

Um estudo dos avanços conceituais dos estudantes sobre calor e temperatura decorrentes da aplicação de uma estratégia de ensino inspirada na teoria de Lakatos

A study about students' conceptual development on heat and temperature due to the application of a teaching strategy inspired by Lakatos' theory

Osmar Henrique Moura da Silva¹, Roberto Nardi², Carlos Eduardo Laburu¹

osmarh@uel.br, nardi@fc.unesp.br, laburu@uel.br

¹ Departamento de Física da Universidade Estadual de Londrina, Londrina – PR, Brasil

² Departamento de Educação da Unesp, Campus de Bauru – SP, Brasil

Resumo

Relata-se aqui um estudo sobre a aplicação de uma estratégia de ensino inspirada em Lakatos no ensino formal dos conceitos de calor e temperatura em estudantes do ensino médio. A estratégia pertence a uma linha de investigação que realiza analogias epistemológicas e tem um caráter inovador, relacionado à preparação do estudante para debates racionais entre concepções e/ou teorias rivais por meio de uma Reconstrução Racional Didática (RRD) que visa auxiliar o aprendizado racional de conceitos científicos. Investiga-se os resultados dessa preparação juntamente com os avanços conceituais dos estudantes, analisados por uma metodologia de cunho qualitativo-interpretativo.

Palavras-chave: Ensino de Física, Estratégias de Ensino, Calor e Temperatura, Aprendizado Racional, História e Filosofia da Ciência, Reconstrução Racional Didática.

Abstract

We report here a study about the application of a formal teaching strategy about heat and temperature concepts applied among high school students. The strategy belongs to a research trend which deals with epistemological analogies and has an innovative character related to the students' preparation for rational debates between conceptions and/or rival theories, using didactical rational reconstruction (DRR) which aims to help scientific concepts rational learning. We investigate the outcomes of this preparation and students' conceptual development, analyzed through a qualitative-interpretative methodological approach.

Keywords: Physics Teaching, Teaching Strategies, Heat and Temperature, Rational Learning, History and Philosophy of Science, Didactical Rational Reconstruction.

1. INTRODUÇÃO

O entendimento da aceitação de uma teoria científica, ao superar uma rival, como racional ou irracional é um problema filosófico de demarcação generalizada em que, conforme Lakatos (1978, p. 169), a racionalidade está envolvida. Sendo a racionalidade um tópico central em filosofia da ciência, Matthews (1994, p. 93) defende que ela é importante ao ensino de ciências. Mas o que vem a ser a racionalidade? Atualmente, a racionalidade tem definições em teorias filosóficas/epistemológicas com diferenciações por dois aspectos numa argumentação racional: sobre o papel do julgamento e sobre a dependência ou não de regras. Os modelos clássicos de racionalidadeⁱ apresentaram dificuldades que se mostraram insuperáveis de se esquivar de um infinito regresso da justificação racional do uso de uma regra ao se evitar uma decisão arbitrária. Diante disso, como alternativa, Brown (1988, 1994, 2006) propõe e vem defendendo o modelo de julgamentoⁱⁱ de

racionalidade de, por exemplo, Reiner (1994) e Siegel (2004), ao passo que Siegel (ibid.) propõe um modelo híbrido de racionalidade que envolve julgamentoⁱⁱⁱ e sua conformidade com regras.

Sem o interesse aqui de aprofundar discussões teóricas nesse sentido, pode-se dizer que a estratégia de ensino de Silva et al. (2008a,b) empregada neste estudo apresenta uma tendência ao modelo híbrido de racionalidade. Essa tendência ocorre pela inspiração no critério racional (universal e atemporal) lakatosiano de avaliação e escolha entre programas de pesquisa rivais para auxiliar a educação racional de conceitos científicos. E, em acordo com o modelo híbrido (SIEGEL, 2004, p. 609), quando uma escolha for realizada, o julgamento é racional por satisfazer a tal critério^{iv}.

Para possibilitar discussões racionais em sala de aula, estratégias didáticas (NIAZ & CHACÓN, 2003; NIAZ, 1998; ROWELL, 1989) epistemologicamente ancoradas defenderam a necessidade do desenvolvimento das inteligibilidades das teorias e/ou

concepções científicas nos estudantes, muitas vezes rivais às deles, fundamentadas na tese: para o abandono de uma teoria (ou concepção) é imprescindível que haja o conhecimento de uma rival melhor (KUHN, 1994, p. 108; POPPER, 1972, p. 92; LAKATOS, 1978, p. 35).

Todavia, uma preocupação relacionada a uma maior eficácia do aprendizado racional nessas discussões que foi apontada (MATHEWS, 1994, p. 86; VILLANI ET AL., 1997, p. 41), mas pouco explorada didaticamente, está na preparação dos estudantes para melhor acompanhá-las, percebendo eles os caminhos que conduzem a uma decisão, então racional. No ensino de Física, de situações em sala de aula que partem de pontos de vista conceituais distintos para estabelecer um debate racional, uma conclusão (julgamento) sobre a superação teórica e/ou empírica de um deles somente é alcançada por consenso quando há a predominância de um critério pertinente. No entanto, critérios racionais para avaliação de concepções ou teorias científicas relacionam-se a sistemas de conhecimento específicos que são analisados filosoficamente, mais especificamente, pela filosofia da ciência. De acordo com Chalmers (2000, p. 137), uma posição filosófica na ciência é racionalista por estabelecer um critério universal e atemporal, com referência ao qual se podem avaliar os méritos relativos de teorias rivais^v. Assim, não são critérios que os estudantes naturalmente carregam. Para que um estudante avalie concepções por um critério desejado no processo de ensino/aprendizagem é preciso, primeiramente, que ele o conheça.

Considerando a preocupação acima, o presente estudo objetiva investigar os resultados da aplicação de uma estratégia de ensino inspirada em Lakatos (SILVA et al., 2008a) por ser uma orientação que busca aprimorar a racionalidade nos estudantes, almejando deixá-los mais preparados para esse tipo de processo educacional. Alguns resultados relacionados à preparação racional de uma aplicação dessa estratégia podem ser vistos em Silva et al. (2008b). Diferentemente aqui, de uma aplicação no ensino formal dos conceitos de calor e temperatura em estudantes do ensino médio, além de se apresentar um estudo dessa preparação racional, realiza-se uma análise dos avanços conceituais dos estudantes sobre os conceitos físicos mencionados.

2. A NATUREZA DA METODOLOGIA DA PESQUISA

A metodologia de pesquisa utilizada neste estudo pode ser classificada como de natureza qualitativa-interpretativa em razão de não envolver uma das características comuns de uma abordagem quantitativa, que é, conforme Bogdan e Biklen (1994, ps. 72, 73, 74), a realização de algum tratamento estatístico para análise de dados. O que reforça ainda mais essa classificação são as semelhanças da

presente metodologia com uma definição mais detalhada desse tipo de pesquisa (ibid., ps. 47-51), formada por cinco características. A primeira delas está em admitir que a fonte direta de dados é o ambiente natural numa investigação qualitativa, constituindo o investigador o instrumento principal que frequenta o local de estudo por se preocupar com o contexto, entendendo que as ações podem ser mais bem compreendidas quando são observadas no seu ambiente habitual de ocorrência. O fato de se estudar aqui uma situação de ensino e de aprendizagem no ambiente mais comum em que ela se encontra numa escola, que é dentro de uma sala de aula, onde o educador é o próprio autor desta pesquisa, revela essa primeira característica. A segunda característica da investigação qualitativa é que ela é descritiva. Para isso, os dados são recolhidos em forma de palavras ou imagens e não de números, incluindo transcrições de entrevistas, vídeos... . Essa segunda característica também está presente neste estudo, no qual os dados são constituídos pelas respostas escritas (comentários dos alunos) em questionários e, possivelmente, de transcrições de discussões de interesse que tenham sido filmadas em classe. A terceira característica está no investigador qualitativo interessar-se mais pelo processo do que simplesmente pelo resultado ou produto. O interesse volta-se mais em buscar entender como é que as pessoas negociam os significados, entender como é que determinadas noções começaram a fazer parte daquilo que se considera ser o senso comum. Semelhantemente a essa característica, durante a aplicação desta estratégia, procura-se estudar o quanto o modelo de racionalidade foi influente e auxiliou a construção individual do conhecimento dos estudantes. A quarta característica é a tendência de analisar os dados ou provas de forma a recolhê-los não com o objetivo de confirmar ou infirmar hipóteses construídas previamente. Ao invés disso, as abstrações são construídas à medida que os dados particulares que foram recolhidos vão se agrupando. Para esta quarta característica, é possível notar que não se levantou aqui nenhuma hipótese para ser testada. O que se pretende é conhecer as possibilidades desta proposta didática. Por fim, a quinta característica está em aceitar que o significado é de importância vital e interessar-se no modo como diferentes pessoas dão sentido às suas vidas. Por outras palavras, o investigador qualitativo preocupa-se com aquilo que se designa por perspectivas participantes. Há uma semelhança com essa quinta característica nesta metodologia que pode ser entendida a partir da pergunta: será que todos os alunos, nos momentos em que comparam explicações rivais em classe, agem de forma racional como esta estratégia sugere? É de se considerar que os alunos são diferenciados em diversos aspectos por suas histórias de vida e que isto pode influenciar a aceitação da racionalidade desta

estratégia de ensino de maneira individual. Considerando isso, esta pesquisa interessa-se por saber se a racionalidade presente na RRD pode auxiliar o processo racional de aprendizagem de certos conceitos científicos em determinados alunos. Assim, admitir de antemão a possibilidade de uma heterogeneidade dos envolvimento dos alunos frente a esta estratégia, é admitir o que se designa de perspectivas participantes.

Depois de justificar esta metodologia como qualitativa, o que igualmente justifica a pesquisa, as próximas seções discutem a estratégia empregada, como ela foi aplicada, como os dados foram constituídos e como foram analisados.

3. A ESTRATÉGIA DE ENSINO INSPIRADA EM LAKATOS E SUA APLICAÇÃO EM SALA DE AULA

O elemento inovador dessa estratégia está na inclusão da Reconstrução Racional Didática (RRD) com inspiração no racionalismo de Lakatos (1978) para exemplificar comparações e escolhas racionais de teorias rivais na intenção de auxiliar os estudantes a melhor acompanharem posteriores discussões, igualmente racionais, entre concepções científicas e alternativas (SILVA et al., 2008a). A RRD é aplicada em um passo específico dessa estratégia e está embasada no uso da História e Filosofia da Ciência como um ponto de partida para desenvolver e projetar soluções didáticas satisfatórias (MÄNTYLÄ & KOPONEN, 2007) que podem ser entendidas como reconstruções didáticas para auxiliar o ensino de conceitos científicos (IZQUIERDO-AYMERICH & ADÚRIZ-BRAVO, 2003). Nesse sentido, não se realizam reconstruções históricas completamente autênticas, mas de acordo com Mäntylä e Koponen (2007, p. 292): “a história é interpretada do ponto de vista de concepções modernas, porque a meta, afinal de contas, é ensinar física, não a história da física”^{vi}. Dessa perspectiva, portanto, a história na RRD é elaborada com um racionalismo implícito^{vii} de fins instrucionais influenciado por detalhes específicos da filosofia racionalista lakatosiana.

