

Osmar Henrique Moura da Silva

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 Rivais

Tese apresentada à Faculdade de Ciências da Universidade de Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Bauru, como requisito para a obtenção do título de doutor em Educação para a Ciência, sob a orientação do Prof. Dr. Roberto Nardi

Bauru

2008

Osmar Henrique Moura da Silva

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 Universidade de Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Bauru, como requisito para a obtenção do título de doutor em Educação para a Ciência, sob a orientação do Prof. Dr. Roberto Nardi

BANCA EXAMINADORA

Presidente: Prof. Dr. Roberto Nardi

Instituição: Universidade Estadual Paulista - UNESP

Titular: Prof. Dr. Marcos Rodrigues da Silva

Instituição: Universidade Estadual de Londrina - UEL

Titular: Prof. Dr. Maurício Pietrocola Pinto de Oliveira

Instituição: Universidade de São Paulo - USP

Titular: Prof. Dr. João José Caluzi

Instituição: Universidade Estadual Paulista - UNESP

Titular: Prof. Dr. Marcelo Carbone Carneiro

Instituição: Universidade Estadual Paulista - UNESP

DEDICATÓRIA

Aos meus pais e aos meus amigos...
companheiros de todas as horas...

AGRADECIMENTOS

A minha família, pela ajuda, confiança e motivação.

Ao Orientador Prof. Dr. Roberto Nardi, braço amigo de etapas deste trabalho.

Ao Co-orientador Prof. Dr. Carlos Eduardo Laburú, pelas constantes reflexões, atenções e críticas.

Ao amigo Prof. Márcio Eleotério Cunha, pela permissão da aplicação desta Estratégia em suas aulas no ensino médio.

À Prof. Dra. Irinéa de Lourdes Batista, pela concessão de alguns textos relacionados à História e Filosofia da Ciência.

Ao Prof Dr. Jézio Hernani que me atendeu por telefone com muito carinho e enviou-me por correio o texto de Kuhn (1974).

A Universidade Estadual de Londrina pelo afastamento parcial de 20hs semanais.

A todos que, com boa intenção, colaboraram para a realização e finalização deste trabalho.

E aos que não impediram a sua finalização.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados dos desempenhos dos alunos no primeiro passo.....	207
Tabela 2 – Resultados dos desempenhos dos alunos no terceiro passo.....	210
Tabela 3 – Resultados dos desempenhos dos alunos no quinto passo.....	215
Tabela 4 – Resultados dos desempenhos dos alunos no sétimo passo.....	223

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura – Representação de duas situações de transferência de energia: a) transferência de energia por calor; b) transferência de energia por trabalho.....	96
Fotografia – Experimento usado em sala de aula para demonstrar, por analogia, o comportamento das partículas de um gás.....	251

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	1
1. REFERENCIAIS TEÓRICOS.....	10
1.1. O referencial Imre Lakatos.....	10
1.1.1. Epistemologia.....	10
1.1.2. Reconstrução racional.....	16
1.2. O Instrumento Analítico-Pedagógico Lakatosiano.....	21
1.3. A estratégia pedagógica de Niaz.(1998).....	27
2. HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA NO ENSINO DE FÍSICA.....	31
3. RACIONALIDADE E ENSINO DE CIÊNCIAS.....	47
4. O PROBLEMA E AS JUSTIFICATIVAS DA PESQUISA.....	74
5. ESTRUTURAÇÃO DA PROPOSTA DE ENSINO.....	81
5.1. A Estratégia de ensino lakatosiana.....	82
5.2. A elaboração da Reconstrução Racional Didática (RRD).....	89
5.3. Calor e Temperatura: dificuldades e esclarecimentos conceituais.....	91
6. METODOLOGIA.....	101
6.1. Amostra, constituição e registro dos dados.....	102
6.2. Aplicação da Estratégia.....	103
6.3. Procedimento de análise dos dados.....	111
7. ANÁLISE DOS DADOS.....	115
7.1. Noções intuitivas.....	115
7.2. Análise das construções individuais do conhecimento.....	117
7.2.1. Aluno 1.....	118
7.2.1. Aluno 2.....	126
7.2.3. Aluno 3.....	133
7.2.4. Aluno 4.....	141
7.2.5. Aluno 5.....	149
7.2.6. Aluno 6.....	157
7.2.7. Aluno 7.....	164
7.2.8. Aluno 8.....	171
7.2.9. Aluno 9.....	178
7.2.10. Aluno 10.....	184
7.2.11. Aluno 11.....	187
7.2.12. Aluno 12.....	191
7.2.13. Aluno 13.....	197
7.3. Discussão geral dos dados.....	205

CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS.....	225
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	231
APÊNDICES.....	240
APÊNDICE A – Pré-avaliação (passo 1).....	241
APÊNDICE B – Teorias rivais.....	242
APÊNDICE C – Primeira avaliação (passo 3).....	243
APÊNDICE D – RRD.....	244
APÊNDICE E – Segunda avaliação (passo 5).....	248
APÊNDICE F – Terceira avaliação (passo 7).....	249
ANEXOS.....	250
ANEXO A – Foto do experimento comercializado pela FUNBEC.....	251
ANEXO B – Dados brutos.....	252

RESUMO

O desenvolvimento de estratégias de ensino de conceitos científicos por inspiração na filosofia da ciência tem sido objeto de vários estudos na área de Educação em Ciências. Com base em alguns desses trabalhos, esta pesquisa estrutura uma proposta de estratégia para o ensino de Física que inclui a Reconstrução Racional Didática (RRD) com visão filosófica implícita inspirada na epistemologia e reconstrução racional de Lakatos. A inclusão da RRD como um passo específico de uma estratégia de ensino lakatosiana tem a intenção de exemplificar situações racionais de comparação de teorias rivais e, com isso, preparar o aluno para posteriores debates entre concepções rivais alternativas e científicas de modo a auxiliar o aprendizado destas últimas. A presente estratégia de ensino lakatosiana é proposta de uma maneira pragmática por constituir-se de uma sintética seqüência de passos ao se apoiar em duas estratégias racionais de ensino (Niaz, 1998 e Rowell, 1989), mas sofisticando-a em relação a estas últimas por considerar a intenção acima mencionada. Realiza-se uma aplicação no processo de ensino/aprendizagem dos conceitos de calor e temperatura, na qual, por uma metodologia qualitativa, as análises dos resultados procuram mostrar que a presente sugestão da inserção da RRD pode ser uma maneira proveitosa de preparar os alunos para debates racionais.

ABSTRACT

The development of strategies for teaching physics concepts inspired in the Philosophy of Science has been the aim of various studies in Science Education. Based on some of these investigations, this research structures a Physics teaching strategy proposal which includes the Didactical Rational Reconstruction (DRR) with a philosophical implicit view inspired in the Lakatosian epistemology and rational reconstruction. The inclusion of the DRR as a specific step of a Lakatosian teaching strategy intends exemplify rival theories comparison rational situations and, with that, to prepare the student to further debates among alternative and scientific rival conceptions in order to help learning these last ones. To present lakatosian teaching strategy it is proposed by constituting of a synthetic sequence of steps when leaning on in two rational strategies of teaching in a pragmatic way (Niaz 1998 and Rowell 1989), but developing her in relation to these last ones for considering the concern above mentioned. An application is accomplished in the process of teaching of the concepts of heat and temperature, in the one which, for a qualitative methodology, the analyses of the results try to show that to present suggestion of the insert of the DRR can be an interesting way to prepare the students for rational debates.

INTRODUÇÃO

Pesquisas anteriores (Laburú et al., 1998; Laburú e Arruda, 1998; Laburú e Niaz, 2002; Silva e Laburú, 2002) estruturaram e testaram um Instrumento Analítico-Pedagógico Lakatosiano que estabelece um paralelo entre as heurísticas positiva e negativa da metodologia dos programas de pesquisa científica com a dinâmica das concepções alternativas dos alunos diante das concepções científicas. As contribuições desses trabalhos foram de mostrar que aquele instrumento fornece um entendimento de como podem ser estruturadas as concepções alternativas. Mais especificamente, as pesquisas indicaram por esse Instrumento que tais concepções podem resistir ao ensino oficial por se apresentarem, muitas vezes, com um “núcleo firme” protegido por explicações auxiliares. No entanto, essas pesquisas apresentaram uma limitação por não se preocuparem com alguma intervenção pedagógica que potencializasse um aprendizado.

Além da inspiração do referencial lakatosiano acima, vale dizer que na literatura existem muitos estudos que apresentam propostas didáticas para o ensino de ciências, inclusive, estabelecendo analogias com outros referenciais epistemológicos, a exemplo dos de Kuhn (Posner et al., 1982), Tolmin (Stipcich e Toledo, 2001), Feyerabend (Laburú e Carvalho, 2005), e tantas mais. Aliás, como um ponto comum entre essas propostas, e todas as propostas ditas construtivistas¹, está a advertência para as idéias de senso comum que os alunos trazem do cotidiano. O que permite entender que é indiscutível a afirmação de que cego é aquele professor que não percebe a influência das concepções alternativas no processo de aprendizagem dos conteúdos científicos². No entanto, embora haja convergências e divergências entre propostas de ensino, percebe-se que, na prática, o processo de aprendizagem de uma ciência é tão complexo que uma proposta pedagógica eficiente só pode ser estruturada de maneira quase artesanal. Um exemplo é o modelo de ensino de Aguiar Jr. (1999). Embora não tenha inspiração filosófica, seu modelo foi elaborado como instrumento auxiliar ao planejamento, desenvolvimento e avaliação de propostas de ensino de ciências, voltado para a promoção de mudanças cognitivas (ibid., p. 1).

¹ De acordo com Laburú e Carvalho (2005, p. 16), como heurística pedagógica, o construtivismo, como um todo, foi bem sucedido ao defender algumas posições, entre elas, a de que o aprendiz não vem para a sala de aula com uma mente vazia, desprovido de teoria, mas dispõe de uma rede conceitual.

² Conforme Wandersee (1986, p. 581): “*As coisas mais importantes que os alunos trazem para as aulas de ciências são seus conceitos*”.

Conforme o autor, seu modelo procura estabelecer patamares pedagógicos concebidos a partir das tríades sucessivas que marcam a evolução do conhecimento causal em termos intra, inter e trans-objetais (Piaget e Garcia, apud Aguiar Jr. 1999). Mas, no que se refere aos resultados positivos obtidos pelo modelo do ponto de vista estritamente conceitual, Aguiar Jr. (ibid., p. 12) divulgou que foram menores do que o esperado. Em continuidade a esse estudo, um posterior trabalho (Aguiar Jr. e Filocre, 2002) realizou modificações, como determinados aspectos em atividades experimentais e discussões (p. 331), e constatou que *“uma porção considerável de estudantes bastante agitada, não apresentava envolvimento suficiente com as reflexões que se procurou promover”* (p. 333). Por outro lado, obteve-se sucesso em mudanças na compreensão da natureza do empreendimento científico. As mudanças mostraram-se especialmente significativas quando os estudantes revelaram surpresa em admitir que calor, temperatura, energia e tantos outros conceitos de física explorados em classe, são invenções humanas, modos de comunicar, prever, explicar e interpretar fenômenos, produzidos historicamente e continuamente transformados (Aguiar Jr., 1999, p. 12). Esses dois últimos estudos (1999 e 2002) servem para ilustrar a afirmação de Villani et al. (1997, p. 37) de que as pesquisas comumente têm a tarefa de fornecer subsídios, ainda que parciais, para a compreensão do processo de aprendizagem e sugestões localizadas sobre estratégias de ensino.

Por apresentar uma inspiração essencialmente lakatosiana, uma estratégia pedagógica de principal interesse aqui é a proposta de Niaz (1998)³. Conforme este autor, ela se baseia na premissa de que os conflitos cognitivos são gerados pelos próprios estudantes ao tentarem enfrentar diferentes problemas com suas concepções. Muitos filósofos, psicólogos e educadores de ciência reconhecem a relação entre o processo de desenvolvimento das teorias pelos cientistas e a aquisição individual do conhecimento (Carey, 1985, Duschl and Gitomer, 1991, Karmiloff-Smith and Inhelder, 1976, Kitchener, 1986 e 1987, Piaget and Garcia, 1989, Von Glasersfeld, 1989 - apud Niaz, 1998)⁴. Essa relação implica na idéia de que o caminho para o conhecimento dos fatores que influenciam a mudança teórica está na interpretação da tarefa comum em que ambos, cientistas e estudantes de ciências, buscam os meios para expandir seus

³ Uma análise sintética de suas contribuições como estratégia pedagógica será mais bem detalhada no primeiro capítulo.

⁴ Por outro lado, existe a defesa de que não é possível realizar uma perfeita transferência automática da dinâmica dos programas de pesquisa das ciências empíricas para a dinâmica do pensamento dos alunos em ambiente de aprendizagem, que é um ambiente totalmente diferente do científico (Osborne, 1996, p. 67; Ogborn, 1997, p. 122; Nola, 1997, p. 79).

conhecimentos do mundo. Esta última afirmação é fortalecida pelas investigações que mostram que o processo pelo qual os cientistas reagem diante dos dados anômalos parece ser idêntico ao processo pelo qual os estudantes de ciência reagem em situações semelhantes (Chinn e Brewer, 1993 e 1998, Laburu et al., 1998; Laburú e Arruda, 1998, Silva e Laburú, 2002, Niaz, 1998).

Como é de interesse nesta pesquisa basear-se na epistemologia de Lakatos para estabelecer analogias com o processo de ensino e de aprendizagem de conceitos de física, os comentários subseqüentes procuram justificar o porquê da opção por essa epistemologia específica.

Entre as epistemologias pós-positivistas⁵, é possível afirmar que há um entendimento convergente para, pelo menos, dois pontos: 1) elas admitem um papel ativo na observação (influência) pelo qual não se defende que o conhecimento é originário e adquirido única e exclusivamente através da observação e experimentação, como se fosse uma verdade extraída dos fatos. Todas concordam que qualquer observação intencional está impregnada de teoria⁶. Nesse sentido, e de acordo com Chalmers (1994, p. 61): *“a hipótese empirista relativa ao quanto uma observação objetiva para a ciência está a nosso dispor tem sido duramente criticada pelos filósofos da ciência nas últimas décadas”*. 2) elas admitem uma provisoriedade do conhecimento pelas mudanças científicas em suas reflexões históricas sobre a produção e desenvolvimento do conhecimento científico. Nesse sentido, concordam que a condição necessária para que os cientistas abandonem uma teoria é a disponibilidade de alguma outra capaz de substituí-la⁷.

Considerando unicamente esses dois pontos, muitas epistemologias contemporâneas serviriam como referencial teórico para realizar analogias com o processo de ensino e de aprendizagem dos conteúdos de física. O primeiro ponto se assemelha às ‘teorias’

⁵ A visão positivista é atualmente rejeitada no plano filosófico (Chalmers, 1994, p. 14) e, por conseqüência, no processo de ensino e de aprendizagem de ciências, a literatura tem apontado a tendência de uma necessidade de se ancorar, quando possível, a uma visão pós-positivista (Delizoicov, 1996, p. 183; Niaz, 1994).

⁶ *“Nossas observações não são ‘puras’, senão interpretadas e carregadas de teoria”* (Andersson, 1984, p. 216). *“Ambos (eu e Popper) enfatizamos, por exemplo, o embricamento íntimo e inevitável da observação com a teoria científica; conseqüentemente, somos céticos quanto aos esforços para produzir qualquer linguagem observacional neutra”* (Kuhn, 1970a, p. 6). *“... abordamos tudo à luz de uma teoria preconcebida”* (Popper, 1970, p. 64).

⁷ *“Uma teoria científica, após ter atingido o status de paradigma, somente é considerada inválida quando existe uma alternativa disponível para substituí-la”* (Kuhn, 1994, p. 108). *“Tudo isso mostra a urgência de substituir uma hipótese falseada por outra melhor. Na maioria dos casos, antes de falsear uma hipótese, dispomos de outra, pois o experimento falseador é, normalmente, um experimento crucial, destinado a decidir entre as duas”* (Popper, 1972, p. 92). *“Não há falseamento antes da emergência de uma teoria melhor”* (Lakatos, 1970, p. 146).

pré-existentes (concepções espontâneas) que impregnam a mente dos aprendizes diante dos mais variados fenômenos. As concepções espontâneas dos alunos podem ser aproximadas por “teorias” compartilhadas, concorrentes, em termos explicativos, com as teorias científicas. Trabalhos, como o de Chinn e Brewer (1993, p. 3), Chi (1991), Nersessian (1989), Carey (1985), Clement (1982), McCloskey et al. (1980), Viennot (1979), asseguram essa aproximação. Para Strike e Posner (1992), as concepções espontâneas, em termos cognitivos, cumprem o papel de paradigmas. Para Chi (1991), tal identificação se dá, pelo menos, para certos conteúdos, à medida que determinados critérios são levados em consideração, como os do tipo: consistência através dos estudos e dos conceitos, robustez e resistência através das idades e da escolaridade e mesmo, através de períodos históricos. Em Driver et al (1985) é possível encontrar o termo esquema que descreve a idéia de teoria compartilhada pelos alunos. Esse termo identifica um elemento estável da estrutura cognitiva armazenada na memória, denotando diversas significações que estão nela armazenadas e inter-relacionadas. Para os estudantes, esses esquemas servem para interpretar os fenômenos que eles encontram em suas idéias diárias e que formam um conhecimento de senso comum. Em sua natureza, tal conhecimento difere do conhecimento científico, de várias maneiras. Por exemplo, difere nas entidades ontológicas (Chinn e Brewer, 1998, p. 630; Pozo et al., 1992) e não apresenta regras explícitas ou consistentes (Grega e Moreira 1998, p. 117), enquanto, por contraste, o conhecimento científico é caracterizado por formulações explícitas das teorias que podem ser comunicadas e investigadas à luz das evidências. Kuhn (1993, p. 322), por outro lado, afirma que existe a oportunidade de achar pensamentos com formatos científicos nas crianças de maior idade, em adolescentes e adultos leigos, quando se concebem estes pensamentos como formas de argumentação. Portanto, é nesse sentido que se interpreta o termo “teoria” para as concepções dos alunos; contudo, alguns autores advertem sobre a limitação do uso desse termo (Jenkins 2000, p. 607; Greca e Moreira, 1998, p. 117; Lawson, 1998; diSessa, 1988).

O segundo ponto refere-se à mudança conceitual que se almeja realizar na mente dos alunos durante o processo de ensino e de aprendizagem, necessitando, para isso, que eles conheçam uma nova teoria. É preciso dizer que a mudança conceitual, comumente divulgada como o *“processo pelo qual os conceitos centrais e organizadores de uma pessoa se modificam de um conjunto de conceitos a outro, incompatível com o primeiro”* (Posner et al., 1982, p. 211), tem carregado um entendimento um tanto insatisfatório com os resultados mais comuns da

prática relacionada ao processo de aprendizagem de conteúdos científicos. Mortimer (1994), por exemplo, a partir de uma visão particular da mudança conceitual, juntamente com a noção de perfil epistemológico de Gaston Bachelard, estabeleceu um novo modelo para a análise da evolução conceitual em sala de aula. Este modelo (perfil conceitual) difere do modelo de mudança conceitual ao sugerir que a construção de novos conceitos não pressupõe o abandono das concepções prévias, mas a tomada de consciência do contexto em que elas são aplicáveis. No entanto, pedagogicamente, a mudança conceitual pode ser entendida como um ideal educacional.

Discutido esses dois pontos, é interessante agora apontar uma divergência crucial entre as posturas filosóficas atuais da ciência que implica uma interpretação na qual, de um lado (racionalista) vê-se favorecida a possibilidade de se estruturar um paralelo com o processo de ensino e de aprendizagem e, de outro (relativista), não. De acordo com Chalmers (2000), as análises filosóficas contemporâneas da ciência forneceram debates quanto às duas posições contrastantes associadas com os termos “racionalismo” e “relativismo”. Para ele, o racionalista extremado afirma que há um critério único, atemporal e universal, com referência ao qual se podem avaliar os méritos relativos de teorias rivais e, por outro lado, o relativista nega que haja qualquer tipo de padrão de racionalidade universal não-histórico. Exemplos dessas duas posições são: Lakatos como racionalista e Kuhn como relativista (ibid., p. 137).

A respeito desse debate entre as duas posições filosóficas, Villani (2001, p. 177) afirma que há um

embate entre os que consideram o avanço da ciência, apesar de parcial e provisório, um dado inquestionável, no sentido de que as teorias mais recentes são objetivamente melhores do que as mais antigas (Popper e Lakatos), e os que sustentam que no desenvolvimento da ciência há lugar para escolhas, que, geralmente, impedem uma avaliação definitiva (Kuhn e Feyerabend).

Analogamente a esse debate entre as posições racionalistas e relativistas⁸, Villani (ibid.) explica que, no ensino de Ciências, há um confronto entre os que consideram que a

⁸ Segundo Chalmers (2000, p. 141), a retórica de Lakatos não deixa, portanto, muito espaço para a dúvida quanto ao fato de que ele desejava defender uma posição racionalista e deplorava a posição relativista. Em seu entendimento, a posição assumida por Bérgrson, 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*” (Lakatos, 1978, p. 173). O reconhecimento desse conflito entre a determinação ou não de uma metodologia e demarcação de ciência é ainda fortalecida pelo comentário: “*Feyerabend, que contribuiu provavelmente mais do que ninguém para a difusão das idéias de Popper, parece agora ter passado para o campo inimigo em seu intrigante ensaio ‘Contra o Método’*” (Lakatos, 1970, p. 141). E assim afirma sua posição nesse conflito: “*Tentarei explicar – e reforçar ainda mais – a*

meta é fazer com que o aluno pense de acordo com as concepções científicas e os que sustentam que na aprendizagem das Ciências há lugar legítimo para escolhas e adaptações. Desses dois entendimentos conflitantes no ensino de Ciências, é necessário dizer que o presente estudo, por se inspirar nas idéias de Lakatos (1970 e 1971), identifica-se com o primeiro.

Tendo em conta que a filosofia da ciência pós-positivista tem sido comumente usada para a realização de diversas analogias no ambiente de sala de aula (Villani et al., 1997), é possível comparar ainda mais as analogias pelas duas posições filosóficas anteriores. Um modelo de mudança conceitual baseado na epistemologia de Kuhn (1962) e muito citado na literatura é o proposto por Posner et al. (1982)⁹. Conforme Niaz (1998), há grande diferença entre um processo de ensino e de aprendizagem baseado numa referência kuhniana e outro baseado numa referência lakatosiana. Para a kuhniana, o progresso é baseado na mudança de um paradigma por outro, através de um processo de sublevação caótica de revolução científica (ibid., p. 108). Além disso, diferentes paradigmas são incomensuráveis e as concepções nucleares dos cientistas não permitem debates racionais entre diferentes paradigmas¹⁰. Para Lakatos, o progresso científico se faz por meio de transferências progressivas de problemas, cuja transição ocorre por uma avaliação de força heurística¹¹ dos programas de pesquisa. Lakatos considera a ciência normal kuhniana como um período em que um programa de pesquisa estabeleceu monopólio e que, contrariamente, a história da ciência representa uma competição de programas de pesquisa¹². Como as concepções alternativas dos estudantes podem ser entendidas como se fossem competidoras em termos explicativos com as teorias científicas, é possível comparar as contribuições de parte das essências desses referenciais para os educadores de ciências. A estrutura lakatosiana considera indispensável para o progresso a possibilidade de debate entre

posição mais forte de Popper que, creio eu, escapa às críticas de Kuhn e apresenta as revoluções científicas não como se constituíssem conversões religiosas, mas como progresso racional” (ibid., p. 112).

⁹ Há também uma inspiração em Stephen Tolmin, por entender os conceitos que governam a mudança conceitual como uma “ecologia conceitual”, opondo-se a uma noção central do empirismo: “*Não há nada na mente que não tenha estado antes nos sentidos*” (ibid.). No entanto, a inspiração kuhniana é fortemente observada no entendimento educacional dado em analogia às anomalias e ao estado de crise de um paradigma: “*Se os estudantes as levam seriamente (as anomalias), as anomalias contribuem à classe de conflito cognitivo (semelhante ao conceito de Kuhn do estado de ‘crise’), que prepara a ecologia conceitual deles para uma acomodação*” (ibid.).

¹⁰ Pelo menos sem que envolvam critérios universais e atemporais (únicos). Kuhn (1994), ao se incomodar com as acusações de subjetivismo e irracionalismo por muitos de seus críticos (p. 237), listou uma série de critérios que poderiam distinguir uma teoria de sua sucessora, admitindo que poderiam ser acrescentados outros mais (p. 252).

¹¹ Que será explicada em seção específica do quarto capítulo.

¹² Surpreendentemente, uma recente reconstrução da filosofia da ciência de Kuhn realizada por Hoyning-en-Huene (apud Niaz, 1998, p. 108) reconhece que a tese da incomensurabilidade é um dos aspectos mais controversos da teoria de Kuhn e cita 138 referências nesse sentido, o que também favorece o ponto de vista racionalista.

programas de pesquisa rivais. Nesse sentido, uma estratégia de ensino que procura estabelecer uma mudança conceitual¹³ identificará as explicações auxiliares¹⁴ que os estudantes usam para proteger suas concepções alternativas (as concepções mais nucleares na analogia com os postulados do núcleo de um programa de pesquisa lakatosiano) e, em seguida, introduzirá/construirá explicações alternativas que contradizem suas explicações, considerando as teorias científicas e as concepções alternativas dos estudantes como se fossem programas de pesquisa rivais em competição (ibid., 109). Enquanto isso, uma estratégia de ensino que se diz fundamentada no referencial kuhniano (Strike e Posner, 1992) deveria considerar as concepções dos estudantes mais rígidas, não abertas para competições e debates racionais, portanto, menos suscetíveis a mudanças. Inclusive, sem essa consideração, estratégias de ensino que se dizem fundamentadas no referencial kuhniano estariam em contradição com o mesmo. Curiosamente, Niaz (1998) afirma que os autores Strike e Posner (1992, p. 169) aceitam a crítica a respeito de que o modelo de mudança conceitual por eles elaborado não é uma estratégia instrucional explícita.

Por essa comparação entre as duas posições filosóficas acima, e considerando importante o ensino das teorias científicas, este trabalho assume o ponto de vista no qual uma posição relativista teria maiores dificuldades no processo de ensino e de aprendizagem, justamente por não caracterizar um padrão de racionalidade e, assim, o ponto importante em relação ao qual se possa julgar e entender o porquê de uma teoria se mostrar superior a outra.

Dentro do lado racionalista, a escolha pelo referencial lakatosiano ocorre por ele fornecer um critério racional de escolha de uma teoria entre as teorias rivais que são usadas concomitantemente dentro de um mesmo campo científico, situação semelhante entre concepções de senso comum e as científicas. Este critério racional lakatosiano, explícita ou implicitamente¹⁵ embutido nas discussões, na rivalidade considerada entre as concepções de senso comum e aquelas que o professor pretende ensinar, pode ajudar a orientar os alunos a aceitarem novas

¹³ Este trabalho, ao se fazer referência para o termo mudança conceitual (ou mudança cognitiva, ou teórica), usa este termo como um ideal educacional. É importante dizer que, nesta pesquisa, se considera a possibilidade de que a construção do conhecimento de novos conceitos não pressupõe o abandono das concepções prévias, mas a tomada de consciência, por parte dos alunos, do contexto em que elas são aplicáveis (Mortimer, 1994), na medida em que se realizam comparações de seus méritos explicativos. Aliás, não é objetivo aqui verificar se as novas concepções após um determinado tempo ainda prevalecem nos estudantes.

¹⁴ Analogamente às hipóteses auxiliares de um programa de pesquisa.

¹⁵ Entende-se aqui o sentido da afirmação de Mathews (1994, p. 83): “*Sempre que uma ciência é ensinada, uma filosofia, até certo ponto, também é ensinada*”.

concepções em momentos de instrução. Conforme os resultados divulgados por Niaz (1998), parece que, na prática, a inspiração nessa epistemologia específica pode realizar uma reflexão mais profunda, com o estabelecimento de diálogos sobre o alcance das concepções que possam surgir diante dos mais variados fenômenos e, assim, auxiliar o ensino.

Defendendo este ponto de vista, o presente estudo pretende estruturar uma estratégia de ensino lakatosiana (baseada em Niaz, 1998) e utilizá-la em momentos de instrução dos conceitos de Física. Juntamente com Niaz (ibid.), uma outra estratégia instrucional explícita que servirá de base para essa estruturação é a de Rowell (1989). Esta última estratégia consiste basicamente de cinco passos numa postura construtivista fundamentada no referencial piagetiano. Ela se inicia com o levantamento das concepções alternativas e posterior construção das concepções científicas. No final existe uma comparação de teorias para que haja a escolha da melhor. Esses passos foram influenciados pela filosofia da ciência pós-positivista, na medida em que “*não há nenhuma falsificação antes do aparecimento de uma teoria melhor*” (Rowell, 1989). Ao citar Kuhn (1962), porém, é possível dizer que a seqüência de passos de Rowell (1989) diferencia-se de uma seqüência de passos de uma estratégia essencialmente kuhniana, pois, do contrário, deveria ter feito como propõe Zylbersztain (apud Ostermann 1996, p. 194) nesse sentido: primeiro são levantadas concepções alternativas, depois, conflito cognitivo e, só então, é apresentada a nova teoria. É interessante notar que por esta última seqüência não são permitidos debates racionais, já que os conflitos seriam a causa principal e única para criar insatisfação e desconforto com as concepções de maneira independente de uma teoria rival superior, e sim uma sensação de semelhança ao período de ciência extraordinária que levaria a uma revolução científica. Não haveria uma comparação direta por critérios racionais entre as teorias para que a mudança ocorresse. Assim sendo, é preciso mencionar que, com exceção do referencial piagetiano, a presente estratégia utilizará uma seqüência de passos semelhante à de Rowell (1989), mas inserindo, de maneira específica, tanto uma história (distorcida) da ciência como uma filosofia implícita inspirada em Lakatos.

Para avançar nos estudos de Niaz (1998) e outros (Laburú et al., 1998; Laburú e Arruda, 1998; Laburú e Niaz, 2002; Silva e Laburú, 2002), este trabalho tem dois objetivos: elaborar e investigar uma proposta pela qual seja possível preparar os estudantes para debates racionais de inspiração lakatosiana que envolvam escolhas de concepções rivais na intenção de auxiliar uma instrução racional de conceitos científicos. As justificativas para a escolha desses

objetivos são discutidas no quarto capítulo. A proposta a ser investigada fundamenta-se numa preparação dos estudantes para discussões racionais por meio de uma reconstrução racional de episódios históricos sem que haja o comprometimento da elaboração e do uso de uma reconstrução histórica autêntica (Mäntylä e Koponen, 2007).

Ademais, a metodologia para investigar a atual estratégia é diferente daquela realizada por Niaz (1998), que mostrou resultados estatisticamente satisfatórios a favor de sua proposta, numa comparação entre grupo experimental e grupo controle. Agora, a metodologia que se propõe aplicar é diferente por ser qualitativa, conforme Bogdan e Biklen (1994). É descritiva, inclui análises de raciocínios presentes em respostas escritas, interessando-se mais pelo processo do que simplesmente pelos resultados. Por essa metodologia, procura-se aqui entender melhor como os alunos negociam os significados, como determinadas noções começaram a fazer parte daquilo que se chama de “senso comum”. Para tanto, a estratégia de ensino lakatosiana será empregada no ensino dos conceitos de calor e temperatura, na qual sua análise será conduzida em termos da relação entre um ensino racional e sua aprendizagem.

A fim de encaminhar esta investigação, os capítulos seguintes estão assim organizados: o primeiro capítulo é dividido em seções que apresentam detalhes de referenciais teóricos desta investigação; o segundo capítulo aponta alguns entendimentos do que vem a ser racionalidade e mostra a direção que a racionalidade aqui é conduzida ao processo de ensino e de aprendizagem; o terceiro capítulo apresenta discussões relacionadas à história e filosofia da ciência no ensino de ciências, mostrando o rumo que aqui se adotará para a inserção de reconstruções racionais no ensino de física; o quarto capítulo apresenta o problema e as justificativas deste estudo; o quinto capítulo apresenta a estruturação da presente proposta de ensino; no sexto capítulo, mostra-se a metodologia empregada na pesquisa; no sétimo capítulo, exibe-se a análise dos dados e, para finalizar, mostram-se as conclusões alcançadas.

1. REFERENCIAIS TEÓRICOS

Este capítulo apresenta os principais referenciais teóricos dessa investigação. A primeira seção apresenta uma síntese das idéias de Imre Lakatos presentes em sua epistemologia e reconstrução racional, cujos detalhes são necessários para a realização de analogias com o processo de ensino e de aprendizagem de física. A segunda seção mostra o Instrumento Analítico-Pedagógico Lakatosiano, elaborado e testado em pesquisas anteriores, com o objetivo de fornecer um entendimento da estrutura e comportamento das concepções alternativas a partir de algumas analogias com a epistemologia de Lakatos. Na terceira seção, são destacadas as considerações de Niaz (1998) para possibilitar a realização de uma estratégia de ensino lakatosiana.

1.1 O REFERENCIAL IMRE LAKATOS

1.1.1 EPISTEMOLOGIA

Na filosofia da ciência, a epistemologia de Imre Lakatos (1922-1974) é destacada como uma das importantes reflexões do século XX sobre o desenvolvimento das teorias científicas. Sua epistemologia é base não só das referenciadas pesquisas anteriores¹⁶, mas da estratégia de ensino que este trabalho estrutura e investiga. Os próximos comentários apresentam uma seleção de suas principais idéias.

Ao analisar a história da ciência, pode-se concluir que a glória da física newtoniana intimidou e confundiu os céticos que, há mais de dois mil anos, colocavam em dúvida a força demonstrativa do intelecto ou dos sentidos na busca de uma teoria incontestável. Com Einstein, os resultados tornaram a virar a mesa e, agora, pouquíssimos filósofos ou cientistas ainda pensam que o conhecimento científico é, ou pode ser, o conhecimento demonstrado. Diante disso, Lakatos (1970, p. 110) adverte que poucos compreendem o desmoronamento e a necessidade de substituição de toda a estrutura clássica dos valores intelectuais. Isso, de seu ponto de vista, não deve ser feito simplesmente jogando por terra o ideal

¹⁶ Laburú e Arruda, 1998; Laburú et al., 1998; Silva e Laburú, 2002; Laburú e Niaz, 2002; Niaz, 1998.

de verdade demonstrada, como fizeram alguns empiristas lógicos (como Rudolf Carnap), reduzindo ao ideal de verdade provável. Também não deve ser feito por um caminho relativista, como fazem alguns sociólogos do conhecimento à verdade por consenso (a exemplo de Kuhn, onde a mudança científica é uma espécie de mudança religiosa, entre outros relativistas, como Polanyi e Feyerabend) (ibid.).

A saída de Lakatos para esse impasse é seguir o caminho de Popper¹⁷ (ibid., p. 112 e 141), na vertente racionalista, interpretando a história da ciência com a intenção de salvar a metodologia e a idéia de progresso científico ao propor novos padrões para a honestidade intelectual através do que definiu como falseamento metodológico sofisticado. A essência desse falseamento, ou regra de eliminação, é tentar olhar para as coisas sobre pontos de vista diferentes para selecionar novas teorias que antecipem fatos novos, rejeitando as suplantadas por outras, mais vigorosas (ibid., p. 150). Sua regra de aceitação (ou “critério de demarcação”) estabelece o seguinte: *“Uma teoria só será ‘aceitável’ ou ‘científica’ se tiver um excesso corroborado de conteúdo empírico em relação à sua predecessora (ou rival), isto é, se levar à descoberta de fatos novos”*¹⁸ (ibid., p. 141).

Entretanto, a avaliação de qualquer teoria que vem sendo desenvolvida e aprimorada só é realizada juntamente com suas hipóteses auxiliares, condições iniciais, etc., e principalmente, com suas antecessoras, para se entender a espécie de mudança que foi produzida. Assim, o que se avalia é uma série de teorias que buscam continuamente evoluir, lutando com outras séries de teorias rivais. Mais que isso, os testes são lutas de pelo menos três adversários: entre duas séries de teorias rivais e a experiência. Nesse embate, uma série de teorias será teoricamente progressiva se cada nova teoria tiver algum excesso de conteúdo empírico em relação à sua predecessora, predizendo algum fato novo até então inesperado. Com maior destaque, se ainda for uma série de teorias teoricamente e empiricamente progressiva na medida em que parte do conteúdo empírico excedente for também corroborado, isto é, se houver a descoberta real de algum fato novo. Dessa forma, é permitido chamar de progressiva uma série de

¹⁷ No entanto, uma diferença crucial entre eles é que Popper fundiu a idéia de “teorias” e “série de teorias” (detalhe discutido mais à frente). Isso, segundo Lakatos, é o que impediu Popper de *“comunicar com melhor êxito as idéias básicas do falseacionismo sofisticado”* (ibid., p. 145), discutido em seguida.

¹⁸ Não se limita apenas a fatos novos, podem ser fatos improváveis, ou mesmo, proibidos por outra teoria rival (ibid., p. 142).

teorias se ela for, ao mesmo tempo, teórica e empiricamente progressiva, e degenerativa se não a for.

