
PLANEJAR O ENSINO CONSIDERANDO A PERSPECTIVA DA APRENDIZAGEM: UMA ANÁLISE DE ABORDAGENS DIDÁTICAS NA INTRODUÇÃO À FÍSICA TÉRMICA⁺*

Orlando Aguiar Jr.

Faculdade de Educação – UFMG

Belo Horizonte – MG

Resumo

Este artigo apresenta uma revisão de propostas didáticas para a introdução à Física Térmica, fundamentadas e documentadas pela pesquisa, o que permite contrastar os elementos com os quais dialoga o educador em ciências ao conceber o ensino. A busca de convergência entre a perspectiva do ensino e da aprendizagem exige que se considerem, no planejamento, não apenas a estrutura do conhecimento a ser ensinado, mas também a forma de pensar dos estudantes sobre estes conteúdos e a dinâmica dos processos de aprendizagem em sala de aula. Concluímos afirmando que a atenção aos processos de formação conduz, necessariamente, a um relaxamento dos compromissos de rigor e fidelidade com os conhecimentos científicos estabelecidos.

Palavras chave: *Planejamento do ensino, construtivismo, Física Térmica (ensino).*

Abstract:

This paper presents a review of teaching approaches in introductory courses about Thermal Physics. As the approaches are based and re-

⁺ Planning teaching from a learning perspective: an analysis of didactic approaches in the introduction to thermal physics

* *Recebido: junho de 2001.
Aceito: maio de 2002.*

ported by research it was possible to contrast elements considered by science educators in designing teaching activities. Research based teaching sequences must consider not only the structure of knowledge to be taught, but also students' ways of reasoning about these contents and the dynamism of learning processes in classroom settings. In conclusion, we assert that an attention to learning processes brings, necessarily, to reduce the rigor and fidelity with the established scientific knowledge.

Keywords: *Teaching design, constructivism, Thermal Physics (teaching).*

I. O educador e a ação de planejar o ensino

A educação, o ensino e o currículo são práticas sociais e culturais intencionadas e sistemáticas, ou seja, ações que podem ser projetadas, representadas e concebidas antes de sua realização. Através do planejamento, busca-se racionalizar a ação. O plano de ensino confere à ação pedagógica uma direção preferencial, entre tantas outras possíveis, na expectativa de torná-la mais efetiva. No cenário educacional, as metas costumam ser muito generosas; o tempo e os recursos, limitados. Nesse sentido, o planejamento busca otimizar a ação docente.

Por outro lado, a prática pedagógica nutre-se de incertezas e imprevisibilidade: não se pode, certamente, antecipar o curso das interações, retroações e regulações humanas nas quais se situam o ensino e a aprendizagem. Embora possa ser dirigido por idéias e intenções, o resultado do ensino não pode ser previsto ou antecipado antes de sua realização. Por isso, deve-se entender o planejamento, segundo MORIN (1996, p. 284), como “*estratégia*” e não como “*programa*”. O programa consiste em uma cadeia de passos prescritos a serem seguidos rigorosamente e em seqüência; a estratégia, ao contrário, é a arte de trabalhar com a incerteza, compondo cenários de ação que podem se modificar em função de informações, acontecimentos e imprevistos que sobrevenham no curso das ações, em seu conjunto. Na medida em que os estudantes operam com sistemas de conhecimentos, com identidade própria e distinta daquela que caracteriza o pensamento científico – objeto do ensino – torna-se evidente a necessidade de um projeto educativo que se caracterize como estratégia de interações possíveis e desejáveis entre esses dois sistemas de conhecimentos.

O planejamento é, então, uma espécie de guia da ação, porquanto projeta valores, idéias motoras, princípios sobre os quais se organiza e concebe a ação. Sua função é a de orientar e fundamentar escolhas, mas nunca de controlar ou determinar o curso das práticas. Assim sendo, os planos são transformados e recriados ao longo de sua implementação.

Um plano de ensino excessivamente genérico não é suficiente para orientar o desenvolvimento das ações, tampouco para definir a formulação de hipóteses de trabalho a serem examinadas quando de sua implementação prática. Por outro lado, planejamentos excessivamente rígidos e detalhados e uma grande segurança didática podem conduzir à manutenção de metas de aprendizagem, sem modificações (VILLANI, PACCA, 1997). A esse respeito, SACRISTAN afirma:

“Os planos, resumidos como esquemas flexíveis para atuar na prática, proporcionam segurança ao professor/a; assim, abordarão com mais confiança os aspectos imediatos e imprevisíveis que lhe são apresentados na ação. O plano prévio é o que permite, paradoxalmente, um marco para a improvisação e criatividade do docente. O plano delimita a prática mas oferece um marco de possibilidades abertas. (1998, p.279)”

Diversos autores (SACRISTAN, 1998; VILLANI, PACCA, 1997) têm enfatizado a importância do planejamento do ensino como competência profissional básica de educadores, bem como sua relevância estratégica em programas de formação inicial e continuada. O plano de ensino facilita processos de comparação, comunicação e revisão, na medida em que leva o educador a expor e justificar suas práticas, a fundamentar os princípios e hipóteses nos quais se apóiam suas ações. Nesse sentido, o planejamento do ensino, submetido a exame rigoroso e atento, potencializa a reflexão sobre a prática docente. Segundo SACRISTAN (1998, p. 199):

“...o ensino pode ser concebido como uma atividade e uma profissão de planejar, situada entre o conhecer e o atuar”. Para o autor “um baixo nível de dedicação a uma atividade previsora e reflexiva como é o planejar, significará atividade profissional pouco autônoma ou alto nível de dependência” (p.201).

Ele destaca, ainda, a importância de se reconhecer no planejamento os condicionantes das práticas – como, por exemplo, a heterogeneidade e o número de estudantes por classe –, seu caráter situado e o fato de que os docentes, embora sejam seus principais atores, não são os únicos responsáveis pelo planejamento do currículo.

Nessa perspectiva, o planejamento do ensino de um tópico de conteúdo de ciências envolve as seguintes ações por parte do educador:

- O reconhecimento das formas de entendimento prévio dos estudantes;
- A demarcação do que se pretende ensinar e do nível de compreensão que se espera promover;
- A indicação de níveis intermediários de compreensão que possam compor um sentido e uma progressão nas formas de entendimento dos estudantes;

- O planejamento de atividades e instrumentos de mediação que permitam colocar desafios, pôr em questão novos problemas, introduzir novas informações, indicar caminhos para a solução dos problemas e incrementar a reflexão;
- O reconhecimento dos diferentes esquemas conceituais envolvidos nos desafios propostos;
- A elaboração de um projeto abrangente de avaliação, que permita destacar os progressos e as dificuldades dos estudantes na consolidação das metas de aprendizagem;
- A flexibilização do planejamento inicial em função dos interesses, expectativas e características do saber prévio dos estudantes. Para o desenvolvimento dessas ações, é preciso conhecer o tipo de realidade em que a ação se desenvolve – condicionantes da prática – como operam e funcionam os processos de aprendizagem que se pretende desencadear e qual é a natureza dos conteúdos do ensino e suas relações com os conhecimentos prévios dos estudantes. Desse modo, o planejamento do ensino pode ser desenvolvido considerando resultados de pesquisas em ensino de ciências que têm permitido situar padrões e tendências de raciocínio espontâneo sobre o mundo físico.