De forma sintética, os detalhes para esse racionalismo presentes na RRD são: 1) *Teorias rivais* – conter pelo menos duas posições rivais e sucessivas; 2) *Núcleo teórico constituído por postulados* – a base de uma teoria é constituída por postulados que devem ser apresentados como difíceis de serem refutados/abandonados, pois neles os cientistas depositam grande confiança; 3) *Contra-exemplos que mostrem dificuldades teóricas e hipóteses auxiliares* – por meio de tais dificuldades, tem-se o surgimento de hipóteses/explicações auxiliares, entendidas como tentativas para se obter sucesso na busca de manter as concepções nucleares protegidas de refutação; 4) *Critério de avaliação de teorias* – caracterizar a aceitação da teoria sucessora pelo critério do grau de

explicações sem contradição com os seus postulados em analogia à degeneração da sua rival na proliferação de fatos contraditórios, isto é, resultados experimentais interpretados como incongruentes (LAKATOS, 1978, p.77)^{viii}. A avaliação não ocorre entre a teoria e a experiência, sendo esta última juíza para a primeira, mas, com testes entre, pelo menos, duas teorias e a experiência. É somente após o surgimento de uma teoria rival sucessora, que explique o êxito de sua rival e a suplante por uma demonstração adicional de força heurística, que se valida a superação de uma teoria por outra.

Desse racionalismo implícito via RRD, cuja racionalidade tende ao modelo híbrido (SIEGEL, 2004)^{ix}, o objetivo é promover o desenvolvimento de uma habilidade em realizar julgamentos racionais para a escolha entre teorias e/ou concepções rivais. Coerentemente a esse modelo, portanto, no processo educacional, a realização de um julgamento fundamenta-se em razões^x para o estudante, como: uma necessidade imposta pelo meio (processo educacional que o cobra a realizar um julgamento) ou, ainda, pela razão um tanto comum que as pessoas naturalmente apresentam de comparar e escolher uma possibilidade entre duas ou mais que estão presentes numa situação. Daí, destaca-se a noção normativa, que envolve um necessário reconhecimento do estudante do que é mais significativo comparar entre as teorias e/ou concepções e que, assim, envolve o aprendizado de um critério então consciente, em que ambos foram externamente estimulados. E para garantir segurança num julgamento, o critério envolve consistência^{xi}, isto é, se o critério se faz conveniente numa situação de comparação entre teorias rivais, inicialmente pela RRD, também deve ser conveniente em posteriores casos semelhantes, o que exemplifica a dependência de regras.

Uma discussão ainda pode ser de útil esclarecimento sobre critério e regra. Critério é entendido como aquilo que serve de base para comparação, julgamento ou apreciação. Regra é entendida como aquilo que indica ou prescreve o modo de raciocinar ou agir em determinado caso. Supondo agora, por exemplo, que um estudante baseia-se no critério do grau de explicações coerentes com os postulados nucleares que uma teoria/concepção apresente para os fatos numa avaliação. Está claro que, neste caso, a regra implícita dessa avaliação conduz a pessoa a agir considerando o número de fatos que corroboram as explicações e/ou previsões assim realizadas para que haja uma comparação. A mesma discussão é válida para a avaliação normativa de julgamento e a consistência do processo, pois, normalmente, quando são tomadas decisões racionais, em acordo com as aproximações de racionalidade que se faz aqui, as pessoas não explicitam todos esses termos que a conduziram para as decisões, porque eles ficam implícitos e muito certamente não conscientes.

Assim sendo, procura-se neste estudo realizar uma análise dos julgamentos dos estudantes que mais diretamente forneça o entendimento de se houve ou não o seguimento de um padrão de racionalidade e que, deste modo, melhor auxilie a prática docente interessada nessa estratégia. A convenção é que não se apontará nas análises quais regras foram seguidas e não se discutirá a consistência ou a avaliação normativa que julgamento como produto é dependente^{xii}. O que serão explicitados, portanto, são os critérios que conduzem aos julgamentos ao avaliar a racionalidade de cada processo de decisão.

Em relação à aplicação da estratégia de Silva et al. (2008a), constituída de sete passos, ela iniciou na primeira aula do ano letivo em uma turma do segundo ano do ensino médio, período diurno, de uma escola pública da região central de uma cidade relativamente grande do estado do Paraná-BR. A aplicação durou aproximadamente cinco aulas de 50 minutos cada. A amostra constituiu-se de treze estudantes anonimamente numerados, selecionados de um total de 31 matriculados. Essa dimensão da amostra vem em razão de se rejeitar os estudantes que faltaram em qualquer passo da estratégia, exceto aqueles (estudantes 10 e 11)^{xiii} que somente faltaram no quarto passo (inserção da RRD) e na posterior avaliação dos resultados desse passo (por questionário), situação essa desses estudantes que permitiu analisar também os resultados obtidos com a ausência da RRD no processo.

No primeiro passo da estratégia (*levantamento das concepções alternativas*), levantaram-se as concepções alternativas individuais sobre calor e temperatura por meio de um questionário^{xiv} com cinco questões que cobrava explicações tanto desses conceitos quanto de fenômenos de aquecimento devido à diferença de temperatura e por atrito. No segundo passo (*estabelecimento de condições de inteligibilidade e satisfação com teorias rivais – Posner et al., (1982)*), o professor realizou discussões sobre os postulados (núcleos) das teorias rivais calórico e cinético-molecular, analisando as diferenças explicativas em fenômenos de equilíbrio térmico^{xv}. Um experimento, para demonstrar por analogia o comportamento agitado das partículas de um gás conforme a sua temperatura (FUNBEC, 1977, p. 78), e um filme^{xvi}, de aproximadamente dez minutos, também foram usados para auxiliar o alcance das condições de inteligibilidade e satisfação com ambas as teorias. No terceiro passo (*avaliação dos resultados alcançados no passo anterior*), a análise de tais condições ocorreu por meio de um segundo questionário com cinco questões que cobravam entendimentos sobre os conceitos em foco e postulados com cada modelo teórico, além de uma questão que pedia explicações sobre um fenômeno de equilíbrio térmico por cada modelo. Caracterizado o alcance suficiente dessas condições com os modelos

teóricos rivais num nível qualitativo, iniciou-se o quarto passo (*inserção da RRD*). A RRD elaborada constituiu-se de um texto de aproximadamente duas páginas, no qual se procurou confrontar as explicações e hipóteses auxiliares dos programas rivais do calórico e cinético-molecular em fenômenos de aquecimento^{xvii} em que havia transferências e transformações de energia. Durante o estudo da RRD, o professor realizou reflexões com os estudantes de exemplos de critérios utilizados no cotidiano para decidir o que considerar numa situação, exemplos estes que serviram para auxiliar o entendimento de como avaliar programas rivais por um determinado critério racional que estava na RRD^{xviii}. Também houve a necessidade de discutir com os estudantes as funções que uma teoria apresenta ao explicar e prever os fenômenos.

Em analogia ao “*sinal típico de degeneração de um programa, que é a proliferação de ‘fatos’ contraditórios*” (LAKATOS, 1978, p. 77) já mencionado, o estudo da RRD confrontou as explicações/previsões das ‘hipóteses auxiliares’ dos programas rivais do calórico e cinético-molecular em fenômenos de aquecimento, com o objetivo de alcançar uma interpretação da proliferação de fatos contraditórios à teoria do calórico. Isso por estabelecer fenômenos cujas interpretações permitem contradições com aquelas em que a teoria do calórico tinha sido fortalecida no segundo passo em fenômenos de trocas de calor (portanto, por diferença de temperatura). Já com a teoria cinético-molecular não se estabeleceu a interpretação de tal proliferação. Logo, analogamente, procurou-se um entendimento de degeneração (enfraquecimento) de uma teoria frente a outra, em que a lição que a RRD objetivou fornecer fundamentou-se no critério do grau de explicações sem contradição. Após o quarto passo, um outro questionário (terceiro) foi aplicado visando avaliar os efeitos do uso da RRD neste processo (coerentemente com SILVA et al., 2008b). Este questionário foi constituído pelas seguintes questões: 1) Igual à quarta questão do primeiro questionário (ver tabela 1); 2) Pelo que se estudou no texto de história, a teoria do calórico teve problemas explicativos? Explique. 3) A teoria do calórico consegue explicar o processo de aquecimento obtido com o atrito? Explique. E a teoria cinético-molecular? Explique. 4) Qual(is) critério(s) você utiliza para verificar se uma teoria é melhor que outra? 5) Compare as explicações que você deu e avalie entre as duas teorias rivais, a do calórico e cinético-molecular, qual delas pode ter maior sucesso explicativo. Justifique. Você acha que uma teoria pode ser melhor que outra? Justifique.

No quinto passo (*revelação à turma das concepções alternativas encontradas no primeiro passo*), o professor foi à lousa e discutiu com os estudantes as suas noções intuitivas (ou concepções alternativas)

sobre calor e temperatura, encontradas no primeiro passo, permitindo-lhes, para melhor acompanhamento, o acesso ao questionário individual que inicialmente haviam respondido naquela ocasião. Por outro lado, discussões teóricas qualitativas sobre o modelo cinético-molecular foram encaminhadas, como a organização das partículas nos três estados da matéria e mudanças de fase. Realizaram-se discussões das possíveis previsões com as noções intuitivas e com os modelos teóricos estudados em fenômenos de aquecimento em regiões que sofreram choques, regiões flexionadas de varetas metálicas, regiões atritadas e trocas de calor, tanto em variações de temperatura como em mudanças de fase (água em ebulição). O sexto passo (*discussão sobre os méritos e deméritos das teorias e concepções rivais*) constituiu-se em discutir os méritos e deméritos das explicações e/ou previsões.

Como passo final (*avaliação final*), aplicou-se um quarto questionário como avaliação para analisar os conhecimentos dos conceitos físicos envolvidos e se as reflexões racionais presentes na RRD foram importantes para que os estudantes julgassem de forma igualmente racional, naquela ocasião, uma teoria/concepção como mais abrangente ou melhor. Este questionário foi constituído pelas seguintes questões: 1) O que é calor e o que é temperatura na teoria cinético-molecular?; 2) Explique as próximas questões pela teoria cinético-molecular: a) Por que ao se atritar dois materiais eles aquecem? b) Quando realizamos choques, por exemplo, martelando um prego, por que há um pequeno aquecimento nessa região? c) Por que ao flexionarmos um pedaço de arame num certo ponto durante algum tempo, esse local aquece e se rompe? d) Você notou que aquecemos a água a um limite próximo dos 100°C que é o seu ponto de ebulição. Também notou que a temperatura da água líquida não sobe mais além desse limite, mesmo sabendo que a temperatura do aquecedor é maior que 100°C. Você acha que a teoria do calórico consegue explicar esse fenômeno? Justifique. E a teoria cinético-molecular? Justifique; 3) Agora explique cada uma dessas questões anteriores, utilizando as suas idéias de calor e temperatura que você apresentou no primeiro questionário; 4) Diante dessas explicações, qual critério você utiliza para, em comparação, avaliar as suas idéias iniciais sobre calor e temperatura com as da teoria cinético-molecular? Pelo(s) critério(s) que você mencionou agora, por qual modo explicativo você julga ser o melhor, por suas idéias iniciais ou pela teoria cinético-molecular? Justifique.