Ademais, uma série de teorias desenvolve-se no que Lakatos define como um programa de pesquisa. Esse programa é caracterizado por regras metodológicas: “*algumas nos dizem quais são os caminhos de pesquisa que devem ser evitados (heurística negativa), outras nos dizem quais são os caminhos que devem ser palmilhados (heurística positiva)*” (ibid., p. 162).

A heurística negativa especifica o “núcleo” de qualquer programa de pesquisa. Um “núcleo” é composto por hipóteses/crenças nas quais seus protagonistas depositam confiança e, assim, o consideram irrefutável por decisão metodológica. As refutações, então, são direcionadas para as “hipóteses auxiliares” que formam o cinturão de proteção do programa de pesquisa¹⁹. Elas é que sofrem o impacto dos testes, ajustam e se reajustam, ou até são substituídas para defender o núcleo do programa. Um comentário nesse sentido realizado por Lakatos é sobre a teoria gravitacional de Newton. Inicialmente, esse programa enfrentou a oposição de teorias observacionais que sustentavam muitas das “anomalias” (contra-exemplos) que o afetavam. Mesmo assim, os newtonianos foram transformando os contra-exemplos, inclusive os que eles próprios produziam durante o desenvolvimento, em exemplos-corroborativos. Dessa forma, convertendo cada nova dificuldade numa nova vitória do seu programa.

Esses esforços para o desenvolvimento são especificados pela heurística positiva do programa: ela “*consiste num conjunto parcialmente articulado de sugestões ou palpites sobre como mudar e desenvolver as ‘variantes refutáveis’ do programa de pesquisa, e sobre como modificar e sofisticar o cinto de proteção ‘refutável’*” (ibid., p. 165). Isso pretende impedir que o cientista fique sem rumo num oceano de anomalias.

Na seqüência, procura-se discutir alguns exemplos históricos fornecidos por Lakatos (ibid.), pelos quais é possível entender como a heurística positiva apresenta-se como uma cadeia de modelos²⁰ que simulam a realidade e se tornam cada vez mais complicados, ao mesmo tempo em que são ignorados os dados disponíveis que surgem como contra-exemplos reais.

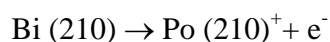
¹⁹ Como exemplo, o programa de pesquisa de Newton continha em seu “núcleo” as três leis do movimento e a Lei da Gravitação Universal (Lakatos, 1970, p. 163). Já o cinto protetor desse programa incluiu a óptica geométrica, a teoria de Newton da refração atmosférica, e assim por diante (Lakatos, 1978, p. 179). Lembrando que existe uma série de teorias (programa de pesquisa) e, assim, teorias no interior da série (Lakatos, 1970, p. 145).

²⁰ Um “modelo” é um conjunto de condições iniciais (possivelmente com algumas teorias observacionais) que se prevê a possibilidade de serem substituídas durante o desenvolvimento do programa, podendo-se ter até um domínio de, mais ou menos, como isso será feito.

O primeiro exemplo refere-se ao programa de pesquisa de um sistema planetário de Newton. Inicialmente, ele o elaborou partindo de um sol como um ponto fixo e um único outro ponto como planeta. Apesar desse modelo ter derivado sua lei do inverso do quadrado para a elipse de Kepler, destacou-se uma incoerência com sua própria terceira lei da dinâmica. Por tal incompatibilidade, Newton viu-se obrigado a substituir o modelo por outro em que ambos, sol e planeta, giravam em torno do centro comum de gravidade. É interessante reparar que não havia “anomalia”²¹ alguma. A dificuldade teórica no desenvolvimento do programa é que originou a mudança. Além disso, mais incompatibilidades teóricas foram surgindo, e novas mudanças provocadas com a ausência de anomalias. Por exemplo, o aumento de planetas no programa, em que inicialmente considerou apenas forças heliocêntricas, mas que posteriormente forças interplanetárias foram exigidas pelo estudo das perturbações. Também houve a adoção da hipótese de o sol e os planetas serem bolas-massas, e não pontos-massa. Isso ocorreu porque uma teoria (não-expressa) proibia a densidade infinita e, assim, os planetas obrigatoriamente teriam extensão. Somente então passou a se importar mais com os fatos. Muitos eram magnificamente explicados (qualitativamente) pelo modelo, muitos não o eram. Depois trabalhou com planetas irregulares, em lugar de redondos, etc (ibid., p. 166).

Outro exemplo histórico é o caso do decaimento beta. Sua modificação ilustra a hipótese auxiliar do cinto de proteção de uma das mais admiradas leis físicas: a lei da conservação da energia (núcleo do programa). Na primeira metade do século XX, essa lei viu-se ameaçada por uma anomalia relacionada ao fenômeno desse decaimento, que quase foi promovido ao posto de “experiência crucial”²².

Um processo típico desse decaimento é o caso do bismuto 210, quando transmuta para o polônio 210 e um elétron.



Os resultados experimentais deste processo mostram que a energia cinética do núcleo do Po é extremamente pequena, enquanto que a do elétron emitido (e^-) pode ter qualquer valor entre 0 a 0,65 MeV. A energia total do núcleo do bismuto, devida à sua massa, é de

²¹ Num programa de pesquisa, a anomalia é um fenômeno considerado como algo que deve ser explicado em função do mesmo, ou seja, é um desafio para o programa (ibid., p. 195). E, no caso de ser solucionada dentro de um programa rival, a anomalia converte-se num exemplo contrário àquele programa (ibid., p. 196).

²² Experiência ou observação que, por si só, possa instantaneamente acabar com um programa de pesquisa ou decidir entre programas rivais.

195595,59 MeV. Já a energia total dos produtos do decaimento, porém, é muitas vezes menor que a energia total do núcleo original do bismuto. As contas do balanço energético não fecham. Aparentemente, parte da energia desaparece completamente. (Projeto Física, 1971, p. 48).

O problema inspirou o desenvolvimento de outras teorias (ou, melhor, “programas”). Um exemplo foi a teoria de Bohr-Kramers-Slater que (em 1924) renunciava ao princípio da conservação da energia, substituindo-a por leis estatísticas. No entanto, posteriormente, suas conseqüências não foram corroboradas.

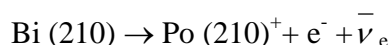
Por outro lado, a brilhante tentativa para salvar a lei da conservação da energia iniciou em 1930. Nessa época, um jovem físico chamado Wolfgang Pauli levantou a hipótese de que, no decaimento beta, deveria haver a emissão de outra partícula, além do elétron (fato novo predito). De acordo com seus cálculos, esta partícula, o neutrino (ν), precisaria ter uma massa muito pequena e carga nula. O fato de não ter sido detectado previamente podia ser explicado, se ele tivesse um poder elevado de penetração.

Inicialmente houve certa “insegurança” de Pauli em relação à idéia, ao mesmo tempo em que Bohr sustentava a necessidade de se – pelo menos em física nuclear – “*renunciar à própria idéia do equilíbrio da energia*” (Lakatos, 1970, p. 209). Mas a teoria de Pauli destacava-se com méritos metodológicos por salvar a lei da conservação da energia e o princípio da conservação do spin. Além disso, explicaria o decaimento beta dando conta da “anomalia” do nitrogênio²³. Para Lakatos, isso permite avaliar o programa de Pauli como teoricamente progressivo, sendo bem sucedido na apresentação de fatos novos: a teoria do neutrino e a previsão de uma área superior clara nos espectros da radiação beta. É interessante comentar, porém, que as diversas tentativas engenhosas para explicar o espectro contínuo da emissão beta, sem presumir a existência de uma “partícula ladra”, revelaram-se, contrariamente, como um programa empiricamente degenerativo.

Foi então que o físico italiano Enrico Fermi entrou em cena. Ele capturou a idéia e trabalhou a teoria em detalhe, publicando-a finalmente em 1933. Na teoria de Fermi do decaimento beta, a energia que faltava é transportada pelo neutrino. No caso do bismuto (210), a

²³ No decaimento beta, o número de prótons no núcleo é aumentado de uma unidade, enquanto o de nêutrons diminui de uma unidade. A anomalia do nitrogênio era vista nesse decaimento quando se percebia que o isótopo instável do carbono ($^{14}_6\text{C}_8$) transmutava no isótopo estável do nitrogênio ($^{14}_7\text{N}_7$) e um elétron. E, assim como no caso do bismuto, as contas do balanço energético não fechavam.

equação correta para a reação afirma que ele transforma-se em polônio $(210)^+$, um elétron e um antineutrino²⁴ do elétron.



No entanto, ainda em 1934, cálculos mostraram que seria praticamente impossível detectar a partícula. Mesmo assim, o fato dessa teoria explicar extremamente bem a variação da energia dos elétrons emitidos fez com que o mundo dos físicos aceitasse a existência do neutrino muito antes deste ter sido observado de qualquer forma direta. O próprio Bohr, inicialmente envolvido no programa rival da velha física quântica (Bohr-Kramers-Slater), em 1936 passou a acompanhar o trabalho de Fermi com simpatia. Inclusive, numa insólita seqüência de acontecimentos, apoiou-o publicamente.

De acordo com Lakatos, “quando essa situação foi enfrentada pela primeira vez, as alternativas pareciam sombrias. Os físicos tinham de aceitar o desmoronamento da lei da conservação ou supor a existência de uma partícula nova e não-vista” (Lakatos, 1970, p. 214). Dessa história apreende-se que a lei da conservação da energia, núcleo do programa de pesquisa, foi seriamente contestada pelas experiências sobre o decaimento dos raios beta, cujo resultado não poderia ser negado e que, apesar disso, a lei não foi abandonada, presumindo-se a existência de uma nova espécie de entidade (chamada “neutrino”) para estabelecer a concordância entre a lei e os dados experimentais. Houve previsão de fatos novos. Logo, em função da hipótese auxiliar do decaimento beta sofrer uma modificação com o acréscimo da nova partícula, a teoria nuclear foi preservada de refutações e resguardou-se no programa de pesquisa. Conseqüentemente, é somente quando o cinturão de hipóteses auxiliares enfraquece, que se pode dar maior atenção aos dados anômalos. Portanto, em função da existência de cinturões protetores, as teorias nucleares são preservadas de refutações, sendo resguardadas nos programas de pesquisa.

Para responder como ocorrem as chamadas revoluções científicas, Lakatos fornece uma razão objetiva que acontece quando um programa de pesquisa supera um rival (refutando sua heurística: núcleo e cinturão protetor) através de demonstrações de força

²⁴ Há atualmente três tipos de neutrinos e antineutrinos: neutrino do elétron (ν_e); antineutrino do elétron ($\bar{\nu}_e$); neutrino do múon (ν_μ); antineutrino do múon ($\bar{\nu}_\mu$); neutrino do tau (ν_τ); antineutrino do tau ($\bar{\nu}_\tau$).

heurística²⁵. Apesar dessa refutação não ser um processo instantâneo, historicamente, pode-se verificar a vitória de um programa de pesquisa, ao explicar o êxito anterior de seu rival e demonstrar um acréscimo de força heurística. Assim sendo, é somente por meio de uma longa visão retrospectiva que se denomina uma experiência de “crucial”, ou seja, quando um programa de pesquisa, assim chamado progressivo, ao possuir um excesso de conteúdo empírico comparativamente com outro (então degenerativo), consegue uma corroboração de seu conteúdo empírico adicional.

Ademais, Lakatos explica quando um programa de pesquisa apresenta característica de degeneração. Um sinal típico nesse sentido é a proliferação de fatos contraditórios. Mesmo que nenhum ‘equivoco experimental’ seja cometido, é possível conseguir, ao se usar uma teoria falsa como teoria interpretativa, proposições factuais contraditórias, resultados experimentais incongruentes (ibid., p. 202). Para exemplificar essa situação, ele comenta que Michelson, mantendo-se fiel ao éter até o fim, frustrou-se pela incompatibilidade dos fatos que obteve por intermédio das suas precisas mensurações. Em 1887, uma experiência de Michelson ‘mostrava’ que não havia vento de éter sobre a superfície da Terra, enquanto a aberração ‘mostrava’ que havia. Além de que sua experiência de 1925 também ‘mostrava’ que havia.

1.1.2 RECONSTRUÇÃO RACIONAL

A respeito da fabricação da história, isto é, da sua reconstrução pelo historiador, dois termos oferecem distintas preocupações. São eles: a história interna e a história externa. No uso consagrado entre os historiadores, história interna é a história que se direciona sobre as atividades dos membros de uma comunidade científica particular, descrevendo as teorias, experimentos, e como estes interagem para produzir inovações. A história externa, por sua vez, considera as relações entre as comunidades científicas com o resto da cultura, que inclui o papel das tradições e mudanças tanto religiosas quanto econômicas no desenvolvimento científico. Entre outros tópicos consagrados da história externa encontram-se as instituições e a educação, assim como as relações entre ciência e tecnologia.

²⁵ Capacidade de um programa de pesquisa em antecipar teoricamente fatos novos, como também, recém interpretados em seu crescimento.

Lakatos procurou mostrar como a historiografia da ciência deveria aprender com a filosofia da ciência e vice-versa e até parafraseou Kant nesse sentido: “*A filosofia da ciência sem a história da ciência é vazia; a história da ciência sem a filosofia da ciência é cega*” (Lakatos, 1971, p. 91). Segundo Lakatos, a filosofia da ciência oferece metodologias normativas nas quais o historiador reconstrói a “história interna”²⁶ de modo a dar uma explicação racional do desenvolvimento do conhecimento científico. O indutivismo, por exemplo, é uma das mais influentes metodologias da ciência. O indutivismo só admite, como pertencentes ao corpo da ciência, enunciados que descrevem fatos puros ou infalíveis generalizações indutivas a partir destes. Por essa metodologia, um enunciado científico somente é aceito por demonstrações convincentes e indiscutíveis, do contrário, o indutivista o rejeita. Desse modo, um historiador indutivista não admite mais que dois tipos de descobrimentos científicos genuínos: os enunciados fáticos puros e as generalizações indutivas. Apenas estes dois tipos constituem a coluna vertebral de sua história interna. Quando escreve a história, o historiador indutivista busca por esses tipos de descobrimentos científicos; encontrá-los, é outra questão. De outro modo, um historiador popperiano buscaria grandes e “arriscadas” teorias falseáveis e importantes experimentos cruciais negativos. Já pela metodologia dos programas de pesquisa científica de Lakatos, um historiador buscaria por programas de pesquisa que podem ser avaliados em termos de mudanças progressivas e degenerativas de problemas, em que as revoluções científicas consistem em um programa de pesquisa que passa a suceder um outro (superando-o em progresso). Conseqüentemente, cada reconstrução racional revela seu modelo característico do desenvolvimento racional do conhecimento científico (ibid.).

É sempre possível mostrar como uma metodologia pode influenciar a seleção de determinados fatos em lugar de outros e que a interpretação desses fatos não ocorre sem alguma inclinação teórica. Sabe-se que a objetividade em história é, num certo nível, impossível. A história não se apresenta simplesmente aos olhos do espectador. Ela tem que ser fabricada. Há uma seleção de fontes e materiais, construção de perguntas, e a tomada de decisões sobre a relevância das contribuições de fatores internos e externos para a mudança científica. Todas essas questões sofrem influência das visões sociais, nacionais, psicológicas e religiosas do historiador e que, num grau ainda maior, são influenciadas por uma Teoria da Ciência ou Filosofia da Ciência

²⁶ Para Lakatos (ibid., p. 105), a história interna ou reconstrução racional prevalece sobre a história externa porque a maioria dos problemas importantes da história externa se define mediante a história interna.

que o historiador acredita, determinando uma metodologia normativa à qual o historiador se apóia para a elaboração da história interna.

Assim, Lakatos entende que todo estudo histórico deve ser precedido de um estudo heurístico já que a história da ciência sem a filosofia da ciência é cega, e resume seu procedimento para redigir um estudo de um caso histórico, adotando as seguintes condições: 1) faz-se uma reconstrução racional; 2) tenta-se cotejar essa reconstrução racional com a história real e criticar tanto a reconstrução racional por falta de historicidade quanto a história real por falta de racionalidade (Lakatos, 1970, p. 169).

Essas condições talvez sejam o aspecto mais controverso das idéias de Lakatos devido à conseqüente “liberdade” com que muitos enunciados podem ser adaptados numa reconstrução racional de um episódio histórico. Um exemplo, embora criticado por Kuhn (1974, p. 89), refere-se à sua reconstrução racional do programa de Bohr. Nela, Lakatos sugere que se pode atribuir a idéia de giro do elétron corretamente a Bohr em 1913. O interessante é que mesmo pelo fato de seguramente saber que Bohr era bastante céptico da idéia de giro ainda em 1925, Lakatos afirma que essa idéia era compatível com o programa de pesquisa implicado pelo átomo de Bohr. Apesar de Bohr não ter pensado nisto (ou ao menos deixado explícito), Lakatos destaca que esta é uma reconstrução racional e que, nesse sentido, “*alguns enunciados não devem ser tomados com uma pitada, senão com toneladas de sal*” (Lakatos, 1970, p. 172).

Ao construir a história interna, portanto, o historiador é altamente seletivo por “*omitir tudo o que é irracional à luz de sua teoria da racionalidade*” (Lakatos, 1971, p. 106). Porém, a história interna não é somente uma seleção de fatos interpretados metodologicamente. Segundo Lakatos (ibid.), “*também há ocasiões em que pode ser uma versão radicalmente melhorada destes*”, como é o caso do programa de Bohr acima discutido.

Por outro lado, as reconstruções racionais são alvos de críticas na literatura. Uma delas está no sentido de um uso particular que Lakatos faz do termo ‘história interna’, na sensação de ser muito mais restrito que a do historiador. Kuhn (1974, p. 86) afirma que a história interna de Lakatos exclui: toda consideração da idiossincrasia pessoal, qualquer que tenha sido seu papel na eleição de uma teoria; o ato criador que a produziu; a forma do produto que a resultou; dados históricos tais como o fracasso do homem que cria uma nova teoria e de sua geração inteira em ver as conseqüências desta teoria, ou que uma geração posterior descobrirá e examinará então; a consideração dos erros, ou os que uma geração posterior interprete como tais,

e, conseqüentemente, se sentirá obrigada a corrigir. Como esses dados históricos são igualmente centrais para o historiador interno da ciência por proporcionarem pistas reveladoras do que realmente ocorreu, ao excluí-los, a crítica é de que Lakatos não deveria apresentar a reconstrução racional como história interna, mas como história racional, pois a história interna não seria assim simplesmente constituída de uma parte racional (ibid.).

Outra crítica se faz para o entendimento de a história da ciência ser uma história de eventos selecionados e interpretados de forma normativa. O entendimento não se limita no significado de que todos observadores selecionam e interpretam necessariamente os dados históricos, mas que a filosofia da ciência é aquela que proporciona metodologias normativas ao historiador. Diante disso, Kuhn (ibid., p. 88) afirma que, se uma filosofia prévia administra o conjunto de critérios pelos quais o historiador atua, não haveria modo algum no qual os dados selecionados e interpretados contradigam uma posição filosófica para mudá-la. Ainda, a história há de ser construída sem violentar os dados disponíveis por causa de seleção e interpretação. Segue desse entendimento um descontentamento com o pensamento de Lakatos (1971, p.) de “*um método de apontar as discrepâncias entre a história e sua reconstrução racional consistir em expor a história interna no texto e indicar em notas de rodapé como a história real ‘discorda’ a respeito de sua reconstrução racional*”. Isso porque, pelo próprio fato deste autor reconhecer que “*a história da ciência é sempre mais rica que sua reconstrução racional*” (ibid.), ele não deveria permitir acrescentar, em relatos íntegros, notas de rodapé, dizendo que certamente isto não é o que sucedeu com toda exatidão, mas o que teria ocorrido se as pessoas tivessem se comportado racionalmente, como eram suas obrigações. Para o caso já discutido de Bohr ser cético da idéia de spin ainda em 1925, Kuhn (1974, p. 89) afirma que isto não ocorreu porque Bohr era irracional. No entanto, isso não remete o entendimento de que a reconstrução histórica não seja intrinsecamente uma tarefa seletiva e interpretativa, nem que uma prévia posição filosófica careça de todo valor enquanto instrumento de seleção e interpretação. Conforme Kuhn (ibid., p. 90)

Trata-se de reafirmar que uma prévia postura filosófica não é o único princípio seletivo para construir a única classe de história que possa conter interesse filosófico, e, ademais, de reafirmar que tal princípio não é, enquanto seletivo, inviolável. Quando um relato histórico exige notas marginais que completem suas construções, há chegado o momento de reconsiderar sua posição filosófica.

Por sua vez, Lakatos (1971, p. 107) indica que, embora muitos historiadores obedecerão à idéia de qualquer reconstrução racional e citarão a Lorde Bolingbroke²⁷, e ainda dirão que, antes de filosofar, “*necessitamos de muito mais exemplos*”²⁸, ele destaca que o ponto importante a considerar é que a teoria indutiva da historiografia é utópica; portanto, que “*a história sem alguma inclinação teórica é impossível*”.

Em sua defesa, Lakatos (1978, p. 192) escreveu que “*todos os historiadores da ciência que defendem que o progresso da ciência é o progresso no conhecimento objetivo utilizam uma reconstrução racional*”. Assim, é conveniente entender a avaliação objetiva entre teorias rivais dada pelo historiador como, por exemplo, na explicação da revolução copernicana. Mas nesse sentido avança-se para uma segunda classe de perguntas. No caso, por que Kepler e Galileu aceitaram o núcleo duro do programa de Copérnico e rejeitaram a sua heurística platônica? Por que razão as pessoas receberam as suas teorias como o fizeram? Conforme Lakatos (ibid., p. 190), apenas se pode responder à segunda questão assumindo explicitamente ou implicitamente uma resposta à primeira, mas qualquer resposta para a primeira pergunta filosófica constitui a coluna vertebral de uma ‘interna’ ‘reconstrução racional’ da história, sem a qual a completa história não pode ser escrita. O que implica que a filosofia da ciência é primária, e que a sociologia e a psicologia são secundárias ao se escrever a história da ciência. Exemplificando um historiador com a visão kuhniana, Lakatos (ibid., p. 190) afirma que ele não poderá fugir da tentação de “*‘cozinhar’ uma história do monopólio de uma teoria (paradigma) e preparar um estado de ‘crise’ seguido por um ‘momento de conversão’*”.

Conforme já se comentou anteriormente, outros historiadores buscarão o descobrimento de fatos puros e generalizações indutivas, outros buscarão teorias arriscadas e experimentos cruciais negativos, outros buscarão grandes simplificações, ou mudanças progressivas e degenerativas de problemas, e assim por diante; todos eles carregam alguma ‘inclinação’ teórica. Para Lakatos (1971), sem dúvida que esta inclinação pode ficar obscurecida por uma variação eclética de teorias ou pela confusão teórica, mas nem o ecletismo nem tal confusão equivalem a uma perspectiva não-teórica. Aquilo que o historiador considera um problema externo constitui com freqüência um excelente guia para sua metodologia implícita:

²⁷ “*A história é filosofia ensinada mediante exemplos*”.

²⁸ A exemplo de Williams (1970) que levanta a esperança de um dia a história da ciência ser capaz de mostrar o suficiente para permitir que se erija uma estrutura filosófica sobre uma base histórica.

alguns se perguntarão por que um ‘fato puro’ ou uma ‘teoria arriscada’ foram descobertos exatamente no momento e no lugar em que foram descobertos; outros se perguntarão por que uma ‘mudança degenerativa de problemas’ pode gozar de uma ampla aceitação popular durante o período incrivelmente largo ou por que estava ‘irracionalmente’ necessitada de estimativa uma ‘mudança progressiva de problemas’. Mas qualquer investigação nesse sentido está condenada a vagar sem rumo até que se apresente uma definição de “ciência” segundo os princípios de alguma filosofia normativa da ciência. (ibid., p. 107)

Conseqüentemente, este autor afirma que um dos mais interessantes problemas da história externa é especificar as condições psicológicas e, certamente, sociais que são necessárias para tornar possível o progresso científico. No entanto, ele critica que elas nunca são suficientes pelo fato de que na simples formulação do problema “externo” é preciso que se inclua alguma teoria metodológica, alguma definição de ciência. Assim, a história da ciência é uma história de acontecimentos que são selecionados e interpretados de uma maneira normativa. E, em resposta à crítica de Kuhn para a concepção de que a história é filosofia que fabrica exemplos, escreve: “*Eu asseguro que todas as histórias da ciência são filosofias que fabricam exemplos*” (Lakatos, 1978, p. 192).

1.2 O INSTRUMENTO ANALÍTICO PEDAGÓGICO LAKATOSIANO

Nesta seção, procura-se discutir uma forma de estruturar os raciocínios dos estudantes de ciências por meio do Instrumento Analítico-Pedagógico Lakatosiano. O que nem todas as quatro pesquisas anteriores (Laburú e Arruda, 1998; Laburú et al., 1998; Silva e Laburú, 2002; Laburú e Niaz, 2002) assim definiram esse Instrumento. Isso, porém, é mera convenção. O que interessa é que as quatro pesquisas acima apresentaram e testaram o mesmo instrumento de análise, corroborando-o em aulas regulares de física ao investigarem discussões nos conceitos de calor e temperatura e, em outras ocasiões, no conceito de velocidade angular.

Tais pesquisas divulgaram que existem certas condições de contorno que devem ser respeitadas para que esse Instrumento seja factível de ser aplicado. Em síntese, tais condições exigem: o levantamento e exploração das idéias e opiniões dos alunos, respeitando seus esforços nas construções das preposições; posteriormente a essa livre reflexão e criatividade individual, realizar um debate de idéias e de argumentos contrários, a controvérsia, estimulando

as razões por meio de juízos justificados, e os porquês, em situações de contradições empíricas e conceituais, representadas dentro do vocabulário construtivista pelos conflitos cognitivos ou, simplesmente, pela exploração do pensamento crítico.

Obedecidas essas condições, é possível encontrar determinadas posições “teóricas”²⁹ dos estudantes que entram em conflito ou rivalizam com a curricular, que o professor procura estabelecer. Como nessas posições estão envolvidos e comprometidos os pensamentos dos alunos, o Instrumento Analítico-Pedagógico Lakatosiano foi elaborado por meio de uma analogia entre as heurísticas dos programas de pesquisa de Lakatos e as idéias dos alunos diante das teorias científicas. A função principal dessa analogia é permitir uma qualificação das idéias dos alunos, estruturando-as como se fossem programas. Além disso, como segundo referencial teórico desse Instrumento, fez-se necessário uma complementação com o auxílio das condições de Posner et al. (1982) para efeitos analíticos, isto é, para averiguar o quanto os pensamentos dos alunos se encontram comprometidos nos programas. Essas condições são de: Insatisfação – os cientistas e os estudantes tendem, provavelmente, a não fazer grandes mudanças em seus conceitos, enquanto estiverem satisfeitos com as suas concepções prévias; Inteligibilidade – condição na qual o indivíduo compreende a sintaxe, o modo de expressão, o significado, o sentido, os termos e os símbolos utilizados pela nova concepção. Requer, também, que se construa e identifique representações, imagens e proposições coerentes, internamente consistentes e inter-relacionadas, sem, contudo, acreditar necessariamente que elas sejam verdadeiras. Assim sendo, para que um novo conceito comece a ser explorado, é preciso que ele faça um mínimo de sentido para o aprendiz (Strike e Posner, 1992); Plausibilidade – condição na qual os novos conceitos adotados são, pelo menos, capazes de resolver os problemas aceitos para com outros conhecimentos (ecologia conceitual) correlatos, assumidos pelo sujeito. O indivíduo, conseqüentemente, acredita que os novos conceitos são verdadeiros. A plausibilidade de uma idéia pode ser identificada por expressões como as do tipo: é difícil de imaginar... é difícil de pensar... eu poderia imaginar... eu entendo... aquilo faz sentido para mim... aquilo não poderia estar certo...etc. (Hewon e Thorley, 1989); Frutificação – condição que abre a possibilidade de

²⁹ Talvez o termo posição “teórica” esteja além dos esquemas que os alunos apresentam para interpretar os fenômenos e que formam um conhecimento de senso comum. Todavia, segundo Driver et al. (1985), os esquemas podem ser entendidos como “teorias” compartilhadas, como será mais bem discutido à frente.

que novos conceitos sejam estendidos a outros domínios, revelando novas áreas de questionamento (Laburú e Arruda, 1998).

Na prática, sugere-se estruturar as idéias que normalmente permeiam o ambiente de discussão de sala de aula em três formas básicas. São elas: programa alternativo (baseado nas concepções alternativas), programa científico (resultado da instrução) e fase transitória (em que as duas formas anteriores estão mescladas, podendo demonstrar uma posição não definida, mas duvidosa). É segundo essas três formas que se encontram comprometidos os pensamentos dos alunos. Através da analogia com a teoria de Lakatos, os dois “programas” são posições cognitivas relativamente estáveis, em que determinados conceitos, vinculados a uma ecologia conceitual, possuem características de núcleos protegidos de refutações empíricas ou de argumentos contrários. Em continuidade à analogia, essas proteções ocorrem por meio de um modificável cinturão protetor, constituído de criativas idéias auxiliares dos alunos, as quais surgem em momentos de discussão para fortalecer suas concepções centrais (núcleos).

Mais detalhadamente, os raciocínios dos alunos são organizados dentro das seguintes formas analíticas:

- Programa alternativo (PA) – de acentuada estabilidade, este programa surge naturalmente da fala dos alunos, em conseqüência da abertura, aos mesmos, do livre debate e da manifestação espontânea de suas posições e ajuizamentos – aqui se incluiriam as concepções alternativas ou de senso comum.
- Programa científico (PC) – este programa, resultado da instrução, caracteriza-se pela articulação consistente dos conceitos e conteúdos curriculares pelos alunos, num nível e domínio satisfatório, pretendido pelo professor.
- Fase transitória (FTr) – uma outra forma de raciocínio, denominada de fase transitória, também surge como resultado da instrução, do ensino sistemático. Classificam-se nessa fase todos os discursos construídos pelos alunos que estão pouco diferenciados de um pensamento de senso comum, sendo, porém, possível observar em maior ou menor medida, tentativas por parte do aluno do emprego dos conceitos científicos, mesclando-os com as concepções alternativas. Em outras palavras, o raciocínio do aluno está tentando apropriar-se dos conceitos científicos, mas continua conservando vínculos com elementos conceituais do programa alternativo. Para efeitos analíticos, esta fase também situa as

falas dos alunos que expressam indecisão ou que não podem ser claramente definidas³⁰ num dos programas anteriores³¹. Por isso, esta forma de pensamento é pouco estável e frágil.

Para justificar essas definições, os próximos comentários buscam clarear as razões que permitem os raciocínios dos alunos assemelharem-se a programas. Primeiramente, o ponto de partida para a elaboração do Instrumento Analítico-Pedagógico Lakatosiano é contribuir com o educador científico em saber porque, para certos alunos, determinadas concepções (entendidas num programa alternativo), por exemplo, são defendidas ou se mantêm com força de argumentação contrária às posições do programa científico que o professor pretende ensinar. Mais especificamente, a preocupação comum é entender porque o aprendiz, alicerçado em (ou mesmo, pelo contrário, por inexistirem para ele) ontologias, metodologias, valores e compromissos epistêmicos e conceitos, distintos do programa científico, busca argumentos para que suas explicações de senso comum continuem predominando. Chinn e Brewer (1998) chegaram a elaborar uma taxionomia numa investigação que revelou que dentre oito formas de resposta aos dados anômalos, sete protegem a teoria pré-instrucional do aluno. Qual a estrutura de raciocínio que está por trás dessa resistência? Apresentar uma maneira de entender esse comportamento é o objetivo do Instrumento Analítico-Pedagógico Lakatosiano em discussão.

Como a essência desse Instrumento é a analogia já mencionada, que, por sua vez, induz um olhar para a dinâmica de construção do conhecimento em sala de aula através dos “óculos” dos programas PA e PC, alguns comentários se fazem necessários. Inicialmente, essa analogia tem aproximações fracas e fortes.

Para as fracas, destacam-se os seguintes pontos:

- Enquanto, num programa de pesquisa lakatosiano, os protagonistas estão alicerçados em decisões metodológicas; no ensino médio, a mudança conceitual envolve somente exploração das concepções – sem que necessariamente atinja métodos e valores epistêmicos de maneira mais permanente e profunda e sem que haja o abandono total do uso das concepções alternativas (Villani et al., 1997; Mortimer, 1994). As decisões

³⁰ Em razão da técnica para a coleta de dados que normalmente se utiliza nessas pesquisas: filmagens de discussões e/ou provas escritas. Nessas situações os argumentos são limitados aos registros e, portanto, é possível encontrar um raciocínio mal esclarecido que dificulta a precisão de sua classificação num programa.

³¹ Neste caso, talvez, o termo transitório seja impróprio; melhor seria dizer fase indefinida. Mas, em diversos casos, entende-se que a primeira expressão é apropriada.

metodológicas são responsáveis pelo progressivo desenvolvimento das teorias, contrastando com as concepções alternativas dos PAs, pois, como adverte Chi (1991), elas mantêm-se inalteradas no tempo.

- Outro ponto divergente está nos interesses do cientista e do aprendiz. O primeiro se preocupa com o aprimoramento de ideais explicativos e profissionais. O segundo comumente volta seus interesses para a obtenção do diploma ou para a aprovação dos exames.
- As crianças, diferentemente dos cientistas, não se dão conta³² de que duas ou mais teorias podem competir para explicar um corpo de dados (Chinn e Brewer, 1998, p. 642).
- Os alunos não agem de maneira a realizar hipóteses auxiliares, como no sentido dado pelos programas de pesquisa de Lakatos, a fim de desenvolver um programa de idéias; o que fazem é criar explicações auxiliares. Por um outro olhar, desse último comentário surge um ponto forte, discutido logo a seguir, quando se concorda que ambas, hipóteses ou explicações auxiliares, são utilizadas para salvaguardar as concepções nucleares.

Já para as aproximações fortes há dois comentários: um referente ao núcleo do programa e, outro, ao cinto de proteção.

O núcleo firme pode ser encontrado por meio da observação do comprometimento dos alunos com suas concepções, que dificulta a transferência, ou mesmo, a aceitação de outras. Através dessa maneira de ver, o professor tem a possibilidade de definir que elementos da ecologia conceitual são responsáveis pela inerente ontologia, crenças metafísicas, valores e compromissos epistemológicos do programa PA – os quais, por estarem fortemente coerentes com o programa, dão-lhe inteligibilidade, plausibilidade, satisfação e frutificação, resultando em recalcitrâncias à aceitação do programa PC. A analogia com o núcleo firme dos programas de Lakatos é aqui sustentada por investigações que suportam a tese geral de que os processos de pensamento científico (Brewer e Samarapungavan, 1991; Carey, 1985), ou de resposta aos dados anômalos (Chinn e Brewer, 1993 e 1998), são similares para os cientistas e as crianças. Ambos resistem a mudanças em suas concepções nucleares, nas quais depositam suas crenças e convicções. Assim, a heurística negativa de Lakatos (que especifica o núcleo de um programa de pesquisa considerado irrefutável) é caracterizada também nas concepções

³² E aqui a atuação dos professores se faz importante para reverter isso.

espontâneas em ciências. Com relação à analogia com o cinto de proteção, pode-se partir do seguinte princípio: toda concepção que, então, resiste a mudanças, resiste auxiliada por argumentos, sugestões, opiniões, que, no mínimo, possuem certa ligação lógica com ela e fazem sentido para aquele que a defende, portanto, a protege. Assim, as idéias ou explicações auxiliares que surgem nas discussões fazem parte de um processo geral de pensamento com o objetivo de digerir as objeções do programa científico pretendido pelo professor, conservando, com isto, as representações fundamentais nas concepções alternativas.

Como se discutiu acima, a relação de algumas características dos programas de pesquisa de Lakatos com a dinâmica do desenvolvimento discursivo, em sala de aula, é uma aproximação; ou de acordo com Villani et al. (1997), uma analogia. Porém, é preciso discutir ainda mais essa transferência dos conceitos de programas de pesquisa de Lakatos, cuja teoria epistemológica tem o objetivo de esclarecer a natureza e o processo do desenvolvimento do conhecimento científico, para o campo das atividades pedagógicas. Ao usar a palavra programa, faz-se um paralelismo, como em Blanco e Niaz (1998, p. 330), ainda que limitado, entre o processo de desenvolvimento das teorias pelo cientista, e a aquisição individual do conhecimento pelos cientistas (Niaz 1998, p. 108). Mais especificamente, inserido em um processo discursivo com função dialógica³³ (Wertsch, 1991), estabelece-se que o emprego das concepções alternativas pelos estudantes assemelha-se à estratégia de mudança conceitual lakatosiana no que se refere à apresentação de núcleos irrefutáveis e cinturão protetor, como já foi dito. Portanto, assim como as teorias científicas são imaginadas na estrutura de um programa de pesquisa, as concepções alternativas dos alunos são tratadas como fazendo parte de um “programa” (denominado aqui de PA) em que métodos, conceitos, valores e pressupostos epistemológicos diferenciam-no do programa científico que se quer ensinar. É preciso enfatizar que falar em métodos, conceitos, valores e pressupostos epistemológicos e ontológicos para um programa que englobe as concepções alternativas dos alunos, provavelmente, se evidenciam pela falta ou inexistência de métodos claros e consistentes. Quanto aos conceitos, o melhor seria defini-los como concepções e, no que diz respeito aos valores e pressupostos epistemológicos e ontológicos, estes poderiam ser considerados implícitos, para a maioria dos aprendizes.