Pode-se dizer que o marco da imprevisibilidade das reações pessoais dos estudantes e do coletivo de uma classe situa-se no bojo de um conjunto bem definido de modos de pensar, cujo mapeamento geral se encontra hoje razoavelmente bem estabelecido¹, o que permite situar e justificar racionalmente as diretrizes para a ação didática. Entretanto, o conhecimento sobre as concepções dos estudantes acerca dos conteúdos do ensino de ciências não é suficiente para designar um plano ou uma estratégia para a ação educativa no sentido de favorecer o progresso dos estudantes. Alguns autores (WHITE, 1994, LIJNSE, 1995, VIENNOT, CHAUVET, 1997) têm realizado pesquisas em micro-escala, buscando orientar objetivos e estratégias para o ensino de tópicos de conteúdo, uma vez que seus resultados não podem ser facilmente generalizados.

O trabalho de LIJNSE (1995) aponta para uma tensão entre a direção dada pelo ensino e a necessária liberdade – própria dos processos de aprendizagem autêntica, significativa e duradoura. Essa tensão entre “liberdade pela base” (*freedom from below*) e “direção pelo topo” (*guidance from above*) só pode ser regulada, empiricamente, por aquilo que o autor denomina “pesquisa evolutiva” (*development research*), processo cíclico de investigação no qual intercalam-se os seguintes elementos: reflexão teórica,

¹ A identificação dessas formas de pensar têm levado alguns autores a postular a existência de um marco bem estabelecido de crenças e suposições básicas, nos níveis ontológico e epistemológico, sobre o qual opera a dinâmica aberta e flexível da cognição situada (POZO; GÓMEZ CRESPO, 1998; VOSNIADOU, 1994; NEIDDERER; SCHECKER, 1992).

análise conceitual, desenvolvimento do currículo em micro-escala e pesquisa de processos de interação em sala de aula. Da conjunção desses esforços de pesquisa resultam propostas, empiricamente sustentadas, de uma possível “*estrutura didática*” para tópicos de conteúdos.

Situamo-nos nessa linha de investigação e propomos um modelo de ensino² visando aproximar e ajustar as estratégias de ensino aos processos de aprendizagem. A pesquisa educacional dispõe atualmente de um amplo referencial teórico que concebe o conhecimento como processo contínuo e progressivo de estruturação e reestruturação das informações disponíveis, que ocorre por meio de níveis qualitativamente distintos de compreender a realidade e agir sobre ela. Entretanto, o planejamento, a organização e o desenvolvimento de estratégias de ensino têm sido largamente orientados segundo uma concepção de conhecimento que procede segundo uma lógica cumulativa de informações atomizadas.

Organizar um currículo ou um planejamento didático segundo a lógica da aprendizagem, e não de acordo com a lógica das noções que compõem a estrutura da disciplina já constituída, implica considerar o conhecimento enquanto processo. Desse modo, passamos a considerar o “simples” e o “complexo” não mais a partir das noções no interior de uma teoria já constituída, mas a partir das relações e de seu manejo pela inteligência que busca aproximar-se dessa teoria. Halbwachs (1984), a esse respeito, afirma que:

“Se nos situamos na perspectiva do funcionamento da inteligência do sujeito, veremos imediatamente, a partir das pesquisas em psicologia, que existe uma hierarquia (e uma sucessão temporal na história do desenvolvimento), de tal maneira que algumas dentre elas são manejadas mais precocemente e mais facilmente que outras. Essa hierarquia de relações que faz referência ao sujeito pensante é totalmente diferente da hierarquia das noções (simples ou compostas) que se refere ao objeto em si” (p.158).

Para esclarecer as oposições entre o planejamento do currículo centrado na estrutura dos conteúdos e aquele que dialoga com os processos de formação dos estudantes, examinaremos várias proposições, documentadas pelas pesquisas em ensino de ciências, de tratamento didático de tópicos introdutórios à Física Térmica.

² A fundamentação teórica do modelo de ensino a que nos reportamos encontra-se em AGUIAR JR. e FILOCRE (1999) e AGUIAR JR. (2001).

II. Exame de propostas didáticas para a introdução à Física Térmica

Poucos tópicos do ensino de ciências – como a introdução à Física Térmica – permitem destacar, com tamanha evidência, os conflitos entre aqueles que organizam o currículo tendo por referência apenas uma leitura acerca da estrutura lógica dos conteúdos e outros que a submetem, além disso, a considerações a propósito dos processos de aprendizagem, reconhecendo as necessidades formativas dos estudantes, seus conhecimentos e interesses prévios e o modo como reorganizam, ampliam e reformulam seus conhecimentos.

A posição do primeiro grupo é sustentada, sobretudo, a partir da análise de textos didáticos para o ensino de ciências em nível básico, comparando-se suas formulações com as teorias Físicas de referência³. No campo da didática da Física Térmica e da Termodinâmica, tal debate foi introduzido no início da década de 70, com os artigos de ZEMANSKY (1970) e WARREN (1972). Entre os erros cometidos por esses livros na abordagem elementar dos conteúdos de Física térmica, Zemansky destaca:

1º: A referência ao “calor de um corpo”;

2º: O uso de calor (heat) como um verbo;

3º: A introdução do conceito de “energia térmica” significando ora calor, ora energia interna.

O autor afirma que as tentativas de simplificação, evitando-se o uso dos conceitos de energia interna e trabalho, seriam desejáveis se fosse possível, mas, de fato, não é. Para ele, é mais simples definir energia interna em termos das energias cinética e potencial das moléculas e, então, indicar trabalho e calor como duas formas de transferência de energia, o que evitaria o abandono de falsas idéias pelos estudantes em estudos futuros:

“Se o conceito de energia interna é o obstáculo fundamental, é melhor começar a tratá-lo em termos moleculares e focar a atenção dos alunos em Q e W como métodos para a produção de mudanças na energia interna. Acredito que esse tratamento possibilite a

³ Apesar da intenção inicial de analisar criticamente livros didáticos, os estudos que serão aqui examinados elaboram, como contraponto às abordagens dos livros-textos de Física, propostas didáticas para o ensino desse tópico de conteúdo.

transição mais suave entre a Física Térmica elementar e a Termodinâmica genuína.” (1970, p. 300)

A inconsistência lógica dos conceitos, na forma como são apresentados nos textos de Física elementar, é o aspecto mais criticado por WARREN (1972). Além da ambigüidade do conceito de “energia térmica”, o autor menciona o fato de serem evitadas, nessas abordagens, as referências à energia potencial intermolecular, o que gera novas dificuldades no entendimento do conceito de energia interna.

Em artigos posteriores, destinados a discutir a didática do tópico energia no currículo de ciências, WARREN (1982; 1983) defende a idéia de que o currículo de ciências deve comunicar, corretamente e do modo mais simples possível, a estrutura de conhecimentos científicos. Ele considera insatisfatórias tanto as abordagens tradicionais quanto os novos enfoques, nos quais substitui-se o conceito preciso de energia por uma imagem vaga e indefinida de uma substância, à qual é dado o nome “energia”, que se supõe ter uma existência concreta nas experiências cotidianas das crianças.

