

Modelos de Bohr e Rutherford como referencial para unificação de conceitos no ensino de ciências

Models of Bohr and Rutherford as referencial for unification of concepts in the education of sciences

Álvaro Becker da Rosa

Cleci Werner da Rosa Luiz

Marcelo Darroz

Universidade de Passo Fundo / Professores do Curso de Física

Artículo recibido: 16/11/13; evaluado: 16/04/14 - 14/05/14; aceptado: 17/06/14

Resumo

O desenvolvimento de conceitos de forma desarticulada e independente é um dos problemas enfrentados pelos envolvidos no processo de ensino e aprendizagem no campo das ciências, além da dificuldade de relacionar os seus diversos ramos em torno de um mesmo conceito em voga. Isso favorece uma diversidade de concepções que, na verdade, apresentam um único sentido, independentemente do ramo da ciência que esteja sendo abordado. Essa falta de interdisciplinaridade, no momento de tratar de determinados conceitos dentro de uma disciplina escolar, principalmente nos ensinamentos fundamental e médio, tem levado o aluno a memorizar conceitos, leis e fórmulas de modo desarticulado, distanciados entre si, muitas vezes, vazios de significados. Esse tem sido, por exemplo, o caso do ensino da Física, que, ao desenvolver conceitos comuns a outras disciplinas, como Química, Matemática, Biologia, entre outras, aborda-os de maneira a não estabelecer a interrelação das ciências, caracterizando-os como pertencentes apenas aos seus domínios. Com base em tal constatação, buscou-se demonstrar como essa interrelação entre as ciências é possível, evidenciando que um mesmo objeto pode servir de modelo ao ensino de Física, Química e Biologia. O trabalho realizado limitou-se aos conceitos envolvidos no estudo da termologia e presentes no ensino dessas três disciplinas. Desse modo, chegou-se a um referencial único para todas elas, por meio do qual se propõe abordar os tópicos de temperatura, zero absoluto, calor, dilatação, mudança de estado físico, energia interna, entre outros. Os referenciais propostos pelo estudo e adotados nos modelos construídos foram os dos átomos desenvolvidos por Bohr e Rutherford no início do século XX. A proposta é que, com base nesses modelos, se abordem os tópicos mencionados, de forma a contemplar a interdisciplinaridade, permitindo que os alunos construam um único conceito dos fenômenos envolvidos e que ele sirva para Física, Química e Biologia, evidenciando que a ciência é única e indissociável.

Palavras-chave: interdisciplinaridade, termologia, modelo de Bohr.

Abstract

The development of concepts in a disarticulated and independent way is one of the problems faced by those involved in teaching and learning process in the sciences, along with the difficulty of relating their various branches around the same highlighted concept. This favors a diversity of views that actually have a single meaning, regardless of branch of science that is being addressed. This lack of interdisciplinarity by the time of approaching certain concepts within a school matter, especially in primary and secondary education, has led the student to memorize concepts, laws and formulas in a disarticulated way, apart from each other, often empty of meaning. This has been, for example, the case of physics teaching, that by developing a common approach to other disciplines such as chemistry, mathematics, biology, among others, addresses them so as not to establish the interrelationship of science, featuring them as belonging only to their fields. Based on this finding, we sought to demonstrate how this interrelationship between the sciences is possible, showing that the same object can serve as a model for teaching physics, chemistry and biology. The work was limited to the concepts involved in the study of thermology and present in the teaching of these three disciplines. Thus, it was established one single reference for all of them with the intention to cover the topics of temperature, absolute zero, heat, swelling, change of state, internal energy, among others. The reference proposed by the study and adopted in the models built was the atom developed by Bohr and Rutherford in the early 20th century. The proposal is that, based on this model, the topics listed are addressed, in order to reflect the interdisciplinary, allowing students to construct a single concept of the phenomena involved and that it could be useful to physics, chemistry and biology, showing that science is one and inseparable.