4. RESULTADOS E ANÁLISES

Nesta seção, são apresentados os desempenhos dos estudantes relativos aos quatro passos avaliativos que correspondem a quatro questionários e que se encontram em quatro tabelas. Esses desempenhos são

discutidos globalmente em que exemplos típicos são explicitados para representar a amostra. Análises de cunho qualitativo-interpretativo dos efeitos da instrução de racionalidade e dos avanços conceituais dos estudantes sobre calor e temperatura são mostradas para que se concluam os resultados alcançados dessa aplicação da estratégia de ensino.

Todas as transcrições são apresentadas sem correções gramaticais e em forma itálica. Alguns comentários entre parênteses e de forma não itálica são do observador (um autor deste manuscrito) e são acrescentados aos comentários dos estudantes na intenção de esclarecer melhor estes últimos ao leitor.

4.1. Desempenho dos estudantes no passo 1

Neste passo foram encontradas/interpretadas quatro noções intuitivas com os respectivos entendimentos: 1) O calor é apenas uma parte da temperatura, entendida pelo estudante como a parte quente da temperatura. A temperatura contém o calor (parte quente), o frio, e mais outras sensações. Ex.: estudante 3 – “*Temperatura diz respeito a algo ser quente, frio, morno. Calor é só uma parte da ‘área’ da temperatura. Dentro dela (da temperatura) existe o frio, o morno, etc*”; 2) O calor é concebido como um aquecimento, uma sensação de elevação de temperatura, enquanto a temperatura indica a quantidade de calor^{xix}. Ex.: estudante 1 – “*Calor é aquecimento, é quando a temperatura se eleva, é a sensação de variação (elevação) da temperatura. Temperatura é a medida do calor ou indica a quantidade de calor*”; 3) O calor é algo contido nos corpos e pode transladar de um corpo a outro. A temperatura mede a quantidade de calor de um corpo^{xx}. Ex.: estudante 4 - “*Calor é armazenado... é (algo) que passa de um corpo para outro. A temperatura (do corpo) é diferente conforme o calor que (ele) recebe*”; 4) Calor é energia. Temperatura é a medida da quantidade de calor de um corpo^{xxi}. Ex.: estudante 9 - “*Calor é uma forma de energia. A Temperatura é a medida do calor e pode ser feita através de aparelhos como o termômetro*”.

Essas classificações foram obtidas pela reunião das repostas dadas a cinco questões. As três primeiras perguntaram, respectivamente, o que é calor, o que é temperatura e qual a diferença entre eles. A respeito das outras duas questões (ver tabela 1) que cobraram explicações de fenômenos de aquecimento por diferença de temperatura ou por atrito, foi possível analisar o que aqui se definiu de dificuldade explicativa e de equívoco conceitual (este último do ponto de vista científico). Interpretou-se como dificuldade explicativa as respostas apresentadas em forma de descrições dos fenômenos que mostraram insuficientes articulações de argumentos coerentes com qualquer noção, ou seja, respostas que se limitaram em descrever o observável. Os equívocos conceituais referiram-se às explicações que indicaram

o uso de alguma(s) concepção(ões) de senso comum pela(s) qual(is) se fortaleceu(ram) as classificações realizadas.

A tabela 1 abaixo ilustra o quadro geral em que os raciocínios dos estudantes, relativos aos conceitos de calor e temperatura, se encontravam antes das instruções programadas na estratégia.

Tabela 1

		ESTUDANTES
Noção intuitiva	I	3,7,11,13
	II	1,8,10
	III	4,5,12
	IV	2,6,9
Questão 4: Como você explica o fenômeno de duas amostras de água, inicialmente a temperaturas diferentes, atingirem, após se misturarem, a mesma temperatura?	Dificuldades explicativas	2,3,5,6,8,10,11,12,13
	Equívocos conceituais	1,4,7,9
Questão 5: Quando estamos com frio, é comum aquecermos as mãos, atritando-as. Por que, ao esfregá-las, elas aquecem?	Dificuldades explicativas	3,9,10
	Equívocos conceituais	1,2,4,5,6,8,7,11,12,13
Idéia de surgimento de calor	Liberação de calor	4,5,7,8,11
	Produção de calor	1,6,9,12,13
Idéia de corpo conter calor		1,2,4,5,7,8,9

4.2. Desempenho dos estudantes no passo 3

Observou-se os entendimentos alcançados a respeito dos conceitos calor e temperatura juntamente com os postulados dados pelas teorias rivais do calórico e cinético-molecular por meio de quatro questões objetivas nesse sentido^{xxii}. Uma quinta questão, explícita na tabela 2, permitiu analisar as inteligibilidades dos estudantes com esses modelos teóricos para o fenômeno de equilíbrio térmico entre dois corpos.

Como nível de exemplificação dos entendimentos da amostra investigada, seguem abaixo alguns trechos selecionados dos comentários de dois estudantes a respeito deste passo.

Estudante 2 – “O calor, na primeira teoria, é entendido como calórico que, por sua vez, é invisível e não tem massa. Já (a) temperatura é a medida da ‘quantidade’ de calórico em um determinado corpo. O calor, na teoria cinético-molecular é visto como a energia em movimento, passando do corpo ‘mais quente’ (moléculas mais agitadas) para o corpo ‘mais frio’ (moléculas parcialmente agitadas). (A) temperatura está intimamente relacionada com a medida de agitação das moléculas, ou seja, da (parte da) energia interna de um determinado corpo. Nessa teoria, o que está presente em um corpo não é calórico, mas energia.” Quanto às inteligibilidades tem-se: “O calor contido no corpo mais quente é passado para o corpo mais frio, atingindo, aproximadamente, uma temperatura média entre eles. Assim sendo, o corpo mais quente cede parte do seu calórico ao corpo mais frio, igualando-se em quantidades. (Com a outra teoria) O corpo mais quente possui maior vibração (de suas moléculas). Quando dois corpos em diferentes temperaturas se unem, a agitação (das moléculas) do ‘mais quente’

diminui e a (agitação das moléculas) do corpo mais frio se eleva, atingindo assim não só a mesma temperatura, mas também a mesma intensidade de energia cinética. Portanto, Δ agitação (das moléculas) = Δ temperatura”.

Estudante 4 - “A teoria do calórico explica o calor como uma substância de massa desprezível que passa livremente nas partículas do corpo, sempre no sentido do mais quente para o mais frio. O calórico é uma substância que não pode ser criada nem destruída, mas é transferida de um corpo para outro. Quanto maior a quantidade de calórico, maior a temperatura. Temperatura é a análise do grau de medida de calórico em um determinado corpo. Calor (pela teoria do calórico) é um fluido de massa desprezível denominado calórico, que pode ser transferido de um corpo para outro. (Pela teoria cinético-molecular) O calor é a transferência de energia dada pelos movimentos das moléculas quando dois corpos tem diferentes temperaturas. Quanto maior a (energia) cinética das moléculas, maior a temperatura. Temperatura é a análise do grau de medida dos movimentos das moléculas. Quanto maior a (energia) cinética das moléculas, maior a temperatura, (que) ao contrário da outra teoria (do calórico), (na cinético-molecular) um corpo não pode possuir calor individualmente”. Quanto às inteligibilidades tem-se: “Teoria do Calórico – quando dois corpos de temperaturas diferentes se encostam, ocorre o fenômeno de equilíbrio (térmico) que é a transferência de calórico de um corpo para o outro até que se igualam a(s) temperatura(s). Quem tem mais calórico passa para quem tem menos, deixando o mais quente mais frio, e o mais frio mais quente, assim igualando as temperaturas”; “Teoria Cinético-Molecular – Quando dois corpos com temperaturas diferentes (isso é quando um corpo tem

mais movimento molecular que o outro) se constata(m), e assim ocorre a transferência de energia das moléculas com mais movimentos, dando a mesma temperatura”.

A tabela 2 representa o quadro geral dos resultados dos desempenhos dos estudantes neste terceiro passo.

Tabela 2

		ESTUDANTES
Compreensão dos conceitos de calor e de temperatura do modelo calórico		1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13
Compreensão dos conceitos de calor e de temperatura do modelo cinético-molecular	Calor como energia em trânsito	2,3,7,10,12,13
	Calor como transferência de energia	1,4,5,6,7,9,11
Reflexões comparativas entre os modelos como, conforme o modelo cinético-molecular, a de um corpo não ter calor, mas energia		2,4,5,6,9,11
Inteligibilidade, vista na quinta questão, alcançada no modelo calórico (Quais as explicações com cada uma das teorias para o fenômeno de dois corpos a diferentes temperaturas atingirem, após um tempo de contato físico, a mesma temperatura?)		1,2,3,4,5,6,7,9,10,11,12,13
Inteligibilidade vista na quinta questão alcançada no modelo cinético-molecular	Calor como energia em trânsito	2,3,7,10,12,13
	Calor como transferência de energia	1,4,5,6,7,9,11

Esses resultados permitem dizer que houve construções do conhecimento científico, pois os modelos teóricos mostraram-se inteligíveis. Também é possível dizer que, embora dois entendimentos de calor pela teoria cinético-molecular se manifestaram nos raciocínios dos estudantes no processo educacional sem querer desmerecer algum deles como errôneo (SILVA et al., 2008c), é difícil o aprendizado correto desse conceito. Isto destaca, portanto, a necessidade de um monitoramento desse aprendizado para que não haja entendimentos errôneos como, no caso de uma transferência de energia para um corpo em forma de calor, aceitar que este corpo contenha essa energia entendida como calor. Uma considerável parcela dos estudantes (estudantes 2, 4, 5, 6, 9 e 11) apresentou uma reflexão significativa ao comparar os modelos teóricos, entendendo que pelo modelo cinético-molecular um corpo pode conter energia interna, mas não calor. Ademais, as discussões estabelecidas em sala de aula, pertencentes ao segundo passo desta estratégia, puderam estabelecer condições de satisfação com ambos modelos teóricos nos estudantes. Uma questão realizada pelo estudante 2 fortalece esta afirmação: “Professor, mas qual teoria está certa se as duas explicam o fenômeno do equilíbrio térmico?”. Esta questão revela que o segundo passo não destacou uma teoria como melhor, mas provocou a compreensão de um curioso empate explicativo desejado nesse momento do processo, juntamente com o de uma rivalidade teórica.