Para o autor,

“energia é um conceito avançado e abstrato, a capacidade de um corpo de realizar trabalho. É uma medida quantitativa da condição do corpo e deve ser diferenciada, de modo muito cuidadoso, das medidas de processos, como trabalho e ‘transferência’ de calor” (WARREN, 1983, p. 210).

Defendendo a estrutura hierárquica dos conceitos em teorias científicas, Warren considera que nenhuma quantidade científica tem qualquer significado se isolada de conceitos mais elementares a partir dos quais é definida. Sugere que a palavra “energia” seja simplesmente banida do repertório dos professores de Física em níveis elementares, de modo que o conceito possa ser introduzido formalmente, em fases mais avançadas da escolaridade, ancorado com firmeza nos conceitos de força e trabalho.

Em oposição às teses de Warren, mas compondo uma mesma visão formal dos conceitos a serem desenvolvidos pelo ensino, LEHRMAN (1973) faz uma crítica ao modo como o conceito de energia vem sendo apresentado na escola básica, a partir da definição de “*energia como capacidade de realizar trabalho*”. Segundo ele, tal definição apresenta três problemas básicos:

1. É vazia de conteúdo, servindo apenas para efeito de memorização;
2. Deforma a compreensão de problemas sociais importantes acerca da disponibilidade de fontes de energia;

3. Não é correta. Retomando a história da construção do conceito, ele conclui que a energia se torna um conceito na Física na medida em que se postula sua conservação. Assim, “*qualquer definição de energia que não seja baseada na propriedade da conservação é fundamentalmente errada.*” Para o autor,

Energia é uma quantidade que tem a dimensão do trabalho e é conservada em todas as interações. Ela deve ser definida em termos de um conjunto de expressões algébricas, escritas de modo tal, que sua soma não varia quando o sistema em estudo está isolado. A energia transferida de um sistema para outro pode ser denominada trabalho, calor, radiação, uma variedade de nomes dependentes do modo de transferência. E, em cada transformação, a quantidade de trabalho que pode ser realizada diminui. (p. 18)

SUMMERS (1983), ao realizar a análise de textos didáticos de Física elementar sobre o tópico “calor”, destaca equívocos no uso da linguagem na interpretação de fenômenos, sobretudo no campo da calorimetria.

Assim, a equação “*calor cedido = calor absorvido*” conduz à idéia de que o calor, assim como a carga elétrica, é uma grandeza que se conserva e está contida nos objetos. Por sua vez, “a capacidade térmica” dos objetos conduz à interpretação de que os materiais têm capacidade para armazenar “algo” que se denomina calor. Para o autor, as dificuldades poderiam ser contornadas se, no ensino de ciências, não se utilizasse o substantivo “calor” (*heat*), mas os verbos correspondentes ou substantivos derivados destes, que indicam processos, como aquecer (*to heat*) ou aquecimento (*heating*). Além da mudança na linguagem utilizada, Summers defende que a abordagem mais conveniente à introdução à Termodinâmica é aquela que desenvolve um tratamento estatístico para apresentar os conceitos fundamentais de equilíbrio termodinâmico, temperatura, energia interna e entropia em nível microscópico.

Inspirado nessa mesma análise da didática das ciências a partir de considerações acerca do conteúdo das teorias Físicas, MCLLDOWIE (1995) critica o modo como o conceito de energia é introduzido no Projeto Nuffield e em muitos outros textos nele inspirados. Tais abordagens apresentam diferentes formas de energia nas mais diversas situações, estabelecendo cadeias de transferências e transformações de energia na medida em que os processos ocorrem. Segundo o autor, essa abordagem qualitativa e descritiva deve ser abandonada em favor de uma abordagem quantitativa, pois leva os estudantes a pensar em objetos isolados ou em partes individuais de um sistema como possuidores de energia em si mesmos, sem que se faça referência a outros objetos ou partes do sistema. Além disso, conduz à idéia indesejável de uma substância, nomeada de diferentes modos, que é contida e se transfere de um objeto a outro.

Essas observações, realizadas a partir da análise da estrutura dos conhecimentos físicos, visando derivar delas recomendações didáticas, têm sido consideradas insuficientes e equivocadas por duas razões complementares. A primeira é decorrente das metas da educação em ciências na escola básica. Como sinaliza BEN-ZVI (1999), de um lado encontram-se aqueles que defendem um currículo destinado a prever uma sólida formação para aqueles que vão prosseguir nos estudos científicos. Para esses, a questão central da didática consiste em examinar as melhores formas de prover uma visão correta e atual da disciplina, com a máxima precisão dos conceitos apresentados. De outro lado, situam-se aqueles que defendem uma alfabetização científica e tecnológica voltada para todos. Nesse caso, a questão passa a ser como garantir abordagens curriculares que sejam cientificamente significativas e, ao mesmo tempo, relevantes tanto pessoal quanto socialmente.

A segunda razão consiste em examinar, para além das estruturas conceituais da Física, sua gênese histórica e psicogenética e os processos de apropriação de conhecimentos por parte dos sujeitos da aprendizagem. Essa é a tese básica que define a didática das ciências como campo próprio de investigação:

Pode-se destacar que a didática deve, necessariamente, fundamentar-se sobre um bom conhecimento da disciplina ensinada, da psicologia cognitiva e da história da disciplina e que a problemática e a metodologia que ela própria deve elaborar podem permitir, em troca, a colocação de importantes questões à psicologia, à epistemologia da disciplina, e à própria disciplina (VERGNAUD, HALBWACHS, ROUCHIER, 1978, p.14).

As primeiras observações, referentes aos objetivos da educação em ciências, são particularmente importantes quando se consideram questões relativas ao ensino de energia, um dos tópicos em destaque nas abordagens CTS⁴. Para LIJNSE (1990), é necessário distinguir relevância teórica de relevância pragmática na escolha de conteúdos e abordagens de ensino. Propostas como as de SUMMERS (1983) e WARREN (1982), que sugerem a exclusão de tópicos de calor e energia anterior a um tratamento teórico das leis da Termodinâmica, poderiam fazer sentido apenas do ponto de vista da relevância teórica dos conteúdos. Contrapondo-se a eles, Lijnse argumenta que é quase impossível falar fisicamente, de modo correto e consistente, sobre conceitos como calor e temperatura. Para tanto, os físicos valem-se não apenas de definições rigorosas mas sobretudo de uma precisão decorrente do uso de linguagem matemática.

⁴ Abordagens que consideram como conteúdo essencial do ensino de ciências o entendimento das relações entre ciência, tecnologia e sociedade, em suas múltiplas dimensões.

Quanto à relevância prática, o aspecto fundamental é saber como podemos estender o conceito de calor de modo a torná-lo mais útil aos estudantes.