³³ Que objetiva produzir ou gerar novos significados durante a interação discursiva.

Por fim, um último comentário se refere à palavra “teóricas” do terceiro parágrafo desta seção, designada para as concepções alternativas dos alunos. Aí se permite uma aproximação por “teorias” compartilhadas (Chinn e Brewer, 1993, p. 3; Chi, 1991; Nersessian, 1989; Carey, 1985; Clement, 1982; McCloskey et al., 1980; Viennot, 1979), visto que elas concorrem em termos explicativos com as científicas. Em termos cognitivos, para Strike e Posner (1992), as concepções alternativas cumprem o papel de paradigmas. Para Chi (1991), tal identificação se dá, pelo menos, para certos conteúdos, à medida que determinados critérios são levados em consideração, como os do tipo: consistência através dos estudos e dos conceitos, robustez e resistência através das idades e da escolaridade e mesmo, através de períodos históricos. Em Driver et al. (1985), é possível encontrar o termo *esquema* que descreve a idéia de teoria compartilhada pelos alunos. Esse termo identifica um elemento estável da estrutura cognitiva armazenada na memória, denotando diversas significações que estão nela armazenadas e inter-relacionadas. Para os estudantes, esses esquemas servem para interpretar os fenômenos que eles encontram em suas idéias diárias e que formam um conhecimento de senso comum. Em sua natureza, tal conhecimento difere do conhecimento científico, de várias maneiras. Por exemplo, difere nas entidades ontológicas (Chinn e Brewer, 1998, p. 630; Pozo et al., 1992) e não apresenta regras explícitas ou consistentes (Greca e Moreira, 1998, p. 322), por outro lado, afirma que existe a oportunidade de achar pensamentos com formatos científicos nas crianças mais velhas, em adolescentes e adultos leigos, quando se concebem estes pensamentos como formas de argumentação. Portanto, advertindo sobre a limitação que o termo “teoria” pode vir a denotar (Jenkins, 2000, p. 607; Greca e Moreira, 1998, p. 117; Lawson, 1998; diSessa, 1998), é nesse sentido que aqui se interpreta esse termo para as concepções dos alunos.

Após a apresentação dessa visão teórica que o Instrumento Analítico-Pedagógico Lakatosiano fornece a respeito das analogias entre as heurísticas negativa e positiva dos programas de Lakatos (1970), é preciso dizer que este trabalho fundamenta-se mais nas recomendações de Niaz (1998), discutidas na próxima seção, pois vão mais adiante do que essas analogias. No entanto, as condições de Posner et al. (1982) serão usadas aqui para efeitos analíticos conforme o Instrumento Analítico-Pedagógico Lakatosiano sugere.

1.3 A ESTRATÉGIA PEDAGÓGICA DE NIAZ (1998)

Esta seção discute um avanço em relação ao Instrumento Analítico-Pedagógico Lakatosiano. Esse avanço refere-se a uma proposta de ensino fundamentada em analogias com a epistemologia de Lakatos (1970). Niaz (1998) elaborou uma estratégia pedagógica nesse sentido e aplicou-a no ensino da Química. Em tal ocasião, com a intenção de facilitar a mudança conceitual dos estudantes em equilíbrio químico, Niaz (ibid.) mostrou resultados estatisticamente favoráveis à sua proposta numa comparação entre grupos experimental e controle. Segundo o autor (ibid., p. 111), por analogia com as heurísticas de Lakatos (1970) é possível admitir nessa estratégia que dois tipos de proposições existem numa estrutura teórica. Um tipo que pertence ao núcleo teórico e outro tipo que pertence ao cinto de proteção. A diferença é que, enquanto as proposições nucleares não podem ser alteradas sem a danificação da teoria, essa danificação não ocorre ao se alterar proposições do cinto de proteção. Conseqüentemente, as respostas dos estudantes podem ser observadas por um critério de exclusão:

Se uma construção (proposição) na teoria pode ser excluída sem um dano aparente à identificação da teoria³⁴, então ela não é parte do núcleo teórico. Se, por outro lado, a exclusão diminui materialmente a teoria ou a altera de modo irreparável, então a construção pertence a tal núcleo (Beilin, apud Niaz, 1998).

Niaz (1998) também acrescenta que sua estratégia é composta de outras analogias que já havia estabelecido em pesquisas anteriores. Uma delas ocorre na realização de um paralelo entre a metodologia de idealização (simplificando suposições) usada pelos cientistas e a construção de estratégias (modelos) pelos estudantes em compreensões conceituais (Niaz, 1995). A analogia aí está na interpretação da diferença entre o desempenho dos estudantes, ao resolverem problemas conceituais e de algoritmos, como um processo de transições progressivas (de modelos) que permitem diferentes graus de poder explanatório/heurístico para seus entendimentos conceituais. De maneira semelhante ao que Lakatos (1970) tem chamado de reconstruções racionais de programas de pesquisa, Niaz (1995) estabelece uma reconstrução racional da evolução do conhecimento dos aprendizes por transições progressivas de modelos. Por exemplo, um estudante que entende das propriedades dos gases passa pelos seguintes modelos relacionados:

1. Habilidade algorítmica para manipular três das variáveis da lei de Boyle ($P_1V_1 = P_2V_2$) para calcular a quarta variável;
2. Em uma manipulação de PV, a habilidade para conceituar parcialmente somente o volume final;
3. Em uma

³⁴ Semelhantemente à teoria piagetiana.

manipulação de PV, conceituar corretamente a pressão e o volume final, quer dizer, um aumento em compreensão conceitual (transição progressiva); 4. Em uma manipulação de PV, habilidade para conceituar corretamente o volume final, a pressão final e a pressão inicial – aumento na compreensão conceitual (ibid., p. 33).

Uma outra analogia estabelecida com as idéias de Lakatos³⁵ é admitir que, no processo de aprendizagem, uma concepção não pode ser deixada somente por evidências contraditórias a ela, mas sim, quando uma outra melhor está disponível para substituí-la.

De maneira geral, a estratégia de Niaz (1998) fundamenta-se nas seguintes intenções: encontrar certos aspectos chaves para facilitar a compreensão conceitual; estabelecer uma avaliação cuidadosa das reivindicações dos conhecimentos dos estudantes para projetar experiências instrutivas que possam forçá-los a lutar com suas próprias convicções e, assim, encorajá-los a reestruturar seus conhecimentos; proporcionar visões alternativas que aparentemente contradizem as visões prévias dos estudantes, como um requisito para mudança conceitual; uma nova visão alternativa deve estar plausível aos estudantes; os estudantes podem somar ou abandonar hipóteses auxiliares que deixam suas hipóteses nucleares intactas; os conflitos cognitivos são gerados pelos próprios estudantes ao enfrentarem diferentes problemas com suas concepções; esses conflitos tornam-se o motivo dos desenvolvimentos cognitivos dos estudantes na medida que reconstróem seus esquemas cognitivos. (ibid., p. 112-113)

Mais diretamente, do que foi por ele sintetizado nas conclusões de sua pesquisa, os detalhes que possam ser utilizados pelo professor para melhor projetar sua estratégia pedagógica lakatosiana são:

Procurar as convicções nucleares dos estudantes no tópico (núcleo duro, Lakatos, 1970) pode ser um apropriado ponto de partida para a estratégia;
Explorar a relação entre as convicções nucleares e as concepções alternativas dos estudantes poderia ser o próximo passo. Para isso, é essencial que as concepções alternativas sejam interpretadas dentro de uma perspectiva epistemológica. Assim, uma concepção alternativa não é um mero engano ou falsa convicção. Ela deve se assemelhar a um paradigma. Isso porque tal semelhança pode permitir que se torne uma candidata à mudança.
A complexidade cognitiva das convicções nucleares pode ser quebrada por uma série de questionamentos. Isso pode ser facilitado quando são distinguidas as concepções nucleares, que são mais resistentes a mudanças, de suas explicações auxiliares;

³⁵ “Não há falsificação antes da emergência de uma teoria melhor” (Lakatos apud Niaz 1998, p. 111).

Os estudantes resistem a mudanças em suas convicções nucleares por criarem 'hipóteses auxiliares' para defendê-las. Essas hipóteses auxiliares podem prover pistas e direções para a construção de novas táticas de ensino;

É importante que as respostas dos estudantes, baseadas em suas concepções alternativas, não sejam consideradas como erradas, mas como modelos, talvez do mesmo modo como usam os cientistas para quebrar a complexidade de um problema;

As concepções alternativas dos estudantes devem ser consideradas como 'teorias' que competem com as teorias científicas presentes e, às vezes, recapitulam teorias científicas do passado. (Niaz, 1998, p. 122-123).

2. HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA NO ENSINO DE FÍSICA

“Sempre que uma ciência é ensinada, uma filosofia, até certo ponto, também é ensinada” (Matthews, 1994, p. 83).

Este capítulo apresenta alguns entendimentos presentes na literatura relacionados à História e à Filosofia da Ciência no processo de ensino e de aprendizagem de Física. Dessa intenção geral, procura-se discutir o rumo que se dará a elas neste processo educacional.

Iniciando pela história da ciência, é possível dizer que ela tem pouco mais de cinquenta anos como disciplina profissional independente (Kuhn, 1989, p. 143). Herbert Butterfield, em seu famoso livro de 1949, *“The Origins of Modern Science”*, chegou a negar que a história da ciência fosse uma verdadeira disciplina científica, ao escrever que a história da ciência *“não foi transformada em história genuína e ainda está em um grau inferior de organização como o trabalho do analista e do cronista”* (Butterfield, 1960, p. viii). Esta afirmação negava à própria disciplina da história da ciência o caráter de história no sentido corrente do termo, mas sim à condição de anais ou crônicas cujo objetivo seriam biografias e casos anedóticos ou pitorescos.

Segundo Kuhn (1989, p 144), ainda na década de setenta do século passado, a maior parte dos que escreviam história da ciência eram cientistas praticantes, por vezes eminentes, e, habitualmente, a história era, para eles, um produto lateral da pedagogia. Dessa forma, a história da ciência é história “científica” na sensação que é escrita por cientistas com um olhar para a elucidação da ciência contemporânea e, às vezes, chamada de história de “Whiggish” (Matthews, 1994, p. 54), palavra esta que é um adjetivo derivado de Whig³⁶. A história de Whig foi aplicada pelos historiadores de ciências às histórias que começam de idéias modernas e tentam explicar como elas ocorreram, sem o compromisso de tentar entender as aproximações realizadas pelas gerações anteriores de cientistas conforme suas próprias condições e pré-concepções.

³⁶ Designação inicialmente usada em 1931 pelo historiador Herbert Butterfield (Whitaker, 1979, p. 108; Brush, 1974, p. 1169) para criticar os historiadores que escreviam a história política inglesa como a história do triunfo da democracia liberal Whig sobre os *Tories*, e que julgavam cada personagem ou acontecimento como “bom” ou “mau” em acordo com o que tinham avançado ou não a causa Whig.

A respeito desse tipo de material elaborado, Kuhn (1994, p. 175) entende que ele é típico em manuais científicos por conterem apenas um pouco de história, seja num capítulo introdutório ou em referências dispersas aos grandes heróis de uma época anterior, em que tanto os estudantes como os profissionais sentem-se participando de uma longa tradição histórica. Contudo, ele ressalta, “*a tradição derivada dos manuais, da qual os cientistas sentem-se participantes, jamais existiu*” (ibid.).

A questão, então, é sobre a possibilidade de se chamar esse tipo de material histórico de história da ciência e, portanto, se por ele se faz uma inserção da história da ciência no ensino de física. Klein (apud Mathews, 1995, p. 173), por exemplo, refere-se a tal material como, ao ser selecionado pelos professores de ciências para outros propósitos pedagógicos e científicos, uma inserção “*de forma, definitivamente, não histórica, ou até talvez, anti-histórica*”, especificando-o como pseudo-história. Na pseudo-história, ou história simplificada, é onde “*erros podem acontecer devido a omissões, ou onde a história pode ficar aquém do alto padrão de ‘verdade, toda a verdade, nada mais que a verdade’*” (Mathews, 1995, p. 174). A pseudo-história trata mitos, lendas, sagas e literatura similar como verdades literais. Está em missão, em vez de busca, procurando suporte para teorias políticas ou religiosas contemporâneas em vez de comprometer-se com a verdade acerca do passado, destacando acontecimentos e dados não confirmados historicamente. Allchin (2004), porém, em relação a acontecimentos não confirmados historicamente, despreocupa-se com muitos mitos e os rotula de ‘falsas histórias’. Exemplos: a maçã que caiu na cabeça de Newton ou Arquimedes grita ‘eureka’ enquanto corria pelas ruas de Siracusa (Sicília, Itália). Para este autor, histórias falsas são como anedotas apócrifas e parecem inocentes de força persuasiva dos fatos que explicitam. Já a pseudo-história carrega idéias falsas sobre o processo histórico da ciência e da natureza do conhecimento científico, mesmo com base em fatos reconhecidos (ibid., p. 186). Segundo ele (ibid., p. 188), o problema da pseudo-história é que, embora ela pode não incluir nenhuma falsidade sincera, não significa que ela não possa ‘mentir’.

Entretanto, sabe-se que, num certo nível, a objetividade em história pode não ser alcançada. A história não se apresenta simplesmente aos olhos do espectador. Ela tem que ser fabricada. Há uma seleção de fontes e materiais, construção de perguntas, como também tomar decisões sobre a relevância das contribuições de fatores internos e externos para a mudança

científica. Todas essas questões, por sua vez, sofrem influência das visões sociais, nacionais, psicológicas e religiosas do historiador.

Matthews (1994, p. 78) cita vários episódios históricos em que seria um absurdo pensar que tudo o que aconteceu pudesse ser listado por historiadores, além de que cada evento poderia ser descrito de inúmeros modos, dependendo do lado que se encontra aquele que analisa e interpreta os dados. Muitas histórias americanas da “Abertura do Oeste”, da conquista de territórios mexicanos, da guerra de 1905 entre Espanha-EUA, da Guerra do Vietnã, e, assim, sucessivamente, são dirigidas por ideologias que torcem o registro histórico. Uma vez reconhecida a importância da ciência e de suas realizações, não é nenhuma surpresa que vários grupos políticos e ideológicos deveriam escrever histórias de ciência que mostram seus próprios grupos como campeões (ibid., p. 79). Indubitavelmente, mitos e ideologias abundam em histórias da ciência, da mesma maneira que ocorrem nas histórias políticas, sociais e religiosas. É cometer um erro ingênuo demais aceitar uma história em cuja descrição não haja fatores externos à ciência que afetem sua escritura como tal. Ademais, um ponto crucial é que nenhuma história pode contar tudo. O historiador sempre realiza escolhas/seleções daquilo que apresenta como “a história de ...”. Até mesmo isso tem que envolver uma sensação, um julgamento do que é provável ser útil. Nenhuma história da ciência é descrita de uma forma neutra. Num grau ainda maior, sofrem influência da Teoria da Ciência ou da Filosofia da Ciência que o historiador acredita. Conforme a paráfrase de Kant: “*A filosofia da ciência sem a história da ciência é vazia; a história da ciência sem a filosofia da ciência é cega*” (Lakatos, 1971, p. 91). Nesse sentido, da maneira como se discutiu anteriormente em seção específica do primeiro capítulo, Lakatos (ibid.) adota as reconstruções racionais, defendendo que a história da ciência é uma história de acontecimentos que são selecionados e interpretados de uma maneira normativa. Whitaker (1979, p. 109) afirma que isso deve ser particularmente verdade para o historiador da ciência que tem que suprimir (ou declarar irrelevante) qualquer coisa que pareça irracional na luz de sua filosofia da ciência.

Uma avaliação contraproducente das reconstruções racionais é dada por Kuhn (1974, p. 88), reivindicando que, se o historiador seleciona e interpreta o material dele de acordo com uma posição filosófica prévia, não há modo algum no qual os dados assim reconstruídos possam contradizer a metodologia de tal posição para mudá-la. Para ele (ibid.), a consideração importante é que a história há de ser construída sem violentar os dados disponíveis por seleção e

interpretação. Por exemplo, somente se forem empregados outros critérios internos do ofício do historiador, além dos de Lakatos (1971), as conclusões da investigação histórica podem contradizer e mudar a posição filosófica lakatosiana na qual o historiador começou. Isso porque deve se admitir que a tentativa efetiva de aplicar uma posição filosófica aos dados históricos pode mostrar que ela está estagnada. O que revela uma validade duvidosa do método de reconstrução racional. Ademais, opondo-se às reconstruções racionais lakatosianas, ressalta Kuhn (1970b, p. 316) que um historiador não deveria pedir aos leitores que apliquem “toneladas de sal”, nem acrescentar notas de rodapé assinalando que o que está dito no texto é falso³⁷.

Allchin (2004, p. 181) mostra-se contra as reconstruções racionais da história ao dizer: *“Para entender a natureza da ciência, deve-se entender como um cientista na verdade argumentou, não como ele poderia ter argumentado de acordo com alguns esquemas idealizados”*. E afirma que é importante combater a pseudo-história, pois, enquanto se pode apresentar uma falsa história por uma ‘lente’ ideológica, pode-se caracterizar uma falsa natureza da ciência, o que leva a repensar o uso dessa história como apropriada para se compreender a ciência (ibid., p. 185). No entanto, embora argumente para uma necessidade de se minimizar ao máximo os perigos da pseudo-história, ele reconhece que toda narrativa sobre ciência é implicitamente explicativa sobre a natureza da ciência e conclui, *“a pseudo-ciência da pseudo-história é sempre uma preocupação”* (ibid., p. 188). Aliás, para Allchin (2004, p. 191), uma reconstrução histórica de uma ciência, feita em base de algum modelo epistemológico idealizado, é pseudo-história.

Um outro tipo de material que parece ser histórico foi rotulado por Whitaker (1979) de quasi-história, na qual não há tentativa de carregar uma completa verdade da história (p. 108). Material este que é diferente da pseudo-história e aparentemente semelhante a uma reconstrução racional (ibid., p. 109). Numa reconstrução racional, a história é escrita como se os cientistas tivessem sido estritamente racionais, dando a impressão de um modo no qual as idéias emergiram historicamente. Numa quasi-história, além das descrições das físicas se darem pela ordem lógica ao invés da ordem cronológica, não se admite que houve uma reconstrução racional (ibid., p. 110). Segundo o autor:

Não assumo que os escritores de quasi-história necessariamente têm qualquer intento filosófico, nem mesmo subconscientemente. Eu vejo a quasi-história,

³⁷ *“Um historiador não incluiria em sua narrativa um relato fático que ‘soubesse’ ser falso”* (ibid.).

mais freqüentemente, somente como resultado de um desejo muito extraviado para ordem e lógica, como uma conveniência para ensinar e aprender (Whitaker, 1979, p. 239).

Conforme o autor, um exemplo de quasi-história muito divulgado em livros didáticos é o caso da lei de Rayleigh-Jeans ser conhecida antes de Planck descobrir a sua própria lei, reivindicando que o malogro da lei de Rayleigh-Jeans da física clássica foi importante para a predição, com precisão, da lei da radiação do corpo negro que conduziu à ‘hipótese’ do quantum de Planck. Nesse exemplo, enquanto há incerteza se deveria ser assumido que Planck viu o trabalho de Rayleigh, está claro que este último não o influenciou de forma alguma pelas datas em que os distintos trabalhos foram publicados (Whitaker, 1979, p. 108). A quasi-história, portanto, é o *“resultado de muitos e muitos livros cujos autores sentiram a necessidade de estimularem suas explicações de um episódio com um pouco de história, mas que reescreveram a história de tal forma que ela segue lado a lado com a física”* (ibid., p. 109). Para Whitaker (ibid.), a quasi-história elimina a dimensão social e distorce a descrição de avanços científicos por propaganda e mito, podendo ser observada, em grande quantidade de exemplos, em livros que descrevem a evolução da física moderna.

Enquanto pelas formas narrativas descritas até aqui o estudante encontrar-se-ia num caminho de compreensão de uma pequena quantia de material que é histórico, ou pretende ser histórico, ou parece ser histórico, um possível caminho diferente é pela história da ciência dos historiadores.

Para o historiador da ciência, a narrativa histórica e a interpretação dos fatos históricos, como resultado do trabalho do historiador, não são totalmente objetivas (independente do historiador), nem totalmente arbitrárias. São guiadas por princípios éticos, como a imparcialidade. Assim como diz Le Goff (apud Martins, 2004, p. 138): *“O historiador não tem o direito de prosseguir uma demonstração, de defender uma causa, seja ela qual for, a despeito dos testemunhos. Deve estabelecer e evidenciar a verdade ou o que julga ser a verdade”*. A construção de uma visão objetiva é feita pouco a pouco, através do trabalho coletivo, em que por sucessivas revisões e correções se abandonam versões inadequadas, que conflitam com os resultados da investigação. Devem ser consideradas e respeitadas múltiplas dimensões para se alcançar, ou caminhar para, uma fidedigna história da ciência. Admitindo a ciência como uma atividade humana historicamente contextualizada, essas dimensões incluiriam aspectos como

financiamentos para a pesquisa, definidos como parte de políticas estratégicas governamentais; a formação e constituição da comunidade científica; a prática cotidiana de obtenção de dados empíricos, de suas interpretações, bem como as formulações teóricas; a publicação e aceitação da produção elaborada. Desse modo, é aceitável a afirmação de que se realizaria uma legítima inserção da história da ciência no ensino de ciências.

Para os modos nos quais a história da ciência tem sido inclusa nos cursos de ciências, ou pelo menos assim admitida a intenção, Mathews (1994, p. 70) identifica na literatura dois tipos de abordagens: uma abordagem ‘adicionada’ e uma abordagem integrada. Para a primeira abordagem, um curso de ciência é completado com uma história da ciência na qual há um padrão não-histórico propositadamente. Na segunda abordagem, a história da ciência é integrada no estudo do conteúdo de ciência. Por exemplo, a história tratará não somente dos conceitos, equações e experiências da época, mas qual idéia estava presente antes de uma outra qualquer, algo mais detalhado, que inclui, além dos argumentos científicos, os filosóficos e teológicos que impregnavam os cientistas em suas épocas. Essa abordagem procura envolver também os problemas com a formulação inicial de uma teoria, inclusive, influências políticas. Em síntese, a primeira abordagem, além de ser superficial comparada à segunda, também é mais maleável e adaptável segundo interesses do educador.

Existem defesas e críticas para ambas as inclusões. Mas antes de apresentá-las, é possível dizer que, só por uma questão de classificação pelo que se já discutiu, a história de Whiggish, a reconstrução racional e a quasi-história são exemplos de materiais não-históricos. Conseqüentemente, não se faria por algum deles o uso de história genuína da Ciência no ensino de física e, daqui a diante, quando uma história da ciência ou sua inserção for mencionada, estar-se-á referindo a uma aproximação à história dos historiadores, em acordo com a abordagem integrada do parágrafo anterior.

Dois pontos discordantes originaram-se nas discussões mais gerais sobre a inserção da história da ciência no ensino de ciências: um deles é a contribuição para o ensino e o outro se opõe a essa primeira visão.

A primeira visão argumenta que a História da Ciência contribui para o ensino porque:

- (1) motiva e atrai os alunos;
- (2) humaniza a matéria;
- (3) promove uma compreensão melhor dos conceitos científicos por traçar seu desenvolvimento e

aperfeiçoamento; (4) há um valor intrínseco em se compreender certos episódios fundamentais na história da Ciência – a Revolução Científica, o darwinismo, etc.; (5) demonstra que a Ciência é mutável e instável e que, por isso, o pensamento científico atual está sujeito a transformações que (6) se opõem à ideologia cientificista; e, finalmente (7) a história permite uma compreensão mais profícua do método científico e apresenta os padrões de mudança na metodologia vigente (Matthews, 1995, p. 172).

Como um exemplo de discussão importante favorável a essa visão, Brush (1974, p. 1165) destaca o Seminário Internacional de Trabalho no Papel da História da Ciência no Ensino de Física, realizado no Instituto de Tecnologia de Massachusetts em julho de 1970. Supostamente, todos os participantes estavam de acordo que a história da ciência era útil no ensino, e o propósito do seminário foi de organizar passos concretos para coleccionar e preparar materiais, diretrizes, e assim sucessivamente³⁸, para professores que poderiam gostar de usar a história, mas que sabiam muito pouco a respeito (ibid.).

Já a segunda visão oferece um duplo ataque à contribuição acima. De um lado, historiadores opinam existir uma pobreza na história trabalhada em livros de ciência, como uma fabricação da história em defesa de uma ideologia científica atual. Esse ponto de vista afirma que a única história possível nos cursos de ciências é a pseudo-história ou história simplificada. De outro lado, cientistas propõem a não inserção devido ao valioso tempo que poderia ser dedicado à ciência formal e entendem que uma exposição da história da ciência pode enfraquecer as convicções científicas necessárias à conclusão bem sucedida da aprendizagem de uma ciência. (Matthews, 1994, ps. 71-72)

O principal proponente do primeiro ataque foi Martin Klein, defendendo que a única história da ciência possível nos cursos de ciência é a pseudo-história, anteriormente mencionada. Conforme Klein (apud Matthews, 1995, p. 173):

Uma razão pela qual é difícil fazer-se com que a história da física atenda as necessidades do ensino da física é a diferença fundamental que há entre a perspectiva do físico e a do historiador. (...) É tão difícil imaginar-se a combinação da riqueza de complexidade do fato, por que anseia o historiador, com o simples corte agudo do fenômeno que a física procura.

O argumento de Klein é que a história e a ciência são dois tipos diferentes de disciplinas que, reunindo-as no ensino, provavelmente uma violenta a outra. Isso porque o cientista quer chegar à essência de um fenômeno e, nessa tentativa, ele precisa limpar todas

³⁸ Os procedimentos incluíram discussões, recomendações, análises de livros, de filmes, de traduções de documentos clássicos.

características complicadas ou contingências peculiares ao tempo, espaço e personalidade do observador. E, para o historiador, isso é a essência da história. Se algum detalhe de eventos passados for eliminado, nada significativo permanece. Desde que o real propósito do professor de ciência seja o de ensinar teorias modernas e técnicas mais eficazes, ao procurar introduzir materiais históricos, ele tem que fazer assim de um modo muito seletivo, levando do passado só o que parece ter significado no presente. O resultado disso pode ser uma série de anedotas fascinantes (e freqüentemente místicas), mas certamente não é nenhuma história como entende o historiador. (Brush, 1974, p. 1166)

Brush (*ibid.*, p. 1170) ainda defendeu que, se os professores de ciências desejam usar a história da ciência, obtendo informações e interpretações de escritas contemporâneas de historiadores da ciência em lugar dos mitos e anedotas que uma geração de escritores de livros didáticos forneceu, eles ainda não podem evitar a influência de um tipo de ceticismo sobre objetividade. Esse ceticismo, relacionado ao problema da teoria que afeta a forma como os fatos e documentos históricos são vistos, pode ser explicado, por exemplo, pela história da interpretação dos dados antigos e da metodologia usada por Galileu associada às diferentes traduções de suas obras. Mathews (1995) exemplifica várias narrativas históricas contrastantes. Por um lado, historiadores apontavam Galileu como empirista e indutivista (à medida em que o positivismo ascendia), por outro lado, historiadores o apontavam como racionalista, ou mesmo como um experimentalista paciente e até por uma interpretação anarquista (Paul Feyerabend). Nesse sentido, Brush (1974, p. 1170) conclui que o professor de ciências que deseja usar materiais históricos para ilustrar como os cientistas realmente trabalham, encontra-se numa posição desajeitada. Aliás, pode-se dizer que, a respeito da natureza da metodologia científica, há substanciais discórdias entre os próprios filósofos da ciência na atualidade³⁹. Diante disso, o problema do ensino de uma história de má qualidade é o entendimento de uma pseudociência que ela também pode gerar (Allchin, 2004). Conseqüentemente, surge a opinião de que se para alcançar um ensino de qualidade deve-se alimentá-lo com a história, este só pode ser de má qualidade. Portanto, é melhor não se usar a história do que usar a história de má qualidade. A defesa de Brush (1974) é para que somente um público maduro deva ter acesso à história da

³⁹ Embora a história da ciência assim direcionada possa dar um quadro mais realista do comportamento dos cientistas, distante de uma visão empirista e indutivista.

ciência, sugerindo que ela pode ser de influência negativa sobre os estudantes por ceifar as certezas do dogma científico.

Para o segundo ataque do uso de história genuína da ciência no ensino de ciências, Thomas Kuhn destacou-se como principal proponente (Mathews, 1994 e 1995). Porém, sua visão não é a de um abandono do uso de uma história de má qualidade como se discutiu no primeiro ataque, mas que o ensino de ciências faz, e deve, distorcer a história da ciência em razão da função pedagógica natural ser direcionada aos princípios do paradigma dominante atual. Assim ele escreve:

Para preencher sua função (os manuais) não é necessário que proporcionem informações autênticas a respeito do modo pelo qual essas bases foram inicialmente reconhecidas e posteriormente adotadas pela profissão. Pelo menos no caso dos manuais, existem até boas razões para que sejam sistematicamente enganadores nesses assuntos. (Kuhn, 1994, p. 174).

É característica dos manuais científicos conterem apenas um pouco de história, seja um capítulo introdutório, seja, como acontece mais freqüentemente, em referências dispersas aos grandes heróis de uma época anterior. Através dessas referências, tanto os estudantes como os profissionais sentem-se participando de uma longa tradição histórica. Contudo, a tradição derivada dos manuais, da qual os cientistas sentem-se participantes, jamais existiu. Por razões ao mesmo tempo óbvias e muito funcionais, os manuais científicos (e muitas antigas histórias da ciência) referem-se somente àquelas partes do trabalho de antigos cientistas que podem facilmente ser consideradas como contribuições ao enunciado e à solução dos problemas apresentados pelo paradigma dos manuais. (ibid., p. 175).

O argumento de Kuhn refere-se ao fato de os livros didáticos serem sistematicamente influenciados pela intenção de aumentarem as chances do estudante alcançar o domínio do paradigma destinado ao ensino. Nesse sentido, a não distorção da história da ciência pode ser, na verdade, prejudicial aos estudantes de ciências, pois, por meio de tal estudo, os estudantes *“poderiam descobrir outras maneiras de olhar os problemas discutidos nos seus livros de texto, mas onde também encontrariam problemas, conceitos e padrões de solução que as suas futuras profissões há muito descartaram e substituíram”* (Kuhn, 1989, p. 279).

O ponto fraco que ele destaca do uso da história distorcida da ciência está na provável impressão que cria nos estudantes de uma ciência que tenha alcançado seu estado atual através de uma série de descobertas e invenções individuais, as quais, uma vez reunidas, constituem a coleção moderna dos conhecimentos científicos, juntamente com o entendimento de um desenvolvimento linear da ciência (Kuhn, 1994, p. 178). Porém, reconhecendo que os estudantes de ciências não são encorajados a ler os clássicos históricos dos seus próprios campos,

mas histórias distorcidas, ele escreve: “*Enquanto pedagogia, essa técnica de apresentação está acima de qualquer crítica*” (ibid.). E elogia o sistema educacional, melhor descrito como uma iniciação a uma tradição inequívoca que conduz o estudante a chegar a respostas ‘corretas’. Reivindicando a necessidade do ensino ser inteiramente compatível com o trabalho científico com êxito, ressaltou: “*E espero, além disso, ter tornado plausível a tese histórica de que nenhuma parte da ciência progrediu muito e depressa antes de esta educação convergente e a correspondente prática normal convergente se terem tornado possíveis*” (Kuhn, 1989, p. 289).

Voltando à posição favorável de inserção da história da ciência, Siegel (1979) critica a inserção distorcida elogiada por Kuhn, entendendo que é uma visão bastante pessimista das capacidades críticas do estudante. Siegel (ibid., p. 113) defende que explicações alternativas dos problemas, conceitos e padrões de solução do paradigma que o estudante aprende podem ser muito úteis para que ele ganhe um entendimento mais profundo daquele paradigma. Nesse sentido, por analogia, seria possível conduzir o estudante ao entendimento da possibilidade de falibilidade da teoria científica atual, encorajando o estudante a uma postura crítica, melhor orientada para a teoria atual, que, conforme este autor, parece ser altamente desejável. Mas o detalhe importante que ele levanta é o ponto de vista moral do propositado ensino de uma história distorcida, pois, a honestidade educacional demanda uma lealdade com os conteúdos a serem ensinados. Assim, os professores de ciência não poderiam favorecer distorções de quaisquer materiais do currículo e, em particular, materiais relativos à história da ciência. (ibid.)

Foram mostrados pontos de vistas favoráveis e contra a inserção da história genuína da ciência, como também de sua versão distorcida, no ensino de ciências. Pretende-se agora apontar e justificar a adoção que aqui será realizada. Seguir-se-á o uso de um padrão não-histórico por reconstruções racionais em inspiração às de Lakatos (1971), definida neste estudo como Reconstrução Racional Didática (RRD). Allchin (2000) faz uma distinção entre uma reconstrução racional e uma simulação histórica (aproximação à história dos historiadores). Para o autor, diferente de uma simulação histórica, numa reconstrução racional, a história real é reconstituída para servir a outras finalidades e o contexto histórico é perdido, podendo ir, juntamente com ele, algumas lições importantes sobre a natureza da ciência. No presente processo educacional, a RRD procura modelar um processo de raciocínio que possa recriar o estudante no contexto de um julgamento científico real de decisões entre teorias rivais. Porém, antes que a RRD seja usada, como se verá, a estratégia apresenta passos anteriores que objetivam

os estudantes apreciarem explicações diferentes de um mesmo fenômeno e verem como cada teoria é enraizada em determinadas suposições, postulados. O problema com ensinar pelas reconstruções racionais, conforme Allchin (ibid.), é que a história, e assim o processo da ciência, fica para trás. No entanto, a RRD pode vir a explorar, em determinado nível, alguns aspectos desse processo como: a geração de hipótese; a busca para a informação relevante; o projeto e a crítica das experiências; a elaboração de explicações alternativas; o esforço frente anomalias experimentais; a superação de uma teoria por uma rival. Tudo isso pelo reconhecimento de que há mais aspectos na ciência do que apenas o da justificação do resultado final ou na suposição do que está correto.

Uma preocupação neste instante é sobre a diferença entre as elaborações da história da ciência que poderiam ser usadas no ensino e as da RRD proposta.

Para o primeiro caso, Martins (2001), em um manifesto historiográfico, levantou a seguinte questão: *Quem deveria escrever sobre história da física?* Para respondê-la, ele não defende a ‘corporação’ dos ‘profissionais’ historiadores da ciência (embora essa atividade não seja uma profissão). Inclusive adverte que não é necessário nem suficiente ter um título de mestrado ou de doutorado em uma pós-graduação específica de história da ciência para ser competente em história da ciência: “*Há (em todo o mundo) muitas pessoas que não possuem título de pós-graduação em história da ciência, mas que realizam pesquisa de excelente qualidade*” (ibid., p. 114). Apesar disso, ele (ibid.) afirma que somente uma pessoa com um conhecimento e treino adequados, nas técnicas de trabalho de história da ciência, deveria poder escrever sobre a história da ciência, em razão de se evitar a divulgação de erros a leitores incautos. A defesa desse autor está na idéia de que, mesmo que o melhor historiador da ciência possa cometer erros, existem erros banais, primários, que podem ser evitados facilmente por quem adquire um treino mínimo de história da ciência⁴⁰. A advertência, em seu artigo, para quem escreve sobre história da ciência está em duas palavras: “*trabalhar seriamente*” (ibid.). Mas, analisando as idéias desse autor, conclui-se que ele adota como critério, para o que ele define de trabalhar seriamente, a necessidade de se dispor de uma boa amostragem de textos para verificar até que ponto uma hipótese ou teoria está de acordo com os fatos. Ainda que ele (ibid.) afirme

⁴⁰ McKay e Ebison (apud, Martins 2001, p. 114) citam a seguinte definição de Werner Karl Heisenberg: “*Um especialista é alguém que conhece alguns dos piores erros que podem ser feitos em seu campo, e sabe como evitá-los*”.

que não se pode estudar tudo o que foi escrito em relação a um episódio histórico devido à importância de estudos originais em línguas chinesa, grega, latim, e assim por diante, evitando traduções, ele adverte que um conhecimento parcial sempre pode levar a erros; mas, pior ainda, é um conhecimento nulo. Quer dizer, do seu ponto de vista, é melhor conhecer uma boa amostra de textos em relação ao que se pesquisa do que não conhecer nenhuma⁴¹.

Para a RRD, os detalhes de sua elaboração serão apresentados numa seção específica do quinto capítulo, mais à frente. Mas nessa comparação, é preciso dizer que ambas, a simulação histórica⁴² e a reconstrução racional⁴³, podem parecer históricas, mas esta última não é concernida com o processo da história, somente seu produto. Os nomes e as datas que são atribuídos às idéias específicas são meramente incidentais à sua finalidade; portanto, as reconstruções racionais são não-históricas (Allchin, 2000). Nesse sentido, o uso de reconstruções racionais no ensino não podem ser confundidas com inserções de histórias da ciência.