Keywords: interdisciplinarity, thermology, Bohr's model

alvaro@upf.br; cwerner@upf.br; ldarroz@upf.br

Revista Iberoamericana de Educación / Revista Ibero-americana de Educação

ISSN: 1681-5653

n.º 66/1 – 15/09/2014

Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura (OEI-CAEU)

Organização dos Estados Ibero-americanos para a Educação, a Ciência e a Cultura (OEI-CAEU)

1. Introdução

O desenvolvimento de conceitos de forma desarticulada e independente é um dos problemas enfrentados pelos educadores no processo de ensino das disciplinas relacionadas a Ciências, somado à dificuldade de incluir os seus diversos ramos em torno do mesmo conceito em voga. Isso favorece uma diversidade de concepções que, na verdade, apresentam um único sentido, independentemente do ramo da ciência que esteja sendo tratado. Essa falta de interdisciplinaridade, no momento de abordar um conceito dentro de uma disciplina escolar, principalmente nos ensinamentos fundamental e médio, tem conduzido o aluno a memorizar conceitos, leis e fórmulas de modo desarticulado, distanciados entre si, muitas vezes, vazios de significados. Esse tem sido, por exemplo, o caso do ensino da Física, que, ao desenvolver conceitos comuns a outras disciplinas, como Química, Matemática, Biologia, entre outras, aborda-os de maneira a não favorecer a interrelação das ciências, caracterizando-os como se fossem pertencentes apenas aos seus domínios.

Neste texto, pretende-se demonstrar como essa interrelação entre as ciências é possível e que um único objeto pode servir de modelo ao ensino de Física, de Química e de Biologia. O estudo proposto refere-se aos conceitos desenvolvidos na terminologia, tomando, para tanto, como referência, os modelos de átomos desenvolvidos por Bohr e Rutherford. Essa nova abordagem terá como princípio a interdisciplinaridade de forma a permitir que os alunos possam unificar os conceitos de calor, temperatura, zero absoluto, energia interna, entre outros, de modo a visualizar a ciência como única e indissociável.

Ainda que não seja o objetivo central deste artigo, cabe dissertar sobre algumas razões que levam o professor a desenvolver os conceitos como se pertencessem a um único ramo da ciência, a Física, a Química ou a Biologia. Entre os vários fatores possíveis para essa situação, uma chama nossa atenção de maneira particular e talvez possa ser a principal: falta de preparo docente para a interdisciplinaridade. Tal situação nos remete ao processo de formação desses educadores nas academias e nos centros universitários do país. Essas instituições, por sua vez, não estão preparadas para desenvolver currículos amplos e diversificados, perpetuando, ao longo dos anos, um modelo de ensino de Ciências segundo o qual cada disciplina (Física, Química e Biologia) toma a conotação de isolada em relação às demais. Isso não significa, por óbvio, que não as estudemos separadamente, porém, não concebemos como possível o fato de que os conceitos comuns a outras áreas do conhecimento sejam desenvolvidos de forma específica da disciplina, sem sequer mapear suas diversidades de aplicações.

O ensino da Física nas escolas de ensino médio tem sido por de mais sacrificante, tanto para quem ensina como para quem aprende. A Física vem sendo ensinada com base em “macetes” e em outros subterfúgios que favorecem a memorização dos conceitos, das leis e das fórmulas em detrimento da apropriação dos seus significados. Essa situação é presenciada, praticamente, em toda a física ensinada na escola, bastando abrir um livro de ensino médio para termos a sensação exata de que decorar é o objetivo principal do estudo de física. Um exemplo claro dessa conjuntura pode ser visto nas primeiras páginas de um livro qualquer adotado no primeiro ano do ensino médio, quando, ao trabalhar com as Leis de Newton, o professor as enuncia e, de imediato, parte para uma imensa lista de exercícios puramente de algoritmos matemáticos relativos ao assunto, favorecendo ao aluno decorar as variantes relativas à aplicação das fórmulas.

Na tentativa de amenizar esse dogmatismo criado em torno do ensino de Ciências, em particular da física, o qual leva a que o aluno apenas decore os conceitos, as leis e as fórmulas sem deles se apropriar significativamente, é que desenvolvemos o texto abaixo. O referencial teórico adotado no campo da aprendizagem refere-se à perspectiva construtivista.

2. Referencial teórico

A interdisciplinaridade e a contextualização estão no núcleo da nova legislação brasileira para a educação básica. Ensinar de forma contextualizada e interdisciplinar parece ser “a bola da vez” na educação, sobretudo, no ensino de Ciências. De uma perspectiva extremamente disciplinar e voltada para o conhecimento em si e per si, os Parâmetros Curriculares para a Educação Básica sugerem a necessidade de promover temas mais gerais em Ciências, amarrando entre si os conteúdos desse campo.