4.3. Desempenho dos estudantes no questionário aplicado após a inserção da RRD

Uma preocupação inicial foi a de observar se havia condições de inteligibilidade dos modelos estudados no segundo passo. Estas condições necessárias para que o estudante esteja apto a realizar comparações e

avaliar teorias rivais. O fenômeno estudado na primeira questão foi escolhido para proceder a essa observação. A totalidade dos estudantes, excluindo os estudantes 10 e 11^{xxiii}, apresentou inteligibilidades satisfatórias com os modelos, permitindo destacar uma construção do conhecimento científico em comparação ao que anteriormente eles haviam respondido na mesma questão do primeiro passo. Pode-se afirmar que esses resultados se devem principalmente à instrução dada no segundo passo, mas possivelmente alguma fortificação dos conceitos de calor e temperatura desses modelos rivais foi estabelecida nas discussões com a RRD.

É preciso salientar que a satisfação explicativa com a inteligibilidade do modelo calórico ocorreu pelo motivo de não haver interpretação de criação (ou destruição) de calórico, mas pela transição de calórico do corpo mais quente para o mais frio, que foram pensadas e bem articuladas pelos estudantes. Partindo desta condição de satisfação explicativa de ambos os modelos teóricos gerada até então, é possível afirmar que, por meio da analogia estabelecida com a degeneração de um programa pela proliferação de fatos contraditórios, a RRD alcançou êxito em promover um convencimento nos estudantes do enfraquecimento, ou melhor, da degeneração do programa calórico frente ao rival cinético-molecular pela interpretação de proposições factuais contraditórias.

A tabela 3 ilustra os efeitos que a RRD gerou nos entendimentos dos estudantes, pelas reinterpretções realizadas de algumas hipóteses auxiliares do programa calórico em argumentos contrários aos seus postulados, juntamente com as explicações inicialmente feitas em fenômenos de equilíbrio térmico como compatíveis com tais postulados.

Tabela 3 – Resultados dos desempenhos em relação à RRD

		ESTUDANTES
Inteligibilidade dos modelos teóricos na primeira questão (que é igual à quarta questão do primeiro passo).		1,2,3,4,5,6,7,8,9,12,13
Entendimento análogo à degeneração de um modelo pela proliferação de fatos contraditórios.	Explicaram que o calórico não era criado em fenômenos de equilíbrio térmico (criação proibida), mas transitava de um corpo a outro, enquanto, no processo de atrito, interpretaram a possibilidade de sua criação.	1,3,4,5,6,8,9,12,13
	Explicaram que o calórico transitava do corpo mais quente para o mais frio, mas perceberam, na experiência discutida de atritar gelos ^{xxiv} , uma hipótese contraditória a esse sentido de propagação.	2,4,5,6,7,9,13
Compreensão análoga de hipóteses auxiliares posteriormente vistas como argumentos contrários	Admitiram a hipótese da concentração do calórico da peça em sua própria superfície devido ao aquecimento, sendo posteriormente descartada pelo argumento de que a quantidade de calórico que surgia no processo parecia não cessar.	1,4,6
	Invalideram a suposição de que todo aquele calórico que se acreditava perceber no processo de aquecimento já estivesse nas peças, por não se permitir sua criação, sendo inválida pelo argumento de que estas deveriam encontrar-se derretidas antes mesmo do atrito.	1,3,4,5,6
Entendimento de enfraquecimento do modelo calórico por enfraquecimento do cinturão protetor de hipóteses auxiliares de um programa.		1,3,4,5,6
Explicaram adequadamente os aquecimentos por atrito pela teoria cinético-molecular sem mencionar o conceito de calor		1,2,3,5,7,9,13
Explicaram semelhantemente ao critério racional, de comparação de teorias, do grau de explicações validadas em que uma teoria apresenta o êxito explicativo de sua rival e a suplanta por um acréscimo de conteúdo empírico ^{xxv} corroborado.		1,2,3,4,5,6,7,8,9,12,13
Justificaram racionalmente a Teoria Cinético-Molecular como mais abrangente em relação à rival Calórica.		1,2,3,4,5,6,7,8,9,12,13

Para o fenômeno de aquecimento por atrito, com a teoria cinético-molecular, percebeu-se que muitos estudantes (estudantes 1, 2, 3, 5, 7, 9, e 13) manifestaram uma inteligibilidade satisfatória no entendimento de que o atrito eleva a energia relacionada à agitação das moléculas, gerando aquecimento na região atritada, como no exemplo: “*Já a teoria cinético-molecular o explicou (o fenômeno do atrito) satisfatoriamente, se utilizando adequadamente suas concepções e seus postulados, dizendo que o atrito entre as mãos gera energia cinética (das moléculas) e aquece o corpo*” (Estudante 2). Entretanto, os estudantes 4, 8 e 12, mencionaram equivocadamente a palavra calor ao explicarem o aquecimento por atrito com essa teoria^{xxvi}. Naquela ocasião, suas explicações relacionaram a idéia de calor como transferência de energia. Eles assim explicaram por relacionarem, naquela ocasião, o calor como transferência de energia que aumenta a energia de agitação das partículas dos corpos, que gera a sensação de aquecimento, e esqueceram da necessária situação de uma diferença de temperatura em que o conceito de calor se torna correto de empregar. Essa ocorrência pode ser explicada pelo fato de os estudantes não terem ainda passado pelo processo de ensino do conceito de trabalho em termodinâmica e pela correspondente primeira lei, em que maiores diferenciações da variação da energia interna dos corpos podem ser fortalecidas ora por calor ora por

trabalho. O estudante 6 não apresentou explicações para essa situação.

A respeito do critério racional que a RRD visou instruir, as respostas individuais encontradas apresentaram os seguintes entendimentos: o estudante 1 mencionou o “*critério do grau de explicações sem contradição*”; o estudante 2 mencionou “*o critério do grau de explicações satisfatórias*”; o estudante 3 mencionou “*o critério do grau de explicações coerentes*”; o estudante 4 mencionou “*o critério do grau de explicações convincentes*”, entendimento ora mencionado pelo “*grau de explicações mais claras*”, ora pelo “*grau de explicações lógicas*”; o estudante 5 mencionou “*o critério do grau de explicações satisfatórias*”, ora mencionado também pelo “*grau de explicações mais convincentes*” e ora pelo “*grau de boas explicações*”; o estudante 6 mencionou “*o critério do grau de explicações sem contradição*”, ora mencionado também como critério do “*grau de explicações mais claras*”; o estudante 7 mencionou “*o critério do grau de explicações eficientes, ou satisfatórias*”, que significam sem contradições; o estudante 8 mencionou “*o critério do grau de explicações sem contradição*”; o estudante 9 mencionou “*o critério do grau de explicações satisfatórias*”, entendidas por não contradizer postulados; o estudante 12 mencionou “*o critério do grau de explicações que são coerentes com os postulados da teoria*”; o estudante 13 mencionou “*o critério do grau de explicações sem falhas (sem contradição)*” com a possibilidade de se analisar

também o “*grau de previsões confirmadas*”, em que se constatou ser um entendimento compatível com a linguagem lakatosiana de força heurística para avaliar teorias rivais. Embora esses estudantes tenham se expressado de maneira particular, conforme seus entendimentos individuais, comprovou-se em cada análise de um mencionado critério, que neste havia um entendimento semelhante ao seguinte: se uma hipótese, ou tentativa de explicação por eles entendida, sofresse a interferência de um argumento válido em que ela fosse reinterpretada como discordante de um pensamento básico de uma teoria correspondente (um postulado), essa explicação poderia ser rejeitada. Conseqüentemente, nas análises, os julgamentos desses estudantes foram justificados racionalmente, por coerência com os critérios pertinentes que mencionaram, ao indicarem a teoria cinético-molecular como superior à sua rival do calórico, segundo a influência da RRD. Esses resultados indicam que a RRD mostrou-se uma forma apropriada de exemplificar uma discussão racional entre teorias rivais em que houve consciência do critério pelo qual avaliações normativas conduziram ao julgamento racional.

4.4. Desempenho dos estudantes no passo 7

Para a primeira questão, os estudantes 1, 2, 10 e 13 não forneceram respostas. Isso provavelmente ocorreu por eles terem esquecido de copiar tal questão que se encontrava no quadro negro^{xxvii}. Mas a ausência dessas respostas não comprometeu próximas análises, o que permitiu mantê-los como parte da amostra. Para os demais estudantes, notou-se que alguns deles (estudantes 3, 5, 7 e 11) ainda expressaram uma linguagem pela qual “*a temperatura mede* (como se fosse um instrumento de medida ao invés de ser uma medida de)”, enquanto outros (estudantes 6, 8 e 12) afirmaram que “*a temperatura é o grau de agitação das partículas* (ao invés de ser uma medida indireta relacionada ao grau de agitação das partículas)”. O estudante 7 equivocou-se ao explicar esse conceito. Para os estudantes 3, 4 e 9 nada se pôde criticar, pois se expressaram bem não só a respeito do conceito de temperatura, mas sobre o de calor. Para este último conceito, alguns estudantes (estudantes 5, 6, 7, 8, 9, 11 e 12) deixaram de explicitar a condição de uma diferença de temperatura para o correto significado de calor como energia em trânsito ou transferência de energia. Entretanto, a maioria que respondeu a questão (estudantes 3, 4, 5, 8, 9, 12 e 13) apresentou explicações pela teoria cinético-molecular que era compatível com o modelo de partículas que fora estudado em classe, o que caracterizou certa construção do conhecimento científico nesse sentido. Nas três primeiras situações da segunda questão, muitos estudantes (estudantes 1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 12 e 13) associaram o fenômeno da elevação da

temperatura dos corpos com a intensificação da movimentação de suas partículas, coerentemente com o modelo teórico. Os demais estudantes (estudantes 3, 8, 10 e 11) também apresentaram essa associação em um ou dois fenômenos de aquecimento e descreveram esse fenômeno nas situações restantes. Exemplos:

Estudante 2 – “(Em (a)) *Com o atrito, aumenta-se a energia cinética das moléculas dos materiais. Assim sendo, eleva-se a temperatura, uma vez que Δ energia cinética (das moléculas) é proporcional à Δ temperatura.* (Em (b)) *Podemos exemplificar pelo jogo de sinuca. O martelo, interagindo com a nossa força muscular, tem (ganha) uma energia cinética. (O martelo) ao se chocar com o prego, é suficiente para que essa energia (cinética do martelo) seja transferida para ele (o prego). Assim sendo, o prego eleva a temperatura e sua energia cinética (das moléculas).* (Em (c)) *Com a agitação das moléculas no local flexionado, há aumento de temperatura e um rompimento (das ligações) das moléculas desse material, devido ao aumento da energia cinética (das moléculas) associado à (provindo da energia de) nossa força muscular”;*

Estudante 4 – “(Em (a)) *Porque ao atritar você dá às moléculas um movimento contínuo e crescente, assim cada vez mais aumenta a temperatura (dos materiais). Isso acontece por causa do(s) choques das moléculas que transfere energia de uma molécula para outra.* (Em (b)) *Por causa da pressão dada pelo impacto dado pelo martelo ao bater no prego. Essa pressão faz com que ocorra agitação entre as moléculas assim aquecendo-o.* (Em (c)) *Por causa do movimento. Ao flexionar um pedaço de arame você também está provocando movimento nas moléculas (no local flexionado). Quanto mais flexionar (realizar flexões) maior será a agitação delas (das moléculas no local) e maior será a temperatura, deixando o metal mais fraco (mole) a ponto que se rompa pela força da mão”.*

Como as três situações não partiram de uma diferença de temperatura entre os corpos, elas foram importantes para verificar se os estudantes incorretamente mencionavam o conceito de calor em qualquer uma delas, o que não ocorreu^{xxviii}. Aliás, os estudantes 4, 8 e 12, que cometeram equívocos ao mencionar o conceito de calor no fenômeno de aquecimento por atrito baseado na teoria cinético-molecular, não o mencionaram nessas novas situações, revelando inclusive frutificações de noções compatíveis com essa teoria. Dos resultados, em geral, um entendimento que se constatou é o de que em qualquer situação, onde ocorra uma variação de temperatura, há uma variação da agitação das partículas. Nessas situações, por constatar condições de frutificações de explicações coerentes com a teoria cinético-molecular é possível dizer que houve uma

construção do conhecimento científico nos estudantes (estudantes 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 e 13).