Ao considerar tais aspectos, Lijnse afirma que os objetivos educacionais devem ser repensados, assim como a extensão do desenvolvimento dos conceitos físicos, o que se aplica especialmente ao ensino elementar. Baseando-se, simultaneamente, em perspectivas construtivistas e em abordagens CTS, o autor sugere uma abordagem a partir de três níveis hierárquicos do conceito de energia, resumidos a seguir:

Nível Básico	Trata de situações cotidianas de modo descritivo, a partir de noções intuitivas, sem que seja possível selecionar ou estabelecer limites entre o mundo físico e as experiências pessoais mais amplas.
Nível Funcional	Situa-se como prolongamento do anterior, mas busca a solução de um problema prático. As noções cotidianas são, agora, quantificadas e relacionadas, partindo da idéia de que a energia é algo material que se perde nas transformações. Para reduzir essas perdas, medidas são feitas e seus efeitos podem ser calculados. Os alunos devem ser capazes de argumentar e agir em situações práticas, embora não possam, ainda, desenvolver um sistema explicativo e teórico mais abrangente.
Nível Teórico	Distancia-se do mundo cotidiano e formula sistemas idealizados, a partir dos quais constrói seus conceitos. A perspectiva teórica, nesse novo estágio, deve ser claramente enunciada e proposta como motivo para os estudantes. Isso permite retornar às situações reais, e explicá-las a partir de um sistema teórico coerente, para refletir sobre as realizações do nível anterior e compreender suas limitações. O objetivo não é destruir os modelos anteriores de pensamento, mas refletir sobre eles visando assumir uma perspectiva mais crítica e flexível.

Considerando as dificuldades detectadas no entendimento do conceito de energia, vários autores (SCHLICHTING, 1979; DUIT, 1981; DUIT; HAUSSLER, 1994; BEN-ZVI, 1999) defendem, como Lijnse, abordagens evolutivas e gradualistas, nas quais as concepções dos estudantes sejam ponto de partida de progressos posteriores, evitando rupturas dramáticas, posto que os estudos indicam que elas, de fato, não acontecem. Segundo DUIT (1981), a descrição de processos variados que envolvem energia, à maneira de um combustível que realiza trabalho útil, provê uma descrição semântica inicial, que pode servir como âncora para conceituações futuras.

Quanto à conservação da energia, o autor entende que deve ser ensinada e explorada passo a passo, a partir de pequenos exemplos, incluindo não apenas sistemas mecânicos idealizados mas ainda experimentos nos quais se observam mistura de líquidos a diferentes temperaturas e reações químicas.

DUIT e HAUESSLER (1994) sugerem que sejam desenvolvidos aspectos do conceito cotidiano de energia que encontrem correspondência com aspectos do conceito científico. Assim como outros autores (SCHLICHTING, 1979; BEN-ZVI, 1999), indicam que o conceito cotidiano de energia corresponde ao conceito científico de energia livre – quantidade máxima de energia que pode ser obtida de um sistema quando este interage com a vizinhança – o que pode ser melhor conduzido pelo ensino, desde que os quatro aspectos do conceito – transformação, transferência, conservação e degradação – sejam desenvolvidos conjuntamente. Afirmam, ainda, considerando-se a conservação de energia, o que não ocorre no conceito cotidiano, o modelo quase-material⁵ de energia pode ser útil no desenvolvimento do conceito. Concluem dizendo que, embora a abordagem por eles proposta seja largamente influenciada pelas questões de energia na vida social, os conceitos que se pretende desenvolver são aceitáveis do ponto de vista científico.

BEN-ZVI (1999) propõe um módulo didático no qual desenvolve a idéia de conservação da energia associada à degradação. Para isso, parte da análise de situações e de sua representação por meio de diagramas, que indicam as transformações de energia e a “perda de qualidade” das quantidades correspondentes em realizar “trabalho útil”. A seguir, outras situações são apresentadas, com grau crescente de complexidade, em contextos que envolvem, também, conhecimentos químicos e biológicos, e solicita-se aos alunos procederem a uma análise semelhante à realizada anteriormente. Duas idéias centrais são destacadas nesse módulo didático:

1. a energia pode ser convertida de uma forma a outra mas, em cada transformação, uma parte dela é convertida em calor e, então, a capacidade de realizar trabalho diminui;

2. o trabalho é realizado quando um processo espontâneo (p.ex. a queima de um combustível em uma máquina térmica) é acoplado a outro processo não-espontâneo (p.ex. erguer um peso), o que causa a ocorrência deste.

Vários procedimentos de avaliação foram realizados, com resultados favoráveis no que se refere tanto ao aspecto conceitual quanto ao atitudinal, em relação à ciência e aos conteúdos científicos escolares.

⁵ O modelo quase material consiste em afirmar que a energia, como uma espécie de combustível, faz funcionar os aparelhos e se acaba assim que é utilizada.

A partir de análise dos conhecimentos prévios dos estudantes israelenses, em que constata uma grande adesão aos modelos antropomórfico, causal e produtivo⁶, TRUMPER (1990, 1991) elabora duas seqüências didáticas destinadas a promover mudanças. Segundo o autor, tais concepções não seriam inaceitáveis ou contraditórias em relação à perspectiva científica, mas apenas limitadas e restritivas. As mudanças almejadas seriam, portanto, do tipo evolutivo. No primeiro estudo, o autor utiliza-se de estratégias de comparação de eventos, buscando criar um modelo mais generalizado, a partir da perspectiva antropomórfica. No segundo, parte da idéia de energia como depósito ativo ou como produto de processos, para criar, por reestruturação dessa idéia, um novo esquema de maior generalidade, no qual as transformações e transferências de energia são vistas como inerentes a toda e qualquer interação entre fenômenos.

KESIDOU e DUIT (1993) propõem uma abordagem em que a idéia de irreversibilidade dos processos desempenhe um papel central. Para isso, entretanto, consideram necessário rever a abordagem de conceitos básicos da Física Térmica. Os autores sugerem maior ênfase na diferenciação entre calor e temperatura e nos processos que conduzem os sistemas espontaneamente ao equilíbrio térmico de modo a sustentar uma compreensão do conceito científico de energia, incluindo idéias qualitativas acerca da segunda lei da Termodinâmica.

ARNOLD e MILLAR (1994) propõem que, na introdução aos conceitos da Física Térmica, os conceitos de calor e temperatura sejam desenvolvidos e considerados simultaneamente, o que inclui ainda o conceito central de equilíbrio térmico⁷. Juntos, esses três elementos compõem uma “estória científica básica” que constitui objeto do ensino elementar. Os autores recomendam, ainda, considerar os seguintes aspectos:

1. ao se tratar de fluxos de calor, é fundamental reconhecer as fronteiras e levar em consideração todos os elementos que interagem com o sistema;
2. é necessário prover o conhecimento de uma organização numa teoria consistente, mediante o ensino explícito de estratégias metacognitivas;
3. o modelo científico (ou “estória”) deve ser apresentado explicitamente pelo ensino e ser por ele suportado, uma vez que não pode ser elaborado, indutivamente, a partir de evidências empíricas.