Denomina-se aqui de RRD o uso da HFC como um ponto de partida para desenvolver e projetar soluções didáticas satisfatórias (Mäntylä e Koponen, 2007) que podem ser entendidas como reconstruções didáticas para auxiliar o ensino de conceitos científicos (Izquierdo-Aymerich e Adúriz-Bravo, 2003). Embora a RRD baseie-se na história e filosofia da ciência ao ser elaborada, é preciso dizer que essas bases são usadas como recursos, pois a intenção, aliás, não é obter reconstruções históricas completamente autênticas. Ao invés disso, 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*”⁴⁴. Pesquisas têm apresentado e defendido aproximações com padrões não-históricos em cursos de ciências (Mäntylä e Koponen, 2007, p. 297-298; Valente, 2005, p. 4; Izquierdo-Aymerich e Adúriz-Bravo, 2003, p. 29). Whitaker (1979, p. 109) já recomendava que, no caso das reconstruções racionais, estas podem ser úteis no ensino de ciências, contanto que se aponte que realmente sejam reconstruções.

⁴¹ Ou, como dizia Charles Babbage, importante matemático do século XIX: “*Os erros quando se usam dados inadequados são muito menores do que quando não se usa dado algum*” (McKay e Ebison, apud Martins, 2001, p. 115).

⁴² Na sensação descrita do parágrafo anterior, que é guiada pela sensibilidade ao contexto histórico.

⁴³ Que destaca o trajeto condutor à justificativa racional de uma teoria.

⁴⁴ Conforme Whitaker (1979, p. 108), presumivelmente, a prioridade do ensino de física é a de o estudante ganhar uma compreensão de princípios físicos e técnicas, e suas aplicações.

Valente (2005, p. 1), por exemplo, comenta que, embora se tenha hoje em dia alguma discussão sobre os perigos de se cair, no âmbito da educação científica, numa pseudo-história (Allchin, 2004), ela destaca que é possível interessar-se de outra forma pela história das ciências diferente daquela dos historiadores das ciências. Com base em algumas idéias sobre educação, do filósofo Whitehead, para desenvolver “*um sentido íntimo do poder das idéias, da beleza das idéias e da estrutura das idéias, associadas a um ramo particular do conhecimento que seja relevante para quem aprende*” (Valente, 2005, p. 1), a autora estruturou um texto com os protagonistas Lavosier e Seguin, defendendo tal estruturação como um instrumento formativo importante, justificado na medida em que a pedagogia não se submete à História (ibid., p. 4).

Isso encoraja um professor de ciência a trabalhar com as aproximações de padrões não-históricos e lança uma saída para a aparente confusão entre escrever história⁴⁵ e usar a história em sala de aula (Mathews, 1994, p. 79). Um professor de Ciência não é comprometido com essa última tarefa (ibid.). É verdade que pode haver problemas em escrever a história para servir a certos fins, por se tornar numa distorção da história. Escrever para uma necessidade, porém, não resulta simplesmente em pseudo-história (ibid.). Seja como for, nesse sentido, um professor de ciência está usando uma aparente história explicitamente para propósitos pedagógicos e esse uso deve ser julgado num critério diferente da pseudo-história, já discutida. Este trabalho, portanto, insere-se na linha de pesquisa favorável ao uso de aproximações com padrões não-históricos em cursos de ciência (Mäntylä e Koponen, 2007, p. 297-298; Valente, 2005, p. 4; Izquierdo-Aymerich e Adúriz-Bravo, 2003, p. 29; Niaz e Rodriguez, 2002, p. 62; Dobson, 2000, p. 1), justificada nos propósitos e limitações do professor de ciências⁴⁶.

Há muitos métodos pelos quais essas aproximações podem ser empregadas em salas de aulas de ciências. Por exemplo: leituras de textos com fontes selecionadas; debates de assuntos científicos; reprodução de experiências históricas; conferências; desenvolvimento de temas propostos para serem trabalhados individualmente ou em grupo. Todavia, vale dizer que, por tais discussões, insere-se juntamente uma filosofia que está nelas atrelada. A filosofia, pelo menos implícita, encontra-se em qualquer texto ou em discussões de aspectos da ciência como lei, teoria, modelo, explicação, causa, verdade, conhecimento, hipótese, confirmação, observação,

⁴⁵ Conforme se discutiu anteriormente por Martins (2001).

⁴⁶ Propósitos de ensinar as recentes teorias científicas, e limitações como, por exemplo, do pouco tempo disponível para trabalhar nas disciplinas. Visto que, em época atual, há uma reduzida carga horária comumente atribuída às disciplinas de Física e Química em instituições públicas de ensino básico.

evidência, idealização etc. Dominar a filosofia presente nos argumentos, em momentos em que o pensamento crítico e reflexivo é exigido, permite avaliar melhor os assuntos empíricos e conceituais distintos envolvidos. A adoção de uma filosofia pelo professor justifica-se na medida em que, por ela, pode-se realmente alcançar uma reflexão mais profunda e cuidadosa. Conforme Bunge (1973, p. 11): “...ao dizermos que não nos interessamos pela filosofia, o que estamos provavelmente fazendo é substituir por uma filosofia explícita, uma filosofia implícita, por isso, imatura e incontrolada”.

O uso de uma abordagem histórica ou não-histórica, para ilustrar as idéias dos cientistas com interpretações sensatas e racionais de dados, pode caracterizar uma racionalidade para a distinção crucial entre equações matemáticas ou entre modelos. Nessa situação, a filosofia auxilia o raciocínio sobre como os dados podem favorecer uma teoria em particular, visto que teorias diferentes (ou explicações diferentes) podem implicar o mesmo jogo de pontos de dados.

A filosofia da ciência pode ser útil em situações de ensino e de aprendizagem dos conceitos científicos. Mais especificamente, para aquele professor de Física que diz não se interessar pela filosofia, normalmente se nota uma tendência de entender e ensinar uma visão de Ciência pronta, acabada e imutável. Essa visão ‘ingênua’ sobre a produção do conhecimento científico influencia diretamente a concepção de ciência no ambiente escolar⁴⁷. Ao se notar um professor de Física com desinteresse por assuntos filosóficos, não é incomum, por exemplo, que ele caracterize a falta de consciência de que a observação depende da teoria e de suas implicações. Diante disso, para contribuir com a tarefa educativa de tal professor, é inquestionável que o caminho seja o entendimento de idéias pós-positivistas. Para a condição necessária que permite a atuação desse educador, que é dominar as teorias físicas, Delizoicov (1996, p. 182) afirma que cada vez mais tem sido enfatizado que esta condição não é suficiente para a docência. Segundo ele: “*O professor precisa também conhecer o processo de produção das teorias, enquanto um dos seus instrumentos para o trabalho educativo*”.

Com essa visão, é na epistemologia que se pode buscar um auxílio para compreender o processo de produção do conhecimento científico em momentos de ensino, isto é, da relação estabelecida entre o cientista, enquanto sujeito do conhecimento e seus objetos de conhecimento. Em princípio, a epistemologia pode auxiliar o professor na exploração das idéias

⁴⁷ De acordo com Lederman (apud Blanco e Niaz, 1998, p. 327), a concepção dos estudantes sobre a natureza da ciência é influenciada pelos professores de ciência e pelo ambiente de sala de aula.

que envolvem concepções de método científico, de explicações científicas, de pensamento crítico, de critérios estimados por cientistas no julgamento de teorias, da estrutura de uma disciplina científica, ou mesmo de bons testes de compreensão científica: ainda assim, a seu modo, visto que não existe apenas uma epistemologia. No entanto, a discussão permanece importante na medida que a própria epistemologia do professor ou Teoria da Ciência, que ele pode ou não carregar conscientemente, contribui, novamente insistindo, diretamente com a imagem de ciência que os alunos desenvolvem em classe. Para Whitaker (1979, p. 84), essa imagem pode incidir fortemente, porque são ganhas subconscientemente ao invés de diretamente⁴⁸. Conseqüentemente, é possível dizer que a separação entre o ensino de ciências e a filosofia corrompe esse ensino (Matthews, 1994, p. 84).

Ademais, ao analisar as reflexões epistemológicas contemporâneas, consegue-se facilmente encontrar um ponto de convergência a partir do qual todas elas concordam entre si. Elas admitem uma posição antiempirista, isto é, contrariam o entendimento no qual se descobre a realidade dos fenômenos a partir única e exclusivamente deles próprios, como também ignoram a concepção de ciência que supõe uma produção de conhecimento exclusivamente linear e cumulativa. Essas reflexões epistemológicas contemporâneas são interessantes para o ensino de ciências, visto que uma possível conseqüência positiva no processo educativo está em influenciar a concepção dos estudantes sobre a natureza da ciência, pois a postura empirista-indutivista, apesar de constituir-se numa teoria do conhecimento ultrapassada, ainda sobrevive no ensino da Física (Pereira e Amador, 2007, p. 213; Silveira e Ostermann, 2002, p. 7).

Na RRD deste estudo, a estrutura básica a ser utilizada como exemplo de incorporação de filosofia da ciência baseia-se na adoção de uma filosofia implícita em episódios históricos distorcidos trabalhados pelo educador em sala de aula. A idéia é de que esses episódios sejam reconstruídos racionalmente com inspiração lakatosiana para influenciar uma racionalidade que favoreça posteriores conclusões entre os méritos das idéias dos alunos e os das teorias científicas que se pretende ensinar. Isso tudo realizado por um professor movido filosoficamente pela analogia com a racionalidade presente na metodologia dos programas de pesquisa científica

⁴⁸ Ao se trabalhar com um pouco de história da ciência (ou que pareça ser história da ciência), envolvendo leis de Newton, princípio de Huygens, entre outros, uma discussão pode gerar uma conexão indesejada entre, por exemplo, o princípio de Huygens e sua conseqüência. Neste caso, Whitaker (ibid.) afirma que “*o estudante pode inferir que a conseqüência era óbvia a Huygens, ou ‘imediatamente óbvia’ para qualquer pessoa inteligente, por Huygens produzir seu princípio considerando que fora assim pelo resultado de repetidas experiências em laboratório (assim como para a completa teoria ondulatória da luz)*”.

de Lakatos, ou seja, sua heurística (núcleo e cinturão protetor) e falseamento metodológico sofisticado. A intenção principal com tal estrutura é enriquecer o processo de ensino do professor quando diferentes explicações surgem em classe, hipóteses ou explicações *ad hoc* e as confirmações de teorias.

Este capítulo mostrou argumentos contra e a favor tanto da inserção da história da ciência quanto de versões distorcidas da história. 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.

Também se discutiu que é sensato afirmar que o ensino da história da ciência, ou de versões distorcidas desta, não deve ser desvinculado de uma filosofia, pois são inseparáveis. Isso porque, até mesmo quando se ensina uma ciência, uma filosofia, até certo ponto, também é ensinada (Mathews, 1994, p. 83). Mais ainda, apresentaram-se aqui argumentos que procuraram justificar as versões distorcidas da história da ciência no ensino, inclusive, a mais relevante, a da pseudo-história, originária dos próprios historiadores. Inevitavelmente, a história distorcida da ciência que este trabalho propõe não deixa de ser, em essência, pseudo-história (Allchin 2004), porém, consciente disso e trabalhada propositadamente de maneira a servir a instrução de conceitos científicos.

3. RACIONALIDADE E ENSINO DE CIÊNCIAS

“Racionalidade é satisfazer critérios, é normativa pelo menos em certa extensão, e mostra o que é merecedor de convicção, ou decisão, ou ação” (Siegel, 2004, p. 609).

Primeiramente, antes do principal objetivo deste capítulo que é o de apresentar o rumo que aqui se conduz a racionalidade ao ensino de Ciências, pretende-se refletir um pouco sobre alguns outros termos importantes como ‘racional’, ‘racionalista’ e ‘racionalismo’⁴⁹, por possuírem certa ligação conceitual com o termo racionalidade em discussão.

Conforme os dicionários da língua portuguesa, a palavra racionalidade é uma qualidade do que é racional, estando, esta última, com o significado daquele que faz uso da razão, que raciocina, o ser que pensa. Logo, admite-se como racional aquele que pensa ou raciocina. Esse é o sentido que se diz ser o homem um animal racional. S. Agostinho (apud Abbagnano, 2000, p. 821) afirmou que os sábios *“chamaram de racionável quem faz ou pode fazer uso da razão, e de racional aquilo que é feito ou dito pela razão”*, por conseguinte, admitiu que é preciso chamar de racionais os discursos e, de racionáveis, aqueles que os praticam. Mas essa distinção não é facilmente defensável porque os antigos já chamavam o homem de racional. Como hoje também se chama de racionável aquilo que se conforma à razão (ibid.), as distinções se confundem e convergem.

Já para se considerar uma pessoa como racionalista, é preciso ir além dessas definições. De maneira etimológica, pode chamar-se de racionalista a pessoa que é partidária do racionalismo, termo que se apresenta com toda uma história de significados. Em geral, o racionalismo refere-se à atitude de quem confia nos procedimentos da razão para a determinação de crenças ou de técnicas em determinado campo (ibid.). Sem pretensões de detalhar a fundo as várias interpretações que o termo racionalismo pode abarcar, abaixo serão discutidas algumas divergências para que, posteriormente, melhor se encaminhe o entendimento que neste trabalho se faz do termo racionalidade no ensino de Ciências.

⁴⁹Este entre algumas vertentes filosóficas.

O racionalismo foi inicialmente usado no século XVII para designar uma atitude crítica no campo religioso. Nessa época começou a difundir uma espécie de racionalismo que se opunha aos pensamentos dirigidos pela igreja e pela fé, em que decisões racionais contrariam e confrontam muitas diretrizes dogmáticas da religião. Conforme Abbagnano (2000, p. 822): “*Há uma nova seita difundida entre eles (presbiterianos e independentes), que é a dos racionalistas: o que a razão lhes dita, eles consideram bom no Estado e na Igreja, até que achem algo melhor*”. Na defensiva para evitar maiores enfraquecimentos, a religião procurou caracterizar o racionalismo com interpretações semelhantes à que se segue:

O racionalista, em virtude desse mesmo título, deve manter-se nos limites da capacidade humana. Portanto, nunca usará o tom contundente do naturalista nem contestará a possibilidade nem a necessidade de uma revelação. Porquanto sobre tais assuntos nenhum homem pode decidir o que quer que seja pela razão (ibid., p. 822).

Baumgarten (apud Abbagnano, 2000) dizia: “*Racionalismo é o erro de quem elimina da religião todas as coisas que estão acima da própria razão*”.

A partir daí, houve um salto do campo religioso para outros campos de investigação. Kant foi o primeiro a adotar o termo racionalismo como símbolo de sua doutrina. No terreno da moral, o racionalismo ocupou-se de se opor ao misticismo por defender o juízo, tomando somente da natureza sensível o que a Razão Pura pode pensar por si, ou seja, a conformidade com a lei.

Por outra caracterização do termo, opondo-se ao empirismo de origem lockiana (John Locke), Hegel adotou o racionalismo como a corrente que vai de Descartes a Spinoza e Leibniz (ibid.)⁵⁰. Ainda que Hegel notasse um caráter aproximativo entre as duas vertentes, a contraposição entre racionalismo e empirismo fixou-se depois nos esquemas tradicionais da história da filosofia. O racionalismo foi entendido como uma concepção filosófica segunda a qual as idéias são construídas independentemente das percepções, e o empirismo, como a vertente que vê no domínio sensorial as fontes do conhecimento. Lakatos (1970, p. 113) chegou a mencionar os ‘racionalistas’ de intelectualistas clássicos, por admitirem espécies muito variadas de ‘demonstrações’ extralógicas pela revelação, intuição intelectual. Já no caso dos empiristas clássicos ele afirmou: “*a mente correta é uma tabula rasa, esvaziada de todo conteúdo original,*

⁵⁰ É importante frisar que esses comentários sobre Kant, Locke, Hegel, Descartes e Spinoza estão em Abbagnano (2000) e que não é objetivo aqui aprofundar nem se comprometer com nenhum desses filósofos.

libertada de todos os preconceitos da teoria” (ibid., p. 119). Assim, desse último racionalismo, um racionalista adota a maneira de ver as coisas, apreciando-as só pela razão, independentemente de autoridades, caracterizando suas conclusões como puras atividades especulativas do espírito.

Dessas descrições históricas, segundo Abbagnano (ibid., p. 822), pode-se dizer que o termo em foco compreende sinteticamente as seguintes designações:

1º O racionalismo religioso designa algumas correntes protestantes;

2º O racionalismo filosófico designa propriamente a doutrina de Kant (que adotou esse termo), ou então a corrente metafísica da filosofia moderna de Descartes a Kant;

Além dessas duas, Abbagnano (ibid.) especifica uma terceira designação que o termo apresenta de forma genérica:

3º O racionalismo pode ser usado para indicar qualquer orientação filosófica que recorra à razão. Mas, nessa concepção tão vasta, esse termo pode indicar as filosofias mais díspares e carece de qualquer capacidade de individualização.

É no sentido dessa última designação que se deseja agora aprofundar ainda mais o entendimento do termo ‘racionalismo’. De acordo com uma análise de filosofias contemporâneas da ciência realizada por Chalmers (2000), o termo racionalismo assume uma posição que contrasta o relativismo⁵¹. Para Chalmers (2000), a origem desses antônimos está nos pontos de vista conflitantes que surgem entre destacadas filosofias pós-positivistas quando tratam da distinção da ciência e não-ciência, ou pseudociência. Muitas reflexões foram estabelecidas por importantes filósofos do século XX, destacando-se como exemplos do lado racionalista, Karl Popper e Imre Lakatos e, do lato relativista, Thomas Kuhn e Paul Feyerabend. É possível dizer que essas posições antagônicas provocaram intermináveis debates em respeito às questões de avaliação de teorias e suas escolhas e a diferenciar a ciência da não-ciência. Embora o racionalista é aquele partidário do racionalismo em geral, distingue-se então a posição que contrasta o relativismo.

Por racionalista extremado (ibid., p.137) pode-se classificar quem afirma existir um critério único, atemporal e universal com referência ao qual seja possível avaliar os méritos relativos de teorias rivais. Um indutivista, por exemplo, é racionalista por adotar como critério universal o grau de corroboração indutiva que uma teoria recebe dos fatos aceitos. Já um

⁵¹ Para este termo não se pretende apresentar outras correntes que ele venha tomar, mas, de forma geral, Abbagnano (2000, p. 845) diz que o relativismo trata-se da doutrina que estabelece a relatividade do conhecimento, cujo entendimento ocorreu no século XIX.

falsificacionista adota o critério de grau de falsificabilidade de teorias não falsificadas. Um racionalista extremado é guiado pelo critério universal e deve encarar as decisões e as escolhas de cientistas como igualmente guiadas por esse critério. Por isso, um racionalista raramente questionaria uma evidência que permitiria o desenvolvimento do conhecimento em conformidade com o critério universal, achando importante que esse critério seja invocado na necessidade de se julgar os méritos relativos de uma teoria científica ou entre teorias científicas rivais. Como há universalidade do critério, este também se torna objetivo e permite distinguir a ciência da não-ciência: “*são científicas apenas aquelas teorias capazes de ser claramente avaliadas em termos do critério universal e que sobrevivem ao teste*” (ibid., p. 138). Em síntese, um racionalista é classificado como tal de forma independentemente dos detalhes da formulação de um critério que é adotado, mas por estabelecer esse critério com o caráter universal e não-histórico.

Do outro lado, um relativista nega que haja um padrão de racionalidade universal não-histórico pelo qual se julgue que uma teoria é melhor que outra. O relativista entende que o critério de decisão para avaliar teorias científicas pode variar de uma pessoa para outra e de comunidade para comunidade. Desse modo, Kuhn é classificado como relativista ao dizer: “*não há padrão mais alto que o assentimento da comunidade relevante*” (Kuhn apud Chalmers, 2000, p. 139). Embora Kuhn (1994) tenha se incomodado com as acusações de subjetivismo e irracionalismo por muitos de seus críticos (p. 237) e listado uma série de critérios que poderiam distinguir uma teoria de sua sucessora, ele admitiu que poderiam ser acrescentados outros mais (p. 252), o que destaca a posição relativista aqui descrita pela qual não há o estabelecimento de um critério único atemporal. Popper (1970, p. 68-69) foi um dos que fortaleceu essa classificação de Kuhn como relativista. O relativista afirma que as escolhas feitas por um cientista específico dependerão do entendimento que se possa fazer daquilo que o cientista valoriza, acreditando na necessidade de uma investigação psicológica para melhor compreendê-las. Também acredita que as decisões de uma comunidade dependem daquilo que ela valoriza e envolverá uma investigação sociológica para uma compreensão dessas escolhas. Conseqüentemente, um relativista extremado verá a distinção entre ciência e não-ciência de maneira muito mais arbitrária, complicada de se fazer e menos importante que para o racionalista. Assim, quando se trata da verdade, a relatividade ultrapassa do âmbito religioso e filosófico para o da moral e da ciência. Dizia Spengler (apud Abbagnano, 2000, p. 846) que cada cultura tem seu próprio critério, cuja validade começa e termina com ela, e não há moral humana universal.

Assumindo daqui por diante como ponto de referência o racionalismo como postura antagônica a esse relativismo, faz-se agora necessário discutir algumas divergências teóricas sobre o termo racionalidade.

Desde o tempo de Aristóteles, racionalidade relaciona-se aos meios apropriados para se alcançar um determinado fim ou meta (Healy, 1993). Atualmente, as teorias filosóficas/epistemológicas acerca da racionalidade diferem sobre o papel do julgamento no processo de argumentação racional, em que a noção de regras tem sido um assunto de intenso escrutínio filosófico. No modelo clássico⁵² de racionalidade, o julgamento não representa papel algum. Para que uma convicção ou ação seja racional não é uma questão de julgamento, mas de sua relação com regras apropriadas (Siegel 2004, p. 597). Brown (apud Siegel 2004) afirma que o modelo clássico especifica três condições necessárias em racionalidade: 1) para que X (uma convicção, ação, decisão, e assim por diante) seja racional, ele deve ser universal, deve ter um determinado corpo de evidência que fará X racional (ou não) universalmente, isto é, para qualquer agente individual arbitrário; 2) X necessariamente tem que seguir do corpo pertinente de razões/evidências; 3) deve haver uma conformidade com regras, o que significa que X deve se conformar e estar baseado em regras apropriadas. Enquanto todas as três condições envolvem estendidas discussões, apenas a última será mais bem explorada agora pela necessidade em foco de refletir a respeito da racionalidade abranger ou não a conformidade com regras. O modelo clássico emprega vários tipos de regras: regras lógicas, regras indutivas, regras metodológicas, que evidências regem, entre outras. Por exemplo, de acordo com esse modelo⁵³ é racional concluir ou acreditar que:

São Paulo está na América do Sul (c)

em base de

São Paulo está no Brasil (a)

e

O Brasil está na América do Sul (b)

Devido à exigência de conformidade com regras, a principal dificuldade intrínseca à estrutura do modelo clássico de racionalidade, ao longo da história da epistemologia,

⁵² Por modelo clássico de racionalidade entende-se o modelo adotado pelos neopositivistas e por Popper, em que a razão se apóia em regras atemporais e, em última instância, explicitáveis (Assis, 1993).

⁵³ Ao fundamentar-se na regra de que se *a* está em *b*, e *b* está em *c*, então *a* está em *c*.

está em evitar um regresso infinito sem adotar uma decisão arbitrária, ao mesmo tempo em que se despreza um inconveniente círculo de justificações. Mais especificamente, o problema básico está, em qualquer caso, em estabelecer a racionalidade de uma determinada conclusão, convicção, ação, e assim sucessivamente, ao partir de premissas ou informações iniciais através da conformidade com regras apropriadas, pois duas perguntas naturalmente surgem pelo próprio modelo: Com quais informações ou premissas se iniciou? Quais regras foram adotadas? Assim, como um círculo de justificação e uma decisão arbitrária não são convenientes pelo modelo, o regresso infinito destaca-se por haver uma dificuldade insuperável porque uma convicção racional somente é justificada perante seus justificadores (entendidos como regras apropriadas) conhecidos, que levanta a questão se estes justificadores estão justificados. Logo, pelo modelo clássico de racionalidade, não se consegue em quaisquer conformidades com regras escapar do avanço da justificação de uma regra adotada, lançando-se a um regresso infinito de justificações. Nesse sentido, Brown (apud Siegel, 2004, p. 600) comenta que o modelo clássico de racionalidade apresenta problemas sérios ao ser resolvido constantemente e as soluções aparecerão quando forem encontrados princípios e regras patentes, nos quais se podem partir sem o recuo às justificações, mas que para ele, tais princípios e regras não têm sido encontrados e também não há razão para se esperar que futuramente serão. Siegel (2004, p. 607) cita que Brown, como crítico do modelo clássico e na dor do regresso, afirmou:

Se eu tivesse que explicitar uma regra para exercitar meu julgamento, e tivesse que explicitar outra regra para exercitar meu julgamento concernido, por exemplo, para justificar a conveniência ou aplicação formal da primeira regra, eu nunca poderia exercitar meu julgamento completamente ou prosperamente nada.

Em 1988, Brown, em sua obra intitulada 'Rationality', propôs uma visão de racionalidade na qual a noção de julgamento representou um papel central (Brown, 1994). Essa noção tem sido reconhecida na literatura como um progresso para entender o conceito de racionalidade (a exemplo de Healy, 1993 e Govier, apud Siegel, 2004), ao passo que, também, é mantida sob críticas em outros entendimentos do que seja racionalidade (como em Heiner, 1994 e Siegel, 2004).

Proposto como um avanço ao modelo clássico, o modelo de julgamento de racionalidade tem como ponto fundamental, é claro, a noção de julgamento. Esta noção admite que julgamento representa um bloqueio à justificação do regresso, no entendimento de que o

juízo é falível e aberto à reconsideração, mas não arbitrário. Na estruturação dessa noção, Brown (1994) comenta que, ao analisar uma parte significativa da história do problema do regresso infinito, é possível notar que as epistemologias fundamentais foram conduzidas a finalizar tal regresso sem a falta de uma justificação adicional por considerarem a seguinte doutrina: “*a justificação está baseada em verdades patentes, que requer a suposição de que o repertório cognitivo humano inclui uma habilidade para reconhecer infalível que certas proposições substantivas são verdades*” (ibid.). Mas, segundo Brown (1994), nenhuma habilidade é compatível com uma explicação naturalista da cognição humana. Além disso, ao se apreciar o regresso, enquanto muito se preocupou em diminuí-lo, houve um aspecto que recebeu menos atenção, que está na justificação da escolha de uma regra, pois tal justificação deve se conformar à mesma maneira que uma certa proposição pela regra se vê conformada. Uma justificação proposta para a lógica indutiva que viola normas dessa lógica numa seqüência de justificações não seria uma justificação bem-sucedida. Nesse caso, Brown (ibid.) afirma que a escolha de regras também está sujeita ao desafio e à falta de justificação, exemplificando que até mesmo noutros casos em que uma regra é obedecida, como numa tautologia, a habilidade para reconhecer que uma proposição é ou não uma tautologia não é infalível. Ainda que, diante disso, sejam de fato aceitas regras lógicas (dedutiva, indutiva, e outras) como boas e que aparentemente caracterizam um fim no regresso, não se demonstra que isso foi alcançado de maneira racional. O que destaca a possibilidade de que toda decisão que finaliza um regresso está, no final das contas, injustificada, tranquilizada em escolhas pessoais arbitrárias, ou convenções pessoais infundadas, ou algo semelhante. Assim sendo, o modelo de juízo parte da suposição de que há uma alternativa: “*Talvez nosso repertório cognitivo inclui falível⁵⁴, porém, meios não-arbitrários de amarrar o regresso de justificações*” (ibid.). Dessa alternativa, Brown apresentou três características para a noção de juízo: 1) desde que uma habilidade é falível⁵⁵, justificações que descansam em julgamentos podem ser desafiadas e reexaminadas; 2) exercitar juízo não é equivalente a ter uma opinião. As pessoas adquirem habilidade para exercitar juízo

⁵⁴ Obs.: Segundo esse autor, reivindicar que o conhecimento é falível, assim como os princípios mais elegantes de lógica, não significa dizer que eles estão errados. Também não quer dizer que, se as habilidades cognitivas mais básicas são falíveis, elas nunca se rendem a resultados corretos. Considerando que verdade é uma propriedade de proposições e que validade é uma propriedade de argumentos, até mesmo uma escolha totalmente arbitrária pode acatar uma verdadeira proposição ou um argumento válido. (ibid.).

⁵⁵ Entendimento que foi reconhecido na literatura por vários especialistas, a exemplo de Hearly (1993) e Govier (apud Siegel, 2004).

em um campo específico desenvolvendo habilidades naquele campo; 3) a reivindicação que os seres humanos podem exercitar julgamento é uma reivindicação empírica. (ibid).

É preciso dizer que o modelo de julgamento em foco adota esse conceito como um processo, referindo-se a uma habilidade que as pessoas exercitam, em lugar do que normalmente se entende pelo produto produzido pelo exercício dessa habilidade. O julgamento não é usado quando se faz um balanço do talão de cheques ou quando se deriva uma função, mas sim quando se procura desenvolver novas regras ou quando se escolhe uma regra entre as rivais. Nesses casos, Healy (1993) discute que a noção de julgamento de Brown admite que não há nenhuma regra que governe a decisão a ser tomada e que, embora existam melhores e piores procedimentos, o melhor modo (ou regra) deve ser julgado em base de um julgamento fidedigno. Um julgamento fidedigno, ou julgamento bom, somente ocorre quando um agente possui as perícias adquiridas por treinar e praticar em uma área particular. Conforme Brown: “*Julgamentos devem ser feitos por indivíduos que estão a cargo de um corpo apropriado de informação que é pertinente ao julgamento em questão*” (apud Healy, 1993). Brown (apud Healy, 1993) reconhece que os julgamentos são falíveis, mas insiste que eles não são subjetivos, muito menos infundados e irracionais. Um julgamento é definido como “*a habilidade para avaliar uma situação, avaliar uma evidência, cuja decisão tomada é razoável sem que haja conformidade com regras*” (Brown, apud Healy, 1993). O exercício do julgamento é evidente numa variedade de áreas. Exemplos incluem como interpretar que uma pessoa está vendo corretamente um microscópio ou lê uma radiografia, discerne os rastros de elétrons e outras partículas subatômicas em situações experimentais, etc. Um exemplo mais bem discutido é o caso de um estudante de medicina ao aprender a observar uma radiografia. No início, o estudante não tem a habilidade para discernir os detalhes pertinentes na radiografia, simplesmente porque ele ainda não adquiriu as habilidades necessárias para interpretar a transparência de um modo significativo. Como ele vai estudar durante algumas semanas e olhar cuidadosamente sempre quadros novos de casos diferentes, o estudante esquecerá gradualmente das costelas e começará a ver os pulmões. E, por sua perseverança, um panorama rico de detalhes significantes será revelado a ele como as variações fisiológicas, as mudanças patológicas, cicatrizes, infecções crônicas entre outros detalhes importantes. É a partir de então que o médico poderá fazer julgamentos fidedignos ao observar uma radiografia.

Considere agora o papel do julgamento em representar um bloqueio à justificação do regresso de uma maneira não-arbitrária. Conforme Brown (1994), quando alguém com as perícias pertinentes propõe uma diagnose ou outra decisão qualquer, tem-se uma razão para levar a proposta seriamente, embora não se tenha uma prova que tal proposta está correta ou é a melhor das opções disponíveis. Isso não significa que é racional aceitar a proposta sem qualquer avaliação adicional⁵⁶, mas significa que se tem uma razão para gastar recursos na avaliação racional desta proposta, o que não ocorreria nos casos em que a proposta é tirada de um chapéu ou oferecida por alguém com falta de perícias nesse campo. Com uma perspectiva naturalista⁵⁷, Brown (1994) discute vários exemplos sobre a habilidade para exercitar julgamento como uma habilidade em que tanto as habilidades físicas como as cognitivas são aprendidas sem que haja um jogo suficiente de regras para ditar uma decisão, como, também, exemplos de situações nas quais as pessoas chegam a decisões sem conscientemente seguir regras. Mas, o interessante em todos os exemplos que se possa imaginar é que, pelo menos atualmente, a visão teórica dominante está presente. Esta visão é a de que, embora não se sigam regras conscientemente quando se exercita um julgamento, deve-se estar seguindo algum tipo de regra inconsciente. Para caminhar em sua noção de julgamento para uma teoria de racionalidade, Brown (ibid.) adverte que é importante reconhecer que tal visão é apenas uma hipótese teórica, não uma verdade a priori. Assim, ele parte para uma avaliação das forças e fraquezas dessa visão ao examinar melhor o fenômeno de seguir regras.

Os exemplos do paradigma de seguir regras são providos por situações familiares em que se levam a cabo tarefas e se segue um jogo de regras conscientemente. Por exemplo, seja o caso de uma pessoa que vá para uma cidade desconhecida, fazendo sua primeira visita a um determinado local. A pessoa dirige, seguindo um jogo explícito de direções que ela tem previamente. Nesse caso, há uma variação importante envolvendo regras, como aquelas denominadas de “dedo polegar” entre outras, quer dizer, regras que podem ser declaradas conscientemente e podem ser seguidas e que, freqüentemente, alcançam um resultado próspero, mas nem sempre. Exemplo: quando ela se encontra perdida, a pessoa pára em um posto de gasolina e pede a direção. Ou, no caso em que se integra uma função, ao seguir explicitamente uma regra inicial que não funciona e, então, tenta uma substituição trigonométrica ou outra regra

⁵⁶ Pois, como se verá mais adiante, julgamento é somente uma parte da conta da racionalidade desse modelo.

⁵⁷ Na sensação de que naturalismo requer falibilismo.

qualquer. Brown (ibid.) afirma que a característica importante destes casos é que a prática de se iniciar uma regra parece explicar o motivo pelo qual se pode proceder de uma maneira coerente, não-fortuita, e por que se alcança sucesso. Característica essa relacionada à noção de julgamento, entendido como uma habilidade para avaliar uma situação, avaliar uma evidência, cuja decisão tomada é razoável sem que haja a conformidade com regras. Brown (apud Healy, 1993) especifica três boas razões para se acreditar que a conformidade a regras nunca é suficiente para se determinar que um procedimento foi racional e porque sua noção de julgamento é importante: “1) *sem julgamento não se poderia estabelecer o início e o fim de uma análise*; 2) *sem julgamento não se poderiam determinar quais regras são apropriadas em determinado caso*; 3) *sem julgamento não se poderia saber se elas estavam sendo aplicadas corretamente*”.

O interessante neste momento é direcionar a atenção para casos nos quais os indivíduos têm êxito razoável em realizar um tipo particular de tarefa, mas fazem assim sem, conscientemente, seguir regras. Nesses casos, a visão dominante que Brown critica postula a existência de um comportamento inconsciente análogo ao comportamento de se seguir regras conscientemente com o qual se é familiarizado. Isso acontece porque é intuitiva a sensação de que se entende como as pessoas exercitam habilidades cognitivas e por que elas têm êxito. Brown (ibid.) discute os problemas com essa sensação, propondo uma teoria alternativa e discutindo que esta é superior, conforme sinteticamente se descreve abaixo.

Um dos problemas do indivíduo que admite seguir regras inconscientemente está na requisição de uma entidade que leva a cabo esse entendimento. Brown (ibid.) entende que dois candidatos parecem plausíveis. São eles: 1) uma mente inconsciente que é modelada na mente consciente; 2) o próprio cérebro. Mas, cada um destes apresentam dificuldades sérias. A aproximação da mente inconsciente abraça o postulado no qual uma entidade adicional tem o estado ontológico pelo menos tão obscuro quanto o da mente consciente. Além disso, todos os problemas tradicionais sobre a relação entre a mente consciente e o cérebro reaparecerão com respeito à mente inconsciente e o cérebro, e tem-se que enfrentar outro (mais recente, mas agora familiar) problema sobre a relação entre o inconsciente e a mente consciente. Assim, movendo-se a atenção para o cérebro, nota-se uma proposta mais atraente dada a história de fracassos para resolver estes problemas. No entanto, outra dificuldade aparece. O cérebro é um sistema físico, e não se atribui uma habilidade que segue regras em sistemas físicos normalmente. Brown (ibid.)

afirma que isso pode ser um engano⁵⁸. Aliás, ao se postular que uma regra inconsciente se segue, tem-se que enfrentar o problema do regresso mais uma vez. E mais, somente identificar que estão seguindo regras inconscientemente não mostra que estas são apropriadas. Por exemplo, poder-se-ia discutir que o regresso finaliza porque se alcançou um jogo de regras que estão duramente ‘telegrafadas’ nas pessoas, e que estas são até onde se pode ir. Se este é o caso, pode-se estar numa situação na qual se é sentenciado permanentemente a seguir regras impróprias. Pode-se, ainda, tentar mostrar que realmente as pessoas possuem um jogo de regras inatas a elas. No entanto, segundo uma discussão detalhada de Brown (ibid.), o comportamento humano mostrou flexibilidade suficiente para fazer esta visão ser improvável – especialmente na presença de uma conta alternativa que é mais compatível com tal flexibilidade. Assim, o ponto principal na noção de julgamento é: “*as pessoas têm habilidades cognitivas que não operam seguindo regras*” (ibid.).