“O parcelamento e a compartimentação dos saberes impedem apreender o que está tecido junto” (MORIN, 2000, p. 45). As palavras do autor vêm ao encontro do promulgado nos PCNs: “porque se aprende e se percebe o aprendido apenas em situações reais, que, numa abordagem por competências, o contexto e a interdisciplinaridade são essenciais” (BRASIL, 2002, p. 35). Dito de outro modo, sendo a natureza interdisciplinar, não há como estudar os vegetais sem, por exemplo, entender o mecanismo de capilaridade; não há como entender a importância da energia, sem conhecer como uma fonte a produz e qual a diferença entre a radiação emitida pelo sol e por outra fonte. Falar de energia requer discutir os seus diferentes tipos, o que, por sua vez, está ligado aos diferentes campos da ciência.

Vários são os exemplos que mostram que as Ciências são interligadas, um corpo de conhecimentos que não pode ser desarticulado. Contudo, poucos são os professores que assim a concebem. Seja por formação, seja pela presença marcante do livro didático, a verdade é que estes pouco ou em nenhum momento recorrem a exemplos ou interligam seus saberes a outras componentes curriculares. Fechar em si seus saberes parece ser a tônica da ação docente, dentro de um olhar mais vertical, de profundidade, ao invés de explorar a interação e horizontalidade dos saberes. Entretanto, profundidade no conhecimento não rivaliza com interrelação, ao contrário, ambos são peças de um mesmo jogo, cujo objetivo é (deve ser) a formação ampla dos jovens.

Interligar conceitos requer romper com modelos tradicionais presentes no ensino. Ousar e propor novas alternativas metodológicas para abordar os conteúdos presentes nos programas curriculares está entre as novas exigências para a formação de educandos, principalmente considerando o mundo globalizado e em rápida transformação em que vivemos. A “metodologia por projetos” insere-se nesse “novo” modo de abordar os conteúdos escolares, embora não seja a única forma encontrada pelos pesquisadores para contemplar a contextualização e a interrelação entre os conhecimentos das diferentes áreas. A “interdisciplinaridade” é outro exemplo de como aglutinar o corpo de conhecimentos trabalhados pelas diferentes áreas do saber. Essas duas metodologias estão entre as mais valorizadas e referenciadas nas pesquisas nacionais, quando se trata de propostas pedagógicas inovadoras e em consonância com as necessidades atuais.

Na metodologia por projetos, o foco é a escolha de temas de interesse da comunidade e alinhados com as disciplinas escolares. Em outros termos, no ensino por projetos, estes são

[...] desenvolvidos por alunos em uma (ou mais) disciplina(s), no contexto escolar, sob a orientação do professor, e têm por objetivo a aprendizagem de conceitos e desenvolvimento de competências e habilidades específicas. Esses projetos são conduzidos de acordo com uma metodologia denominada Metodologia de Projetos, ou Pedagogia de Projetos. [...] os projetos de trabalho são executados pelos alunos sob a orientação do professor visando a aquisição de determinados conhecimentos, habilidades e valores (MOURA; BARBOSA, 2006, p.12).

Segundo essa metodologia, o importante é que os estudantes desenvolvam um projeto que lhes permita a aquisição de conhecimentos concomitantemente à promoção de habilidades. Tudo isso deve estar associado a uma estrutura organizacional que conduza o estudante a entender os passos necessários à execução de um projeto, tais como a definição do problema, justificativa, objetivos, resultados esperados, abrangência, plano de ação, plano de controle e avaliação. O tema em estudo precisa proporcionar que os estudantes aprofundem seus conhecimentos, interligando as diferentes áreas envolvidas.

A função do projeto é favorecer a criação de estratégias de organização dos conhecimentos escolares em relação a: 1) o tratamento da informação, e 2) a relação entre os diferentes conteúdos em torno de problemas ou hipóteses que facilitem aos alunos a construção de seus conhecimentos, a transformação procedente dos diferentes saberes disciplinares em conhecimento próprio (HERNANDEZ; VENTURA, 1998, p. 61).

O cerne do processo é a problematização que deve gerar o conhecimento. O estudante precisa, pois, investigar, formular hipóteses, tomar decisões, resolver problemas, tornar-se sujeito ativo do processo de construção do seu conhecimento, a fim de que a sua visão empirista da educação seja substituída pela visão construtivista de solução de problemas. Ou seja, um processo de ensino baseado na elaboração e execução de projetos favorece a interatividade, a autonomia, a aprendizagem contextualizada e a análise crítica de outras situações similares à que ele desenvolve no seu projeto escolar.