⁶ O modelo antropomórfico associa energia ao uso e consumo com fins humanos, o modelo causal entende que a energia é causa de processos e o modelo produtivo considera que a energia seja um produto de um processo ou situação Física. Esses três modelos, entre os nove identificados pelo autor, foram destacados com maior ênfase em seus trabalhos.

⁷ Tal recomendação diverge totalmente das observações de VAZQUEZ DIAZ (1987), para quem o conceito científico de calor exige, como pré-requisitos, o conceito de temperatura, em seus aspectos micro e macroscópico, os de energia e suas formas e modos fundamentais de transferência. Como veremos, essa lógica de pré-requisitos é incompatível com os pressupostos do modelo de ensino que propomos.

Em outro artigo, os autores (ARNOLD, MILLAR, 1996) examinam os resultados de um curso concebido a partir de tais pressupostos. A “estória da Termodinâmica” é introduzida, no sentido de um modelo físico, estabelecendo a ontologia da área e suas inter-relações, o que elabora uma narrativa para o entendimento dos fenômenos térmicos. Esse modelo baseia-se na idéia de “fluxos de calor” e é apresentado aos estudantes a partir de um experimento e uma situação análoga – vasilha com água e fluxos de saída e de entrada; explorando e aplicando o modelo em outros contextos e situações. Esses autores discordam frontalmente das recomendações de SUMMERS (1983) e WARREN (1983), pois consideram que:

As crianças precisam de amplas oportunidades de conversar e refletir sobre as experiências cotidianas e laboratoriais com fenômenos térmicos, se esperamos que elas distingam as idéias de temperatura (uma propriedade intensiva) e de energia interna (uma quantidade extensiva). Ao fazê-lo, elas, inevitavelmente, usarão a palavra ‘calor’ em seu sentido cotidiano, que compreende tanto a noção de uma quantidade estocada quanto a de uma quantidade em trânsito (ARNOLD, MILLAR, 1996, p. 252).

Os resultados foram considerados satisfatórios⁸ pelos autores – em torno de 65% dos estudantes foram bem sucedidos nas tarefas propostas, o que variou bastante conforme a situação apresentada. Entre as dificuldades ainda presentes nas situações de pós-teste, os autores destacam:

1. permanência da dicotomia calor x frio;
2. calor, considerado como propriedade dos materiais;
3. confusão entre calor e temperatura;
4. raciocínio causal linear, cadeia de eventos um tomado como causa do seguinte e assim sucessivamente.

SCIARRETA et al. (1990) sugerem que se dê maior atenção ao processo que conduz ao equilíbrio, em lugar de apenas focar estados de equilíbrio. Tendo em vista que as sensações ao tato são fortemente condicionadas pela constância da temperatura do corpo humano, recomendam maior atenção a essa característica e às interações ativas por meio das quais se adquirem informações sobre o estado térmico dos materiais.

⁸ Tratava-se de alunos pertencentes a grupos étnicos com dificuldade com a língua inglesa, o que torna os resultados favoráveis em relação ao desempenho escolar dos estudantes.

DRIVER et al. (1994) propõem iniciar a abordagem desse tópico do programa pelas mudanças resultantes do aquecimento dos materiais, diferenciando o processo de transferência de energia (heating) das mudanças que este acarreta – variações de temperatura, dilatação, mudanças de estado físico e reações químicas. Nesse primeiro tópico, destacam a questão de considerar tanto o aquecimento como o resfriamento como resultado de um único modelo mental de transferência de energia. A mudança mais abrangente envolve situar o aquecimento e o resfriamento no contexto de mudanças em geral, reconhecendo que todas elas constituem processos de transferência de energia. O objetivo é reconhecer uma grande gama de mudanças que resultam de processos de transferência de energia . Se a energia é transferida para ou de uma substância, ela vai, conseqüentemente, modificar sua temperatura, seu volume, seu estado físico ou transformar-se em uma diferente substância. A temperatura é o segundo tópico de conteúdo da proposta, destacando-se como propriedade intensiva, mediante inúmeras analogias e experimentos. O desafio consiste em distinguir o processo de transferência de energia e seus efeitos, o que envolve um refinamento do modelo causal adotado pelos estudantes. Outro tópico da proposta implica controle dos processos de transferência de energia.

MAK e YOUNG (1987) concordam com o diagnóstico de SUMMERS (1983), mas não consideram a solução satisfatória, porquanto as formas verbais correspondentes ao calor e suas variações são ambíguas. Assim, em inglês, a forma *heating*, na linguagem cotidiana, pode significar tanto o processo de transferência de energia quanto o aumento de temperatura. Entretanto, na Termodinâmica, os fluxos de calor nem sempre acarretam variações de temperatura. Por outro lado, a expressão “fluxo de calor” seria, segundo os autores, menos problemática, porquanto o termo “fluxo”, no uso cotidiano, não diz respeito apenas a objetos tangíveis, mas aplica-se também a processos, do mesmo modo como a expressão “trabalho realizado”. Os autores argumentam ainda que, na escola básica, os conceitos devem ser reconhecidos pelos estudantes como úteis e significativos. Nesses níveis de ensino, demandas de precisão e elegância devem ser secundarizadas, o que os leva a não recomendar a apresentação de definições formais, como as formuladas por ZEMANSKY (1970). Avaliam que as dificuldades associadas à definição de calor no ensino elementar se devem à inexistência de um conceito operacional isento de contradições. Como solução para o impasse, propõem:

1. ênfase na diferença entre estados, ou funções de estado, e processos, o que permitiria distinguir energia interna de calor e trabalho;
2. identificação dos sistemas em interação a partir da análise de situações concretas.

A propósito da conceituação de calor em cursos elementares de Física, e em oposição às sugestões de SUMMERS (1983) e WARREN (1972; 1982), MORENO et

al. (1987), assinalam três diferentes objeções: a primeira delas consiste em afirmar que a eliminação do uso do substantivo “calor” dos repertórios de ensino não resolveria o problema, pois, dado seu amplo uso na linguagem comum, mesmo que isso seja feito no ensino, não haveria razões para crer que os alunos também o fizessem. O trabalho didático consiste em reinterpretar o significado das palavras e não em propor seu desaparecimento artificial. Como segunda objeção os autores destacam que o perigo da substancialização do conceito de calor estará presente em qualquer esquema didático que se proponha. Resulta de um modo de pensar que tem raízes profundas na linguagem e nos modos de pensar cotidianos. Finalmente, os autores afirmam ser razoável a proposição de níveis de abordagem de conteúdos que apresentem um salto menos brusco entre as concepções de partida dos estudantes e as metas de aprendizagem.

No Brasil, as pesquisas de maior abrangência relacionadas à didática da Física Térmica foram desenvolvidas junto a estudantes do Ensino Médio e tiveram resultados bastante discrepantes. O trabalho de TEIXEIRA (1992) está centrado no desenvolvimento de explicações causais para os fenômenos térmicos e na diferenciação entre calor e temperatura. Para tanto, a autora recorreu a várias estratégias em ambientes construtivistas de ensino e aprendizagem, junto a quatro escolas das redes pública e particular de São Paulo. Na análise de dados, ela elaborou categorias correspondentes a três níveis de entendimento:

I. simples descrições dos fenômenos em termos de qualidade dos materiais, apoiadas nos observáveis e não em coordenadas⁹;

II. causalidade solidária a mecanismos que envolvem observáveis ligados às coordenadas – dividido em quatro subcategorias, desde a atribuição da oposição entre frio e quente até o modelo substancialista;

III. causalidade solidária a coordenadas que envolvem elementos não-observáveis – também dividido em quatro subcategorias, segundo a coerência com o modelo substancialista ou cinético e, ainda, conforme as lacunas nas explicações que elabora.