O maior apoio de Brown (ibid.) a este ponto encontra-se no seguinte resumo das dificuldades encontradas pelos investigadores de inteligência artificial que buscaram modelar a cognição humana somente na base de jogos de regras. Enquanto a perseguição por um sistema de regras capaz de corresponder ao comportamento humano era a tarefa fundamental, dúvidas dessa correspondência foram surgindo. Sistemas de regras foram impedidos pelas suas fragilidades, inflexibilidades, dificuldades de aprender com a experiência, generalização inadequada, entre outras. Logo, como a cognição humana que se supunha poder ser modelada por um sistema de regras encontra-se relativamente livre de tais limitações, tal modelagem se mostrou imprópria. Diante disso, a aproximação alternativa de Brown é que o cérebro pode de fato levar a cabo avaliações coerentes como resultado de treinar e experimentar, mas o faz assim sem seguir qualquer regra. Este postulado apóia-se na existência de sistemas físicos, chamados computadores conectados, que são interessantes para uma comparação, pois a estrutura física dessas máquinas é consideravelmente mais semelhante à do cérebro do que a dos computadores tradicionais. No lugar de uma unidade de processo central e uma memória distinta, máquinas conectadas consistem em vários processadores distintos que apresentam múltiplas conexões entre si. As forças dessas conexões mudam como uma máquina ‘aprende’ e como são armazenadas as

⁵⁸ Tal engano ocorre ao se identificar a existência de sistemas físicos de um grau particular de complexidade ou de tipos específicos que seguem regras, como um computador tradicional que opera com programas nele inseridos, e analisar se o cérebro pode ser um desses, como se discutirá mais adiante.

informações nessas forças de conexões, em comparação a uma memória separada. Nota-se que estas máquinas são muito melhores que outras máquinas em tarefas de reconhecimento padrão – tarefas nas quais os seres humanos também são muito bons e que não foram eficientemente alcançadas em máquinas tradicionais. Máquinas conectadas⁵⁹ são capazes de aprender com a experiência, e quando elas sofrem um dano local, o comportamento delas deteriora em um modo semelhante ao do comportamento cognitivo humano em deteriorar um dano. Essas máquinas aprendem a levar a cabo tarefas sem ter um programa nelas inserido. Há uma mesma sensação de realidade na qual o modo como tais máquinas aprendem a realizar uma tarefa é semelhante ao modo como as pessoas aprendem habilidades. O fato importante a ser notado é que a máquina não é determinada para seguir um jogo de regras e não há uma boa razão para pensar que ela aprende extraindo um jogo de regras num treinamento. Aliás, ainda que a máquina aprenda extraindo um jogo de regras no treinamento, esse processo ocorre sem a direção de um jogo de regras. (ibid). Assim, por essa comparação entre sistemas físicos, do tipo cérebro e máquinas conectadas, permanece fortalecido o ponto principal destacado no final do último parágrafo.

Discutida a noção de julgamento, no correspondente modelo de julgamento de Brown (1994), ainda é preciso dizer que este autor afirma que uma pessoa sozinha pode exercitar julgamento, mas não pode ser completamente racional porque racionalidade requer a submissão do julgamento individual para a avaliação e crítica de outras pessoas, condição esta necessária para racionalidade. Nesta condição, embora julgamento proveja razões para se acreditar numa proposição, que é mais fidedigna que outras fortuitas, o julgamento ainda é falível. Isso porque a habilidade de uma pessoa para melhorar julgamentos apresenta limitações pelo fato de ser uma habilidade individual. Julgamentos são limitados pelas limitações do indivíduo que exercita julgamento. As limitações incluem: não se ter toda a informação e técnica pertinente pelo fato comum de se deparar com uma nova informação ou técnica; não se conseguir pegar todas as implicações das proposições imediatamente; não se reconhecer tipicamente tudo das alternativas consideradas; é normal estar demasiadamente apaixonado pelas próprias idéias, e assim sucessivamente. Considerando isso, Brown (1994) afirma que para se aprimorar julgamentos são necessárias três condições: 1) a observação; 2) o uso de lógica e outros métodos formais; 3) a avaliação social de julgamentos individuais. Por tais condições, ainda é interessante dizer que

⁵⁹ Apesar de atualmente essas máquinas não estarem tão boas quanto os humanos, é preciso notar que elas são sistemas físicos muito mais simples que qualquer organismo humano.

cada uma delas pode ser melhorada para se alcançar o aprimoramento de um julgamento. Mais especificamente, conforme Brown (ibid.), essas condições devem ser assim entendidas:

A observação: ela não é pertinente a todas as tarefas cognitivas, mas onde é – como em ciência e em muitas preocupações cotidianas – a observação provê constrangimentos poderosos em nossas teorias. A observação representa um papel especial na avaliação das convicções porque nos traz um contato com um mundo que é independente dessas convicções.

Os métodos formais: estes permitem que as pessoas tirem conseqüências de proposições que estão freqüentemente longe do óbvio. O resultado de uma série de operações de aritmética em um jogo específico de números já está determinado antes de se levar a cabo a aritmética; fazendo a aritmética, permite-se descobrir esse resultado, o qual te pode deixar surpreso e até mesmo desagradável. De modo semelhante, a consistência de um jogo de proposições é um fato sobre esse jogo, porém um fato sobre o qual pode-se estar equivocado, como o caso do paradoxo de Russel⁶⁰. Assim, deve-se levar em conta que, enquanto as relações formais são, em uma sensação importante, objetivas, o papel de avaliar as convicções, por meio do resultado de um jogo de proposições, está longe de direto. O ponto está no modo quando se começa com um jogo de premissas que se acreditou serem verdadeiras e deduzir uma conclusão que entra em conflito com resultados coerentes com observações. Neste momento está claro que algo saiu errado, mas muitas opções estão disponíveis decidindo o que está errado. Nós podemos reconsiderar uma ou mais premissas, reconsiderar o procedimento que conduziu ao resultado observacional, checar a dedução se ela for longa e complexa, ou qualquer outra combinação. Poder-se-ia escolher reconsiderar um princípio, previamente aceitado de lógica, até mesmo se este convencesse que se estaria diante de um argumento que exhibe verdadeiras premissas e uma falsa conclusão.

A avaliação social: Deve-se submeter as visões particulares à avaliação e crítica através de outros porque outras pessoas terão perspectivas, informações e habilidades que não se tem. Isto diverge da tese Cartesiana que conhecimento é uma questão de agentes cognitivos individuais, com idéias inatas. A história e a filosofia da ciência apontam bem claramente que Descartes era demais otimista sobre o que uma mente individual pode realizar e que ele mesmo aparentava menosprezar a complexidade do universo em que vivia. No entanto, há uma lição que se deve aprender da real prática de Descartes. Numa situação, como exemplo, ele submeteu suas meditações à apreciação e crítica de sete filósofos antes que publicasse seu livro, que só foi publicado com algumas correções sugeridas por aqueles filósofos. Realmente, o valor do debate crítico é uma lição que a maioria dos filósofos reconheceu há muito tempo em prática, embora eles tenham sido relutantes em incluí-lo em suas epistemologias oficiais. Uma pessoa

⁶⁰ Paradoxo descoberto por Bertrand Russell em 1901 que prova uma contradição da teoria de conjuntos. Considere-se o conjunto M como sendo “o conjunto de todos os conjuntos que não se contêm a si próprios como membros”. Formalmente: A é elemento de M se e só se A não é elemento de A . Logo, $M = \{A/A \notin A\}$. No sistema de Cantor, M é um conjunto bem definido. Será que M se contém a si mesmo? Se sim, não é membro de M de acordo com a definição. Por outro lado, supondo que M não se contém a si mesmo, tem de ser membro de M , de acordo com a definição de M . Assim, as afirmações “ M é membro de M ” e “ M não é membro de M ” conduzem ambas a contradições.

que está fisicamente isolada e assim impossibilitada de se ocupar de avaliação intersubjetiva está com a ausência dos meios que poderiam aumentar a confiabilidade dos julgamentos dela. Dependendo do grau de isolamento, pode haver muitos tópicos nos quais ela está impossibilitada de chegar a resultados racionais porque a ela faltam as perícias necessárias e ela não pode adquirir ajuda. Até mesmo em casos onde ela tem perícias, pedaços pertinentes específicos de informação que nós normalmente poderíamos observar em manuais podem estar indisponíveis. Além disso, se o conhecimento desta pessoa, de lógica e matemática elementar, está limitado e se sua visão e audição estiverem prejudicadas, a habilidade dela para chegar a convicções de uma maneira racional realmente pode ser muito limitada. Enquanto ser racional é em grande parte um assunto de fabricação do bom uso de recursos disponíveis, se os recursos são suficientemente pobres, pode ficar difícil ou impossível de se chegar a resultados racionais em algumas perguntas. Assim, a única resposta racional é suspender o julgamento e, caso as pressões do mundo real forcem a vir a uma decisão, pode-se ter que fazer assim em uma base fora da racional.

As três especificações acima constituem o modelo de julgamento de racionalidade de Brown (1994) que podem conduzir uma pessoa a vários resultados: podem prover razões para rejeitar um julgamento inicial, podem conduzir a modificação do julgamento, podem apoiar um julgamento, e podem convencer as pessoas para reter uma decisão adicional para reflexão pendente e avaliação. Mas, ao se estabelecer a falibilidade de julgamentos, de avaliação de julgamentos, e de julgamentos dessas avaliações, qualquer convicção, ação, decisão, e assim por diante, deve ser assegurada como falível e sujeita a reconsideração quando um argumento para tal reconsideração surgir.

Apresentou-se até aqui, além do modelo clássico de racionalidade, um modelo de racionalidade destacado na literatura, cujo papel no julgamento é visto como um processo em que não se admite como fundamental a conformidade com regras. Partindo agora destes modelos para efeitos de comparação teórica, é preciso então divergir para outros entendimentos de racionalidade. Healy (1993), por exemplo, concorda com a avaliação social do modelo de Brown de 1988 (apud Brown, 1994) em que somente exercitar julgamento individualmente não é racional. No entanto, enquanto Brown destaca o papel do julgamento em circunstâncias nas quais nenhum algoritmo é conhecido ao agente, concordando também que, em outras situações, “*quando regras estão disponíveis... (o agente racional) aplicará essas regras*” (Brown, apud Reiner, 1994), Healy (1993) vai mais adiante. Ele discute que o julgamento está até mesmo envolvido em decisões racionais quando regras estão disponíveis, conforme comenta:

estamos (eu e Brown) efetivamente no mesmo barco, embora se estamos comprometidos com uma regra que governa o processo... ou em um processo de

não-algoritmo... até mesmo na situação anterior... temos que atrair o julgamento para estabelecer que temos as regras apropriadas a nossa disposição e como elas serão aplicadas (Healy, apud Reiner, 1994).

Healy (1993) afirma que o único ponto de discordância significativa com Brown refere-se à relação entre seguir regras e julgamento: “*Enquanto Brown enfatiza o uso de julgamento em situações nas quais não se seguem regras, eu mantenho que julgamento tem uma função mais onipresente: sempre suporta a conformidade com regras e faz isto possível*” (ibid.). Já por outro lado, como crítico do modelo de julgamento, Reiner (1994) afirma que o julgamento, como um processo, tem que ocorrer em conformidade com regras.

Apesar de Healy (1993) apresentar entendimentos com uma leve divergência ao modelo de julgamento e Reiner (1994) criticar mais fortemente este modelo, é preciso dizer que o trabalho de Brown (1994) apresentou fortes defesas de suas idéias de racionalidade a tais críticas. Todavia, os próximos comentários constituem-se numa síntese de um recente trabalho (Siegel, 2004) com críticas mais detalhadas ao modelo de julgamento.

Siegel (ibid., p. 600) cita que Brown entende que o modelo clássico de racionalidade requer uma epistemologia fundacionalista para resolver os problemas de regresso infinito e arbitrariedade. Embora Siegel (ibid.) concorde que as várias versões fundamentalistas disponíveis sejam defeituosas, ele contra argumenta, discutindo que o modelo clássico – ou qualquer outro modelo cuja visão de racionalidade fundamentalmente é uma questão de regras – não precisa e não deveria estar amarrado à idéia de fundamentalismo, e estrutura um modelo híbrido de racionalidade. Mas antes de apresentar este modelo, é interessante destacar as críticas ao modelo de julgamento, dando continuidade ao parágrafo anterior.

O ponto central no modelo de julgamento é a noção de julgamento que Brown e Govier⁶¹, respectivamente, assim descrevem: “*julgamento é a habilidade para avaliar uma situação, avaliar evidência, e caminha para uma decisão razoável sem regras*”; “*O que é julgamento? É o que se exercita para tomar decisões razoáveis e sensatas sem atrair a regras*” (apud Siegel 2004, p. 601). Diante dessa conceituação de julgamento, Siegel (ibid.) destaca três características para estabelecer a sua crítica.

A primeira característica do julgamento é que ele ‘*é uma habilidade*’. O julgamento refere-se a uma habilidade que as pessoas exercitam em lugar dos produtos

⁶¹ GOVIER, TRUDY. “Rosebuds, Judgment and Critical Thinking”. In *The Philosophy of Argument*, 123-36. Newport News: Vale Press. (1999).

produzidos pelo exercício dessa habilidade. A crítica aqui, ainda não agravante⁶², está na inversão daquilo que geralmente se entende como o posterior, colocando-o como anterior. Julgamento é um termo que, em discurso ordinário, freqüentemente refere-se ao resultado ou produto do exercício de uma habilidade ao pressupor um juiz de expressão. Exemplos destes julgamentos como produto podem ser: ‘Física terá unificação de mecânica quântica e relatividade geral em 2020’; ‘Amsterdã e Miami são culturalmente heterogêneas’. Ademais, se Siegel diz que “*o modelo de julgamento está impossibilitado de distinguir entre julgamento racional e irracional e também não evita o recurso a regras*” é porque ele julga isto para ser verdade e merecedor de convicção, da mesma maneira que o ‘juiz’ Brown eleva como verdade que “*o modelo clássico de racionalidade requer uma epistemologia fundacionalista*” (ibid., p. 603). Conforme Brown:

se para um assunto nós temos as perícias pertinentes, nós juntamos as informações, aplicamos quaisquer regras disponíveis, pensamos alternativas e chegamos a um juízo. Então, nós discutimos nosso juízo e suas razões com nosso exame, e o re-avaliamos em base das recomendações e críticas. O resultado é uma decisão racional ou convicção (apud Siegel, 2004, p. 605).

O fim (resultado), então, é que até mesmo depois que eu sujeitasse meus julgamentos pelas condições de observação, análise formal, e debate crítico interpessoal, eu tenho que confiar em meu julgamento para avaliar que proposições eu deveria acreditar. O processo de avaliação resulta em julgamentos melhorados que provêem a base para convicções racionais. Ainda, as minhas convicções racionais são minhas convicções, para as quais eu levo responsabilidade. Além disso, nossa compreensão da falibilidade de nossos julgamentos, avaliação de julgamentos e julgamentos dessas avaliações, requer que nós seguramos nossas convicções racionais como falíveis e sujeitas a reconsiderações quando uma argumentação para tal reconsideração surgir. (Brown 1994)

A crítica a estes comentários está na defesa de que a racionalidade é garantida pelo procedimento seguido (processo de julgamento) sem especificar uma dependência do resultado do processo, conclusão, ou decisão alcançada. Por exemplo, supõe-se que o seguinte julgamento seja racional: ‘Amsterdã e Miami são culturalmente heterogêneas’. Ou um outro julgamento que diz que ‘estas cidades não são culturalmente heterogêneas’, também racional. Porém, seriam ambos racionais seja lá qual for a evidência? A visão que a racionalidade de um determinado julgamento é independente de seu conteúdo é problemática porque ignora uma preocupação central de qualquer teoria de racionalidade, que é a racionalidade do conteúdo de

⁶² Qualquer especialista pode estar certamente dentro de seus direitos para usar o termo julgamento, referindo-o à habilidade. No entanto, Siegel (ibid.) afirma que é preciso estar atento nessa troca que o modelo de julgamento requer.

juízos. Se isso está correto, então o modelo de juízo torna-se incapaz de distinguir um juízo racional de um irracional, por não realizar uma tarefa básica de uma teoria de racionalidade. (ibid., p. 606).

A segunda característica da noção de juízo é que ele *‘resulta em decisões razoáveis’*. Se os exemplos de juízos do parágrafo anterior são merecedores de convicção, o que faz esses juízos serem racionais ou razoáveis⁶³? Os proponentes do modelo de juízo alegam que o juízo é um termo de sucesso porque destina a uma decisão razoável sem regras. Se assim for, como uma decisão razoável é uma decisão boa, todos os juízos são bons. Mas agora, uma discussão curiosa pode ser estabelecida na seguinte questão: ‘Todos os juízos são necessariamente bons?’ Ou, no mesmo sentido, poder-se-ia perguntar: ‘Não se pode fazer um juízo ruim como, por exemplo, um juízo não-razoável ou irracional?’ Para esta questão, ainda que os proponentes do modelo de juízo possam simplesmente estipular que juízos são sempre bons, é preciso introduzir um novo termo para diferenciar o que não seriam juízos, como pseudojuízos. E aí, Siegel (ibid., p. 604) destaca que estes últimos parecem ser juízos, mas não são, exatamente porque não obedecem o critério ou padrão pertinente do que seja um bom juízo⁶⁴.

A terceira característica de juízo é que este *‘não é exercitado seguindo ou atraindo regras’*. Conseqüentemente, Siegel (ibid., p. 607) levanta a seguinte questão: “*Quando os juízos são realmente bons, o que os fazem assim?*” Ou, de outra maneira: “*Em que bases são distinguidos juízos bons ou racionais de ruins ou irracionais?*”

As respostas agora parecem claras e, conforme Siegel (ibid.), são. Este autor adverte que tal distinção se faz na satisfação de padrões pertinentes ou critérios relativos à força de evidência, suficiência de argumento, e assim por diante. Isso faz um juízo ser bom, inclusive, permite avaliar se um juízo de um candidato é bom ou ruim quando critérios são seguidos adequadamente. Mas isto pode ser feito sem atração a regras ou princípios? Se não pode, os defensores do modelo de juízo parecem ser forçados a ir atrás da visão clássica que eles desejam rejeitar. Se pode, como? Presumivelmente, a resposta será: usando o juízo

⁶³ Às vezes, esses termos são tratados como sinônimos, às vezes não. Siegel (2004) os trata como equivalentes e interpreta que Brown e Govier também o fazem.

⁶⁴ Nesse caso, os proponentes do modelo de juízo poderiam estabelecer que o critério de um bom juízo ou juízo fidedigno estaria relacionado ao grau que se tem de perícias ou informações pertinentes ao juízo em questão.

da pessoa. Porém, agora os problemas que infestam o modelo clássico, quais sejam, a circulação, o regresso, e a arbitrariedade, parecem infestar o modelo de julgamento. Estes problemas poderiam ser evitados simplesmente insistindo que uma pessoa poderia usar seu próprio julgamento para avaliar se um julgamento de outra pessoa é bom ou ruim, razoável ou não-razoável, se é um julgamento ou é um pseudojulgamento. Mas este modo de evitar os problemas mostra-se igualmente inviável segundo Siegel. (ibid.).

Siegel (ibid., p. 608) aponta que a avaliação normativa de julgamentos, que é central à visão de Govier requer atração a critério. Mas, a questão decisiva para o modelo de julgamento é: pode-se fazer julgamentos sem invocar regras ou princípios? Como é necessária a avaliação normativa do exercício do julgamento (e dos julgamentos), por requerer alguns critérios de sensibilidade (uma sensação do que é realista, uma sensação de proporção, do que é mais significativo, e assim por diante) em seu exercício formal, decidindo que com isso se alcança um julgamento bom, é um julgamento bom somente porque satisfaz um critério pertinente qualquer. Conclusão esta que vale também para julgamentos como produtos. Assim sendo, regras não podem ser evitadas ao se realizarem julgamentos.

Para muitos teóricos (Brown, 1994; Healy, 1993; Govier, apud Siegel, 2004; Siegel, 2004), ao reconhecerem que julgamento é inevitável e é até mesmo requerido para determinar se uma regra é ou não aplicável a um certo caso, o modelo clássico errou em proibir julgamento de racionalidade. Siegel (2004) concorda com Brown 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. Mas, para Siegel (ibid.), essa suficiência que determina um julgamento bom é uma questão de satisfazer um pertinente critério epistemológico de bom. E, ainda que julgamentos sejam feitos sem algum critério em mente, somente podem ser racionais se suportáveis por razões que satisfazem um critério de qualidade epistemológica. Coerentemente, a conformidade com razões ou para atraí-las, assim como para critérios pertinentes, requer consistência. A consistência é uma questão de conformidade com regras. Por exemplo: ao se considerar casos semelhantes; concluir que não há diferença entre julgamentos sem uma diferença pertinente em suas razões; se P é uma boa razão para Q na circunstância C, será assim em todas as relevantes circunstâncias semelhantes; e assim sucessivamente.

Se essa discussão está correta, conseqüentemente, os proponentes do modelo de julgamento, ao insistirem que uma pessoa pode julgar racionalmente sem seguir regras, desconsideram equivocadamente que o estado de um julgamento, como racional, depende de satisfazer um critério pertinente.

Pela discussão acima, a avaliação normativa de julgamentos condiciona-se na satisfação de critério. Conseqüentemente, a racionalidade é de forma geral uma questão de satisfazer critério, é normativa pelo menos em certa extensão, e mostra o que é merecedor de convicção, ou decisão, ou ação. O que leva a concluir que julgamento, ou pelo menos julgamento racional, também é uma questão de critério, e assim de consistência, e também de regras e princípios. Siegel (2004, p. 609), admitindo que uma teoria adequada de racionalidade necessita de julgamento e regras, estrutura seu modelo híbrido de racionalidade nos seguintes termos:

julgamento→avaliação normativa→critério→ consistência→ regras

Para Siegel (ibid.), enquanto os proponentes do modelo de julgamento têm razão em especular que os exercícios particulares de julgamento não requerem usos explícitos ou conscientes de regras, eles estão errados em pensar que julgamento bom, ou seja, normativamente apropriado, é tão independente de regras. A satisfação de critério pertinente é fundamental à conformidade normativa, e satisfação requer consistência que, em troca, requer regras. Criticando o modelo de julgamento, Siegel (ibid., p. 609) afirma: “*Exercitando julgamento pode ser ‘o que fazer quando regras não ajudam’, mas esse exercício é uma função de razões, critérios, consistência, e (assim) regras*”. O importante nessa reivindicação é o fato de que a avaliação normativa de julgamento requer, no fim, regras, e, se a avaliação normativa é entendida para ser totalmente independente de critérios, então, a maneira de se distinguir um julgamento racional de um irracional é não-razoável. Por outro lado, se a avaliação normativa de um julgamento como bom/mau ou razoável/não-razoável requer atração pelo menos implícita a critério, a qualidade desse julgamento é uma questão de satisfazer critério, e assim, por consistência, para regras. Logo, a definição de “julgamento” no modelo de julgamento como algo completamente independente de regras é posta para descansar como um ‘pseudojulgamento’ contra o modelo clássico (ibid.).

Agora, para finalizar as discussões a respeito dos modelos de racionalidade, ainda é interessante apresentar algumas respostas de Brown (2006) às críticas de Siegel (2004).

Essas respostas referem-se a duas principais críticas que há pouco foram destacadas. Uma crítica envolve a noção de julgamento como uma habilidade e a outra aponta que o julgamento não pode evitar o recurso a regras.

Para a primeira das críticas, lembra-se que Siegel (2004, p. 611) eleva o resultado/produto⁶⁵ para ser tão importante quanto o processo⁶⁶: “*A racionalidade está vitalmente preocupada com o estado racional dos produtos/resultados/conclusões*”. Porém, sem querer desmerecer a importância do resultado/produto, Brown (2006, p. 646) entende que a avaliação epistemológica desse resultado/produto depende do processo, conforme a discussão abaixo.

No modelo de julgamento, o exercício de julgamento é o exercício da habilidade referente a um assunto específico que se desenvolve por dominar informações disponíveis e técnicas em um campo. Uma pessoa pode desenvolver a habilidade para exercitar, dizer e criar julgamento, assim como se desenvolve uma habilidade para exercitar julgamentos médicos, ou como se desenvolve uma habilidade para escrever um programa de computador ou provas em lógica. O exercício de julgamento destaca-se pelo desenvolvimento de uma habilidade específica. Da mesma maneira que um jogador de xadrez qualificado somente exercita a habilidade com respeito às conseqüências de uma disposição específica das peças no tabuleiro, um médico qualificado também exercita um julgamento médico com respeito a um paciente específico e em uma condição específica. Portanto, Brown (ibid.) afirma que julgamento já é uma noção normativa, e inclui: “*Não há alternativa a julgamento em campos que faltam resultados aceitáveis racionalmente. Por exemplo, não existe outra coisa entre aqueles que se descrevem feiticeiros, apenas julgamento*” (como cartomantes e outros). É importante dizer que, como avaliar se um tipo de julgamento existe, é outra questão. (ibid., p. 647). Isso conduz a um entendimento da importância do resultado do processo que Siegel (2004) destaca. Quando alguém se ocupa de avaliações epistemológicas, buscam-se produtos que têm uma certa propriedade – a verdade de serem mais importantes. Porém, Brown (ibid.) adverte que a verdade é frequentemente enganosa, e o conceito de verdade é altamente competitivo, e uma avaliação epistemológica da verdade de uma proposição, como um resultado ou produto, é altamente dependente do processo.

⁶⁵ Entendido como julgamento.

⁶⁶ Entendido como julgamento, ou exercício de uma habilidade, no modelo de julgamento.

Para a segunda das críticas apontadas por Siegel (ibid., p. 611), ele destaca que julgamento está sujeito “à avaliação normativa e que, para tal avaliação, ‘critérios’ são essenciais e, assim, as regras”. Siegel (ibid.) adverte que a racionalidade exige consistência e, portanto, regras. Para esta visão, Brown (2006, p. 648) apresenta algumas reflexões importantes a seguir. Para se estar seguro, não pode haver inconsistência. Mas o fato de uma teoria ser incompatível não é suficiente para desqualificar sua adesão como um assunto de convicção racional; isto só acontece quando a inconsistência é reconhecida. Brown (ibid.) adverte que, em muitos casos, é fácil avaliar a consistência e também lidar com a inconsistência, mas a discricção filosófica tem freqüentemente considerado casos mais complicados. Nestes casos, ao procurar defender sua noção de julgamento, Brown (ibid.) discute quatro exemplos de importância histórica que ilustram a maneira como a inconsistência tem sido lidada⁶⁷.

Um dos exemplos refere-se à teoria de Bohr do átomo de hidrogênio que era incompatível com a teoria eletromagnética clássica logo no início de ter sido proposta. Porém, a inconsistência surgiu quando Bohr assumiu que o elétron circulava o núcleo do átomo em certas órbitas estáveis, enquanto também assumia pela teoria eletromagnética clássica, que órbitas estáveis não eram possíveis. Para estar seguro (no caso de Bohr e dos físicos), a inconsistência foi reconhecida como um defeito sério, mas nas circunstâncias prevaletentes isto não foi considerado suficiente para ignorar a teoria. A teoria de Bohr foi introduzida em um período que corre de 1900 a 1925, aproximadamente, em que o estado global da teoria quântica estava confuso. No entanto, aqueles com as perícias apropriadas (os físicos) realizaram julgamento e consideraram que a teoria de Bohr foi um passo progressivo e, apesar da imperfeição óbvia (ibid., p. 649), como se vê, nada de irracional se diz a respeito.

Esse exemplo levantado por Brown (ibid.) permite entender melhor se em julgamentos há ou não a conformidade com regras. Consistência é um critério, mas Brown (ibid.) discute que, ao se lidar com um jogo de proposições, estas são objetivamente consistentes ou incompatíveis por dependência de julgamentos em muitos casos importantes. Siegel (2004, p. 608) também propõe a necessidade de critério no exercício do julgamento e enfoca um exemplo de consistência: “*se P é uma boa razão para Q nas circunstâncias C, também será em todas as circunstâncias semelhantes relevantes*”. Mas, como se avalia que as circunstâncias relevantes são

⁶⁷ Será apresentada aqui a discussão de apenas um exemplo, porém, todos os exemplos discutidos por Brown (2006, p. 647-649) destacam-se como contra-exemplos para o modelo híbrido de Siegel (2004).

semelhantes? No caso da teoria de Bohr, os físicos exerceram julgamentos que ignoraram a inconsistência conhecida temporariamente. Finalizando essa discussão, Brown (2006, p. 649) conclui: “*Eu não estou atento a qual regra eles (os físicos) escolhem em situações em que esta decisão é apropriada*”. Portanto, ao se apertar a questão da base racional para aceitar um tal critério, alcança-se um ponto onde se depende de um eventual julgamento que, como se tentou mostrar, não envolve a conformidade a regras.

Pode-se dizer, pelas reflexões anteriores sobre os modelos – clássico, julgamento e híbrido – de racionalidade, que não há como destacar, pelo menos até o presente, o modelo correto de racionalidade. Sem desmerecer o progresso que os dois últimos modelos apresentam em relação ao modelo clássico, por adotarem a noção de julgamento, vê-se que esta noção ainda se mantém com interpretações que, de um lado, o modelo híbrido defende como necessária uma conformidade a regras (resgatando uma característica fundamental do modelo clássico), enquanto, de outro lado, tal defesa é atacada no modelo de julgamento. Entretanto, já é possível apontar as aproximações teóricas de racionalidade da presente pesquisa.

A estratégia de ensino lakatosiana deste trabalho caracteriza-se com um passo específico (inserção da RRD) para uma preparação racional por meio de discussões com teorias rivais. A racionalidade que se procura trabalhar, de maneira implícita nos episódios históricos, é inspirada na epistemologia de Lakatos (1970) que tem sido filosoficamente classificada no racionalismo que se discutiu (Chalmers, 2000). Claro que, nesse sentido, a racionalidade aqui proposta tende ao modelo clássico, visto que Lakatos apresenta uma metodologia de regras explícitas para avaliar como progressivo ou degenerativo qualquer programa que se examine⁶⁸. No entanto, é possível admitir uma aproximação diferente em que os alunos realizam julgamentos, duplamente entendidos tanto como habilidades e como produtos do exercício dessas habilidades, ao avaliarem teorias rivais. Isso porque os alunos não carregam naturalmente uma habilidade para exercer julgamento, no sentido de avaliar ‘racionalmente’⁶⁹ uma teoria entre rivais. O desenvolvimento dessa habilidade no estudante, ou pelo menos o início desse desenvolvimento, é uma tarefa que aqui será subsidiada pela RRD. Assim, o desenvolvimento dessa habilidade refere-se à aquisição de uma perícia específica para que o aluno possa exercer julgamento, cuja decisão é diferente de ter uma opinião e que é merecedora de convicção, ao

⁶⁸ Conforme se discutiu no primeiro capítulo.

⁶⁹ O sentido aí é de avaliar racionalmente por regras apropriadas.

menos pessoal, ainda que falível⁷⁰. Desse entendimento, apresenta-se uma tendência para a noção de julgamento em que há falibilidade, assim como naturalismo requer falibilismo nos modelos híbrido e de julgamento. No entanto, para que confusões sejam evitadas, é preciso adiantar que na análise de dados o termo julgamento referir-se-á apenas como em discurso ordinário, referindo-se a uma conclusão/decisão do aluno, isto é, ao produto do processo de raciocínio do aluno.

Como a RRD busca influenciar a necessidade da elaboração de um critério, que implica numa regra, durante o processo de ensino para estimular a aprendizagem da habilidade de escolha de teorias rivais, pode-se dizer o seguinte a respeito de uma maior aproximação para um dos modelos de racionalidade: ao se admitir, nas análises dos dados, um julgamento dos estudantes como uma decisão falível, distanciou-se do modelo clássico de racionalidade, ao passo que, como os julgamentos individuais dos estudantes não sofrerão apreciações mútuas, não se pode afirmar uma racionalidade coerente ao modelo de julgamento. A maior aproximação ocorre, portanto, ao modelo híbrido. Procura-se agora justificar tal aproximação.

Os proponentes do modelo de julgamento afirmam que o julgamento somente ocorre quando regras não ajudam, ou ainda, quando se necessita criar uma nova regra ou mesmo quando se escolhe uma entre rivais, sendo que a observação importante nesses casos é que nenhuma regra governa o processo de decisão. Em oposição ao modelo de julgamento, Siegel (ibid., p. 609) afirma que “*exercitar julgamento pode ser: ‘o que fazer quando regras não ajudam’, mas esse exercício é uma função de razões, critérios, consistência, e (assim) regras*”. Lembrando as seguintes dependências que julgamento (processo ou produto) carrega para ser reconhecido como um julgamento fidedigno ou racional: julgamento → avaliação normativa → critério → consistência → regra. É semelhante a essa estrutura teórica de racionalidade que se pretende influenciar racionalmente o processo de ensino e de aprendizagem via RRD, almejando que o aluno se habilite a realizar julgamentos racionais para a escolha entre teorias rivais. Conseqüentemente, a realização de um julgamento fundamenta-se em razões para o aluno, 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. Nesse sentido,

⁷⁰ Todavia, é preciso dizer que o aluno, ou mesmo qualquer pessoa que não tenha familiaridade com os recentes modelos de racionalidade que se discutiu, não tem consciência desse falibilismo em consideração, e que não é objetivo desta estratégia alcançar essa consciência no estudante.

destaca-se a noção normativa, que envolve um necessário reconhecimento do aluno do que é mais significativo comparar entre as teorias e que, assim, envolve um critério consciente externamente estimulado. E para garantir segurança num julgamento, o critério envolve consistência, 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 justifica a dependência de regras.

Essa é a aproximação teórica que se faz ao processo racional desta estratégia de ensino lakatosiana para justificar o caminho aqui tomado de uma educação racional, ainda que possa haver uma contraposição como: “*somente cumprir regras universais não é racionalidade*” (Govier apud Siegel 2004, p. 602). Ademais, neste instante, poder-se-ia levantar uma questão trivial de racionalidade: o critério assim como a regra em que está se fundamentando são apropriados? Mas agora, diante de preocupações pertinentes ao processo de ensino e de aprendizagem de teorias científicas, existe uma razão maior para o uso do critério que se propõe envolver em discussões desta RRD. Esta razão está em auxiliar o processo racional de aceitação de concepções científicas quando confrontadas com as concepções alternativas rivais que as estratégias racionais de ensino de Niaz (1998) e Rowell (1989) apresentam. Assim, responde-se à questão que acima se levantou, como também se rejeita uma preocupação fundacionalista⁷¹.

Para além da aproximação teórica de racionalidade que se foi apontando até aqui, ainda se faz apropriada uma última discussão a respeito das preocupações atuais entre racionalidade e ensino de ciências. Um conceito admitido como um ideal educacional por vários pesquisadores (Siegel, 1980 e 2004; Scheffler apud Cuypers 2004; Cuypers 2004), e que vem sendo aprimorado durante as últimas décadas, é o de pensamento crítico. Muito se tem discutido

⁷¹ Se um critério e uma regra estão apropriados é uma questão de justificação. Mas, nessa altura das discussões, o leitor poderá questionar que uma tal justificação cairá numa regressão infinita de justificações. O fundacionalismo leva a sério esta regressão e esforça-se para encontrar “crenças básicas” que seriam capazes de deter o regresso. O coerentismo (que não se pretende detalhar aqui), conforme Dancy (1995), procura demonstrar que o programa fundacionalista está destinado a fracassar, posto que a sua ‘base’ não é firme (em que as crenças básicas são justificadas pela fonte originária, isto é, são produtos imediatos dos sentidos) uma vez que não se apóia em coisa alguma. Dancy (ibid.) ainda comenta: “*Se os fundacionalistas tivessem razão quanto à estrutura de um conjunto de crenças justificadas, a única conclusão possível seria a céptica – ou seja, que nenhuma das nossas crenças estão de fato justificadas*”. Assim, entende-se neste momento que a crença que neste estudo se dá à razão de auxiliar o processo de ensino das concepções científicas, como uma boa razão, permite uma finalização às justificações nesse sentido.

a relação entre esse conceito e racionalidade. Entretanto, o entendimento atual sobre pensamento crítico apresenta algumas variações conceituais que são observadas em muitos autores.

Para McPeck (apud McCarthy, 1992), pensamento crítico é como um subconjunto de pensamento racional. Descreve o pensamento racional como “*o uso inteligente de toda evidência disponível para a solução de algum problema*”. Já o pensamento crítico só ocorre quando a pessoa encontra dificuldades para usar uma evidência disponível. McPeck (apud McCarthy, 1992) diz que o pensamento crítico ocorre, por exemplo, na necessidade de decidir o que contar como evidência ou em decidir o que desconsiderar da evidência disponível.

McCarthy (1992) sugere que a racionalidade pode estar naturalmente disposta, enquanto o pensamento crítico não está. Desse ponto de vista, pensamento crítico é mais bem entendido como uma atitude ocasional, quando a necessidade nos impõe. Eventualmente, por exemplo, uma pessoa é crítica porque reflete sobre o motivo pelo qual determinado tipo de pensamento é eficaz. McCarthy (ibid.), ao direcionar uma justificação para sua conceituação de pensamento crítico, norteou a questão: por que ser crítico? (ou racional, ou moral?). De uma maneira geral, sua reflexão destaca certos aspectos no fato de, na maioria das situações, pensar é considerado uma atitude inquestionavelmente útil. Pensar ajuda a pessoa a resolver problemas existentes, prever e evitar problemas, alcançar seus desejos, e até mesmo avaliar o mérito desses desejos, predizendo e talvez evitando qualquer potencialidade de conseqüências catastróficas que se seguiria na realização desses desejos. No mesmo sentido, pode-se também justificar e dar importância ao pensamento crítico (ibid.). Mas as justificativas dependem da interpretação que se possa fazer entre pensamento crítico e racionalidade.