Na quarta situação da segunda questão, por resultado do processo educacional, muitos estudantes (estudantes 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 12 e 13) apresentaram condições de inteligibilidade e de satisfação com a teoria cinético-molecular ao articularem adequadamente o conceito de mudança de fase, conforme eles a entenderam. O mesmo não se pode dizer dos estudantes 8, 10 e 11, pois realizaram pouco, ou nenhum comentário, nesse sentido. Exemplos:

Estudante 1 – “Na teoria cinético-molecular, ao chegar aos 100°C, o grau de agitação das moléculas se estabiliza e a energia liberada pelo aquecedor faz com que a ligação entre as moléculas se quebre e estas se desprendam, evaporando como vapor d’água”.

Estudante 3 – “A teoria cinético-molecular explica que com o aumento do movimento das partículas chega um ponto que a energia potencial de interação das partículas começa a ser quebrada e as moléculas, antes ligadas, começam a se soltar e sair do recipiente, mudando de estado. É por isso (nesse sentido) que, mesmo o aquecedor tendo uma temperatura mais elevada que a da água, a teoria cinético-molecular explica o fenômeno”.

Ainda nessa quarta situação foi possível notar que o fenômeno da estabilização da temperatura aparentou-se como um fato contraditório reconhecido pela maioria dos estudantes na proposição por eles pensada em que o calórico transferido de um corpo mais quente ao corpo mais frio não alterava a temperatura deste último, previsão que não se imaginava com a teoria do calórico. As razões que os estudantes apresentaram para a teoria do calórico não explicar satisfatoriamente esse fenômeno foram resumidamente: Estudante 1 – “porque o calórico não estaria tendo o efeito que a teoria calórica afirma que deveria ter”; Estudante 2 – “porque parte do fenômeno seria explicado conforme o postulado do sentido do fluxo de calor (calórico), mas parte não seria porque a estabilização da temperatura ocorre”; Estudante 3 – “porque a previsão não era a da água manter uma temperatura constante (de 100°C)”; Estudante 4 – “porque entra em contradição quando transfere calor (calórico) à água e ela não altera a temperatura”; Estudante 5 – “porque o aquecedor não deixa de transmitir calórico para a água e esta não continua aquecendo”; Estudante 6 – “porque o calórico que passa do aquecedor para a água deveria aumentar sua temperatura”; Estudante 7 – “porque sempre o corpo com mais calórico transfere esse calórico para o corpo com menos (calórico), não podendo a teoria explicar como a temperatura pode se manter constante”; Estudante 8 – “porque a teoria prevê que as temperaturas ficarão iguais passando

calórico do corpo mais quente para o mais frio, o que não ocorre”; Estudante 9 – “porque passa calórico mas não aquece”; Estudante 10 – “porque a temperatura da água deveria continuar subindo”; Estudante 11 – nada respondeu nessa situação; Estudante 12 – justificou que a “a teoria do calórico não explica por admitir o calor como (uma) substância”, o que pelas discussões e estudos realizados permitiu-se interpretar que ele entendeu que essa característica mostrou-se problemática, embora ele não tenha dado uma justificativa para tal conclusão; Estudante 13 – Em condição de inteligibilidade (fundamentando-se no postulado de o calórico não poder ser criado nem destruído, na sua característica como substância e no uso correto do sentido de seu fluxo), assim explicou: “Para ser um aquecedor, seria necessário que ele (aquecedor) tivesse em seu interior muito calórico. Já que (o calórico) não é destruído ou criado, (ele) seria transformado tendo como sua matéria prima a energia elétrica (energia elétrica transformada em calórico). Pelo fato de que o calórico flui do corpo mais quente para o (corpo mais) frio, aqueceria a água chegando a um determinado limite. Por ser uma substância e que flui para uma outra (porque a água é uma substância), podemos considerar que existe um choque entre ambas (substâncias: água e calórico) que fizesse quebrar essas pontes (ligações entre as moléculas de água). Isto só ocorreria pelo tanto de calórico que flui de uma vez só”. Nota-se, nesta explicação, que o estudante mesclou noções da teoria cinético-molecular, como a quebra das ligações entre moléculas na mudança de fase e a de energia como algo que se converte de uma forma em outra, levantando a idéia de que a energia elétrica seria convertida em quantidades de calórico. Desse modo, é possível dizer que ele mostrou-se altamente criativo com o modelo calórico e até o modificou nessa tentativa de explicação pela inserção de outras noções, conforme ele próprio ressaltou que sua explicação acima é um faz de conta (“A teoria do calórico (poderia) explicar este fenômeno em partes como um faz de conta!”).

Esses resultados foram importantes para constatar as inteligibilidades dos estudantes com o modelo calórico nessa nova situação, segundo o que eles entenderam que deveria acontecer (previsão) por uso desse modelo. Assim como em situações de aquecimento por atrito, com exceção do estudante 11 que não ofereceu comentários, novamente os estudantes se encontraram em condições de insatisfação explicativa pela teoria do calórico. Condições estas que fortaleceram as conclusões que eles haviam realizado no questionário, após a inserção da RRD, em que a teoria cinético-molecular foi tida como superior à rival calórica, com exceção dos estudantes 10 e 11 que faltaram dessa inserção e do respectivo questionário.

Para a terceira questão, procurou-se analisar as respostas das quatro situações anteriores por meio das noções intuitivas levantadas no primeiro passo. Abaixo são apresentados e discutidos dois resultados (estudantes 2 e 7, que servem para exemplificar os resultados restantes da amostra)^{xxix} dos reconhecimentos pessoais dos alcances explicativos de uma outra noção intuitiva individual em que cada um tentou se fundamentar para fornecer suas explicações dos fenômenos. Juntamente a isso, mostram-se os respectivos julgamentos particulares que realizaram por meio dos correspondentes critérios racionais.

O estudante 2 reconheceu uma inferioridade de suas concepções iniciais frente à teoria cinético-molecular, limitando-se ao seguinte comentário para com suas idéias iniciais sem responder as questões: “*Minha concepção primária de calor e temperatura não seria eficaz na explicação de tais fenômenos, uma vez que não são coesas*”. No entanto, como resultado do processo educacional, essa sua reflexão, de falta de uma estrutura organizada de noções coesas (postulados) como as dos modelos estudados, carrega a sua avaliação de fraca eficácia de suas explicações por possíveis contradições. Essa interpretação é fortalecida pelo julgamento que realizou na quinta questão: “*A teoria cinético-molecular explica uma variedade muito maior de fenômenos em relação à minha teoria (noções iniciais)*”; “*A teoria cinético-molecular (é melhor), pois minhas explicações não têm o mínimo fundamento e não daria conta de explicar os fenômenos que a teoria cinético-molecular o faz coerentemente sem contradizer ou romper os pensamentos dos postulados*”. Dessas respostas, é preciso dizer que o critério do grau de explicações satisfatórias, mencionado por ele no questionário pós RRD, é semelhante ao do grau de explicações coerentes, presente na última resposta, pois, para o estudante, satisfatoriamente ou coerentemente refere-se à compatibilidade que uma explicação deva ter para com os postulados de um modelo teórico para ser considerada válida. A idéia de explicações satisfatórias, presente no critério racional do questionário pós RRD, pode ainda ser vista na justificação do aluno do porquê da teoria do calórico não explicar satisfatoriamente o fenômeno da estabilização da temperatura da água, fortalecendo, assim, a afirmação de que o critério racional foi consistente por se manter neste sétimo passo (“*A teoria do calórico não conseguiu explicar satisfatoriamente esse fenômeno, sem romper seus postulados, pois parte do fenômeno seria explicado (aumento da temperatura), outra parte, não (porque a temperatura é estabilizada. A teoria do calórico não consegue explicar... (por exemplo) por contradizer seu postulado que diz que o corpo mais quente cede calor para o mais frio*”).

Já o estudante 7 assim explicou os fenômenos com suas noções intuitivas: “*Eu acreditava que, com o atrito aumentava o calor pela formação de energia, aumentando a temperatura dos corpos*” (em (a)); “*Com os choques, era fornecida energia que aquecia os corpos*” (em (b)); “*O movimento feito pelo arame libera energia e essa energia aquece o corpo (no local). Eu não conseguiria explicar o motivo do rompimento desse arame*” (em (c)); “*O que eu acreditava que era calor não dá conta de responder essa pergunta, pois se está sendo fornecido calor (que podia estar sendo entendido como a parte quente da temperatura do aquecedor) para a água, sua temperatura continuaria a subir*” (em (d)). Dessas quatro respostas, podem-se focar observações importantes em (a) e em (d), pois, nas outras duas, apesar de o estudante tentar explicar as situações de acordo com sua noção intuitiva, ele não apresentou insatisfação com essas explicações. Assim sendo, para a situação (a) ele explicitou uma noção de calor por atrito (“*o atrito aumenta o calor*”), mas é possível dizer que ele entendeu que essa noção é inadequada para a situação pelo fato de ter afirmado: “*eu acreditava que ...*”. A expressão indica que ele não encontrou nessa ocasião uma satisfação com essa explicação intuitiva. Em (d) o estudante reconheceu que não conseguiria explicar com suas idéias iniciais a razão de a temperatura da água não subir quando há fornecimento de calor para ela, o que mostra uma condição de insatisfação com sua noção inicial. Essa análise é reforçada pelo julgamento que realizou: “*A (teoria) do cinético-molecular (é melhor), pois explica mais fenômenos que minhas idéias iniciais, e de uma maneira mais satisfatória que minhas idéias também*”. Nota-se que esse julgamento do estudante foi baseado no critério do grau de explicações satisfatórias, pois respondeu a quarta questão da seguinte maneira: “*Eu utilizo (como critério) a quantidade de fenômenos que cada uma explica, e a teoria cinético-molecular explica mais fenômenos e de uma maneira mais satisfatória*”. Esse padrão de julgamento racional é o mesmo daquele que apresentou por influência da RRD, visto naquela ocasião, onde se afirmou que ele baseou-se no critério do grau de explicações eficientes ou satisfatórias, que significam sem contradições.