Os resultados deste estudo não foram considerados satisfatórios, uma vez que, após algum tempo do ensino, prevaleciam as explicações alicerçadas no modelo substancialista do calor ou, também, que não levam em conta o processo, consistindo em simples descrições dos fenômenos em termos de qualidade dos materiais, sem estabelecer diferenciação entre calor e temperatura (TEIXEIRA & CARVALHO, 1998; TEIXEIRA, 1992).

⁹ Segundo Piaget (1976), observáveis são os aspectos que o sujeito, num dado momento de seu desenvolvimento e em dadas circunstâncias, crê observar em suas ações e nos objetos com os quais interage. As coordenadas são inferências elaboradas pelo sujeito compondo observáveis entre si, estabelecendo relações, ordenando-os e classificando-os.

SILVA (1995) realiza um estudo destinado a acompanhar trajetórias cognitivas dos estudantes ao longo do estudo de um tópico de calor e temperatura no Ensino Médio. Utiliza como abordagem a aplicação de questões abertas, solicitando aos estudantes a investigação dos aparelhos que produzem aquecimento e como eles funcionam. As discussões a propósito do funcionamento de um forno de microondas e as comparações com o aquecimento em forno convencional permitiram aos estudantes buscar informações e discutir os processos de transferência de calor. Esse contexto foi utilizado para a apresentação do modelo cinético molecular e a diferenciação entre calor e temperatura. O autor elaborou três categorias:

I. não-uso explícito do modelo cinético-molecular e indiferenciação entre calor e temperatura;

II. uso de elementos do modelo cinético-molecular e indiferenciação entre calor e temperatura;

III. uso de elementos do modelo cinético-molecular e distinção entre calor e temperatura.

Os resultados, ao final do curso, foram considerados favoráveis, com 32%, 41% e 27% dos estudantes, respectivamente, nas categorias I, II e III apresentadas acima. De modo surpreendente, o número de respostas favoráveis elevou-se quando nova entrevista foi realizada mais de dois anos após o término do curso (SILVA, FERNANDEZ NETO & CARVALHO, 1998).

Em nosso trabalho (AGUIAR JR., 2001), estabelecemos metas diferenciadas em curso introdutório à Física Térmica para a 8ª série do Ensino Fundamental. Restringindo-nos à abordagem macroscópica dos fenômenos no contexto de investigação das “regulações térmicas nos seres vivos”, acompanhamos progressos significativos em boa parte dos estudantes da turma. As escolhas e justificativas realizadas ao longo do planejamento deste curso serão objeto da segunda parte deste artigo.

Um dos aspectos que marcam a polêmica em torno da didática da Física Térmica no nível elementar consiste em caracterizar o papel dos modelos microscópicos no desenvolvimento de seus conceitos básicos e fundadores. Alguns autores, como SILVA (1995), CARDENAS e LOZANO (1996) e VAZQUEZ DIAZ (1987), consideram que o modelo microscópico provê um fio condutor explícito e um modelo causal para o desenvolvimento da Termodinâmica. A partir de um estudo exploratório, Cardenas e Lozano concluem que estudantes apresentam uma necessidade natural de encontrar mecanismos explicativos subjacentes de tipo batígeno ou profundo (HALBWACHS, 1977). Entretanto não há evidências empíricas que sustentem o otimismo de VAZQUEZ DIAZ (1987), quando este autor afirma que:

o conceito de calor resulta muito natural uma vez que se conheçam os mecanismos microscópicos de transferência de energia em processos de interação térmica. Esses mecanismos admitem ser representados por modelos causais que são mais fáceis de assimilar e mais satisfatórios para crianças e adolescentes. (p. 236)

Ao contrário desses autores, MILLAR (1997) entende que as dificuldades conceituais enfrentadas pelos estudantes na introdução aos fenômenos térmicos afasta possibilidades de tratamentos conceituais mais refinados. Sugere, então, que o modelo substancialista do calor é mais apropriado a essa realidade e destaca várias de suas aquisições que podem ser efetivamente alcançadas pelo ensino. Entre elas, o autor enfatiza o entendimento das diferenças entre grandezas intensivas e extensivas – temperatura e calor –, o reconhecimento de que o calor se transfere espontaneamente de um corpo de maior temperatura para outro a temperatura mais baixa e a efetividade de materiais destinados a diminuir a taxa de fluxo de calor. O autor defende a relevância prática desse modelo, que, embora constitua uma simplificação da visão científica mais abrangente, é extremamente útil a engenheiros e biólogos.

Do mesmo modo, LINN e SONGER (1991) apresentam versões consecutivas de um curso destinado a desenvolver conceitos básicos da Física Térmica, elaborados a partir de um “modelo pragmático” de fluxos de calor, que os autores consideram mais adequado às demandas cognitivas do currículo na escola básica. O refinamento sucessivo do curso foi feito visando aproximar as metas do ensino das necessidades e possibilidades dos estudantes. HALBWACHS (1978), em um artigo em que exemplifica a necessidade de se adequar a estrutura dos conteúdos do ensino às demandas e necessidades do desenvolvimento conceitual dos estudantes, defende a aquisição de estruturas de conservação a partir do modelo substancialista do calor:

*Ressuscito o calórico, porque a experiência mostra que as crianças possuem essa idéia de uma substância, e ela pode lhes ser muito útil, ela pode lhes servir de suporte para a idéia da conservação – idéia que, sem isso, somos obrigados a expor como um princípio ou um postulado, porque não devemos nos esquecer de que é essa conservação que **constitui** a noção de quantidade de calor, tanto no plano epistemológico quanto no plano psicológico, já que a própria medida da quantidade de calor, a definição de caloria, a comparação de calores específicos, etc., tudo repousa sobre **uma afirmação a priori da conservação**. Conservação que é impossível de se verificar pela experiência, já que não se sabe, ainda, medir as quantidades de calor. Logo, essa substancialização é uma intuição muito forte que conduz a criança, de maneira eficaz, à formação da*

noção de calor e a sua quantificação” (HALBWACHS, 1978, p.35, grifos do autor).

Podemos concluir, dizendo que são diversas e imprevisíveis as demandas cognitivas dos estudantes. Não é possível, previamente, garantir que tal ou qual modelo causal – substancialista ou mecanicista, macro ou microscópico – irá satisfazer suas necessidades de conferir explicações aos fenômenos. Parece-nos, entretanto, razoáveis as considerações a propósito da utilidade pragmática dos modelos que, como tais, não são, falsos ou verdadeiros. Os modelos físicos são adequados a um certo domínio de fenômenos enquanto possibilitam condições de explicar e prever as transformações reais a partir de transformações operatórias realizadas com base em seus pressupostos. Nesse sentido, seria tão conveniente tratar dos modelos do calor como substância imponderável, quanto lidar com modelos ondulatórios para a luz. Os primeiros restringem-se a fenômenos nos quais não há realização de trabalho; os segundos, aos fenômenos de propagação da luz.