A concepção de McCarthy (ibid.) distingue entre uma estrutura habitual da mente como uma disposição racional, que define por racionalidade, e uma situação mais ocasional (“episódico”), que classifica por pensamento crítico. Essa autora refere-se a uma pessoa que, geralmente, por hábito age de certo modo racional, introduzindo a noção de pensamento crítico numa sensação ocasional, como um episódio racional. Logicamente, em primeiro lugar é preciso descrever, por exemplo, uma instância particular de ação como sendo racional para que se possa atribuir uma disponibilidade racional, isto é, uma tendência para assim agir racionalmente e que, em determinado momento (episodicamente), age pensando criticamente. McCarthy (ibid.) sugere que o pensamento crítico não tem a mesma extensão conceitual de racionalidade (como em Siegel, mais à frente), nem é uma classe especial de pensamento racional (definição de

McPeck), mas que o pensamento crítico é uma condição necessária de racionalidade. Racionalidade, portanto, é uma característica de disposição da mente: “*é a tendência de uma pessoa para agir racionalmente que é dizer a tendência para agir em pensamento crítico*” (McCarthy, 1992).

Para Siegel (apud Cuypers, 2004), um pensador crítico é aquele que é movido adequadamente por razões em pensamento e ação. O pensamento crítico é pensamento bom e consegue separar razões boas de ruins. É o cognato educacional de racionalidade porque ambos, pensamento crítico e racionalidade, se concentram na relevância de razões, acreditando (ou julgando) e agindo. Mas, um pensador crítico pode também ter adequadamente a habilidade para avaliar razões, sem sistematicamente usá-las. Para tanto, deve estar disposto a buscar boas razões e questionar outras, caracterizando o que Siegel chama de espírito crítico (Cuypers 2004). Porém, o espírito crítico dá vida às razões porque um pensador crítico, embora disposto, não as avalia à toa, ele também é movido por elas, devido ao seu espírito crítico.

Como um ideal, o pensamento crítico estrutura não só nosso empreendimento educacional, mas também outras metas de nossos esforços educacionais. Ajuda a responder duas perguntas normativas centrais na filosofia da educação: ‘Para que serve a educação?’ e ‘Como nós deveríamos educar?’. Como reflexão educacional, o pensamento crítico opera como um ideal de regulação. Define padrões de excelência que podem ser usados para avaliar (ou julgar) entre rivais métodos educacionais e teorias, entre métodos pedagógicos contraditórios, currículos alternativos, políticas institucionais divergentes e práticas, entre outros. De maneira semelhante, uma pontaria fundamental em educação é educar as crianças para pensarem criticamente. Mas, o que é necessário, então, para que uma criança seja um pensador crítico? Que habilidades, destrezas, atitudes, hábitos e traços um pensador crítico possui? E que concepções mais amplas essas características se encaixam? Refletindo nessas questões, Siegel (1980, p. 7-8) responde:

Em primeiro lugar e acima de tudo, a concepção mais ampla é a da racionalidade: pensamento crítico é mais bem percebido como uma concretização do ideal de racionalidade. Racionalidade, por seu turno, deve ser entendida como sendo ‘coextensiva com a relevância das razões’. Pensador crítico é aquele que reconhece a importância e a força persuasiva de razões. Ao levantar argumentos, avaliar argumentos, ou julgar, o pensador crítico procura razões para apoiar seu posicionamento, sua avaliação ou seu julgamento. Mais ainda, procurar razões é reconhecer e comprometer-se com princípios que governam tal atividade. Pensamento crítico é, portanto, pensamento baseado em princípios. Julgar segundo princípios subentende julgar de maneira não

arbitrária, uma vez que julgamentos arbitrários não se apóiam em princípios; imparcialidade, uma vez que julgamento parcial, assim como o arbitrário, não se apóia em princípios; e objetividade, pela mesma razão. O julgamento com princípios, rejeitando a arbitrariedade, a parcialidade e a não objetividade, reconhece a existência e utiliza seus próprios padrões objetivos e imparciais, de acordo com os quais devem ser feitos os julgamentos. São relevantes aqui, os critérios lógicos que orientam a inferência adequada, bem como os critérios que orientam o levantamento de evidências empíricas. O pensador crítico procura razões para guiar e controlar o julgamento, e tais razões devem estar de acordo com princípios que assegurem controle adequado. O julgamento crítico deve, portanto, ser objetivo, imparcial, não arbitrário e baseado na evidência de um levantamento adequado.

Após a apresentação de alguns pontos de vista sobre pensamento crítico e sua relação com racionalidade, é preciso dizer que, da mesma maneira que se realizou uma aproximação teórica com o modelo híbrido de racionalidade de Siegel (2004), há também uma aproximação à visão de pensamento crítico deste último autor na medida em que McCarthy (1992) e Cuypers (2004) apontam que a extensão conceitual que Siegel dá para pensamento crítico é a mesma que também dá para racionalidade. Assim, para que uma pessoa compreenda pensamento crítico completamente, ela precisa compreender a racionalidade também (Siegel, apud McCarthy, 1992). E, desde que a racionalidade relaciona-se com a relevância de razões, ser racional, como também ser crítico, simplesmente é acreditar e agir em base de razões (ibid.). Portanto, embora nesta pesquisa os alunos não tenham consciência dos detalhes de um modelo de racionalidade, procura-se fazer com que eles ultrapassem suas reflexões que objetivam fornecer explicações de fenômenos com modelos alternativos. Para além das situações pretendidas pela estratégia de ensino lakatosiana em impor uma necessidade ao aluno de refletir sobre o que considerar numa explicação para que esta seja validada por este ou aquele modelo e, assim, entendida como um mérito a um modelo na comparação deste com seus rivais, almeja-se que os julgamentos que os alunos realizam quando avaliam os méritos de modelos rivais conformem-se aos critérios e regras conscientes que a RRD objetiva influenciá-los a usar⁷². Portanto, tais atitudes reflexivas que aqui se buscam estabelecer no processo educacional são aspectos importantes ao ideal educacional de pensamento crítico.

⁷² Lembrando, nesta altura, que já se respondeu se o critério (inspirado em Lakatos 1970) envolvido é apropriado à presente situação educacional.

4. O PROBLEMA E AS JUSTIFICATIVAS DA PESQUISA

O problema central que se propõe resolver neste trabalho é:

A RRD pode auxiliar a preparar os estudantes para debates racionais e contribuir numa estratégia de ensino lakatosiana?

As justificativas para a escolha deste problema partem das seguintes pesquisas: Laburú e Arruda (1998); Laburú et al. (1998); Silva e Laburú (2002); Laburú e Niaz (2002); Niaz (1998).

Como se mencionou na introdução, as quatro primeiras pesquisas acima procuraram mostrar como são estruturadas as concepções alternativas dos estudantes de acordo com uma analogia com as heurísticas negativa e positiva dos programas de pesquisa de Lakatos. Mantendo a perspectiva lakatosiana, essas pesquisas propuseram futuras investigações que poderiam ocorrer na forma de intervenções pedagógicas para potencializar um avanço na aprendizagem. Para isso, as pesquisas deveriam fundamentar-se em resultados obtidos de um professor que ataca o núcleo do programa alternativo do aluno, enfraquecendo o seu cinturão protetor e permitindo que o aluno comece a se deslocar para o programa científico. Assim, investigar-se-ia a possibilidade de o educador fazer com que o aluno aceite novas concepções de maneira racional quando identifica os pontos-chaves a serem atacados no raciocínio de senso comum, confrontando-o com o científico numa situação em que é percebida uma rivalidade explicativa entre ambos.

Niaz (1998), por sua vez, estruturou uma estratégia pedagógica baseada na epistemologia de Lakatos (1970) para facilitar a mudança conceitual no entendimento de estudantes em equilíbrio químico. Apesar de Niaz (1998) ter obtido resultados estatísticos entre uma turma experimental e outra controle que apontaram a favor de sua proposta, ele sugeriu a realização de mais estudos que avançassem e fortalecessem aquela estratégia lakatosiana antes que ela fosse recomendada para o professor em sala de aula (ibid., p. 123). Como a presente pesquisa inspira-se no referencial lakatosiano para elaborar uma estratégia de ensino, muito será aproveitado das considerações de Niaz nesse sentido. Porém, para dar continuidade a esta última pesquisa, existem duas características fundamentais que aqui são adotadas: a primeira é que se estruturará uma estratégia mais pragmática. Para isso, será utilizada uma seqüência de passos

parecida com a de Rowell⁷³ (1989), acrescentando-se um passo (a história distorcida da ciência em forma de uma reconstrução racional didática); a segunda é que se realizará uma pesquisa qualitativa, interessando-se mais pelo processo do que pelos resultados. Além disso, a estratégia será empregada no processo de ensino e de aprendizagem de conceitos de uma outra disciplina, que é a Física. Dessa maneira, este trabalho procura contribuir com os estudos já realizados numa linha de pesquisa que estabelece analogias entre a epistemologia de Lakatos e o processo de ensino e de aprendizagem.

O principal detalhe neste trabalho refere-se à racionalidade que as estratégias de ensino procuram empregar. Embora as estratégias de Niaz (1998) e Rowell (1989) busquem uma racionalidade nas discussões sobre os méritos e deméritos de concepções rivais (alternativas e científicas) em sala de aula para que haja a escolha da melhor, alguns autores como Villani et al. (1997, p. 41) ressaltam que é ingenuidade supor algum modelo racional muito enraizado nos estudantes. Sem uma preparação, discussões racionais mais diretas para a escolha de teorias, com inspiração filosófica implícita ou não, podem não alcançar êxito, conforme a analogia de Matthews (1994, p. 86): “*Estudantes sem uma exposição anterior para tal debate é semelhante a uma criança da zona rural em sua primeira visita à cidade grande*”. Quer dizer, se uma criança encontra-se perdida numa cidade grande por mal conhecê-la e saber o caminho de casa, de maneira semelhante, um estudante encontra-se perdido em sua primeira análise racional por mal perceber o rumo que uma conclusão tenha tomado. No ensino de Física, situações em sala de aula que partem de pontos de vista conceituais diferentes para estabelecer um debate racional, uma conclusão (ou julgamento) somente é alcançada pela predominância de um critério pertinente⁷⁴. 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. Como se comentou anteriormente, 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 (Chalmers, 2000, p. 137). Assim, não são critérios que os estudantes naturalmente carregam. Para que um estudante avalie concepções por um critério racional desejado no processo de ensino e de aprendizagem, é preciso primeiramente que

⁷³ Como se comentou na introdução.

⁷⁴ Nesse sentido, Siegel (2004, p. 609) afirma: “*Racionalidade é satisfazer critérios, é normativa pelo menos em certa extensão, e mostra o que é merecedor de convicção, ou decisão, ou ação*”.

ele o conheça. Para isso, elabora-se neste estudo uma estratégia que busque exemplificar uma discussão racional através da história distorcida da ciência em que o professor conduz os alunos a, inicialmente, entenderem um certo critério, para que, posteriormente, eles o usem e assim percebam os caminhos que conduzem a uma conclusão. Preocupação não abordada por Niaz (1998) e Rowell (1989), essa preparação parte da pressuposição de que discussões iniciais que objetivam influenciar o aluno com certa racionalidade possam ajudar o processo de ensino e de aprendizagem das concepções científicas em um posterior debate racional entre estas últimas com as alternativas. O que justifica a inserção da RRD como um passo específico desta estratégia, na intenção de preparar o aluno para análises racionais entre concepções rivais, sofisticando a estratégia de ensino lakatosiana em relação à de Niaz (1998) e à de Rowell (1989), nas quais ela se apóia.

Ademais, esta investigação estudará situações reais de sala de aula e que, segundo Rowell e Dawson (apud Niaz, 1998), é uma necessidade, pois, muitos estudos trabalham com indivíduos e pequenos grupos e, assim, ignoram a importância da investigação da prática comum em sala de aula.

Discutidas as justificativas que direcionaram este estudo, é imprescindível, agora, analisar as conseqüências importantes que se podem alcançar pela coerência estabelecida com algumas recomendações na literatura, abaixo especificadas.

Esta pesquisa estrutura e investiga uma maneira de inserir, implicitamente, uma inspiração na filosofia da ciência por meio de uma história distorcida da ciência. Existem publicações que recomendam e destacam, para fins pedagógicos, uma atenção especial a favor de uma história distorcida da ciência no ensino de ciências (Mäntylä e Koponen, 2007, p. 297-298; Valente, 2005, p. 4; Izquierdo-Aymerich e Adúriz-Bravo, 2003, p. 29; Niaz e Rodriguez, 2002, p. 62; Dobson, 2000, p. 1). Nesse sentido, este trabalho assume uma postura que entende que a história da ciência pode ser mais bem aproveitada para o ensino de conceitos de Física, quando se utiliza o que Lakatos chamava de “reconstruções racionais” (Lakatos 1970). Niaz e Rodriguez (2002) mostram que “*a história da Física possui vários episódios que podem ser ‘reconstruídos’ para prover um ambiente de debates em sala de aula, estimulando controvérsias para compreender o que está sendo ensinado*”. Dobson (2000, p. 1) resgata alguns dos requisitos do novo Currículo Nacional Inglês (e diz que provavelmente é igual ao do País de Gales), em que um destes destaca a importância dos alunos serem ensinados, aprendendo como controvérsias

científicas surgem a partir de diferentes formas de interpretar uma evidência empírica. Perante isso, este autor levanta algumas questões: “*A história da Física pode prover tal relevância? Ela pode fornecer controvérsias interessantes que poderiam tentar o adolescente a pensar?*” Discutindo a importância das controvérsias com otimismo por meio da história distorcida da ciência, esse autor afirma: “*nós poderíamos possibilitar que algumas histórias fossem contadas com algum nível de drama, porém, é difícil para os professores produzirem muito entusiasmo em estudantes com idade entre quatorze e dezesseis anos por controvérsias entre Newton e Hooke, ou Newton e Leibnitz (ou entre Newton e a maioria de seus contemporâneos)*”. Aliás, Pereira e Amador (2007, p. 193) afirmam que um exemplo de valorização da história distorcida da ciência nesse sentido, em termos didáticos, pode ser recolhido numa das últimas obras do filósofo Paul Feyerabend na qual escreve que, em suas aulas de Filosofia da Ciência, contava ‘estórias/contos’, que não eram mais do que episódios de história da ciência que procuravam dar ‘alma’ ao conhecimento científico. Coerentemente a essas idéias, esta investigação elabora uma estratégia de ensino com a preocupação de estabelecer controvérsias científicas históricas, cuja intenção é promover debates racionais para auxiliar o processo de ensino e de aprendizagem de conceitos de Física. Segue-se aqui a sugestão de Niaz e Rodriguez (2002, p. 62) de que, em tais oportunidades para debate, é possível oferecer aos estudantes um vislumbre da prática científica com argumentos, controvérsias e competição entre teorias rivais.

Também não é de hoje que se discute a importância da inserção de filosofias contemporâneas no ensino de ciências, visto que “*a versão indutivista (empirista) da ciência continua dominante entre os professores e cientistas. Ela pode ser encontrada facilmente nos livros texto*” (Silveira, 1989). Vázquez e Manassero (1999, p. 378) também afirmam que alguns dos traços mais notáveis das concepções inadequadas sobre a natureza da ciência encontradas em estudantes, professores e livros didáticos, que foram identificados pelas críticas, apresentam um pensamento epistemológico direcionado para o indutivismo. Segundo Silveira e Ostermann (2002, p. 7), apesar do empirismo-indutivismo constituir-se atualmente numa teoria do conhecimento ultrapassada entre epistemólogos, filósofos e historiadores da ciência, ela ainda sobrevive no ensino da Física. Mais recentemente, Pereira e Amador (2007, p. 213) concluem que as perspectivas que encontraram na maior parte dos livros de texto estão longe daquelas que são defendidas pelas correntes da Nova Filosofia da Ciência, surgindo mais em consonância com visões empirico-indutivistas. Uma doutrina filosófica que enfatiza o aspecto empírico-indutivista

da ciência é o positivismo lógico. Segundo esta visão, os dados de observação e experimentação, que são entendidos como neutros, não contaminados e absolutos, permitem, por indução, estabelecer leis que constituem o conhecimento científico (Vázquez e Manassero, 1999, p. 379). Esta concepção ignora o papel das idéias e hipóteses geradas pela mente humana como guia para a observação e experimentação, ignora o papel da coerência interna no corpo da ciência, etc, e, sobretudo, baseia-se na falácia da validade lógica do princípio de indução, amplamente criticado por epistemologias atuais (ibid.). Mais ainda, um termo não tem significado científico se não se referir a um elemento da experiência e, por conseguinte, termos como elétron, função de onda, força, etc, que não se podem sentir pela experiência, são problemáticos para os cientistas positivistas ao enfatizarem os fatos empíricos para poder observar, medir e manipular (Niaz, 1994, p. 97). Todavia, o positivismo é atualmente rejeitado no plano filosófico (Chalmers, 1994, p. 14) e, por consequência, no processo de ensino aprendizagem de ciências a literatura tem apontado a tendência de uma necessidade de se ancorar, quando possível, a uma visão pós-positivista (Delizoicov, 1996, p. 183; Niaz, 1994). Diante disso, é coerente que o ensino de ciências baseie-se numa perspectiva filosófica pós-positivista. Blanco e Niaz (1998, p. 354) revelaram que a maioria dos professores de química por eles investigados, assim como alunos, apresentavam entendimentos da estrutura atômica que puderam ser classificados numa categoria “*positivista/indutivista*” sobre o desenvolvimento do conhecimento científico. Como a concepção positivista predomina entre os professores, em livros didáticos de Ciências e de Física, em manuais de laboratórios (Silveira e Ostermann, 2002), é necessário dizer que este trabalho não tem a finalidade de reverter esse quadro, mas adota uma postura filosófica (inspirada no referencial lakatosiano) que inicia uma tentativa de mudança sobre essa comum concepção de ciência tão criticada no ambiente de sala de aula. Entretanto, esses comentários não afirmam que um ensino de ciências que adote uma postura filosófica pós-positivista alcance melhores resultados na aprendizagem de conceitos científicos do que aquele que adote uma postura empirista-indutivista, ou vice-versa. A principal influência de uma posição filosófica controlada pelo educador (explícita ou implicitamente), nas discussões em classe, está na visão de ciência que os alunos apresentam (Lederman, apud Blanco e Niaz, 1998, p. 327) e que, conforme os comentários neste parágrafo, é sensata a recomendação de se adotar, quando possível, uma postura pós-positivista no ensino de ciências.

No que se refere à racionalidade, Matthews (1994, p. 93) afirma que ela é um tópico central em filosofia da ciência, sendo importante para o ensino de ciências. É com a intenção de desenvolver uma racionalidade que alguns detalhes das idéias de Lakatos são resgatadas para uma analogia no processo de ensino e de aprendizagem. Nisso, a presente pesquisa leva em consideração que a estruturação de atividades de tomada de decisão, envolvendo um processo de argumentação, pode auxiliar no aumento do engajamento dos estudantes nas discussões científicas (Ratcliff, apud Santos et al., 2001). A estratégia pedagógica lakatosiana permite o envolvimento dos estudantes num processo de discussão e/ou reflexão para a tomada de decisão diante de programas de pesquisa rivais (convencionados implicitamente pelo professor)⁷⁵. O processo pode ser conduzido por uma alternância de momentos nos quais se estabelecem diálogos e outros nos quais se valoriza a transmissão mais direta dos conceitos pelo educador, que tenta constantemente monitorar as concepções dos aprendizes, principalmente pelos passos avaliativos desta estratégia. Esta estratégia também pode ser vista como uma maneira de auxiliar o professor na condução do discurso argumentativo em sala de aula, não só nos momentos de instrução, mas também naqueles em que ele organiza perguntas aos alunos para que justifiquem seus pontos de vista. Uma contribuição dessa natureza é solicitada na pesquisa de Santos et al. (2001), na qual se comenta a relevante dificuldade dos professores no encaminhamento do discurso argumentativo e a necessidade de serem desenvolvidos estudos que os auxiliem a melhorar a argumentação de seus alunos.

Entretanto, devido à complexidade do processo de ensino e de aprendizagem, é difícil que uma estratégia pedagógica garanta sucesso escolar para a totalidade dos alunos em situações reais de sala de aula. Isso conduz a presente investigação a contribuir com o estudo de uma aplicação exemplar desta estratégia em que se prevê resultados de aprendizagem que podem variar entre os alunos por naturalmente caracterizarem uma heterogeneidade de envolvimento frente a esta estratégia. Por análises longitudinais de resultados individuais, procura-se conduzir a uma outra compreensão do processo de ensino e de aprendizagem, diferentemente dos resultados quantitativos da comparação estatística fornecida em Niaz (1998).

Enfim, este trabalho busca fornecer uma reflexão sobre uma alternativa para aquele educador construtivista. Educador este que considera as concepções alternativas dos

⁷⁵ O alternativo e o científico, convenções explicadas no primeiro capítulo.

estudantes e que simpatiza com a inspiração lakatosiana de comparação de teorias rivais, preocupando-se com as diferentes concepções que concorrem em termos explicativos no ambiente de sala de aula ao procurar uma estratégia de ensino.

5. ESTRUTURAÇÃO DA PROPOSTA DE ENSINO

Antes da estratégia de ensino lakatosiana que logo se apresentará, é preciso discutir alguns entendimentos educacionais que ela carrega. A estratégia está em acordo com o pensamento construtivista da crescente parcela de professores e de pesquisadores em ensino de Física que não mais concebem os alunos como uma espécie de vácuo cognitivo que só se apropriam de conhecimentos físicos a partir da “fala” do professor, do livro e mesmo da atividade experimental, ou no dizer de Paulo Freire (apud Delizoicov, 1996), como se fossem “*vasilhames vazios*” nos quais deve haver o “*depósito de conteúdos*”. Na elaboração desta estratégia, há uma inspiração na linha construtivista vigotskiana, cuja tese diz que “*os rudimentos de sistematização primeiro entram na mente da criança, por meio do seu contato com os conceitos científicos, e são depois transferidos para os conceitos cotidianos, mudando a sua estrutura psicológica de cima para baixo*” (Vigotski, 1996, p. 80). O entendimento que se faz aqui desta inspiração é que, ao considerar as concepções de senso comum dos alunos, a construção de conceitos científicos como também de quaisquer definições dessa natureza, mesmo que seja um processo essencialmente individual (Glaserfeld, apud Laburú et al., 2001), pode ser acelerada pela interação social.

Nesse sentido, um ponto crucial a discutir refere-se aos momentos de instrução dos conceitos científicos⁷⁶. Nessas ocasiões, um pensamento influente está embutido na afirmação de Matthews (1994, apud Laburú et al., 2001, p. 169), na qual na maior parte do tempo, o sujeito aprende e não constrói os significados. Mais claramente, são momentos com aulas expositivas, de transmissão direta da informação organizada, em que métodos mais próximos ao didatismo tradicional são utilizados. Para justificar a adoção desse estilo, levanta-se a questão: “*Como poderia qualquer aprendiz reinventar definições, conceitos e conhecimentos, se as melhores e mais privilegiadas cabeças da história levaram anos ou séculos para elaborá-los?*” (Laburú et al., 2001). Segundo estes últimos autores, a asserção que afirma que o conhecimento não pode ser transferido ou transmitido vai de encontro ao bom senso. É incontestável que os pais instruem as crianças numa série enorme de assuntos e os professores em

⁷⁶ Apesar do ensino empregado envolver momentos que tendem a uma linha mais tradicional quando se trata de buscar uma inteligibilidade das novas concepções nos alunos, como se verá, nada impede que um professor adote um estilo diferente que acredite obter melhores resultados para torná-las inteligíveis.

matérias complexas como matemática, ciências e história. Quem não assistiu um vídeo, uma palestra, um debate, ou mesmo, leu um bom livro, e constatou que aprendeu muito com as idéias novas transmitidas pela linguagem escrita do autor ou, no primeiro caso, assistidas através do vídeo? Também é fácil verificar que quase a totalidade da comunicação e troca de informação interpessoal do dia-a-dia se dá via transmissão verbal direta, sem que exista nenhuma técnica construtivista especial por detrás. É inegável o legado construtivista no qual a transferência de significado através da linguagem não implica que se possa aprender tudo o que é ensinado. Mas, aí em dizer que significados não são passíveis de transferência, de que não se pode fornecer às pessoas, numa audiência, qualquer novo conceito, mas apenas estimulá-los a combinar, de diferentes maneiras, os conceitos com as palavras que se usa, é afrontar as evidências. (ibid.).

Portanto, o que leva ao emprego desse estilo de ensinar é o pensamento de que os conceitos científicos são aprendidos pelo indivíduo via interação direta com a fonte desse conhecimento, ou seja, professor, livro, ou uma outra pessoa que também o detém e possa transmiti-lo, etc. Lembrando a afirmação de Matthews (apud Laburú et al., 2001, p. 169): *“Definições (significados) não são construídas pelo indivíduo, elas são ‘aprendidas’ pelo indivíduo”*.

Dos comentários acima, tentou-se justificar a posição tomada para alguns momentos em que se necessita de uma transmissão direta dos conceitos científicos pelo educador. No entanto, é importante dizer que a presente estratégia, ao aderir um pouco desse espírito, não se torna um didatismo tradicional. Permanece construtivista, pois considera os pensamentos dos alunos, isto é, as concepções alternativas, permitindo envolvê-las em discussões e confrontá-las com as científicas.

5.1 A ESTRATÉGIA DE ENSINO LAKATOSIANA

Nesta seção, apresenta-se a estratégia de ensino lakatosiana deste trabalho. Procura-se envolver ao longo dessa apresentação as inspirações teóricas nos referenciais que foram discutidos em capítulos anteriores e que levam à sua elaboração.

Um dos referenciais é a estratégia pedagógica de Niaz (1998). Este autor estruturou uma seqüência de pós-testes que levaram semanas para avaliar o desenvolvimento do aprendizado de equilíbrio químico em sua estratégia. Curiosamente, não se nota em sua pesquisa

de 1998 uma recomendação mais pragmática⁷⁷ para que um educador possa seguir. Imagina-se aqui que talvez ele discorde de uma recomendação nesse sentido, conforme divulgou nas conclusões de uma recente pesquisa: “*Em ciência não há nenhuma verdade absoluta, nem um método científico e, por conseguinte, não pode haver regras, métodos, algoritmos, ou passos predeterminados para iniciar uma mudança conceitual*” (Niaz, 2006b, p. 145). Se isso está correto, quando um professor finaliza uma aula, não seria cabível registrá-la para investigar o que o conduziu a obter um êxito instrucional ou mesmo um fracasso, pois não seria possível aprender com a experiência. É verdade que não se pode estabelecer um único método ou passos predeterminados que poderiam ser seguidos para iniciar um processo de ensino inquestionável, mas se o entendimento presente na citação acima é o de que não se pode propor uma seqüência de passos que seguidos possam resultar numa aprendizagem, é desconsiderar as evidências, sendo que muitas pesquisas divulgam metodologias de ensino a serem seguidas. Aliás, sabe-se que, ao se apropriar de uma metodologia qualquer, ao segui-la, naturalmente, pergunta-se o que é preciso fazer em primeiro lugar, em segundo, e assim por diante. Portanto, reconhecendo que existem divulgados vários tipos de atitudes ou princípios educacionais para que haja uma possibilidade de êxito instrucional, nada impede que sejam explicitadas seqüências de passos para orientarem um professor no processo educacional. Portanto, entendendo aqui que as recomendações⁷⁸ de Niaz (1998) são ainda muito gerais para um educador, a discussão acima procura justificar a elaboração de uma seqüência de passos para a presente estratégia de ensino.

Um dos fundamentos da seqüência de passos que se mostrará é a premissa de que os conflitos cognitivos são gerados pelos próprios estudantes ao enfrentarem diferentes problemas com suas concepções, premissa inicialmente presente na estratégia de Niaz (ibid., p. 107). Niaz (ibid., p. 113) destaca várias pesquisas que reconhecem a importância do conflito cognitivo como uma estratégia de ensino. No entanto, há divulgação da impossibilidade de simples conflitos cognitivos promoverem por si uma mudança conceitual satisfatória (Chinn e Brewer, 1993 e 1998; Laburú e Arruda, 1998, p. 262). Em 1989, Rowell já publicara uma estratégia que resolvia, a princípio, esse problema. Isso ocorreu por influência da Filosofia da Ciência pós-positivista, ao referenciar: “*não há nenhuma falsificação antes do aparecimento de*

⁷⁷ Na sensação de prática para um educador, como uma seqüência de passos a exemplo da que pode ser vista em Rowell (1989) ou da que mais adiante se propõe.

⁷⁸ Páginas 29 e 30.

uma teoria melhor” (Rowell, 1989). Educacionalmente, por analogia a essa condição necessária para o abandono da teoria atual que é a disponibilidade de uma outra capaz de substituí-la, é aceitável que essa condição também seja a de maior influência para que um aluno inicie o processo de mudança em suas concepções. Por tal condição, a estratégia de Rowell (ibid.) fundamenta-se no construtivismo piagetiano, constituindo-se basicamente numa seqüência de cinco passos: P1 – revelação das concepções alternativas; P2 – construção de generalizações indutivas para a teoria científica e problemática para a concepção alternativa; P3 – uso de experiências; P4 – interpretação dos resultados dessas experiências com a teoria científica; P5 – confronto dos méritos das teorias para o julgamento da melhor.

O aspecto importante dessa seqüência é que ela inicia com levantamento das concepções alternativas, que são, nesse momento, guardadas pelo professor e, só após a construção das concepções científicas, são apresentadas aos alunos para a realização de comparações entre os méritos e deméritos das teorias rivais para que haja a escolha da melhor. Da estratégia de Rowell (ibid.), portanto, com exceção do referencial piagetiano, procura-se estruturar uma seqüência de passos semelhante em respeito à condição que se destacou acima. Aliás, Niaz (1998, p. 111) também está de acordo com esse pensamento filosófico para auxiliar o processo de ensino e de aprendizagem.

Uma intenção em comum que a presente estratégia de ensino lakatosiana possui com as estratégias de Rowell (1989) e Niaz (1998) é estabelecer um ensino racional dos conceitos científicos. Para isso, é possível dizer que o pensamento fluente ressoa com a advertência de Matthews (1994, p. 93) de que a racionalidade é um tópico central em filosofia da ciência que é importante ao ensino de ciências. Por outro lado, as divergências metodológicas entre tais estratégias podem ser descritas da seguinte maneira. Diferentemente de Rowell (1989), a presente estratégia baseia-se em uma inserção de episódios distorcidos da história da ciência no processo educacional dos conceitos científicos. Além disso, e agora diferente também do que Niaz (1998) divulgou, os episódios históricos reconstruídos usados na atual estratégia buscam envolver implicitamente uma inspiração na racionalidade de Lakatos (1970), com o intuito de preparar racionalmente o aluno num primeiro momento para favorecer a aceitação das concepções científicas, quando discutidas com as concepções alternativas, cuja visão de racionalidade pretende-se prevalecer. A justificativa para essa última seqüência, que é a inserção da história distorcida da ciência anterior às discussões entre concepções alternativas e científicas para

auxiliar o ensino, tem, mais ou menos, o sentido da afirmação de Matthews (1994, p. 86) que se discutiu no primeiro capítulo: “*Estudantes sem uma exposição anterior para tal debate pode ser igual a uma criança da zona rural em sua primeira visita à cidade grande*”. Mais que isso, para dar continuidade às analogias que constituíram o Instrumento Analítico-Pedagógico Lakatosiano e estabelecer um avanço recomendado pelas pesquisas anteriores já especificadas, buscar-se-á deixar para o educador uma forma de trabalhar um tipo de falseacionismo inspirado no de Lakatos (1970 e 1971).

Também é de se destacar uma questão importante referente aos instrumentos indispensáveis desta estratégia, que são o conflito cognitivo e a controvérsia. Apesar de serem explorados em muitas técnicas de ensino, por tal inspiração racional, propõe-se utilizar esses instrumentos com detalhes de refutação e aceitação de teorias bem específicos. Mostrou-se, em capítulo anterior, que Lakatos estabelece critérios em que é possível analisar e concluir quando um programa de pesquisa torna-se progressivo ou degenerativo em comparação com um rival. Uma vez compreendido todo o arcabouço teórico e empírico de ambos ao julgar seus méritos relativos, é comum que tais critérios de escolha façam com que o degenerativo ceda seu espaço para um rival mais progressivo. Por analogia, esta estratégia baseia-se na transposição do critério de escolha lakatosiano para o ambiente de sala de aula em momentos de instrução dos conceitos científicos, quando se cria uma dinâmica de discussões sobre as explicações e previsões das teorias, acreditando que isso possa ser uma ferramenta que auxilie a aceitação racional dos novos conceitos pelos alunos. Anterior a isso, outras pesquisas (Laburú e Arruda, 1998; Laburú et al., 1998; Silva e Laburú, 2002; Laburú e Niaz, 2002) já apontavam para essa direção ao afirmarem a possibilidade das concepções alternativas serem classificadas em programas alternativos que competem em termos explicativos com as rivais que o professor pretende ensinar, classificadas como programas científicos. Nesses últimos casos, um paralelismo foi estruturado a partir das heurísticas negativa (núcleo do programa) e positiva (cinturão de hipóteses auxiliares). Uma aproximação mais completa sugere que esta estratégia siga o critério de eliminação de teorias proposta por Lakatos que diz que a razão objetiva para uma escolha entre programas de pesquisa é proporcionada por um programa que explica o êxito anterior de seu concorrente e o suplanta por uma demonstração adicional de força heurística (Lakatos, 1970, p. 191). Além dessa demonstração de força heurística que permite um programa ser classificado como progressivo, uma analogia pode ser estabelecida ao avaliar um programa como degenerativo pelo sinal típico

de proliferação de fatos contraditórios (ibid., p. 202). Assim, a presente proposta admite uma analogia maior, analogia esta entre a metodologia dos programas de pesquisa científica de Lakatos e uma metodologia das concepções alternativas dos alunos diante das científicas.

Em acordo ao que se discutiu até o momento, apresenta-se agora a sintética seqüência de passos da estratégia de ensino lakatosiana aqui elaborada:

Passo 1: Revelar as concepções alternativas dos alunos em determinado conteúdo para encará-las como se fossem “programas”. Isso pode ser feito de várias maneiras, como avaliações usando questionários, questões orais e discussões em grupo, dentre outras. Essas concepções devem ser registradas pelo professor e serem somente usadas no passo 5;

Passo 2: Apresentar duas teorias científicas rivais, preferivelmente que uma delas seja a atual que se pretende ensinar. Discutir com os alunos os postulados (núcleo) de cada teoria e analisar as diferenças explicativas para certos fenômenos. Neste passo, é interessante que o professor escolha os fenômenos que ambas as teorias explicam, para que inicialmente os alunos as vejam igualmente fortalecidas. O objetivo aqui é tornar inteligível tanto a teoria científica atual como a teoria científica antecessora;

Passo 3: Avaliar as inteligibilidades alcançadas no passo anterior. Isso pode ser feito por meio de uma folha com questões relativas ao assunto entregue ao aluno. Obviamente que o passo 2 deve ser bem trabalhado com os alunos para que um nível satisfatório das inteligibilidades seja alcançado para dar continuidade aos próximos passos;

Passo 4: Apresentar a RRD para os alunos. Nessas discussões também é possível reforçar as inteligibilidades das teorias científicas, mas o principal interesse é que as discussões de superação de uma teoria frente uma rival sejam direcionadas pela racionalidade inspirada nos critérios do falseacionismo lakatosiano, intencionadas em influenciar o estudante por tal racionalidade. Nesse sentido, ao realizar previsões de fenômenos com ambas teorias, o estudo deve alcançar uma interpretação da proliferação de fatos contraditórios à teoria científica antecessora. Isso por estabelecer fenômenos cujas interpretações permitem contradições com aquelas em que essa teoria foi vista fortalecida no passo 2. Já para a teoria científica atual não há essa proliferação. Logo, analogamente, procura-se provocar um entendimento de degeneração (enfraquecimento) de uma teoria frente uma rival, fundamentando-se no critério do grau de explicações sem contradição. Uma maneira prática é estabelecer leituras da RRD para discussão;

Passo 5: Da mesma forma como se conduziu racionalmente a discussão pela RRD, agora se inicia a discussão racional entre concepções alternativas e a teoria científica que foi vencedora no passo anterior. Essa racionalidade tem a pretensão de orientar a aceitação de novas concepções. Para isso, neste passo o professor apenas resgata e apresenta aos alunos quais concepções alternativas foram encontradas no passo 1 e as compara com a teoria científica, então inteligível. Realizam-se confrontos entre as explicações e previsões que as concepções alternativas e a teoria científica fazem sobre os fenômenos, buscando clarear as interpretações de ambas;

Passo 6: Em consequência do passo 5, aqui é importante estabelecer uma insatisfação com o programa alternativo da mesma forma como se tentou com o programa degenerativo da RRD no passo 4. A anomalia emerge quando, na resolução de um determinado problema científico através da teoria aceita, surge uma dificuldade conceitual ou empírica que outra teoria não manifesta. Esta última então, torna-se candidata natural à aceitação pela comunidade científica. Segundo Villani et al. (1997, p. 40), na aprendizagem, a anomalia real gera insatisfação em relação ao senso comum, e se manifesta quando tais concepções não conseguem dar conta do objetivo do estudante, mas as do conhecimento científico conseguem. Para que as comparações entre as teorias, então esclarecidas, continuem sendo realizadas, pode existir uma alternância entre momentos de dialógicos e outros mais de transmissão direta do conhecimento. Como as experiências são cruciais para provocar conflitos cognitivos e controvérsias e que, dependendo da intervenção racional do educador e estando uma vez inteligível o programa científico, é possível favorecer o convencimento e a tomada de decisão nos aprendizes para a escolha da melhor teoria (Rowell, 1989). É a partir de então que o professor, após ter fortalecido seus argumentos pelos resultados experimentais, procura enfraquecer o núcleo do programa alternativo ao seguir a analogia com o critério de eliminação de teorias. Lembrando a principal recomendação de Niaz (1998) nesse sentido: *“a complexidade cognitiva das convicções nucleares pode ser quebrada por uma série de questionamentos. Isso pode ser facilitado quando são distinguidas as concepções nucleares, que são mais resistentes a mudanças, de suas explicações auxiliares”*. Assim, com maior força heurística e se tornar teoricamente e empiricamente progressivo, o programa científico deve ter prestígio para ser aceito com maior facilidade pelos estudantes de forma objetiva e racional;

Passo 7: Uma segunda avaliação é feita. Esse passo serve para verificar se os aprendizes realmente adquiriram o novo compromisso epistemológico racionalmente, isto é, se assimilaram

a nova concepção. O que pode ser verificado através da frutificação de explicações compatíveis com a teoria científica.