A interdisciplinaridade, por sua vez, é mais abrangente e demanda menos envolvimento de elementos extraescola, como a metodologia por projetos. Ela é entendida como uma estratégia de ação que ultrapassa a fragmentação dos conhecimentos, sem, contudo, haver necessidade de alterar propostas pedagógicas, como exige a metodologia por projetos.

Ao abordar um tópico, o professor pode (deve) perpassar as diferentes áreas que estão interligadas a ele, dentro de uma proposta unificadora dos conceitos e das ciências. Mostrar que o conceito de energia em mecânica e em eletricidade é o mesmo, e que, além disso, é o mesmo que se estuda na Química ou em Biologia, faz parte de um ensino interdisciplinar e se põe como condição para que o aluno compreenda os conteúdos de forma globalizada, podendo interagir com a sociedade moderna.

A interdisciplinaridade, como o próprio o nome sugere, não anula as disciplinas, mas propicia que estas dialoguem entre si numa perspectiva educacional em busca de inovação. O avanço tecnológico presente na sociedade contemporânea apresenta ao homem muitos desafios e, no caso da escola, traz para a sala de aula a necessidade de enfatizar perante o aluno as relações existentes entre os conhecimentos. A interdisciplinaridade, assim considerada, rompe com um ensino fragmentado, fechado e identificado com os modelos tradicionais da educação tecnicista do início do século XX.

Mais do que uma simples integração de conteúdos, a interdisciplinaridade representa a oportunidade de compreender os múltiplos fatores que interferem na realidade, evidenciando a importância da comunicação e negociação de significados. De acordo com os PCNs (BRASIL, 1999), a proposta de

reorganizar o currículo em áreas de conhecimento objetiva facilitar o desenvolvimento dos conteúdos, numa perspectiva de interdisciplinaridade e contextualização. A proposta da interdisciplinaridade é estabelecer ligações de complementaridade, convergência, interconexões e passagens entre os conhecimentos. Diante disso, o currículo deve contemplar conteúdos e estratégias de aprendizagem que capacitem o aluno para a vida em sociedade, para a atividade produtiva e para experiências subjetivas, tudo isso visando à sua integração com o meio sociocultural e econômico.

Contudo, por mais inovador que seja um ensino interdisciplinar, é preciso tomar o cuidado de não se vestir o novo com o velho. Fazenda (1999), pioneira no assunto no Brasil e fortemente influenciada por Japiassu, ressalta que essa metodologia chegou ao país no final dos anos sessenta e vem sendo perpetuada, com sérias distorções, como um modismo, uma palavra de ordem a ser explorada, usada e consumida por aqueles que se lançam ao novo sem avaliar a aventura. Lembra a autora que, de acordo com Japiassu, "A interdisciplinaridade caracteriza-se pela intensidade das trocas entre os especialistas e pelo grau de interação real das disciplinas no interior de um mesmo projeto de pesquisa" (1999).

Esse conceito representa a busca incessante da investigação na tentativa de superação do saber. Um saber que não é fragmentado, mas unificado, recheado, no caso aqui apresentado, pela ciência. Determinado conhecimento, conforme explicitado nos PCNs, mantém um diálogo permanente com os outros conhecimentos, num processo de retroalimentação (BRASIL, 1999), e é essa troca constante entre um conhecimento e outro que move as descobertas; é isso que faz avançar as tecnologias e é isso que alimenta as mentes mais apuradas.

Com vistas a contribuir para esse processo de interdisciplinaridade e mostrar que o conhecimento não é isolado em si, mas que mantém uma associação constante com os outros saberes, apresentamos a seguir uma proposta de abordagem para o conteúdo de energia no ensino médio, interligando Física, Química e Biologia.

A proposta foi elaborada após algumas observações feitas no ensino médio, por meio das quais constatamos que, em cada componente curricular (Física, Química e Biologia), os conteúdos estavam sendo abordados – e mais, os estudantes buscavam entendê-los – sob o ponto de vista exclusivo daquela disciplina, sem transpô-los às demais ciências. Com base nisso, elaboramos um estudo de natureza teórica, com o intuito de subsidiar os professores das disciplinas de Ciências, a fim de alertar seus alunos para o fato de que o conceito de energia – tomada aqui como exemplo – é o mesmo, tanto em física, quanto em química ou biologia. Também procuramos evidenciar que, em física, os conceitos abordados nos diferentes campos dessa ciência (mecânica, termologia, ondulatória, eletricidade) estão sempre relacionados, de modo a constituírem um único tópico.