Os resultados discutidos com os estudantes 2 e 7 são exemplos típicos que se pôde concluir dos outros que sofreram o processo de preparação racional pela RRD. Processo pelo qual se alcançou êxito na exemplificação de uma discussão racional em que o critério a ser entendido pelo estudante é o do grau de explicações que mantém coerência com os postulados da teoria seguida e que o ajudou a avaliar e julgar melhor, por este padrão racional, teorias/concepções rivais.

Para o caso dos estudantes 10 e 11, que faltaram da preparação racional (inserção da RRD), discutem-se

agora os resultados obtidos quando eles foram questionados a avaliar, na comparação, as explicações de suas noções intuitivas e as da teoria cinético-molecular, então inteligível. Em relação ao critério perguntado na quarta questão, o estudante 10 respondeu: “*por elas (as partículas) vibrarem, a temperatura aumenta*”. Com essa resposta entende-se que, se o estudante realmente procurou admitir como critério válido de comparação o grau de explicações em que a vibração das partículas relaciona-se com a temperatura, é sensato, portanto, comparar teorias que potencialmente viriam a utilizar essa relação. Logo, comparações explicativas entre a teoria cinético-molecular e suas idéias/noções iniciais ou entre uma delas com a teoria do calórico não são apropriadas, pois, a princípio, não existe uma estimulação de rivalidade sendo que o critério é específico para teorias que utilizam tal relação. Assim, pode-se dizer que a resposta do estudante não revelou um critério racional adequado e, conseqüentemente, seu raciocínio não conduziu a um julgamento racional. Isso pode ser comprovado pelo único e incabível comentário que apresentou como resposta para a quinta questão: “*calor e temperatura são vinculados, uma necessita da outra*”. Esse resultado permite dizer que o estudante teve dificuldades com o significado que a palavra critério, com base para direcionar uma opção ou decisão, deveria tomar. Ademais, o estudante nada justificou, ou ao menos opinou em relação a uma teoria ser ou não melhor que outra. Já o estudante 11, de posse das tentativas explicativas com suas noções e as que ele forneceu satisfatoriamente com a teoria cinético-molecular, respondeu a quarta questão afirmando que utilizava o seguinte critério de seleção de teorias: “*a lógica*”. Desse critério, ele afirmou julgar como melhor “*a teoria cinético-molecular*” (quinta resposta). Agora, é necessário lembrar que ao dizer ‘a lógica’ o estudante poderia mostrar-se com uma posição racional se a palavra

“lógica” adequadamente estiver se referindo ao encadeamento coerente de alguma coisa que obedece a certas convenções ou regras (e critérios)^{xxx}. Logo, a resposta do estudante seria racionalmente aceitável caso ele mostrasse nessa sua “lógica” qual regra estaria seguindo para chegar a tal julgamento, em coerência com um determinado critério pertinente. Mesmo que essa palavra tenha compatibilidade com racionalidade, ela se mostra ainda muito geral, podendo-se notar que uma reflexão da posição racionalista não é perfeitamente dominada pelo estudante. Comprova-se isso na seguinte justificativa que ele forneceu para o seu julgamento: “*porque tenho certeza que (a teoria cinético-molecular) é melhor do que a minha (noções iniciais)*” (na quinta resposta)^{xxx}. A justificativa ‘*tenho certeza*’ não caracteriza uma racionalidade como no sentido adotado neste estudo, porque não segue nenhum critério racional, então controlado pelo estudante. Poder-se-ia dizer que talvez, nesse caso, o estudante adotasse uma suposta lógica natural, ainda implícita, cujo critério fosse o do grau de explicações ‘certas’^{xxxii}, o que justificaria assim a escolha realizada. Mas essa possibilidade deve ser descartada porque desse modo o estudante teria valorizado suas noções iniciais em respeito ao que também comentou na quinta questão: “*mas a minha (explicação) sobre o (aquecimento do) arame, acho que ta mais certa*”. Embora o estudante tenha indicado a teoria cinético-molecular, a análise do seu julgamento permite concluir a necessidade de uma preparação racional para que ele próprio tenha uma reflexão melhor sobre a decisão que tenha tomado, além de ainda poder melhor acompanhar, em sala de aula, as direções que as discussões racionais de escolha de teorias rivais tomam para chegarem a determinados julgamentos. A seguir, a tabela quatro apresenta uma organização dos resultados dessa discussão dos desempenhos gerais dos estudantes neste passo.

Tabela 4 – Resultados dos desempenhos dos estudantes no sétimo passo

	ESTUDANTES
Explicações qualitativas adequadas pela teoria cinético-molecular, fortalecendo a interpretação nas análises do avanço conceitual em relação aos entendimentos de calor e temperatura das noções intuitivas ^{xxxiii} .	3,4,5,8,9,12,13
Nas três primeiras situações da segunda questão, houve a associação do fenômeno da elevação da temperatura dos corpos com a intensificação da movimentação de suas partículas, coerentemente com o modelo cinético-molecular.	1,2,4,5,6,7,9,12,13
Ainda nas três primeiras situações da segunda questão, também apresentaram a associação acima em um ou dois fenômenos de aquecimento, mas descreveram esse fenômeno nas demais situações.	3,8,10,11
Constatação do uso do termo calor em explicações de fenômenos de aquecimento nos quais não há troca de energia por diferença de temperatura.	Sem resultados.
Alcançaram certa construção do conhecimento científico, nas três situações acima ou em algumas delas, ao apresentarem condições de frutificação de explicações compatíveis com a teoria cinético-molecular.	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13
Para a quarta situação da segunda questão, apresentaram condições de inteligibilidade e de satisfação com a teoria cinético-molecular.	1,2,3,4,5,6,7,9,12,13
Na quarta questão, o fenômeno da estabilização da temperatura aparentou-se como um fato	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,12 ^{xxxiv} ,13.

contraditório reconhecido pela maioria dos estudantes na proposição por eles pensada em que o calórico transferido de um corpo mais quente ao corpo mais frio não alterava a temperatura deste último. Previsão que não se imaginava com a teoria calórica. Constatação das condições de inteligibilidade e insatisfação com a teoria calórica.	
Realizaram reflexões sobre as capacidades explicativas das noções intuitivas particulares para as quatro situações de aquecimento da segunda questão.	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13
Empregaram o critério racional, que foi gerado por influência da RRD, para avaliar teorias rivais.	1,2,3,4,5,6,7,8,9,12,13
Justificaram, por coerência com o critério racional acima, seus julgamentos nos quais a teoria cinético-molecular apresenta superioridade explicativa em relação às suas noções intuitivas.	1,2,3,4,5,6,7,8,9,12,13

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados indicam avanços conceituais dos estudantes sobre calor e temperatura no que se refere às inteligibilidades dos modelos calórico e cinético-molecular em termos qualitativos que, neste nível escolar, são importantes como conhecimentos introdutórios em termodinâmica. Da forma pela qual a estratégia buscou dar conta dessa principal meta do processo educacional, que é o aprendizado de conceitos científicos, a RRD mostrou ser capaz de poder promover reflexões interessantes por meio da inspiração filosófica racionalista lakatosiana entre os conhecimentos de senso comum dos estudantes e os científicos. O propósito do uso do referencial lakatosiano é merecido nesta estratégia, ainda que os debates filosóficos entre, por exemplo, Popper, Kuhn, Feyerabend, Lakatos, Laudan, e vários outros, enfrentem dificuldades com a visão tradicional de racionalidade na ciência, conduzindo a discórdias sobre a natureza da mesma. Isto porque, embora os padrões de racionalidade devam poder evoluir e ser vistos como parte de uma tradição em constante expansão^{xxxv}, o referencial lakatosiano pode fornecer ao debate racional entre concepções e/ou teorias rivais o caminho que Siegel (1980) já priorizava e que um dia se pudesse alcançar como parte do ideal educacional de pensamento crítico, conforme nas suas próprias palavras:

Desejamos ter estudantes capazes de pensar criticamente e isto significa, ao menos em parte, fazê-los compreender o que são as regras de avaliação e critérios de julgamento de argumentos. Desejamos que os estudantes estudem, por exemplo, os critérios metodológicos subjacentes a nossos julgamentos de que tal-e-tal evidência apóia um argumento X, mas que outra não apóia argumento Y. Desejamos que os estudantes aprendam como aplicar tal critério.

Sendo assim, com a inserção da RRD fundamentada num modelo mais atual de racionalidade (Siegel, 2004), pode-se dizer que esse caminho esteja sendo mais bem seguido pela estratégia aqui empregada, mostrando-se uma alternativa para o educador científico à frente das que se exemplificou na introdução deste estudo.

A respeito do elemento inovador desta estratégia, que é o uso da RRD com o propósito especificado, o fim instrucional que esta almeja auxiliar depende de sua orientação aos princípios normativos inspirados na filosofia racionalista lakatosiana então mencionados e que pode, portanto, resultar em um texto particular conforme a astúcia e/ou habilidade do elaborador. Ainda que possa vir a ocorrer algum equívoco à plena coerência a tais princípios, é importante reconhecer que qualquer elaboração deste tipo está sujeita a crítica, pois é ser prepotente demais achar que se alcançou o melhor encadeamento de idéias num escrito. Isso porque é normal admitir que a quantidade de informações pertinentes que se tem disponível pode ser considerada incompleta pelo fato comum de se deparar com uma nova. Deve-se levar em conta a verdade de que não existe uma reconstrução racional unívoca e metodologicamente perfeita a qual estaria sempre disponível para que a ela se possa referir. Aliás, uma elaboração sempre é limitada pelos limites daquele que a elabora^{xxxvi}. O que é significativo na presente aplicação da estratégia são os resultados que se mostraram eficazes por meio desta RRD e, mesmo que esta possa ser melhorada no sentido que aqui se sugere, a essência da proposta é conservada. À guisa de alerta aos possíveis interessados em utilizar esta proposta como metodologia de ensino, é importante lembrar que os resultados aqui alcançados foram obtidos num colégio específico (considerado um colégio que, comumente, no período diurno, apresenta alunos com bons rendimentos nas disciplinas escolares^{xxxvii}) com uma amostra específica de alunos e, acima de tudo, por um professor específico (primeiro autor da pesquisa), que inclusive elaborou essa estratégia. Esses detalhes servem para que aquele interessado, como um docente do ensino médio, pense bem antes de aplicá-la, pois, se apenas utilizada como simples ‘receita’, o ‘bolo’ pode não sair tão bem feito quanto aquele do ‘cozinheiro profissional’ (professor/pesquisador). Logo, na complexidade do processo de aprendizagem pela heterogeneidade entre os alunos de uma turma e outra, entre uma escola e outra, o que se pode insistir é na preparação do educador para o uso desta proposta e que, entretanto, por esse caminho, nada se pode dizer contra a afirmação da possibilidade de serem alcançados

resultados até mais significativos do que os que aqui foram encontrados.