Chalmers (2000, p. 28) afirma que

certamente uma característica importante da ciência é sua capacidade de explicar e prever. É o conhecimento científico que possibilita a um astrônomo prever quando vai ocorrer o próximo eclipse do sol ou a um físico explicar por que o ponto de ebulição da água é mais baixo que o normal em grandes altitudes.

Essa característica é possível de se perceber entre os passos acima, permitindo dizer que esta estratégia de ensino lakatosiana considera essa essência da atividade científica como importante no processo educacional.

Contudo, é necessário dizer que o processo de ensino assim estruturado, a partir de detalhes específicos da epistemologia de Lakatos, limita-se a uma analogia que precisa ser mais bem discutida. Em Laburú e Silva (2001), há a insistência de que não é possível defender uma transferência automática da dinâmica dos programas de pesquisa das ciências empíricas para a dinâmica do pensamento dos alunos em ambiente de aprendizagem, que é um ambiente totalmente diferente do científico. Autores como Osborne (1996, p. 67), Ogborn (1997, p. 122) e Nola (1997, p. 79) apóiam esse raciocínio, pois, segundo eles, não existe uma necessária conexão funcional epistemológica entre fazer ciência e os métodos pelos quais ela é aprendida e, principalmente, ensinada para os não-cientistas⁷⁹. Essa Estratégia de Ensino Lakatosiana permanece, novamente insistindo, com uma analogia que inclusive apresenta pontos fracos. As experiências realizadas em classe podem se aproximar muito mais de experiências cruciais em que Lakatos especifica modelos monotéóricos (Lakatos, 1970, p. 158) do que o que ele propõe como modelos pluralísticos de teste, em que várias teorias, mais ou menos dedutivamente organizadas, estão soldadas uma nas outras⁸⁰. Deve-se entender, portanto, que não é mais do que uma analogia, ou aproximação, categorizar as concepções alternativas dos alunos em programas. Mais ainda, se as experiências realizadas em classe tendem a se tornar cruciais, há, então, uma incompatibilidade com as reflexões de Lakatos, pois, sua interpretação da História da Ciência revela que é somente através de uma longa visão retrospectiva que se denomina uma experiência de “crucial”. É somente quando um programa de pesquisa, chamado progressivo, é visto com um

⁷⁹ Visto que, nesta ocasião, a Filosofia de Lakatos não é apresentada explicitamente em sala de aula. A inclusão filosófica ocorre em limites e, acima de tudo, implícita nas discussões.

⁸⁰ Mais especificamente, uma série de teorias. Ou na maior definição, um autêntico programa de pesquisa.

excesso de conteúdo empírico comparativamente com outro (assim degenerativo) por possuir uma corroboração de seu conteúdo empírico adicional. Em situação real de sala de aula procura-se encurtar (muito) a duração desse processo. Além do mais, Lakatos (apud Niaz, 1998, p. 123) enfatizou que, na ciência, o núcleo de um programa se desenvolve lentamente por um processo preliminar longo de tentativa e erro e não emerge completamente armado como “*Atenas na cabeça de Zeus*”. Contrariamente, no processo de ensino e de aprendizagem, o professor é o possuidor do conhecimento científico, assim como os livros. Assim, as novas concepções estão disponíveis e podem ser apresentadas para os alunos, surgindo muito mais rápidas do que na atividade científica.

5.2 A ELABORAÇÃO DA RECONSTRUÇÃO RACIONAL DIDÁTICA (RRD)

Conforme se discutiu na seção anterior, o passo importante em comparação com as estratégias de Niaz (1998) e Rowell (1989) refere-se à inserção da RRD. Logo, torna-se necessário apresentar os detalhes que possam orientar a sua elaboração. Nessa elaboração, uma concepção que se deve ter como relevante é a de que, ao se ensinar história distorcida da ciência ou história genuína, assim como a própria ciência, ensina-se também, em algum grau, uma filosofia (Mathews, 1994, p. 83; Allchin, 2004, p. 188). Na elaboração de uma RRD, com inspiração na filosofia lakatosiana, deve-se obedecer a certas metodologias normativas pelas quais é possível oferecer uma explicação racional do desenvolvimento do conhecimento científico. Assim, é necessário omitir tudo o que é irracional diante da teoria da racionalidade adotada, selecionando fatos que são metodologicamente interpretados. Mais ainda, é possível adaptar comentários com os programas científicos rivais dessa elaboração, no sentido da ‘pitada de sal’, ou melhor, das ‘toneladas de sal’ lakatosianas que se exemplificou no caso do programa de Bohr em seção específica do primeiro capítulo (1.1.2.). As ficções históricas, portanto, prevalecem a fim de satisfazer uma ideologia científica ou visão de ciência presente na RRD, justificadas em auxiliar fins pedagógicos.

Mais especificamente, a RRD que aqui se propõe elaborar com fins instrucionais segue os seguintes aspectos:

1. “*A presença de duas ou mais teorias num mesmo campo científico é em geral a situação que antecede e desencadeia as mudanças científicas*” (Barra, 1993, p.119). Perante isso, à

medida que os cientistas se vêem diante de um novo sistema teórico alternativo e em grande parte incompatível com o primeiro, a partir do qual, num passado mais ou menos remoto seus campos de pesquisa fundamentaram e desenvolveram-se, é certo que a escolha por algum destes sistemas sempre ocorre por uma avaliação mediante determinados critérios. Desse entendimento, na RRD deve haver pelo menos duas posições teóricas rivais e sucessivas, caracterizando os critérios que influenciaram a aceitação da sucessora;

2. Os postulados que constituem o núcleo de uma teoria devem ser apresentados como tendo dificuldades para refutação, nos quais os cientistas depositam a maior confiança;
3. Estabelecer contra-exemplos que caracterizem as dificuldades teóricas. Por tais dificuldades, apresentar o surgimento de hipóteses auxiliares que devem ser entendidas como tentativas para se obter sucesso, mantendo as concepções nucleares intactas;
4. A avaliação teórica não ocorre entre a teoria e a experiência, tendo esta última como juíza para a primeira, mas com testes entre pelo menos duas teorias e a experiência. Assim, somente após o surgimento de uma teoria rival sucessora que explique o êxito de sua rival e a suplanta por uma demonstração adicional de força heurística que se verifica a superação de uma teoria por outra.

Esses são os aspectos aqui sugeridos para a elaboração de uma RRD de inspiração lakatosiana. Niaz e Rodriguez (2002) garantem que reconstruções racionais são possíveis e inclusive recomendam que sejam feitas para o ensino de ciências. Como se comentou no segundo capítulo, a RRD que se propõe não se compromete com reconstruções históricas completamente autênticas (Mäntylä e Koponen, 2007; Izquierdo-Aymerich e Adúriz-Bravo, 2003). Conforme Allchin (2000), uma reconstrução racional não é concernida com o processo da história, somente seu produto. Nesse sentido, os nomes e as datas que são atribuídos às idéias específicas na RRD são meramente incidentais à sua finalidade pedagógica ao se adotar uma ideologia científica ou visão de ciência.

Um exemplo de RRD pode ser visto no apêndice 4, texto este que foi aqui preparado para ser inserido num passo específico desta aplicação da estratégia de ensino lakatosiana.

5.3 CALOR E TEMPERATURA: DIFICULDADES E ESCLARECIMENTOS CONCEITUAIS

Esta seção é importante por apresentar reflexões que destacam preocupações e considerações interessantes ao processo educacional dos conceitos de calor e temperatura no nível escolar em que se pretende ensiná-los.

Na física, é possível que um dos conceitos mais difíceis de aprender, como também de ensinar, seja o de calor. Niaz (2006, p. 269) afirma que os adolescentes carregam notáveis dificuldades para diferenciarem calor e temperatura, referenciando dezoito pesquisas nesse sentido. Segundo Diaz (apud Teixeira, 1992, p. 76), essas dificuldades são de difícil superação devido a muitos estudantes que terminam o bacharelado (em física) persistirem nas concepções espontâneas sobre calor. Pode-se ir ainda mais longe que isso. Surpreendentemente, numa situação, Lewis e Linn (apud Laború e Niaz, 2002, p. 211-212) mostraram que até mesmo PhDs em física e química tiveram dificuldades em explicar a diferença entre calor como energia e temperatura. Agora, de maneira agravante, Cindra e Teixeira (2004a, p. 179) relatam que

em muitos livros, principalmente os de química e de física introdutória, são utilizadas expressões infelizes, referindo-se, por exemplo, ao ‘calor de um corpo’ como se o calor fosse uma propriedade do corpo; ou ainda empregam termos como ‘energia térmica’, por meio de um conceito indefinido, muitas vezes obscuro e ambíguo.

Conforme estes últimos autores, algumas pesquisas avaliaram livros didáticos para o ensino médio e mostraram que a maioria deles estabelece princípios inadequados, tais como o calor pensado como um fluido contido nos corpos, que, de alguma maneira, poderia passar de um corpo para outro. Exemplos de frases encontradas em livros didáticos são: “*é o fluxo de calor cedido ou absorvido*”, “*passa calor do primeiro para o segundo*”, “*o calor que tem um corpo*”, “*a energia térmica que toma ou cede*” (ibid), e assim por diante. Cindra e Teixeira (2004a) afirmam que as frases são confusas e os modos de explicação estão mais coerentes com a teoria do calórico que com a atual. Aliás, para a definição do conceito de calor, parece que o significado preciso do termo não existe entre muitos autores de livros-texto. Uría (apud Teixeira, 1992, p. 71) destaca que a dúvida surge entre três opções: “*um processo de transferência de energia; a forma em que a energia se manifesta em tal processo; a quantidade de energia transferida nesse processo*”.

Neste momento, caso o leitor seja um físico, ou químico, ou mesmo um estudante que se julgue ter um claro conhecimento dos conceitos em discussão, talvez se questione que as dificuldades apresentadas podem estar demasiadamente exageradas. Mas ainda assim, é interessante que o leitor note que se necessita de uma considerável concentração para responder corretamente, por exemplo, a uma questão aparentemente trivial levantada por Sears et al. (1984, p. 405): “*Não é correto se afirmar que um corpo tem uma certa quantidade de calor, embora o seja dizer que este corpo transferiu calor para um outro. Como é possível um corpo fornecer algo que não tem?*”. Logo, é relevante a dificuldade de compreensão que a noção de calor carrega para o processo de ensino e de aprendizagem e que, por essa consideração, deve-se acreditar que o ensino dos conceitos de calor e temperatura se torna um desafio para qualquer tentativa nesse sentido.

Uma implicação dos comentários até aqui é que as dificuldades encontram-se na fonte das informações. É verdade que não se pode garantir êxito instrucional somente admitindo a condição de dominar o conhecimento que se pretende ensinar; no entanto, é verdade que não se pode ensinar aquilo que não se sabe. Segue disso de maneira óbvia que o entendimento do conceito de calor do educador é, como ponto de partida, a condição necessária no processo educacional. Assim sendo, parte-se agora para os necessários esclarecimentos conceituais de calor⁸¹ e temperatura, iniciando com este último para depois mais extensamente discutir o primeiro.

Em sistemas mecânicos são necessárias três grandezas fundamentais: comprimento, tempo e massa. Todas as outras grandezas são expressas em termos dessas três. Mas, em fenômenos térmicos, necessita-se de uma quarta grandeza fundamental: a temperatura. E da mesma maneira que as outras três grandezas, a temperatura é uma grandeza que se determina quantitativamente. No desejo de agora apresentar uma definição qualitativa desse conceito, sem expressões matemáticas, raramente encontram-se em livros de ensino superior sentenças mais diretas do tipo: a temperatura é... . Por exemplo, Gerthsen et al. (1998, p. 193) afirmam que “*a temperatura é apenas uma medida diferente da energia cinética média das moléculas*”. Já Tipler (1978, p. 399) apresenta somente uma definição operacional na seguinte forma usual: “*a temperatura é o que medimos com um termômetro*”. No entanto, em livros de ensino médio já é

⁸¹ É necessário dizer que se está respeitando as conceituações presentes em alguns livros teóricos de nível superior, apropriados para o estudo do assunto em discussão.

possível encontrar definições como: “*temperatura é uma grandeza que permite avaliar o grau de agitação térmica das moléculas de um corpo*” (Paraná 1999, p. 16).

Historicamente, Cindra e Teixeira (2004b, p. 240) comentam que, inicialmente, o conceito de temperatura ainda não havia se separado do conceito de calor e foi aos poucos se estabelecendo como uma grandeza fenomenológica. Estes autores ainda comentam que, posteriormente, à medida que houve um aprofundamento na compreensão dos fenômenos térmicos, o conceito de temperatura foi sendo mais bem aprimorado, na medida que os cientistas passaram a fazer uso de explicações batígenas⁸².

A respeito da abordagem cinético-molecular para a temperatura, Cindra e Teixeira (ibid., p. 244) apresentam as seguintes características:

É definida independentemente do movimento do sistema em relação ao observador; Possui caráter essencialmente estatístico – não tem sentido se referir à temperatura de uma ou de pouca partículas; Assume somente valores positivos; e, Depende da energia cinética média de translação das partículas.

No presente trabalho, assume-se que a temperatura pode ser entendida como uma medida indireta do nível da agitação média das partículas de um sistema, pois, o que se faz comumente é associar esse suposto nível do estado do sistema a uma medida, por exemplo, da altura de uma coluna de mercúrio. A temperatura, por essa conceituação, não sinaliza tantas dificuldades de ensino e de aprendizagem quanto a de calor, como é possível perceber pela discussão a seguir.

Aprende-se facilmente que calor é energia. Apesar da associação estar correta, é preciso discutir que, por melhor que seja a compreensão de energia, tal compreensão não é suficiente para que se compreenda calor. Pode-se dizer que essa associação não é mais do que uma maneira simplista de se explicar o conceito de calor e que, caso não se entenda os detalhes que dão o real significado do termo, pode-se chegar a mencioná-lo incorretamente em diversas situações⁸³. E, se isso acontece, é de se concluir que não se sabe o que seja calor. Para exemplificar uma dificuldade conceitual, tenta-se responder a questão que se levantou no

⁸² O complexo visível, ou mundo macroscópico, na explicação batígena é entendido por elementos simples invisíveis, os átomos ou outras estruturas microscópicas. Dessa maneira, em qualquer nível de explicação batígena fica sem explicação o nível inferior. Se a temperatura for explicada por meio de átomos, ainda falta explicar estes átomos. Se forem explicados os átomos em termos de partículas subatômicas, ficam ainda sem explicação estas partículas, e assim por diante. (ibid., p. 242).

⁸³ Muito se usa o termo equivocadamente em situações cotidianas, estando ciente do equívoco quando uma análise do uso é requisitada. Mas, em situações em que a devida aplicação do termo é requerida, como em situações de ensino e de aprendizagem, equivocar-se significa não entendê-lo.

penúltimo parágrafo apenas com o entendimento: calor é energia. Ao admitir que um corpo transfere energia (calor) para outro, segue desse raciocínio que, se o corpo transferiu uma energia que possuía é porque possuía calor, que é entendido como a energia que foi transferida por inicialmente se encontrar no corpo. Logo, apenas definindo calor como energia, ainda que esta esteja profundamente compreendida, tem-se um entendimento insuficiente para responder a “simples” questão levantada, pois é errado concluir que um corpo tenha calor.

Uma breve discussão sobre a evolução do conceito de calor permite esclarecer um pouco das razões dos entendimentos confusos a seu respeito. Atualmente, o termo científico calor é herdeiro do termo calor da teoria calórica, na qual o calor não pode ser criado nem destruído. Mas, no século XVIII, no domínio da teoria calórica, as pessoas questionavam sobre a possibilidade de se criar calor. Historicamente, conta-se que Benjamin Thompson interpretava que “*o calor produzido era aproximadamente proporcional ao trabalho realizado pela broca*”⁸⁴ em suas medidas numa fábrica de canhões. Segundo Tipler (1978, p. 421), quarenta anos depois das experiências de Thompson, a teoria calórica permanecia dominante, embora tivesse sido aos poucos enfraquecida à medida que se observavam novos exemplos da não conservação do calor. Já a teoria mecânica do calor corporificou-se somente na década de 40 do século XIX (ibid., p. 422). Segundo esta teoria, Tipler (ibid., p. 422) afirma que:

O calor é uma outra forma de energia, permutável a taxa constante com as outras formas de energia mecânica... Joule demonstrou que o aparecimento ou o desaparecimento de uma quantidade de calor é sempre acompanhado pelo desaparecimento ou aparecimento de uma quantidade equivalente de energia mecânica. As experiências de Joule, e de outros, mostraram que nem o calor, nem a energia mecânica, podiam ser independentemente conservados, mas que a energia mecânica perdida era sempre igual ao calor produzido (medidas as duas grandezas na mesma unidade). O que se conserva é a energia mecânica mais a energia térmica⁸⁵.

Na citação acima, sobre os grifos que propositadamente aqui foram colocados pode-se notar que o entendimento natural que se tem é que as pessoas começaram a admitir a produção/geração/criação de calor⁸⁶, por meio de uma interpretação de conservação da energia mecânica na qual trabalho se converte em calor e vice-versa. É preciso entender que esses comentários pertencem a um período histórico de transição de modelos científicos, em que o

⁸⁴ Tipler 1978, p. 421.

⁸⁵ Energia térmica e calor são fisicamente entendidos como sinônimos (Tipler, 1984, p. 485; Orear, 1981, p. 187).

⁸⁶ Contrariando o postulado da não-criação de calórico da teoria calórica.

conceito de calor ainda estava confuso. Embora a conversão tenha tomado o caminho decorrente no estabelecimento do princípio da conservação da energia, como no caso da primeira lei da termodinâmica, não segue como apropriado o uso do conceito de calor em qualquer situação de elevação de temperatura, como no caso de uma elevação de temperatura por trabalho, que mais adiante se discutirá. Nesse sentido, procura-se mostrar que não é confortável falar em produção de calor, como também da necessidade de se ter maior atenção ao afirmar que trabalho converte-se em calor.

Entre os livros mais utilizados nos anos iniciais da graduação em física, podem ser encontradas as seguintes definições de calor: “*Calor é a energia que é transferida entre um sistema e seu ambiente, devido a uma diferença de temperatura que existe entre eles*” (Halliday et al., 1993, p. 183); “*Calor é a energia transferida⁸⁷ entre um sistema e sua vizinhança, devido exclusivamente a uma diferença de temperaturas entre o sistema e alguma parte de sua vizinhança*” (Keller et al., 1999, p. 449); “*Calor é a energia transferida graças a diferenças de temperatura*” (Tipler, 1978, p. 399). Nussenzveig (1990, p. 292) está de acordo com estes autores por confirmar essa definição ao analisar uma situação com a primeira lei da termodinâmica e dizer que o calor Q representa a energia transferida entre o sistema e sua vizinhança, devido a diferenças de temperaturas. Sears et al. (1984) mencionam: “*Chama-se fluxo de calor o processo de transferência de energia que ocorre exclusivamente em virtude de diferenças de temperaturas*” (p. 346); “*Fluxo de calor é uma transferência e energia efetuada devido apenas a uma diferença de temperatura*” (p. 347). E diferenciam esse fluxo de calor da quantidade de calor ao dizerem: “*o calor é a energia transferida para o sistema, ou do sistema, em virtude de uma diferença de temperatura entre o sistema e o meio*” (ibid., p. 393). Já Orear (1981, p. 183) comenta:

Calor é uma transferência, de um corpo para outro, de parte da energia ‘escondida’ das partículas. A energia interna (energia das partículas) do primeiro corpo pode ser aumentada ... colocando-o em contato com um segundo corpo mais quente. Aí, a energia calorífica flui do segundo corpo para o primeiro.

Dois conclusões pelas definições acima devem ser tiradas. Uma delas é que há o entendimento de calor como energia e também como transferência de energia. A outra é que há unanimidade no entendimento de que somente quando há troca de energia por uma diferença de temperatura é que o conceito de calor toma sentido, conforme se nota nas citações

⁸⁷ Keller et al. (1999, p. 450) também mencionam que o calor é uma transferência de energia como se vê na frase: “*Como uma transferência de energia, o calor tem dimensões de energia*”.

intencionalmente grifadas. Diante disso, algumas reflexões nessas conclusões se fazem necessárias. Em primeiro lugar, procura-se na seqüência discutir o entendimento que se deve ter da ambígua definição de calor como energia e transferência de energia. Depois, far-se-á uma discussão sobre o uso desse conceito em situações de aquecimento.

Iniciando a primeira discussão, pretende-se responder a pergunta levantada no segundo parágrafo desta seção: “*Como pode um corpo fornecer algo que não tem?*” (Sears et al., 1984, p. 405). Para isso, a seguinte situação exemplifica transferências de energia que permitem concluir um satisfatório significado científico que o conceito de calor⁸⁸ pode carregar.

A figura abaixo esquematiza um sistema que consiste numa certa quantidade de um gás. Em (a), faz-se o sistema aumentar a temperatura de ΔT num processo que envolve fluxo de calor através de uma parede diatérmica no fundo do recipiente, numa transformação em que não haja variação do volume do recipiente. O mesmo sistema também pode se encontrar na situação (b), na qual está envolvido por paredes adiabáticas (não havendo fluxo de calor) e sofre uma compressão adiabática. Nota-se que a mesma variação de temperatura ΔT que é produzida por uma troca de calor em (a) pode ser produzida apenas pela realização de trabalho na compressão adiabática em (b).

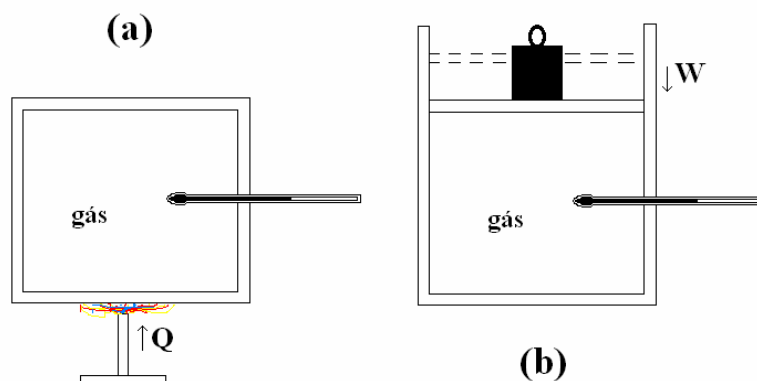


Figura – Representação de duas situações de transferência de energia:
a) transferência de energia por calor; b) transferência de energia por trabalho.

Pode-se descrever os resultados dos dois processos esquematizados na figura, dizendo que fluxo de calor e realização de trabalho são equivalentes. Uma vez completo qualquer dos processos, a energia do sistema será maior que antes e nenhuma experiência poderá dizer se

⁸⁸ Assim como o de trabalho, embora este não seja o principal foco da atenção nessa discussão.

esse acréscimo foi causado por fluxo de calor ou transferência de trabalho. É preciso entender que, embora a soma de Q e W resulta em ΔU , a energia interna (U) de um sistema não pode ser considerada como a soma de componentes de “calor” e “trabalho”. Isso, conforme Callen (1985, p. 20), porque “*calor, como trabalho, é somente uma forma de transferir energia*”.

Coerentemente, Sears et al. (1985, p. 347) afirmam que seria muito melhor usar a palavra calor apenas em referência a um método de transferência de energia e, quando essa transferência se completasse, referir-se à quantidade total de energia assim transmitida. É nesse sentido que se procura responder à pergunta levantada a pouco, quer dizer, um corpo não tem calor, tem energia, mas quando se transfere parte dessa energia numa situação de diferença de temperatura, refere-se a ela como a quantidade de calor transferida, compreendendo-se, portanto, que o corpo teve um acréscimo de energia em forma de calor. Esse entendimento, além de não fazer referência ao “calor em um corpo”, satisfaz o uso da expressão “quantidade de calor” que tem desempenhado um papel tão importante em tantos livros didáticos e tabelas, sendo quase impossível de ser evitada.

Ademais, os conceitos de calor, trabalho e energia podem ser clarificados em termos de uma simples analogia realizada por Callen (1985, p. 20). Um certo fazendeiro possui uma lagoa que é abastecida de água por meio de um arroio e escoada por outro. A lagoa também recebe água da chuva ocasionalmente e perde água por evaporação, que se pode considerar como “chuva” negativa. Nessa analogia, a lagoa é o sistema, a água dela é a energia interna, a água transferida pelos arroios é o trabalho, e a água transferida como chuva é calor. É preciso notar que nenhum exame da lagoa a qualquer hora pode indicar quanto veio por via da chuva (calor). O termo chuva (calor) só se refere a um método de transferência de água. Supondo que o dono da lagoa deseja saber a quantidade de água que é transferida para a lagoa, ele pode obter a quantidade de água que dela entra e sai ao medir os fluxos dos arroios de entrada e saída. Ele também pode lançar um encerado de parede impermeável sobre a lagoa e medir a quantidade de água por meio da chuva. Se ele quiser represar uma quantidade de água por arroio e outra por chuva, ele pode avaliar o nível de água de sua lagoa por uma leitura numa vara vertical calibrada que indica o conteúdo total de água (energia interna). Assim, admitindo processos no sistema (lagoa) que tenha paredes adiabáticas (caso em que se considera a lagoa com paredes impermeáveis), o fazendeiro pode medir o conteúdo total de água de qualquer estado de sua lagoa. Ele pode

remover o encerado e permitir que a chuva, como também a água do arroio, abasteça a lagoa. Se lhe pedem que avalie a quantia de chuva que entra em sua lagoa durante um dia particular, ele simplesmente procede lendo a diferença do conteúdo de água da vara vertical e disto ele deduz do fluxo total de água que então possuía registrado. A diferença é uma medida quantitativa da chuva, ou melhor, da água da chuva.

Dessa analogia, portanto, procura-se mostrar que o arroio (trabalho) e a chuva (calor) podem ser entendidos como formas de transferir água e não a água (energia), embora se diga que a água transferida pelos arroios é o trabalho e que aquela água transferida pela chuva seja calor. Se tal analogia está correta, deve-se ter em mente que calor, é antes, uma forma de transferir energia e não a energia, embora a associação de calor como energia seja feita quando esta energia é transferida entre um sistema e sua vizinhança na condição de diferença de temperatura.

Assim discutido, parte-se agora para a segunda reflexão a ser realizada, referente ao uso do conceito de calor em situações de aquecimento.

Mostrou-se anteriormente, pelas definições de calor, que vários autores apresentam esse conceito vinculado à condição da necessidade de uma diferença de temperatura⁸⁹. Obviamente, não havendo tal condição, equivoca-se em mencionar calor numa situação de aquecimento. Para exemplificar esse equívoco, usa-se o comentário de Orear (1971, p. 106) a respeito de calor e atrito numa situação na qual um bloco de madeira é empurrado a uma distância x sobre uma mesa áspera:

Após o gasto desta energia, a energia cinética do bloco não aumentou e sua energia potencial também não aumentou. Para onde foi aquela energia? Observamos que se gera algum calor sempre que o bloco é empurrado. Quando os físicos aprenderam, pela primeira vez, a medir quantitativamente o calor, descobriram que a quantidade de calor produzida é sempre proporcional à quantidade de trabalho executado contra as forças de atrito. Este fator de proporcionalidade é conhecido como o equivalente mecânico do calor.

⁸⁹ O que contradiz conceituações equivocadas, encontradas em livros de ensino superior, como a de Gerhsen et al. (1998, p. 193) em que “*o calor é o movimento desordenado das moléculas*”. Aliás, de acordo com Sears e Zemansky (1959, p. 332), “*devem ser evitadas afirmações tais como ‘o calor em um corpo é a energia de movimento de suas moléculas’*”. Conceituação esta que leva a concluir que um corpo qualquer, por apresentar movimento desordenado das moléculas, possui calor, equivocando-se assim por conceituar o calor como uma variável do tipo pressão, volume, temperatura, ou mesmo energia interna, que caracteriza um sistema. Conforme Lee e Sears (1969, p. 90): “*Em Termodinâmica, o termo calor acha-se sempre associado a um processo e não ao estado de um sistema*”.

Nesta citação, duas observações podem ser realizadas. Uma delas refere-se ao comentário que se grifou propositadamente aqui. O erro aí está em desconsiderar o fato de que já se mediam quantidades de calor muito antes do estabelecimento do equivalente mecânico do calor. Historicamente, Dampier (1945, p. 266-267) destaca que José Black (1728-1799), como proponente do modelo calórico, formulou a teoria do calor específico para explicar as diferentes quantidades de calor necessárias para elevar da mesma temperatura a mesma massa de diferentes substâncias, como também calculou muito por baixo o calor latente de vaporização, e ainda estabeleceu o método da calorimetria, ou da medida de uma quantidade de calor. Aliás, a teoria calórica não apresentava problemas explicativos em fenômenos de calorimetria. Já a segunda observação refere-se à produção de calor. É preciso entender que naquela época os físicos, ainda com alguns olhares da teoria calórica para questioná-la, começaram a admitir que se criava ou produzia calor na elevação de temperatura por atrito. Criação então proibida por essa teoria. E, ao interpretarem as situações de troca de energia entre calor e trabalho, estabeleceram o equivalente mecânico do calor em referência à energia necessária para que uma substância tivesse sua temperatura elevada por um ganho de energia, tanto por trocas de calor, como por realização de trabalho. O que certamente se pode dizer a respeito do fenômeno de aquecimento da última citação em discussão é que há uma conversão de energia mecânica em energia interna, mas, nem calor, nem sua produção, devem ser mencionados ao considerar a definição teórica deste termo, pois, não há diferença de temperatura alguma naquele aquecimento por atrito⁹⁰; o aquecimento dos corpos em atrito ocorre simultaneamente. Conforme Sears et al. (1984, p. 347): *“É essencial lembrar que o conceito de ‘quantidade de calor’ só tem sentido no contexto de uma interação em que haja transferência de energia de um sistema para outro em virtude de uma diferença de temperatura”*.

Portanto, respeitar a definição de calor para mencioná-lo ou não em situações de aquecimento é uma questão de consistência teórica e, por isso, essas reflexões apontam como pode ser inadequado falar em produção de calor⁹¹, como também é preciso estar atento ao afirmar

⁹⁰ Excluindo o caso em que se esteja admitindo o uso do termo na identificação desse aquecimento por meio de um termômetro ou toque manual, pois, no momento da constatação desse equipamento, há uma troca de calor por diferença de temperatura entre o corpo aquecido no atrito e um termômetro ou a própria mão.

⁹¹ A menos que seja permitido definir a produção de calor ao estabelecer uma troca de energia por diferença de temperatura.

que trabalho seja convertido em calor, entendimento realizado na transição de energia em casos de transformações isotérmicas.

Além das reflexões conceituais que até aqui se estabeleceram, algumas considerações para os processos de ensino e de aprendizagem ainda são interessantes. É fundamental à didática em Ciências e à formação docente a consciência de que se fala de coisas distintas quando se usam expressões utilizadas pela linguagem cotidiana. Nos fenômenos térmicos, pesquisas têm indicado “modos de pensar” do senso comum que fazem corresponder esquemas de calor e frio às sensações físicas provocadas (Cafagne, apud Aguiar, 1999). A indiferenciação de conceitos, a substancialização do calor, a atribuição de propriedades de “atração” e “repulsão” ao calor e ao frio e a idéia de que a temperatura revela a “quantidade de calor” existente em um corpo são alguns traços característicos do pensamento de senso comum acerca dos processos térmicos (Aguiar, 1999). Outros trabalhos, como o de Laburú e Arruda (1998, p. 264), chegam a definir uma concepção alternativa muito comum nesse tópico (“*temperatura é uma medida da quantidade de calor*”⁹²) como um núcleo de um programa alternativo ao aplicarem o Instrumento Analítico-Pedagógico Lakatosiano. De maneira interessante, estes autores mostraram como alguns alunos “defendiam” seu “programa alternativo” com “explicações auxiliares” em situação de conflito cognitivo, como na evidência da água em ebulição receber continuamente calor da fonte externa e não sofrer variação de temperatura.

Enfim, ao decidir a aplicação desta estratégia para os processos de ensino e de aprendizagem dos conceitos de calor e temperatura, este estudo apresenta todas essas reflexões como importantes para um professor com a preocupação da educação introdutória desses conceitos no ensino médio.

⁹² Entendimento até certo ponto compatível com a Teoria do Calórico dos séculos XVIII e XIX.

VI - METODOLOGIA

A metodologia de pesquisa utilizada neste estudo pode ser classificada como de natureza qualitativa em razão de não envolver uma das características comuns de uma abordagem quantitativa, que é, conforme Bogdan e Biklen (1994, ps. 72, 23, 24), a realização de algum tratamento estatístico para análise de dados. O que reforça ainda mais essa classificação são as semelhanças desta metodologia com uma definição mais detalhada desse tipo de pesquisa (ibid., ps. 47-51), formada pelas cinco características que abaixo são discutidas.

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 a racionalidade foi influente e auxiliou a construção individual do conhecimento dos estudantes.

A quarta característica é a tendência de analisar os dados de forma indutiva, quer dizer, não se recolhem dados ou provas 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 apresentam a amostra na qual foi aplicada a estratégia, como ela foi aplicada, como os dados foram constituídos e como foram analisados.

6.1 Amostra, constituição e registro dos dados

Os sujeitos da pesquisa foram o docente (autor da pesquisa) e uma amostra de alunos cursando o segundo ano do ensino médio, período diurno, de uma escola pública situada no centro da cidade de Londrina-PR, no primeiro semestre de 2006.

A maioria dos dados é composta pelas explicações dos alunos sobre as noções de calor e temperatura. As explicações foram fornecidas em resposta aos questionários dos primeiro, terceiro, quinto e sétimo passos da estratégia de ensino lakatosiana conforme anteriormente proposta. As atividades desenvolvidas foram filmadas para melhor descrevê-las na metodologia e também para que fossem transcritos possíveis comentários de interesse para o objetivo deste estudo. A estratégia de ensino foi aplicada em aulas regulares do curso, nas primeiras aulas do ano letivo em que comumente um professor inicia o ensino desses conceitos.

Para que o professor, autor desta pesquisa, pudesse aplicar a presente estratégia, o professor regular da disciplina de Física cedeu um total aproximado de cinco horas-aula⁹³.

Na escola escolhida, existem matriculados trinta e cinco alunos em média por sala de aula. Da turma na qual se aplicou a estratégia, foram selecionados treze alunos para explicitar os resultados alcançados. A explicação para essa quantidade de alunos está em aderir o procedimento de rejeitar, da amostra, alunos que faltaram de um dos passos da estratégia, em razão de comprometer os resultados necessários à análise individual da construção do conhecimento, salvos aqueles alunos que somente faltaram dos quarto e quinto passos, situação esta que permitiu analisar também os resultados obtidos com a ausência da RRD no processo. Também foram desconsiderados alunos repetentes.

Os comentários dos alunos que foram selecionados são apresentados sem correções gramaticais, mas retirou-se desses comentários algumas palavras ou sentenças com pouco ou nenhum interesse para o objetivo desta pesquisa. Especificamente, os dados importantes, além dos que se referem aos conceitos de calor e temperatura, são os comentários relacionados a situações conflitivas ou de controvérsia, os de avaliações teóricas, os que destacam uma influência da racionalidade presente na estratégia de ensino e os de aceitação de novas concepções.

Por uma questão ética, realizou-se uma substituição dos nomes verdadeiros dos alunos por uma numeração que impede suas futuras identificações. Todas as transcrições são apresentadas em forma itálica. Entre parênteses, e de forma não itálica, aparecem comentários do observador (então professor e autor deste estudo) com a intenção de fornecer maior clareza às falas. Os comentários entre parênteses, mantidos em forma itálica, referem-se aos que os próprios alunos assim escreveram.

6.2 Aplicação da estratégia

⁹³ Uma hora-aula corresponde a cinquenta minutos. Pode-se dizer que foram aproximadamente cinco horas-aula porque a aplicação da estratégia ocorreu após vinte minutos do início da primeira aula, conforme se explica na próxima seção.

Nesta seção, é apresentada a seqüência das atividades decorrentes da aplicação da estratégia de ensino lakatosiana. O tempo de duração de cada atividade numa aula durante o processo também é mostrado.