Como sugestão didática, entendemos que o modelo atômico é uma oportunidade de iniciar as discussões sobre energia, principalmente, porque irá permitir visualizá-las em suas diferentes abordagens, conforme explicitamos a seguir.

3. A pesquisa

A noção de atomística é desenvolvida na educação básica, sendo objeto de estudo das aulas de Química desde a fase inicial do processo de escolaridade (ensino fundamental). Quando o aluno inicia o estudo da termologia, em Física (normalmente, no segundo ano do ensino médio), lhe são apresentados conceitos esparsos, sem a devida ligação com o comportamento atomístico da substância, cujas noções já foram estudadas. Dessa forma, propomos que, antes de se proceder ao início do estudo da termologia, seja resgata a imagem do átomo de Bohr-Rutherford, as ligações, os estados físicos, os níveis e subníveis desenvolvidos na disciplina de Química nas séries anteriores. Cabe-nos ressaltar, nesse ponto, a validade restrita desse modelo; porém, em termos didáticos, concordamos com a sua utilização.

Figura 1
Modelo de Bohr-Rutherford do início do século XX.

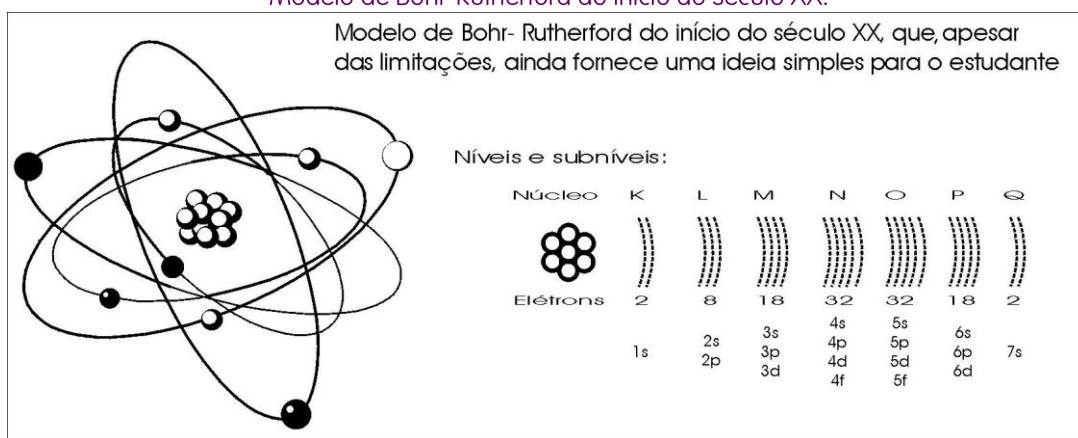
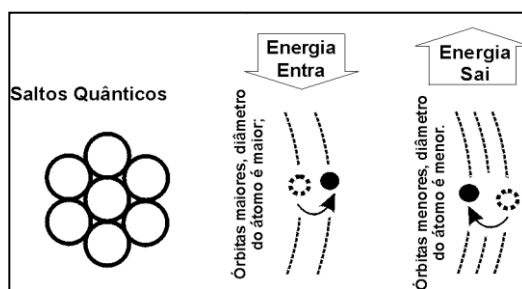
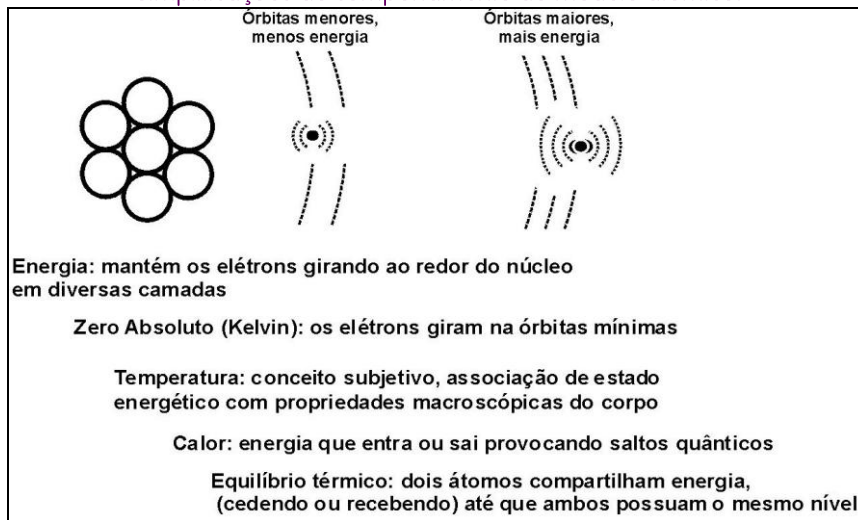


Figura 2
Modelo representativo de como a energia “entra” e “sai” de um átomo.