ⁱ Nesse modelo, a justificação racional de uma decisão ou escolha é uma questão de conformidade com regras explícitas ou princípios em que o julgamento não representa papel algum (SIEGEL, 2004). Exemplos incluem o modelo adotado pelos neo-positivistas e por Karl Popper, em que a razão se apóia em regras atemporais e, em última instância, explicitáveis (ASSIS, 1993).

ⁱⁱ Em que o julgamento refere-se a uma habilidade que se exercita, resultando em decisões razoáveis sem seguir regras.

ⁱⁱⁱ Julgamento que pode ser entendido como um processo, no qual a habilidade é exercitada, ou como, em sentido ordinário, o resultado desse processo (decisões ou escolhas).

^{iv} No modelo híbrido entende-se que “a racionalidade é satisfazer critério(s), é normativa pelo menos em certa extensão, e mostra o que é merecedor de convicção, ou decisão, ou ação”, admitindo-se que a racionalidade é “função de razões, critérios, consistência e (assim) regras” (SIEGEL, 2004, p. 609). Embora esse modelo híbrido seja discordante daquele proposto por Govier (apud SIEGEL, 2004) que, ao encontro do modelo de julgamento de Brown (1988, 1994 e 2006), admite o entendimento no qual “somente cumprir regras universais não é a racionalidade”, Silva et al. (2008a, p. 10) afirmam: “Desse impasse teórico, entretanto, nada impede o entendimento de que o ensino racional seja aquele em que se estabeleça um aprimoramento do conhecimento de lógica (em que haja a conformidade com critérios e regras) em estudantes para auxiliá-los na aprendizagem de conteúdos científicos”.

^v Lakatos (1978, p. 168) afirma que a filosofia da ciência compromete-se com o problema da apreciação normativa de teorias científicas e, “em particular, o problema da enunciação de condições universais debaixo das quais uma teoria é científica”. E assim, ele também assume essa definição de Chalmers ao defender sua posição racionalista da relativista. Em seu entendimento, a posição assumida por Bérson, como por Feyerabend, “conduz a um relativismo, a menos que lhe seja adicionado um critério que nos permita saber quando é que uma teoria é melhor do que outra” (ibid., p. 173).

^{vi} O entendimento de que o conhecimento científico escolarizado atual deva ser a meta do processo de ensino/aprendizagem, estando acima do ponto de vista de um ensino historicamente autêntico, tem sido defendido no ensino de ciências (MÄNTYLÄ & KOPONEN, 2007, p. 297-298; FEYERABEND apud PEREIRA & AMADOR, 2007, p. 193; VALENTE, 2005, p. 4; IZQUIERDO-AYMERICH & ADÚRIZ-BRAVO, 2003, p. 29; NIAZ & RODRIGUEZ, 2002, p. 62; DOBSON, 2000, p. 1). Por outro lado, vale ressaltar que o uso de reconstruções racionais para fins didáticos tem tido críticas (ALLCHIN, 2004; MARTINS, 2006), muito provavelmente fortalecidas por questionamentos destas reconstruções como, assim originalmente julgadas por alguns historiadores (KLEIN apud BRUSH, 1974; BRUSH, 1974), ‘más’ histórias usadas no ensino. Contudo, Silva (2008), por exemplo, gasta mais de quinze páginas em discussões com

argumentos contra e a favor tanto da inserção da história da ciência quanto de versões distorcidas da história e conclui: “Diante das controvérsias para o ensino, é impossível dizer que a inserção de conteúdos de história da ciência produzirá avanços notáveis e não trará problemas, mas também é impossível dizer que as versões distorcidas da história são em si perniciosas e devem ser abolidas. Assim, continua sendo perfeitamente legítima a expectativa de que o uso de versões distorcidas venha a contribuir para a melhoria do ensino de conceitos científicos” (ibid., p. 46). Um pensamento consistente com tal conclusão pode também ser bem resgatado em Lombardi (1999).

^{vii} “Sempre que uma ciência é ensinada, uma filosofia, até certo ponto, também é ensinada” (MATHEWS, 1994, p. 83). “Toda história da ciência ensina uma natureza da ciência” (ALLCHIN, 2004, p. 188). E em ressonância com essas afirmações: Todo debate, então racional, realizado para explicar a superação de uma teoria entre rivais, exemplifica/ensina um critério pelo qual a racionalidade assim permitiu entender a aceitação dessa superação.

^{viii} Lakatos (ibid.) comenta que Michelson se manteve fiel ao éter até o fim: “viu-se principalmente frustrado pela incompatibilidade dos fatos que obteve por intermédio das suas mensurações ultraprecisas. Sua experiência de 1887 ‘mostrou’ que não havia vento de éter sobre a superfície da terra. Mas a aberração ‘mostrou’ que havia (vento de éter)”. Ademais, Lakatos (ibid.) ainda comenta que “sua própria experiência (de Michelson) de 1925 (ou nunca mencionada ou, como no trabalho de Jaffe de 1960, ‘Michelson and the Speed of Light’, apresentada incorretamente) também ‘provou’ que havia (vento de éter)”

^{ix} Em que o julgamento (decisão ou escolha), para ser reconhecido como julgamento racional, implica na dependência como segue: julgamento → avaliação normativa → critério → consistência → regras (ibid.).

^x Independente de haver um intenso escrutínio filosófico sobre a noção de regras e o papel do julgamento, é consenso que qualquer teoria adequada de racionalidade deve caracterizar a dependência das decisões nas razões, sendo a racionalidade das convicções ou dos julgamentos dependente da suficiência das razões em que apóiam (SIEGEL, 2004; BROWN, 1988).

^{xi} A racionalidade necessita de critério com consistência, isto é, que ele seja válido para todo e qualquer caso semelhante ao que inicialmente foi aplicado. Por exemplo, a regra, via da qual te permitirá segurança em julgamento, é seguir a lógica: se há uma boa razão *A* para o uso de um critério *B* nas circunstâncias *C*, é preciso que esse uso seja feito em todas as circunstâncias semelhantes relevantes.

^{xii} De acordo com Siegel (2004, p. 609): “Nós não precisamos conscientemente seguir regras para sermos racionais, mas nossos julgamentos devem seguir critérios para serem certificados como racionais”.

^{xiii} Por uma questão ética, realizou-se uma substituição dos nomes verdadeiros dos alunos por uma numeração que impede suas futuras identificações, em que os dados obtidos em situação real de sala de aula foram acompanhados pelo professor titular e integrados às notas dos alunos.

^{xiv} São quatro questionários diferentes aplicados na estratégia; todos respondidos individualmente.

^{xv} Nesses casos, as duas teorias explicam satisfatoriamente os fenômenos. Uma folha com explicações dos postulados e dos conceitos em foco pertencentes a elas, como material de estudo, também foi entregue a cada estudante para que pudessem recordar as discussões e estudar em casa, almejando irem bem no próximo passo avaliativo.

^{xvi} CALOR – uma viagem ao mundo das moléculas. Produtores: *Jorge Teixeira e Rosa Ramos*. Direção de Produção: *George Jonas*. Roteiro: Prof. Dr. Klaus S. Tausk. Instituto Nacional do Cinema (I.N.C.), Departamento do Filme Educativo. *Uma realização de Unifilm Cinematográfica* – São Paulo. Assessoria: FUNBEC. Videocassete (11min.): VHS, Ntsc, son, color, sem legendas, Port.

^{xvii} Por trocas de calor e por atrito. Principalmente, pela teoria do calórico, gerando interpretações de hipóteses auxiliares e dificuldades explicativas em aquecimentos por atrito, baseando-se nas fontes: Basso e Fasolo (1968), Dampier (1945).

^{xviii} Em Silva et al. (2008a) tem-se uma analogia entre alguns aspectos do “fazer ciência”, inspirados em Lakatos (1978), e os de ensinar ciência. Para Lakatos (ibid., p. 32), a força heurística refere-se à capacidade de um programa em antecipar teoricamente fatos novos, como, também, recém interpretados em seu crescimento. Mas ele (ibid.) ressalta que um fato novo pode ser um fato improvável, ou mesmo proibido por outra teoria rival. É com esta última caracterização de um fato novo (explicar um fato proibido por uma teoria rival) que a analogia com o critério de força heurística torna-se mais forte para avaliar como progresso ou degeneração.

^{xix} A segunda noção intuitiva foi estabelecida pela dificuldade de se classificar alguns entendimentos dos estudantes na terceira noção intuitiva. A dificuldade existiu pelo fato de não se observar a idéia de calor como substância (semelhante a um fluido) em suas explicações, mesmo o estudante entendendo que a temperatura indica a quantidade de calor. Pelo fato de eles afirmarem que o calor se refere a um aquecimento, a uma elevação de temperatura, pela junção das respostas apresentadas no primeiro questionário, ficou difícil afirmar se certos estudantes apresentaram realmente um entendimento de calor como um processo ou como algo que se manifesta em um processo de aquecimento, visto que, para eles, a temperatura mede a quantidade de calor. Sendo assim, embora tenham afirmado que calor é um aquecimento ou elevação de temperatura, despercebidamente afirmaram incoerentemente que a temperatura mede a própria elevação de temperatura (ou aquecimento, que definem de calor).

^{xx} Laburú et al. (1998) afirmam que essas idéias assemelham-se às noções de calor e temperatura dadas pela teoria do calórico e defendem uma analogia entre elas e as heurísticas lakatosianas (relacionadas ao núcleo e cinturão protetor de hipóteses auxiliares), permitindo defini-las em um programa alternativo rival ao científico escolástico.

^{xxi} Essa idéia de calor como energia mostrou-se ainda imatura, necessitando os estudantes de instrução, pois, além de não atrelarem a condição de uma diferença de

temperatura, eles mantinham uma noção substancializada de calor pela qual é notável a semelhança com a terceira noção por afirmarem que a temperatura refere-se a uma medida da quantidade de calor de um corpo.

^{xxii} Duas perguntam o que é calor e temperatura para cada teoria e outras duas perguntam quais os postulados de cada uma.

^{xxiii} Estes estudantes são os que faltaram no quarto passo (inserção da RRD) e na posterior aplicação deste terceiro questionário.