III. Considerações Finais

Apresentamos, ao longo deste artigo, proposições diversas quanto ao ato de conceber e planejar abordagens didáticas de um tópico de conhecimento – os conceitos elementares da Física Térmica. O exame dos resultados e a análise dos diversos estudos indicam-nos a insuficiência da análise interna de conteúdos no interior de uma teoria já constituída como forma de conceber e organizar seqüências de ensino.

Entendemos que, em uma perspectiva construtivista do ensino e da aprendizagem, a ênfase em aspectos ligados à estrutura formal do conhecimento científico é deslocada para uma ênfase nos processos de construção, formalização e gênese. Esses dois aspectos da estrutura e da gênese dos conhecimentos são complementares, mas suas relações no campo da pedagogia envolvem compromissos que apontam para direções contrárias (MACEDO, 1994).

De um ponto de vista estrutural, importa verificar a fidelidade do saber ensinado em relação ao saber sábio, o rigor de suas proposições e definições, o sentido unívoco dado aos conceitos e seu lugar na estrutura do campo disciplinar. Aponta na direção de um estado de conhecimentos bem estabelecido, que deve ser trilhado de maneira precisa, com o mínimo de desvios e erros. É impossível pensar em educação sem um mínimo de compromisso com estruturas de saberes consagrados, aos quais a cultura de uma dada sociedade confere valor especialmente relevante, a fim de constituírem elementos que compõem a formação básica de suas crianças e jovens. Entretanto, o excesso de formalismo e a elaboração de metas de aprendizagem, excessivamente apegadas às estruturas conceituais de saberes especializados, conduzem, freqüentemente, ao dogmatismo, ao verbalismo inútil e improdutivo e ao

distanciamento entre os processos de escolarização e as realidades da vida contemporânea.

A ênfase nos processos de formalização ou gênese, pelo contrário, conduz a uma ação pedagógica mais centrada em caminhos e processos, pois se refere a um conhecimento que é sempre um *vir a ser*. Nesse sentido, apontam para a evolução de modelos de pensamento progressivamente mais abstratos e inclusivos, sem, com isso, perder seu contato com as realidades, nas quais se pretende intervir, contando com instrumentos qualificados para a ação e reflexão. Cada conceito, formado num dado contexto de aprendizagem, deverá dar lugar, em outros momentos e circunstâncias, a novas reflexões e superações, em um processo contínuo de reestruturações cognitivas.

Enquanto a estrutura se refere a um saber unívoco, de autoridade, já constituído, a gênese comporta uma pluralidade de vozes e perspectivas, o que exige estratégias de persuasão e convencimento. O ensino não poderia desconhecer a estrutura das teorias científicas, tampouco ignorar a dinâmica dos processos de construção, ou gênese, desses saberes. A opção pelos processos de formalização e construção de conhecimentos não pode negar o caráter cultural do ensino e da educação. Se pretendemos introduzir nossos jovens no mundo da ciência, fazendo-os refletir sobre seus impactos e produtos, apreciar a beleza de suas construções teóricas, saber o que é e como trabalha a ciência, isso requer metas de aprendizagem bem definidas e uma dada direção ao processo.

Além disso, a perspectiva adotada quanto ao planejamento de seqüências de ensino e a análise dos trabalhos examinados permitem, ainda, concluir que:

1. Não existe um caminho único e necessário para o aprender;
2. As opções didáticas são sempre tributárias de ênfases curriculares, explícita ou implicitamente consideradas pelos educadores;
3. Os resultados do ensino são imprevisíveis e as decisões tomadas sempre contingentes;
4. As decisões do planejamento do ensino devem, portanto, ser reexaminadas no curso de sua implementação prática.

A situação pedagógica é uma situação complexa, de dimensões múltiplas e, muitas vezes, contraditórias, na qual o professor deve agir da melhor maneira possível, com base em diversos saberes. Acertadas ou não, a situação pedagógica obriga a tomadas de decisão, muitas vezes, em situação de urgência. Dado o caráter contingente do ensino, que atua num espaço de possibilidades, cujo grau de sucesso não se pode prever com segurança, nada garante a justeza de sua orientação, muitas vezes, posteriormente considerada inócua ou equivocada. Em função dessa complexidade, afirmam GAUTHIER e colaboradores, “*o professor deve agir com prudência e reajustar regularmente os meios de que dispõe em função das finalidades que pretende atingir (1998, p. 321)*”. Por outro lado, em certas ocasiões, algumas decisões tomadas

não podem ser modificadas no curso das ações, sob a pena de comprometerem o projeto educativo de que fazem parte. A firmeza é uma das exigências do ofício de educar, como também o é a avaliação crítica e continuada dos processos.

IV. Referências Bibliográficas

AGUIAR JR., O. **Modelo de ensino para mudanças cognitivas**: Um instrumento para o planejamento do ensino e a avaliação da aprendizagem em ciências. 2001. Tese (Doutorado) - Faculdade de Educação, UFMG, Belo Horizonte.

AGUIAR Jr., O.; FILOCRE, J Modelo de ensino para a mudança cognitiva: Fundamentação e diretrizes de pesquisa. **Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 1, n. 1, p. 47-67, 1999.

ARNOLD, M.; MILLAR, R. Children's and lay adults' views about thermal equilibrium. **International Journal of Science Education**, v. 16, n. 4, p. 405-419, 1994.

ARNOLD, M.; MILLAR, R. Learning the scientific 'story': A case study in the teaching and learning of elementary thermodynamics. **Science Education**, v. 80, n.3, p. 249-281, 1996.

BEN-ZVI, R. Non-science oriented students and the second law of Thermodynamics. **International Journal of Science Education**, v. 21, n. 12, p.1251-1267, 1999.

CÁRDENAS, M.; LOZANO, R. Explicaciones de procesos termodinámicos a partir del modelo corpuscular: Una propuesta didáctica. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 14, n. 3, p. 343-349, 1996.

DRIVER, R.; SQUIRES, A.; RUSHWORTH, P.; WOOD-ROBINSON, V. **Making sense of secondary science: support materials for teachers**. London: Routledge, 1994.

DUIT, R.; HAUESSLER, P. Learning and teaching energy. In: FENSHAM, P.; GUNSTONE, R.; WHITE, R. (Eds.). **The content of science: A constructivist approach to its teaching and learning**. London: Falmer Press, 1994. p. 185-200.

DUIT, R. Understanding energy as a conserved quantity – remarks on the article by R. U. Sexl. **European Journal of Science Education**, v. 3, n. 3, p. 291-301, 1981.

GAUTHIER, C.; MARTINEAU, S.; DESBIENS, J. F.; MALO, A.; SIMARD, D. **Por uma teoria da pedagogia: Pesquisas contemporâneas sobre saber docente**. Trad. Francisco P. Lima. Ijuí: Editora Unijuí, 1998.