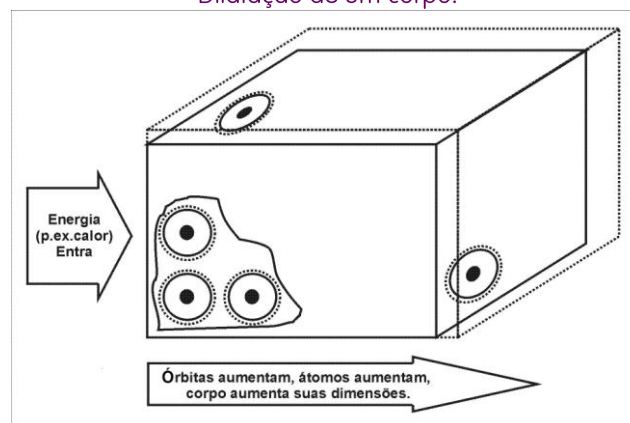
Partindo do modelo inicial, é possível ilustrar cada um dos conceitos fundamentais para o estudo da termologia, como energia, calor, temperatura, zero Kelvin, equilíbrio térmico, entre outros. Quando apresentados de forma relacionada ao comportamento da matéria, o educando pode perceber a sua interdependência, sendo capaz, ainda, de construir uma imagem mental (na verdade, um elemento mediador) que contribuirá para a introjeção e apropriação do conhecimento. Fica claro, por exemplo, que a temperatura é um conceito macroscópico subjetivo. É preferível que o aluno se inicie estabelecendo conceitos básicos, mas mais proximamente ligados ao comportamento real da matéria, em vez de apenas receber macetes e conceitos não correlacionados.

Figura 3
Simplificações do comportamento do modelo atômico.



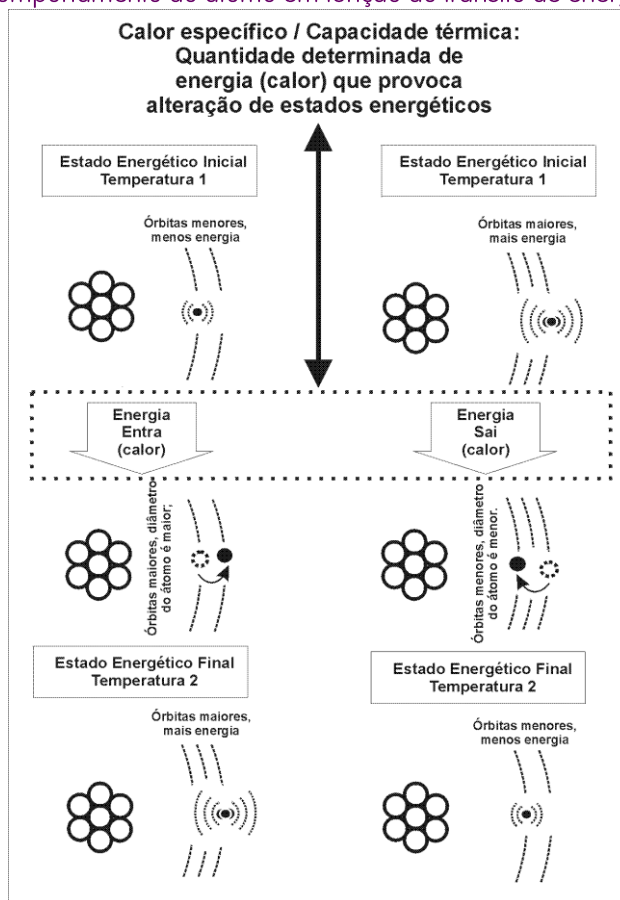
Definidos esses conceitos, podemos visualizar a dilatação como consequência de um átomo que recebeu mais energia, ampliando suas órbitas e seu estado de agitação interna. Caem por terra os erros frequentemente ouvidos de que "um material dilata-se *apenas* em uma direção, ou duas ou três ...", pois o átomo amplia seu diâmetro como um todo. As considerações de três dilatações, em verdade, consistem somente em desprezar o que não é significativo. Introduce-se aqui a noção de que, na realidade, necessitamos fazer aproximações suficientemente boas, não sendo possível encontrar números exatos. Essa clareza é fundamental em cursos como as engenharias, pois os alunos tendem a ficar procurando erros na enésima casa decimal, sem fazer a crítica ao método e ao raciocínio utilizados para resolver um problema qualquer.