^{xxiv} Uma previsão buscada para gerar nos estudantes uma interpretação de inviável foi feita pela teoria do calórico. A previsão foi de que o gelo não derrete pelo atrito num ambiente de temperatura menor que a de sua fusão. Nesse caso, discutiu-se que esse mesmo derretimento fora possível em tal ambiente, buscando gerar interpretações de contradição com o sentido do fluxo de calórico, além de inviabilizar tal previsão.

^{xxv} Ou seja, fatos novos preditos então corroborados. A saber: fatos improváveis à luz da teoria rival ou mesmo proibidos por ela (Lakatos, 1978, p. 32).

^{xxvi} “*O que há é uma conversão de energia mecânica em energia interna, mas, nem calor, nem sua produção, devem ser mencionados ao considerar a definição teórica deste termo*” (Silva et al., 2008c, p. 391). Nesse caso, tem-se uma importante observação de Sears e Salinger (1978, p. 90-91): “*Afirmativa comum, porém, imprecisa, a de que em um processo dissipativo ‘trabalho é convertido em calor’.* Tudo que se pode realmente dizer é que a variação na energia interna de um sistema, em um processo dissipativo, é a mesma, como se houvesse um fluxo de calor Q para o sistema, igual em magnitude ao trabalho dissipativo”.

^{xxvii} Neste passo, essa questão foi elaborada e acrescentada de modo repentino pelo educador/pesquisador, após o questionário ter sido entregue aos estudantes, na razão de se poder estar concentrando-os melhor nestes conceitos, pois várias explicações de fenômenos com a teoria cinético-molecular seriam cobradas em questões posteriores.

^{xxviii} É preciso dizer que o educador não realizou explicações com a teoria cinético-molecular para essas três situações, mas conduziu os estudantes a fazerem reflexões sobre as previsões nas discussões.

^{xxix} Exceto os estudantes 10 e 11, posteriormente analisados.

^{xxx} Acepção comum da palavra lógica conforme Houaiss e Villar (2001).

^{xxxi} Lembrando ainda que a certeza do estudante pode estar fundamentada no que ele observa nos livros, isto é, no sentido de que a teoria cinético-molecular é a que ele está destinado a aprender.

^{xxxii} Por ele entendida como certas.

^{xxxiii} Lembrando que, na primeira questão, não foi possível analisar as explicações dos estudantes 1, 2, 10 e 13 por não fornecê-las.

^{xxxiv} O estudante 12 apenas justificou que a teoria calórica não explica o fenômeno por ela admitir o calor como substância, justificando assim resumida que permite concluir, certamente, somente que ele entendeu que a teoria

não explica o fenômeno, mas não a razão desse entendimento.

^{xxxv} Em que a racionalidade numa investigação natural é embasada em princípios pelos quais as evidências devem ser interpretadas e relacionadas às teorias.

^{xxxvi} O que é válido também para os questionários aqui empregados.

^{xxxvii} Em relação às *Notas Médias do Enem por Município e por Escolas dos Alunos Concluintes do Ensino Médio em 2006*, o Colégio Estadual de Ensino Fundamental e Médio Professor José Aloísio Aragão (Colégio Aplicação) obteve, nas quatro provas (prova objetiva; redação e prova objetiva; prova objetiva com correção de participação; redação e prova objetiva com correção de participação), as quatro melhores médias entre as escolas públicas de Londrina (Enem, 2006).

REFERÊNCIAS

- Allchin, D. (2004) Pseudohistory and pseudoscience. *Science & Education*, 13: 179-195.
- Assis, J. P. (1993). Kuhn e as ciências sociais. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 7, n. 19, 1993. En <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40141993000300004&lng=en&nrm=iso>
- Basso, D.; Fassolo, P. (1968) *Física 1 – novo programa para o ensino de Física*. Editora Sulina, Porto Alegre – RS.
- Bogdan, R.; Biklen, S. *Investigação qualitativa em educação (uma introdução à teoria e aos métodos)*. Porto Editora, Portugal (1994).
- Brown, H. I. (1988). *Rationality*. London: Routledge.
- Brown, H. I. (1994). Judgment and Reason: Responses to Healy and Reiner and Beyond, *The Electronic Journal of Analytic Philosophy*, v. 2. n. 5.
- Brown, H. I. (2006). More about Judgment and Reason. *Metaphilosophy*, v. 37, n. 5, ps. 646-651, October.
- Brush, S. G. (1974). 'Should the History of Science be Rated X?'. *Science*, 18, ps. 1164-1172.
- Chalmers, A. F. (2000). *O que é ciência afinal?* Editora Brasiliense, São Paulo-SP.
- Dampier, W. C. (1945). *História da Ciência – e das suas relações com a filosofia e a religião*. 2ª edição. Editorial Inquérito Limitada – Lisboa.
- Dobson, K. (2000). Is physics debatable? *Physics Education*. 35 1.
- Enem. *Notas Médias do Enem por Município e por Escolas dos Alunos Concluintes do Ensino Médio em 2006*. <http://www.inep.gov.br>. Acesso 25/04/2007.
- Funbec (1997). *Laboratório portátil de Física (2º grau): manual de experimentos para o professor*. EDART – São Paulo Livraria editora Ltda.
- Houaiss, A.; Villar, M. S. (2001). *Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa*. Rio de Janeiro: Objetiva.
- Izquierido-Aymerich, M.; Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological Foundations of School Science. *Science & Education*, 12, ps. 27-43.
- Kuhn, T. S. (1994). *A estrutura das revoluções científicas*. 3ª edição, Editora Perspectiva S. A: São Paulo.
- Laburú, C. E.; Arruda, S. M.; Nardi, R. (1998). Os programas de Lakatos: uma leitura para o entendimento da construção do conhecimento em sala de aula em situações de contradição e controvérsia. *Ciência e Educação*, 5, 2, 23-38.
- LAKATOS, I. (1978). *The methodology of scientific research programmes*. Philosophical Papers Volume 1. Cambridge: Cambridge University Press.
- LOMBARDI, O. I. (1997) La pertinência de la historia en la enseñanza de ciencias: argumentos y contraargumentos. *Enseñanza de las ciencias*, 15(3), pp. 343-349.
- Mäntylä, T.; Koponen, I. T. (2007). Understanding the Role of Measurements in Creating Physical Quantities: A Case Study of Learning to Quantify Temperature in Physics Teacher Education. *Science & Education* 16, 291-311.
- MARTINS, R. A. (2006). Introdução. A história das ciências e seus usos na educação. In: SILVA, C. C. (Org). *Estudos de História e Filosofia das Ciências: subsídios para aplicação no ensino* (pp. xxi-xxxiii). São Paulo: Editora Livraria da Física.
- Mathews, M. R. (1994). *Science Teaching – The role of history and philosophy of science*. New York: Routledge.
- Niaz, M. (1998). A Lakatosian Conceptual Change Teaching Strategy Based on Student Ability to Build Models with Varying Degrees of Conceptual Understanding of Chemical Equilibrium. *Science & Education*, 7, ps. 107-127.
- Niaz, M.; Chacón, E. (2003). A conceptual change teaching strategy to facilitate high school students' understanding of electrochemistry. *Journal of Science Education and Technology*, v. 12, n. 2. jun.
- Niaz, M. ; Rodríguez, M. A. (2002). Improving learning by discussing controversials in 20th century physics. *Physics Education*, 59-63, jan.
- Pereira, A. I.; Amador, F. (2007). A história da ciência em manuais escolares de ciências da natureza. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, v. 6 n.1.
- Popper, K. R. (1972). *A lógica da pesquisa científica*. Editora Cultrix: São Paulo.
- Posner, G., Strike, K., Hewson, P., & Gertzog, W. (1982). 'Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change', *Science Education* 66, ps. 211-227.
- Reiner, R. (1994). "The Rationality of Authority: Healy and Brown on Expertise". *The Electronic Journal of Analytic Philosophy*, v.2, n.3.

Rowell, J. A. (1989). Piagetian Epistemology: Equilibration and the Teaching of Science. *Synthese*, 80, ps. 141-162.

Sears, F. W.; Salinger, G. L. (1978). *Termodinâmica, teoria cinética y termodinâmica estatística*. 2 ed. Barcelona: Editora Reverte S. A.

Siegel, H. (1980). Critical thinking as an educational ideal. *The Educational Forum*, v. 14, n. 1, ps. 7-23, nov.

Siegel, H. (2004). Rationality and Judgment. *Metaphilosophy*, v.35, n.5, ps. 597-613, October.

Silva, O. H. M. (2008). *Um Estudo sobre a Estruturação e Aplicação de uma Estratégia de Ensino de Física Inspirada em Lakatos com a Reconstrução Racional Didática para Auxiliar a Preparar os Estudantes para Debates Racionais entre Teorias e/ou Concepções Rivalis*. Tese apresentada à Faculdade de Ciências da Unesp de Bauru – SP para a obtenção do título de doutor em Educação para a Ciência.

Silva, O. H. M.; Nardi, R.; Laburú, C. A. (2008a). Uma estratégia de ensino inspirada em Lakatos com instrução de racionalidade por uma Reconstrução Racional Didática. *Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 10, n. 1: ps. 9-20.

Silva, O. H. M.; Nardi, R.; Laburú, C. A. (2008b). Um estudo da preparação dos estudantes para debates racionais entre teorias e/ou concepções rivalis numa estratégia de ensino de física inspirada em Lakatos. *Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 10, n. 2: ps. 193-205.

Silva, O. H. M.; Nardi, R.; Laburú, C. A. (2008c). Reflexões para subsidiar discussões sobre o conceito de calor na sala de aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 25, n. 3: ps. 383-396.

Villani, A.; Barolli, E.; Cabral, T. C. B.; Fagundes, M.; Yamazaki, S. C. (1997). Filosofia da ciência, história da ciência e psicanálise: analogias para o ensino de ciências. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v.14, n.1: ps. 37-55, abr.

Valente, M. (2005). Contributo da história e filosofia das ciências para o desenvolvimento do gosto pelo conhecimento científico. *Enseñanza de las ciencias*, número extra, VII Congresso. En <http://ensciencias.uab.es/webblues/www/congres2005/material/comuni_orales/1_ense_ciencias/1_3/Valente_865.pdf>

Osmar Henrique Moura da Silva

Técnico de Nível Superior Doutor de cargo/função Físico do Departamento de Física da Universidade Estadual de Londrina – PR, desde 1999 por meio de concurso público. Graduado em Física (licenciatura) pela UEL, Especialista em Física para o novo ensino médio pela UEL, Mestre em Educação pela UEL, Doutor em Educação para a Ciência pela UNESP de Bauru-SP. Realiza pesquisas em Instrumentação para o Ensino de Física e pesquisas com referenciais da História e Filosofia da Ciência, racionalidade e pensamento crítico, para contribuir à educação científica. Tem vasta experiência em desenvolver experimentos didáticos, abastecendo aulas práticas dos cursos de graduação e pós-graduação. Também é o responsável por construir e constantemente reparar vários experimentos de física, muitos deles automatizados ao público, do Museu de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual de Londrina.