HALBWACHS, F. Historia de la explicación en Física. In: PIAGET, J. (Org.) **La Explicación en las Ciencias**. Barcelona: Martinez Roca, 1977.

HALBWACHS, F. Structure de la matière enseignée et développement conceptuel. **Revue Française de Pédagogie**, n. 45, p. 33-36, 1978.

HALBWACHS, F. La Física del profesor entre la Física del físico y la Física del alumno. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 2, n. 1, p. 149-166, 1984.

KESIDOU, S.; DUIT, R. Students' conceptions of the Second Law of Thermodynamics: An interpretative study. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 30, n. 1, p. 85-106, 1993.

LEHRMAN, R. Energy is not the ability to do work. **The Physics Teacher**, v. 12, p. 15-18, 1973.

LIJNSE, P. Energy between the life-world of pupils and the world of physics. **Science Education**, v. 74, n. 5, p. 571-583, 1990.

LIJNSE, P. 'Developmental research' as a way to an empirically based "didactical structure" of science. **Science Education**, v. 79, n. 2, p. 189-199, 1995.

LIJNSE, P.; KORTLAND, K.; EIJKELHOF, H.; VAN GENDEREN, D.; HOOYMAYERS, H. (1990). A thematic physics curriculum: A balance between contradictory curriculum forces. *Science Education*, v. 74, n. 1, p. 95-103, 1991.

LINN, M.; SONGER, N. Teaching thermodynamics to middle school students: What are appropriate cognitive demands? **Journal of Research in Science Teaching**, v. 28, n. 10, p. 885-918.

MACEDO, L. **Ensaïos construtivistas**. São Paulo: Casa do Psicólogo, 1994.

MCLLDOWIE, E. Energy transfer – where did we go wrong? **Physics Education**, v. 30, n. 4, p. 228-230, 1995.

MAK, Y.; YOUNG, K. Misconceptions in the teaching of heat. **The School Science Review**, v. 68, n. 244, p. 464-470, 1987.

MILLAR, R. (1997). Comments on: Experimental facts and common ways of reasoning in thermodynamics, by Laurence Viennot. In: TIBERGHIE, A.; JOSSEM, L.; BAROJAS, J. (Eds.). **Connecting research in physics education with teacher education**. London: ICPE.

Available from Internet: www.physics.ohio-state.edu/~jossem/ICPE/

MORENO, J.; GONZÁLEZ, E.; MORENO, A. Consideraciones sobre la Enseñanza del Calor en 2º de BUP. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 5, n. 1, p. 81-83, 1987.

- MORIN, E. **Introdução ao pensamento complexo**. Lisboa: Instituto Piaget, 1990.
- NIEDDERER, H., SCHECKER, H. Towards an explicit description of cognitive systems for research in physics learning. In: DUIT, R.; GOLDBERG, F.; NIEDDERER, H. (Eds.). **Research in physics learning: theoretical issues and empirical studies**. Kiel: IPN, 1992, p. 74-98.
- OGBORN, J. Constructivist metaphors of learning science. **Science & Education**, v. 6, p. 121-133, 1997.
- PIAGET, J. **A equilibração das estruturas cognitivas**. Trad. Marion M. Penna. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1976.
- POZO, J. I.; GÓMEZ CRESPO, M. **Aprender y enseñar ciencia: del conocimiento cotidiano al conocimiento científico**. Madrid: Morata, 1998.
- SACRISTAN, G. Plano do currículo, plano do ensino: O papel dos professores/as. In: SACRISTÁN, G.; PÉREZ GÓMEZ, A. **Compreender e Transformar o Ensino**. 4 ed. Trad. Ernani da Fonseca Rosa. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.
- SCHLICHTING, H. J. Energy and energy waste: A topic for science education. **European Journal of Science Education**, v. 1, n. 2, p. 157-168, 1979.
- SCIARRETTA, M. R.; STILLI, R.; VICENTINI MISSONI, M. On the thermal properties of materials: Common-sense knowledge of Italian students and teachers. **International Journal of Science Education**, v. 12, n. 4, p. 369-379, 1990.
- SILVA, D.; FERNANDEZ NETO, V.; CARVALHO, A. M. Ensino da distinção entre calor e temperatura: uma visão construtivista. In: NARDI, R. (Org.) **Questões atuais no ensino de ciências**. São Paulo: Escrituras, 1998. p. 61-75.
- SILVA, D. **Estudo das trajetórias cognitivas de alunos na diferenciação dos conceitos de calor e temperatura**. 1995. Tese (Doutorado) - Faculdade de Educação, USP, São Paulo.
- SUMMERS, M. Teaching heat – an analysis of misconception. **School Science Review**, v. 64, p. 670-676, 1983.
- TEIXEIRA, O. **Desenvolvimento do conceito de calor e temperatura: A mudança conceitual e o ensino construtivista**. 1992. Tese (Doutorado) Faculdade de Educação, USP, São Paulo.
- TEIXEIRA, O.; CARVALHO, A. M. O ensino de calor e temperatura. In: NARDI, R. (Org.). **Pesquisas em ensino de Física**. São Paulo: Escrituras, 1998. p. 47-60.

TRUMPER, R. Being constructive: An alternative approach to the teaching of the energy concept – part one. **International Journal of Science Education**, v.12, p. 343-354, 1990.

TRUMPER, R. Being constructive: An alternative approach to the teaching of the energy concept – part two. **International Journal of Science Education**, v.13, p. 1-10, 1991.

VAZQUEZ DIAZ, J. Algunos aspectos a considerar en la didáctica del calor. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 5, n. 3, p. 235-238, 1987.

VERGNAUD, G.; HALBWACHS, F.; ROUCHIER, A. Structure de la matiere enseignee, histoire des sciences et developpement conceptuel chez l'eleve. **Revue Française de Pédagogie**, n. 45, p. 7-15, 1978.

VIENNOT, L.; CHAUVET, F. Two dimensions to characterise research-based teaching strategies: Examples in elementary optics. **International Journal of Science Education**, v. 19, n. 10, p. 1159-1168, 1997.

VILLANI, A.; PACCA, J. L. Construtivismo, conhecimento científico e habilidade didática no ensino de ciências. **Revista da Faculdade de Educação da USP**, São Paulo, v. 23, p. 196-214, 1997.

VOSNIADOU, S. Capturing and modeling the process of conceptual change. **Learning and Instruction**, v. 4., p. 45-69, 1994.

WARREN, J. The teaching of the concept of heat. **Physics Education**, v.7, p. 41-44, 1972.

WARREN, J. The nature of energy. **European Journal of Science Education**, v. 4, n. 3, p. 295-297, 1982.

WARREN, J. Energy and its carriers: A critical analysis. **Physics Education**, v.18, n. 209-212, 1983.

WHITE, R. Dimensions of Content. In: FENSHAM, P.; GUNSTONE, R.; WHITE, R. **The content of science: a constructivist approach to its teaching and learning**. London: Falmer Press, 1994. p. 255-262.

ZEMANSKY, M. The use and misuse of the word “heat” in physics teaching. **The Physics Teacher**, v. 8, p. 295-300, 1970.