Figura 4
Dilatação de um corpo.



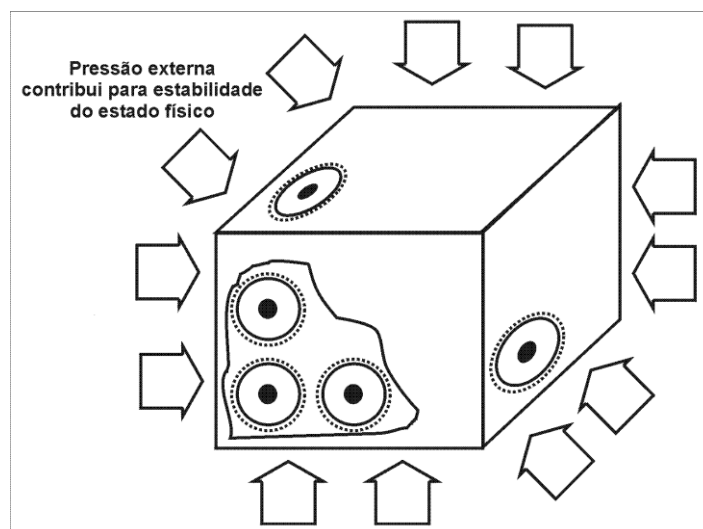
Capacidade térmica e calor específico podem ser diretamente apresentados como efeitos provocados pela entrada ou saída de calor em um sistema. Torna-se evidente a sua subjetividade, pois partimos de um estado energético qualquer (uma temperatura, exceto a absoluta) definido por convenção e consideramos atingi-lo de outro estado energético para medir a quantidade de calor recebida/cedida por um corpo.

Figura 5
Comportamento do átomo em função do trânsito de energia.



Torna-se simples perceber, então, que existe dependência entre os estados físicos e a pressão atmosférica.

Figura 6
Visualização da interação entre a pressão atmosférica e o estado físico.



Considerando as ligações entre um material sólido qualquer, define-se o calor latente como aquele que é desviado para as ligações que mantêm o arranjo cristalino. Assim, essa energia recebida não provoca a mudança de nível de energia do átomo e, portanto, não resulta em mudança de temperatura.

Os processos de transmissão de calor podem ser ilustrados, simplesmente, como a forma como o calor propagou-se. Aqui, a subjetividade da classificação dos processos de condução e convecção pode ser percebida. Nesse ponto, o modelo evidencia a compreensão do que é regime permanente ou estacionário de condução de calor, fundamental quando se inicia o estudo por meio de volumes e superfícies de controle.

Figura 7
Mudança de estado físico.

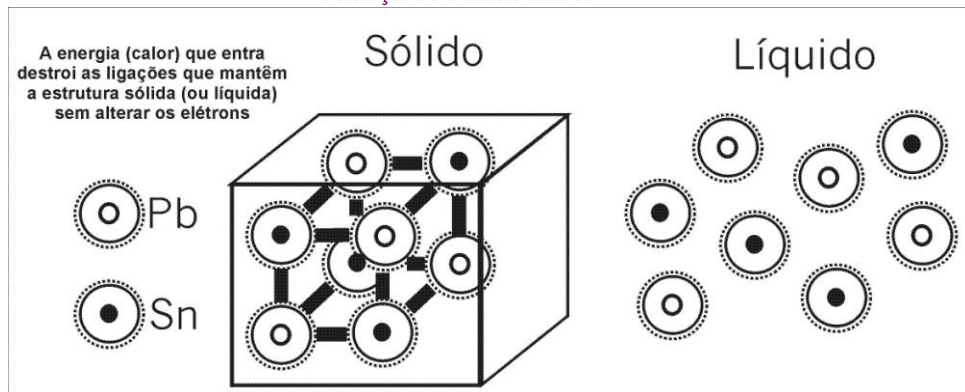
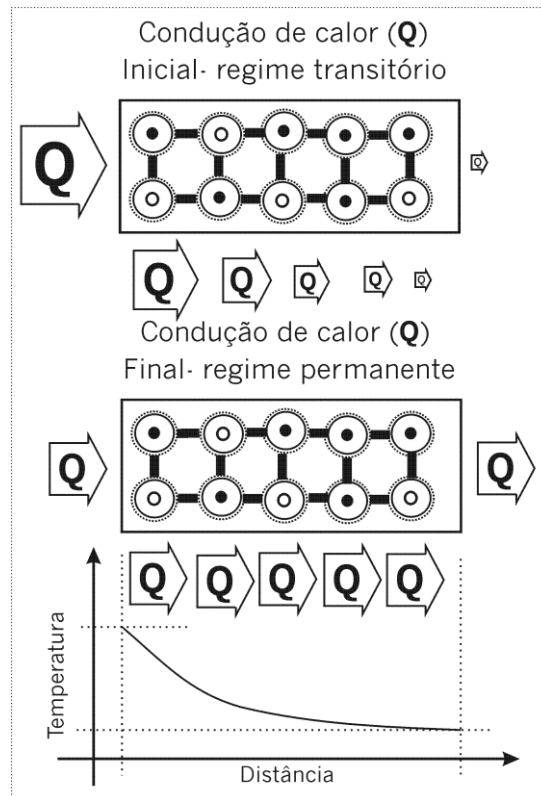


