática, que cederam o uso da Fig. 2.

Notas

¹Adaptado de Alberto Gaspar, *Física. Mecânica* (Editora Ática, São Paulo, 2000), p. 44.

²Adaptado de A. Máximo, e B. Alvarenga, *Curso de Física* (Scipione, São Paulo, 2005), p. 105.

Referências

- [1] A. Cupani, e M. Pietrocola, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **19**, 100 (2002).
- [2] I.A. Halloun, *Modeling Theory in Science Education* (Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2004).
- [3] R. Justi e J. Gilbert, *International Journal of Science Education* **22**, 993 (2000).
- [4] O. Lombardi, *Educacion en Ciencias* **2**, 5 (1999).
- [5] A. Medeiros, *Física na Escola* **8**:1, 40 (2007).
- [6] P.C.M. Penteadó, *Física. Conceitos e Aplicações* (Moderna, São Paulo, 1998).
- [7] E. Mazur, *Peer Instruction: A User's Manual* (Prentice Hall, Upeer Saddle River, 1997).
- [8] M. Pietrocola, *Investigações em Ensino de Ciências* **4**, 213-227 (1999).
- [9] R.N. Giere, J. Bickle e R.F. Mauldin, *Understanding Scientific Reasoning* (Thomson Wadsworth, Toronto, 2006).
- [10] E.A. Veit e I.S. Araujo, *Educação* **13**, 51 (2004).
- [11] I.C. Moreira, *Física na Escola* **4**:1, 5 (2003).
- [12] L.H.A. Monteiro, *Sistemas Dinâmicos* (Livraria da Física, São Paulo, 2006).
- [13] C.E. Aguiar e G. Rubini, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **26**, 297 (2004).
- [14] A. Medeiros e C.F. Medeiros, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **24**, 77 (2002).
- [15] I.S. Araujo, E.A. Veit e M.A. Moreira, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **26**, 179 (2004).
- [16] P.F.T. Dorneles, E.A. Veit e I.S. Araujo, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **28**, 487 (2006).
- [17] M. Bunge, *Teoria e Realidade* (Perspectiva, São Paulo, 1974).
- [18] A. Gaspar, *Física. Mecânica* (Ática, São Paulo, 2000), v. 1.