Figura 8
Condução de calor em regime transitório e permanente.



As estratégias que apresentamos permitem uma abordagem mais próxima da aplicação tecnológica, que perpassa pela perfeita assimilação dos conceitos fundamentais. Nessa forma de estudar a terminologia, a necessidade do cálculo diferencial e integral torna-se visível, uma vez que não existem mais constantes, e sim faixas de validade em que as variações são muito pequenas. Pode-se ilustrar e exemplificar, por meio de cálculos comparados, a diferença entre uso e não uso do cálculo, no caso de se apresentar este estudo para cursos de níveis superiores.

4. Considerações finais

Face ao exposto, percebe-se que a interdisciplinaridade exige que o professor tenha suporte para aprofundar-se nas áreas circunvizinhas ao seu campo de atuação. Metaforicamente falando, é necessário construir uma história e não apenas decorar os nomes das personagens. O atual ensino privilegia a memorização dos nomes e do comportamento das personagens, mas não aborda a interação entre elas. Dessa forma, o aluno chega ao final do ciclo básico conhecendo todas as personagens do romance, mas não sabe o que se passou na vida de cada uma delas, impossibilitando um final do tipo “felizes para sempre!”. Na Química ele estuda o átomo, mas não percebe que seu comportamento explica o calor. Ao falar em Biologia, não se emprega o átomo para explicar que a ressonância é fundamental para que ocorra a fotossíntese, e muitos exemplos ainda poderiam ser citados.

Para que a interdisciplinaridade seja efetiva o professor precisa saber transitar entre as áreas, e o principal obstáculo está dentro das academias, onde o ensino superior ainda é compartimentalizado. É necessário romper o ciclo com a formação continuada do professor, aplicando um ensino interdisciplinar ou por projetos no ensino superior. Como diz um provérbio português, “ninguém dá o que não tem”.

Referenciais bibliográficos

- BRASIL, Parâmetros Curriculares Nacionais: ensino médio. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica, 1999.
- BRASIL, PCN+ Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais: ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Brasília: Ministério da Educação, Secretária de Educação Básica, 2002.
- FAZENDA, Ivani. *Interdisciplinaridade: história, teoria e pesquisa*. 4 ed. Campinas: Papirus, 1999.
- _____. *Interdisciplinaridade: Um projeto em parceria*. São Paulo, 1991.
- _____. *Práticas interdisciplinares na escola*. (ORG.) 2ª ed. ed. São Paulo: Cortez, 1993.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. *Fundamentos de física*. Rio de Janeiro: LTC, 1996.
- HERNÁNDEZ, Fernando; VENTURA, Montserrat. *A organização do currículo por projetos de trabalho: o conhecimento é um caleidoscópio*. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.
- MORIN, Edgar. *Os Sete Saberes necessários à Educação do Futuro*. 2ª ed. São Paulo: Cortez, 2000.
- MOURA, Dácio Guimarães; BARBOSA, Eduardo F. *Trabalhando com Projetos: Planejamento e Gestão de Projetos Educacionais*. Editora Vozes, Petrópolis-RJ, 2006.
- SEARS, Francis; YOUNG, Hugh D.; ZEMANSKY, Mark W. *Física*. Rio de Janeiro: LTC, 1996.
- SERWAY, Raymond A.. *Física: para cientistas e engenheiros com física moderna*. Rio de Janeiro: LTC, 1996.