1ª aula

O início da estratégia ocorreu logo na primeira aula de Física do ano. Assim, antes de tudo, o professor regular se apresentou para a turma e realizou comentários comuns sobre sua relação com os alunos, suas atitudes em várias situações, e também apresentou o conteúdo de Física a ser estudado no decorrer do ano letivo. Todos esses comentários delongaram aproximadamente vinte minutos. Logo em seguida, disse aos alunos que, a partir daquele momento, outro professor os estaria ensinando o assunto determinado. Como havia trinta minutos restantes, uma rápida apresentação entre o novo professor e a turma foi feita. Então, este professor comentou que estudariam os conceitos de calor e temperatura com a inclusão de uma abordagem histórica, e a aplicação da estratégia iniciou.

Primeiramente, o professor explicou aos alunos que gostaria de saber o que é que eles entendiam sobre calor e temperatura e, conforme o primeiro passo da estratégia, aplicou a pré-avaliação⁹⁴ para revelar as noções dos estudantes. Todas as respostas foram analisadas pelo professor para que, somente no sexto passo da estratégia, ele apresentasse aos alunos quais noções intuitivas deveriam ser confrontadas.

2ª aula

Na segunda aula, deu-se início ao segundo passo da estratégia. O professor procurou tornar inteligíveis as Teorias do Calórico e Cinético-Molecular. Entregou para cada aluno uma folha⁹⁵ que apresentava essas Teorias para discussão. Alertou os alunos para prestarem atenção e pedirem explicações para suas dúvidas, dizendo que, no final da aula, eles deveriam entregar ao professor por escrito o que entenderam sobre as teorias⁹⁶. Pelo que se notou na turma em geral, essa técnica de conscientizar os alunos de uma avaliação no final da mesma aula foi produtiva por estimulá-los a se disciplinarem, a não realizar prejudiciais conversas paralelas, pelo

⁹⁴ Pré-avaliação em apêndice A.

⁹⁵ Ver apêndice B.

⁹⁶ Essa avaliação da inteligibilidade no final dessa aula refere-se ao terceiro passo da estratégia.

menos sem ligações com o tema. O aviso dessa avaliação originou uma pressão que os incentivou a dedicarem suas atenções ao assunto, preocupados em não irem mal.

O professor então começou pela apresentação dos postulados da Teoria Calórica, explorando os entendimentos dessa teoria em relação aos conceitos de calor e temperatura. Discutiu, no quadro negro, a situação de dois corpos idênticos no estado sólido, cujo desenho os deu formas cúbicas, porém, especificando que estavam a diferentes temperaturas. Discutiu, por meio da Teoria Calórica, como se explica o fenômeno de, após algum tempo de interação (colocados em contato), os corpos atingirem a mesma temperatura. O professor estabeleceu um ambiente para diálogos com os alunos, procurando esclarecer, repetidas vezes, o conceito de calor e temperatura por essa teoria e sua aplicação naquele fenômeno do equilíbrio térmico, explicando-o. Essa atividade de ensino e de aprendizagem teve uma duração de aproximadamente dez minutos.

Em seguida, repetiu o mesmo desenho dos corpos em contato do outro lado do quadro para argumentar sobre as explicações da Teoria Cinético-Molecular também naquela situação. Primeiramente, em direção aos esclarecimentos dos conceitos de calor e temperatura por essa Teoria, discutiu como o modelo teórico explica a constituição da matéria no estado gasoso. Alguns auxílios didáticos foram usados para isso. O professor utilizou um experimento⁹⁷ demonstrativo que ilustra o movimento aleatório de várias bolinhas pequenas no interior de um tubo. Esse movimento era provocado por um pequeno motor e dependia de sua velocidade de giro. O professor realizou uma comparação entre as energias cinéticas das partículas (átomos e moléculas) de um gás com as daquelas bolinhas em movimento, discutindo o conceito de temperatura e calor. Depois, partiu para as constituições da matéria no estado líquido e sólido, e direcionou a discussão para o fenômeno do equilíbrio térmico daqueles corpos desenhados no quadro, aplicando os conceitos de calor e temperatura da Teoria Cinética. Nesse momento da aula, sempre respeitando a necessidade de abertura para dúvidas dos alunos, já haviam decorrido aproximadamente outros dez minutos. Para reforçar ainda mais a compreensão dos alunos dos conceitos de calor e temperatura da Teoria Cinético-Molecular, o professor apresentou um filme (Calor⁹⁸) que ilustrava o comportamento das partículas de um corpo em altas e baixas temperaturas. O filme também mostrou a transferência da energia cinética entre as partículas de

⁹⁷ Que era comercializado em um dos kits da FUNBEC (1977, p. 78). Ver anexo A.

⁹⁸ Ver referência.

dois corpos, inicialmente a temperaturas diferentes, até atingirem o equilíbrio térmico. Esse filme teve a duração de aproximadamente dez minutos.

Na seqüência, o professor retomou as explicações e realizou uma comparação entre os conceitos de calor e temperatura de ambas as Teorias, do Calórico e Cinético-Molecular, procurando esclarecer suas diferenças explicativas para o fenômeno equilíbrio térmico dos corpos em contato, então desenhados no quadro negro. Isso levou outros, aproximadamente, dez minutos.

Após essas discussões, restando agora dez minutos da segunda aula, o professor iniciou o terceiro passo da estratégia, que é o de avaliar a inteligibilidade dos alunos sobre os conceitos. Para isso, aplicou a primeira avaliação⁹⁹ e pediu para os alunos descreverem seus entendimentos sobre as teorias apresentadas. O professor recolheu as avaliações individuais para serem analisadas e averiguar a produtividade das discussões. O terceiro passo da estratégia finalizou as atividades nessa segunda aula, mas ainda nos minutos finais, o professor entregou aos alunos o texto (RRD) da evolução daqueles conceitos para que lessem antecipadamente em casa, visando a melhor prepará-los para o quarto passo da estratégia na aula seguinte.

3ª aula

Na terceira aula, iniciou-se o quarto passo. Após conhecer o nível da inteligibilidade dos alunos pelo passo anterior, o professor pediu a eles que pegassem o texto que lhes foi entregue na última aula para discussão¹⁰⁰. Nesse passo, o professor realizou alguns comentários que visaram a lembrar e a fortalecer ainda mais a inteligibilidade das teorias rivais. Após a leitura de cada parágrafo do texto, o professor discutia as idéias ali presentes por outras palavras com a intenção de auxiliar e fortalecer os entendimentos individuais. Na lousa, para melhor ilustrar as situações, desenhou um canhão sendo perfurado por uma broca, blocos em atrito, trajetos de supostas substâncias calóricas nas peças, modelo de redes cristalinas de um metal em aquecimento, e assim por diante.

⁹⁹ Primeira avaliação no apêndice C.

¹⁰⁰ Lembrando que a tentativa de estabelecer a inteligibilidade dos conceitos não se resumiu no segundo passo, pois além da oportunidade de os alunos estudarem em casa, entre a segunda e terceira aula, o professor também recapitulou alguns postulados e explicações das teorias durante a leitura do texto da RRD (apêndice D) no quarto passo.

Além de toda a discussão sobre as explicações teóricas e suas dificuldades, precisou-se enfatizar a comparação entre as teorias, e aí um ponto importante desse quarto passo foi o de estabelecer uma racionalidade. O professor então explicitou que toda comparação ou escolha está baseada num critério. Nesse sentido, fez comentários extras, enriquecidos por analogias, para mostrar o sentido que a palavra critério poderia ser usada para a escolha de uma teoria entre rivais. Perguntou aos alunos, por exemplo, se era possível comparar o Ronaldinho (jogador da seleção brasileira de futebol) com um experiente pedreiro, pois essa comparação provoca uma certa confusão entre os alunos sobre o que comparar, que tipo de comparação seria possível fazer. Lembrou que, a menos que se esqueça que o Ronaldinho está especificado como um jogador e que outra pessoa tem uma diferente profissão que é a de pedreiro, seria possível comparar e dizer quem é mais alto, mais pesado, e assim por diante. Assim, o critério de comparação poderia ser a altura das pessoas ou os seus pesos. Logo, o professor discutiu que a princípio seria uma atitude esbanjadora comparar qual dos dois é o melhor jogador de futebol ou o melhor pedreiro, pois tal comparação é demasiadamente imprópria pelas próprias especificações dos candidatos¹⁰¹. Isso porque, pelo fato de cada um deles já se destacar entre aqueles de suas próprias funções (Ronaldinho é bom jogador por estar na seleção e, por outro lado, especifica-se o pedreiro como experiente), é evidente que cada um deles deva ser melhor que o outro em suas atividades próprias, naquilo que corriqueiramente fazem. O professor comentou que, apesar da comparação ser entre duas pessoas que poderiam exercer ambas as atividades, a discrepância natural é devida à possibilidade de o jogador sequer tenha segurado uma colher de pedreiro e do pedreiro mal conhecer as regras do jogo de futebol. Assim, o professor conduziu os alunos ao entendimento da obviedade da incomensurabilidade das situações que se pretendia comparar nesse exemplo.

Ademais, o professor afirmou aos alunos que é fácil notar que a palavra ‘melhor’ depende de uma caracterização que a situe no contexto da comparação ou escolha. Por exemplo, quando se questiona: por que é melhor? Dessa questão, ele discutiu que há uma necessidade de caracterização das coisas que se comparam e uma resposta somente é alcançada devido a um critério de comparação que justifica a seleção de algo como melhor. Critério que naturalmente surgiria na seguinte questão conseqüente da questão anterior: melhor em que?

¹⁰¹ A menos que se saiba que o Ronaldinho tenha habilidade de pedreiro ou que o pedreiro saiba jogar futebol, ambos em níveis satisfatórios para proporcionar tais comparações.

Posteriormente, um outro exemplo trabalhado com os alunos foi a comparação entre o jogador Ronaldinho e o também jogador Ronaldinho (gaúcho), ambos atacantes da seleção brasileira de futebol (ano 2005). Nessa comparação ainda valia a pergunta de quem é o melhor jogador. Mas para caminhar ao entendimento de critério, o professor ainda ressaltou que para haver sentido comparativo, era necessário destacar as funções comuns desses jogadores. Não seria adequado comparar um atacante com um goleiro. Como os dois jogadores especificados eram atacantes, o professor afirmou que um critério possível e objetivo para estabelecer quem seria o melhor poderia ser o critério do número de gols marcados por cada jogador, pois qualquer atacante tem a função comum de marcar gols. Esse último exemplo procurou enfatizar que uma comparação deve ser realizada por uma característica comum conhecida entre duas ou mais coisas que são comparadas, pela qual é estabelecida a possibilidade de uma mensuração.

O professor utilizou esses exemplos retirados do cotidiano por acreditar que, analogamente, tornam-se facilitadores do entendimento de como escolher e usar um critério racional no processo de decisão entre teorias científicas rivais. Assim sendo, voltou a atenção dos alunos para as Teorias do Calórico e Cinético-Molecular e perguntou qual delas é a melhor. Lembrou os alunos de que as teorias científicas apresentam funções comuns de explicar e prever os fenômenos e que, por isso, eles poderiam adotar um critério para compará-las. Nesse sentido, supondo uma possível influência de toda a discussão detalhada do conteúdo do texto histórico, o professor procurou mostrar como a Teoria Cinético-Molecular é melhor do que a rival Teoria Calórica por superá-la, pela razão de que a Teoria Cinética explicou os fenômenos que a sua rival Calórica explicou, mais aqueles fenômenos que ela não explicou¹⁰² ou proibia de ocorrer¹⁰³ (força heurística), relacionados ao atrito.

Esse quarto passo ocupou praticamente quase a totalidade dos cinquenta minutos. Nos minutos finais, o professor avisou aos alunos que, na próxima aula, eles fariam uma nova avaliação dos entendimentos que tiveram a respeito da discussão dessa terceira aula.

4ª aula

¹⁰² Pelo menos não satisfatoriamente, pois em determinados processos de atrito parecia inesgotável a quantidade de calórico que se manifestava, o que levava a conclusão de produção ou criação de calórico, atingindo um dos postulados da Teoria Calórica.

¹⁰³ Como foi o caso do derretimento das superfícies de dois blocos de gelo em atrito num ambiente cuja temperatura tivesse um valor inferior ao do ponto de fusão dessa substância.

Nesta aula, aplicou-se o quinto passo da estratégia¹⁰⁴ ao entregar a segunda avaliação¹⁰⁵. De acordo com o que se pedia nesta avaliação, o professor apenas comentou aos alunos que eles deveriam então resgatar os seus entendimentos sobre as discussões da última aula para avaliarem os méritos das teorias rivais. Após uns trinta minutos, o professor recolheu as avaliações, que finalizou o quinto passo.

Nos vinte minutos restantes, o professor deu início ao sexto passo. O professor foi à lousa e escreveu as quatro noções intuitivas encontradas no primeiro passo (pré-avaliação), numerando-as por N1, N2, N3 e N4¹⁰⁶. Em seguida, entregou a cada aluno aquela pré-avaliação já analisada¹⁰⁷ e especificada com uma das quatro numerações para que os alunos pudessem avaliar suas noções iniciais¹⁰⁸. O professor discutiu os entendimentos de calor e temperatura em cada uma das quatro noções nos minutos restantes da quarta aula e avisou os alunos que, na próxima aula, haveria uma última avaliação sobre o conteúdo estudado.

5ª aula

No início da aula, o professor realizou alguns comentários sobre a organização das partículas da matéria nos estados sólido, líquido e gasoso, de acordo com o modelo cinético-molecular. Através de desenhos na lousa, idealizou as ligações entre os átomos de uma rede cristalina no estado sólido e retomou a discussão do aumento da vibração dessas partículas com o aumento da temperatura. Comentou com os alunos que o aumento das vibrações ocorre até um limite possível das vibrações no estado sólido devido à energia potencial de interação entre as partículas, relacionada à energia que proporciona as ligações entre elas naquele estado. Comentou que, na mudança de estado, não há variação de temperatura e que, por coerência com o que eles haviam discutido até o momento, não deveria haver variação da agitação das partículas. Então, questionou com os alunos para onde poderia estar sendo aproveitada a energia em forma de

¹⁰⁴ Quinto passo que se convencionou nesta aplicação pela necessidade de se investigar os resultados obtidos pelo quinto passo, pois, como é possível verificar, o quinto passo da estratégia proposta no capítulo anterior foi aqui propositadamente, na seqüência, fundido com o sexto.

¹⁰⁵ Segunda avaliação no apêndice E.

¹⁰⁶ Detalhadas no próximo capítulo.

¹⁰⁷ Os alunos estavam cientes de que o primeiro passo não era de avaliá-los e sim de mostrar seus conceitos iniciais de calor e temperatura, pois nenhum processo de ensino foi realizado.

¹⁰⁸ Nessa situação foi possível notar que muitos alunos curiosamente também observaram as outras noções intuitivas, tentaram perceber diferenças e, por isso, tentaram comparar.

calor¹⁰⁹, acrescentada na matéria num processo de aquecimento durante uma mudança de fase. Relembrou que a energia interna do corpo (ou sistema) é formada pela soma das energias cinética e potencial (então discutida). O professor procurou concluir com os alunos, conforme o modelo teórico, que se não há variação de energia cinética no processo de mudança de fase, a energia em forma de calor deve ser acrescentada à energia potencial, acarretando rompimentos nas ligações entre as partículas. O professor discutiu com os alunos o fenômeno da água em ebulição e realizou essa experiência usando um recipiente (Becker), um aquecedor elétrico, e um termômetro. O termômetro era mergulhado na água em ebulição para a verificação dos alunos de que realmente não há variação de temperatura em tal situação. Também discutiu que o aquecedor elétrico poderia ser substituído por fogo.

Outras duas experiências que demonstram aquecimento também foram realizadas. A primeira foi flexionar várias vezes um arame e verificar o aquecimento no ponto de flexão. A segunda experiência foi martelar repetidas vezes uma das extremidades de um cilindro maciço de ferro (de 1cm de diâmetro e 30cm de comprimento, aproximadamente) e verificar que aquele lado colidido sofria um aquecimento. Esta última demonstração revelou um aquecimento que não era previsto pelos alunos, pois, muitos deles desacreditaram de tal aquecimento. Isso porque, nesta demonstração, anterior ao cilindro de ferro, tentou-se aquecer a cabeça de um prego, martelando-a, e muitos alunos não se convenceram pelo toque manual na cabeça do prego, que esta havia aumentado sua temperatura com as marteladas. Assim, com o cilindro a demonstração melhorou, pois era possível tocar em suas extremidades e no mesmo instante sentir uma diferença de temperatura entre elas. Pode-se dizer, então, que essa demonstração permitiu que o professor fizesse a previsão de um fato novo em classe, até então inesperado. Inicialmente perguntou aos alunos o que aconteceria com a temperatura da extremidade após as marteladas, e pediu para os alunos fazerem as previsões de aquecimento usando a Teoria Calórica e usando a Teoria Cinético-Molecular. Confirmado o aquecimento pelos alunos, o professor lembrou que a Teoria Calórica somente deve explicar esse fato por coerência com seus postulados, por exemplo, admitindo não haver criação de calórico. Essa situação permitiu que o professor pudesse provocar um entendimento da força heurística do programa cinético-molecular em pedir aos alunos que pensassem nas explicações desse fenômeno de aquecimento com seus conhecimentos de cada um

¹⁰⁹ Logo, por diferença de temperatura.

dos modelos. Os alunos foram avisados de que suas habilidades em usar o modelo cinético-molecular seriam cobradas na próxima avaliação ainda nesta aula.

Todas essas atividades e discussões até então decorreram em aproximadamente trinta minutos. Com os restantes vinte minutos, o professor encaminhou o sétimo passo da estratégia de ensino lakatosiana quando entregou aos alunos a terceira avaliação¹¹⁰. Avisou aos alunos que eles podiam utilizar a pré-avaliação (primeiro passo) para lembrarem de suas idéias iniciais para, quando solicitadas, responderem algumas situações. O professor também avisou os alunos que, naquela presente avaliação, eles deveriam comparar as explicações dadas pela Teoria Cinético-Molecular com as de suas idéias iniciais, utilizando critérios para avaliarem os méritos das concepções teóricas e justificar a escolha realizada.

6.3 Procedimento de análise dos dados

Os dados foram analisados longitudinalmente, isto é, analisam-se os resultados de um aluno do primeiro ao último passo para, somente depois, igualmente analisar os resultados de um outro. Entende-se aqui que esse procedimento de análise, por acompanhar o desempenho do aluno do início ao fim sem interrupções, sem agrupamentos de outros resultados individuais, pode permitir uma visão melhor da construção individual do conhecimento.

Primeiramente, são analisadas, de uma maneira geral, quais noções intuitivas permearam as respostas apresentadas no primeiro passo. Nessa situação, verificam-se quais entendimentos se mostram com características da concepção alternativa¹¹¹ muito divulgada na literatura que é a de que *'temperatura mede a quantidade de calor'* (Laburú e Arruda, 1998, p. 263), semelhante à Teoria do Calórico por entender o calor como algo que transita pelos corpos e altera suas temperaturas. Nesse caso, o Instrumento Analítico-Pedagógico Lakatosiano permite classificar tal concepção alternativa como um programa alternativo rival do igualmente classificado programa científico da Teoria Cinético-Molecular. Por convenção, mantém-se para

¹¹⁰ Terceira avaliação no apêndice F.

¹¹¹ Admite-se aqui que concepção alternativa e noção intuitiva são equivalentes. Os conhecimentos que os estudantes carregam do cotidiano apresentam, na literatura, várias definições como concepção alternativa, concepção espontânea, noção intuitiva, noções de senso comum, concepções errôneas (misconceptions), concepções prévias... . Em Villani (2001, p. 177), por exemplo, é possível constatar os seguintes sinônimos que ele dá para os conhecimentos prévios dos estudantes: conhecimentos espontâneos, conhecimentos alternativos e conhecimentos pseudo-científicos.

outras noções intuitivas a denominação de noção intuitiva e não a de um programa alternativo. Assim, o termo programa nem sempre é atribuído aos raciocínios dos estudantes, apenas pela concepção alternativa acima mencionada. Poder-se-ia atribuí-lo a outras noções intuitivas, mas a razão dessa convenção é de tornar a análise mais simples ao desviar essa pronúncia que não se mostra estritamente necessária para que um professor obrigatoriamente a utilize.

Posteriormente, procura-se analisar as inteligibilidades dos estudantes dos programas científicos (calórico e cinético-molecular) como resultado do processo de ensino e de aprendizagem dos mesmos. Além da inteligibilidade, de maneira semelhante como se baseia o Instrumento Analítico-Pedagógico Lakatosiano, também são utilizadas para efeitos analíticos outras condições¹¹² de Posner et al. (1982), averiguando o quanto os pensamentos dos alunos se encontram comprometidos nos modelos explicativos. Aliás, essas condições são utilizadas em análises de passos posteriores sempre que convenientes.

Depois se analisam os resultados obtidos pela RRD em auxiliar os estudantes a reconhecerem alguns questionamentos que visaram a bombardear o núcleo do programa calórico, fortalecendo de outro lado, por comparação, o programa cinético-molecular rival. Também se analisam quais critérios de avaliação e escolha de teorias os estudantes entenderam como importantes na influência da RRD, e se estes critérios se mostraram ‘universais e atemporais’ por manterem-se imutáveis até o último passo da estratégia. Analisa-se ainda se os julgamentos feitos pelos alunos mostram-se coerentes com esses critérios pertinentes.

Entretanto, a respeito dos caminhos tomados pelos julgamentos que os estudantes realizaram, ainda é preciso dizer que se adota uma convenção para a análise dos dados. 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 dependente¹¹³. No segundo capítulo, discutiu-se as aproximações com o modelo híbrido de racionalidade (Siegel, 2004), mas, nas análises dos dados, a dependência que critério carrega de consistência e regras, assim como avaliações normativas, estão implícitas. A razão dessa simplicidade analítica está em fornecer uma estrutura de análise mais pragmática para um educador interessado em seguir esta estratégia. A importância teórica do segundo capítulo é para que um educador fique

¹¹² Insatisfação, plausibilidade e frutificação.

¹¹³ 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*”.

ciente das aproximações com o modelo híbrido de racionalidade (ibid.), que está implícito nas análises. O que são explicitados, portanto, são os critérios que conduzem aos julgamentos ao avaliar a racionalidade de cada processo de decisão. Nesse sentido, uma discussão ainda pode ser de útil esclarecimento ao que acima se convencionou de simplicidade analítica. 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 uma pessoa (indutivista) baseia-se no critério do grau de corroboração indutiva que uma teoria recebe dos fatos aceitos para avaliação. Está claro que, neste caso, a regra implícita dessa avaliação conduz a pessoa a agir observando o número de fatos que corroboram indutivamente uma teoria. A mesma discussão é válida para a avaliação normativa de julgamento e a consistência do processo, pois, normalmente, quando são tomadas decisões ‘racionais’¹¹⁴, as pessoas não explicitam todos esses termos que a conduziram para tais decisões, porque estão implícitos e muito provavelmente inconscientes. Nada impede, portanto, que se realize uma análise que mais diretamente forneça o entendimento de se uma decisão realizada seguiu ou não um padrão de racionalidade no interesse de auxiliar a prática docente. Dessa maneira, procura-se analisar os resultados individuais relacionados à preparação racional por meio da RRD.

Também são analisadas as concepções dos estudantes sobre a natureza das teorias científicas. Para isso, utiliza-se aqui o referencial de Vázquez e Massareno (1999). Estes autores pesquisaram as atitudes e convicções dos estudantes nos diversos níveis de ensino (do ensino básico até a universidade) sobre algumas características do conhecimento científico, tais como, a natureza dos modelos científicos, a natureza do método científico, a influência social no conhecimento científico e as controvérsias dentro da comunidade científica (ibid., p. 377). Para isso, eles elaboraram questões a respeito da natureza da ciência, em que cada uma expressava uma afirmação e uma negação sobre um determinado aspecto dessa natureza.

Semelhantemente ao trabalho de Vasquez e Massareno (ibid.), porém, limitando-se a menos aspectos da ciência a serem analisados, na metodologia utilizada na presente pesquisa, solicita-se dos estudantes que emitam dois tipos de respostas para cada questão. Primeiramente, os alunos devem assinalar, entre duas alternativas disponíveis, com qual

¹¹⁴ Conforme as aproximações de racionalidade que se faz aqui.

aspecto das explicações científicas eles concordam. As alternativas de cada questão foram elaboradas de modo que um acordo com uma delas implica num desacordo com a outra. Em segundo lugar, após selecionar a alternativa que mais se identifica com suas crenças, o aluno deve justificar a razão de seu acordo ou desacordo com um dado aspecto. São elaboradas duas questões¹¹⁵, pelas quais se busca analisar as tendências para alguns pontos contrários que elas procuram revelar sobre os entendimentos dos estudantes a respeito da natureza das teorias científicas. Por exemplo, caráter provisório ou definitivo, realista ou instrumentalista e acumulativo ou evolucionista. É preciso dizer que esta análise é limitada, ou seja, que os comentários dos alunos a estas duas questões não permitem que se desenvolvam, em detalhes, características da ciência configuradas por uma epistemologia específica. Por meio dessas duas questões, procura-se interpretar se os estudantes apresentam concepções com algumas características compatíveis para a visão de ciência positivista ou pós-positivista. A saber: de um lado, uma concepção das teorias científicas que é compatível com o positivismo apresentará características de um conhecimento científico definitivo e realista, em que o desenvolvimento do conhecimento ocorre por acumulação àquilo que já existe. Há uma concepção de conhecimento científico como sendo definitivo ou invariável, caracterizada por considerar as teorias científicas sendo verdades definitivas e absolutas; por outro lado, uma concepção das teorias científicas que é compatível com as idéias pós-positivistas apresentará características de um conhecimento científico provisório e instrumentalista, em que o desenvolvimento do conhecimento pode ocorrer no abandono de teoria científica por outra capaz de substituí-la. Nessa análise, as duas questões proporcionam um cruzamento das respostas, pois, um acordo ou desacordo com um aspecto na primeira questão está, respectivamente, coerente com um acordo ou desacordo com um outro aspecto da segunda questão.

No próximo capítulo, apresentam-se mais detalhes metodológicos de análise de dados que são específicos a cada seção em que os dados são analisados, servindo como introdução à seção.

¹¹⁵ Questões 6 e 7 do apêndice F.

VII - ANÁLISES DOS DADOS

A primeira seção deste capítulo apresenta as noções intuitivas reveladas no primeiro passo da estratégia. Na segunda seção, analisam-se as construções dos conhecimentos dos alunos individualmente, procurando mostrar os entendimentos dos estudantes da racionalidade, impregnada na RRD, em avaliar e escolher teorias rivais. Na terceira e última seção, realiza-se uma discussão geral dos dados.

7.1 Noções intuitivas

Os resultados do primeiro passo indicam tentativas dos alunos de não mesclarem suas idéias de calor e temperatura. Isso era previsto, pois, segundo Burghi e Soussan (apud Teixeira, 1992, p. 56), após a idade de treze ou quatorze anos, a noção única de calor e temperatura começa a separar-se.

Com a totalidade das respostas, puderam ser diferenciadas quatro noções intuitivas. É preciso adiantar que elas não foram numeradas por alguma interpretação de ordem conceitual crescente ou decrescente ao conhecimento científico, mas aleatoriamente. Um interesse foi o de destacar qual noção intuitiva de calor e temperatura apresentava vários aspectos comuns com a Teoria do Calórico, revelando o programa alternativo de núcleo metafórico lakatosiano '*temperatura mede a quantidade de calor*' (Laburú e Arruda, 1998, p. 263), cuja noção de calor é a de algo contido nos corpos. Especifica-se esse programa alternativo na terceira noção intuitiva apresentada mais à frente. Em relação às outras noções intuitivas encontradas, a primeira noção intuitiva admite o calor como a parte quente da temperatura, em que esta engloba o calor (parte quente) e as demais sensações. Nas segunda e quarta noções intuitivas, encontram-se o mesmo conceito de temperatura apresentado na terceira noção. Essa semelhança de núcleo lakatosiano da terceira noção permite entender as segunda e quarta noções intuitivas também como programas alternativos, mas como se mencionou anteriormente, isso não é feito nessas noções para mostrar que não é uma condição obrigatória, ao educador, o uso do termo programa. As diferenças entre as segunda, terceira e quarta noções estão no conceito de calor. O calor, na segunda noção, é entendido como sensação e, na quarta noção, o calor é energia. Em algumas respostas, foi possível verificar uma tendência desses dois últimos conceitos de calor para o

entendimento de calor como algo que se manifesta em um processo e altera a temperatura. Entretanto, essa tendência para a terceira noção intuitiva ocorre juntamente com as aparentes divergências de calor como sensação ou energia. Na seqüência, são apresentados mais detalhes, juntamente com as razões para que os conceitos apresentados por um aluno se classifiquem em uma das quatro noções intuitivas. Também são apresentados alguns exemplos de respostas encontradas.

As noções intuitivas são:

Noção intuitiva I – Para que o aluno apresente essa noção intuitiva, ele deve caracterizar em suas respostas o entendimento de calor como integrante da temperatura. Calor e temperatura não são entendidos como a mesma coisa. O calor é apenas uma parte da temperatura, entendida pelos alunos como a parte quente da temperatura. A temperatura contém o calor (parte quente), o frio, e mais outras sensações.

Exemplos selecionados: *“Calor se refere à parte quente da temperatura, é uma propriedade desta. Essa parte quente é possível de ser detectada em aquecimento, em uma sensação de elevação da temperatura. Temperatura pode ser quente, fria, morna, etc. Temperatura abrange o calor (que é a parte quente) e mais outras partes. Ela (temperatura) define se está calor ou frio”*.

Noção intuitiva II – Para que o aluno apresente essa noção intuitiva, ele deve conceber o calor como um aquecimento, como uma elevação de temperatura. Também deve entender a temperatura como uma medição do calor ou que ela indica uma quantidade de calor.

Exemplos selecionados: *“Calor é um 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”*.

Esta segunda noção intuitiva foi estabelecida pela dificuldade de se classificar alguns entendimentos dos alunos 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 aluno entendendo que a temperatura indica a quantidade de calor. Pelo fato de os alunos afirmarem que o calor se refere a um aquecimento, a uma elevação da temperatura, pela junção das respostas apresentadas na pré-avaliação, ficou difícil afirmar se certos alunos apresentam 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 afirmem que calor é um aquecimento ou elevação de temperatura, despercebidamente afirmam uma incoerência da temperatura medir a própria elevação de temperatura (ou aquecimento, que definem de calor).

Noção intuitiva III – Para que ocorra a classificação nesta categoria, a noção intuitiva do aluno deve apresentar detalhes semelhantes com as noções de calor e temperatura dadas pela Teoria do Calórico. A saber: a idéia do calor como algo contido nos corpos; o calor pode passar de um corpo para outro; a temperatura mede a quantidade de calor. De acordo com Laburú e Arruda (1998), pode-se classificar essa noção de programa alternativo.

Exemplos selecionados: *“Calor é algo que se armazena, tem nos corpos, e eleva sua temperatura. Temperatura mede a quantidade de calor”*.

Noção intuitiva IV – Por essa noção intuitiva, o aluno afirma que calor é energia e que a temperatura mede a quantidade de calor.

Exemplos selecionados: *“Calor é energia, ou uma forma de energia. Temperatura mede a quantidade de calor”*.

Uma certa parcela dos alunos investigados caracterizou a idéia de calor como energia. No entanto, essa idéia de calor como energia mostrou-se ainda imatura, necessitando de instrução, pois os alunos até então mantinham uma noção substancializada de calor. Pelas respostas analisadas, não havia nenhuma idéia de calor como a energia em trânsito na situação específica de corpos a diferentes temperaturas. Além do mais, os alunos forneciam explicações insatisfatórias desta noção de energia para os fenômenos e, embora haja um pequeno avanço pelo uso da palavra energia, é notável a semelhança com a terceira categoria ao afirmarem que a temperatura é a medição da quantidade de calor.

Existem algumas possibilidades para a razão da associação da palavra energia com a idéia de calor: o aluno pode ter prestado atenção em comentários de alguém de maior formação escolar cuja palavra merecia respeito (ou consideração); o aluno pode ter realizado leituras prévias sobre o assunto; o aluno sofreu influência do ensino formal anterior na matéria de ciências do ensino fundamental. Descarta-se a situação do aluno repetente porque, como já foi mencionado anteriormente, este foi excluído da amostra.

7.2 Análise das construções individuais do conhecimento

Nesta seção, a apresentação das análises da evolução das concepções de cada aluno é feita individualmente, sendo os alunos especificados e identificados por uma numeração aqui determinada. É realizada uma análise para cada passo avaliativo (passos 1, 3, 5 e 7) a partir de dados selecionados, totalizando quatro análises por aluno. A análise do primeiro passo procura mostrar as noções intuitivas de calor e temperatura do aluno. A análise do terceiro passo procura avaliar as inteligibilidades dos modelos teóricos (calórico e cinético-molecular) no aluno. A análise do quinto passo procura verificar se o aluno reconhece, em razão da influência da RRD, que o núcleo (postulados) do programa calórico é enfraquecido e que, por comparação com o programa cinético-molecular, também reconheça o fortalecimento deste último, mostrando se a RRD ajudou ou não a promover o entendimento de uma racionalidade no estudante. A análise do sétimo passo procura mostrar se o aluno consegue trazer à memória o critério racional entendido no quinto passo para justificar e determinar objetivamente sua preferência entre suas idéias iniciais e a teoria cinético-molecular.

Antes de apresentar a análise dos dados, é necessário dizer que os alunos devem ter respostas semelhantes em relação àquilo que a eles foi instruído, mas também devem ser encaradas como genuínas por revelarem seus entendimentos individuais. Conforme Bachtin (1992, p.131-132):

Qualquer tipo genuíno de compreensão deve ser ativo, deve já conter o germe de uma resposta (...) Compreender a enunciação de outrem significa orientar-se em relação a ela, encontrar o seu lugar adequado no contexto correspondente. A cada palavra da enunciação que estamos em processo de compreender, fazemos corresponder uma série de palavras nossas, formando uma réplica. Quanto mais numerosas e substanciais forem, mais profunda e real é a nossa compreensão.

Também no mesmo sentido é válida a frase de Moreira (1999, p.77-78): “*O mesmo conceito ou a mesma proposição podem ser expressos de diferentes maneiras, por meio de distintos signos ou de grupos de signos, equivalentes em termos de significados*”.

7.2.1 Aluno 1

Análise do desempenho do aluno no passo 1

As idéias do aluno foram classificadas de acordo com a segunda noção intuitiva. Para ele, “*calor é uma sensação térmica, medida pela temperatura*”, e a “*temperatura é o que possibilita medir o calor*”; “*temperatura é o que mede o calor*”. Desses comentários, percebe-se que o aluno distingue as idéias de calor e temperatura, mas descuidadamente apresenta a idéia de temperatura como a de um instrumento de medir o calor e não como a medida da quantidade de calor.

Aliás, justamente pelo entendimento da temperatura ser a medida da quantidade de calor, nessa segunda noção intuitiva há uma tendência para a idéia de calor como algo contido nos corpos. Nessa análise, a tendência é verificada na resposta da quarta questão: “*se misturar as duas amostras (de água), há uma troca de calor entre ambas até que a temperatura se iguale*”. Essa resposta revela uma idéia de calor como algo que transita pelos corpos a diferentes temperaturas (terceira noção intuitiva). Para reforçar a afirmação dessa tendência, ao interpretar mais a fundo o sentido das palavras adotadas pelo aluno, conclui-se que dificilmente ele imagine nessa questão que uma amostra de água apresente uma sensação térmica (que definiu como calor) diferente de outra por estarem a diferentes temperaturas. Ao afirmar que calor é sensação térmica e depois afirmar que as amostras trocam calor, o aluno muda sua interpretação de calor porque não quer dizer na quarta questão que as amostras trocam sensação térmica, inicialmente entendida como calor.

Já na quinta questão, o aluno afirma que a realização de “*atrito gera calor e aumenta a temperatura*”. Nesta resposta, se acrescentar a sua definição de calor como sensação térmica, é possível dizer que o aluno entenda que o atrito gera uma sensação de aumento de temperatura. Mas, se a temperatura é entendida (equivocadamente) como uma medida do calor, coerentemente ele pode admitir um aumento de calor no corpo durante o atrito.

Essa análise destacou a noção do aluno de que um corpo tem calor mais a noção de produção de calor. Essas noções são desafios a serem superados neste processo de ensino e de aprendizagem no caminho para os entendimentos considerados cientificamente corretos de calor e temperatura.

Análise do desempenho do aluno no passo 3

O aluno mostrou um entendimento dos modelos teóricos de acordo com os níveis em que foram discutidos em classe. Pelo que entendeu em relação à Teoria do Calórico, afirmou que o “*calor é um fluido invisível e sem massa que transita livremente entre os corpos*”, afirmou que a “*temperatura é o que mede¹¹⁶ o grau do calor*”, e que “*quanto maior o (a quantidade de) calórico, maior a temperatura*”. Com relação à Teoria Cinético-Molecular, afirmou que “*calor é a transferência de energia entre os corpos*”, que a “*temperatura é o que mede o grau de vibração das moléculas que compõem um corpo*”, e que “*quanto maior o grau de vibração das moléculas, maior a temperatura*”. (Trechos extraídos das quatro primeiras respostas).

Para a quinta questão, o aluno conseguiu apresentar as diferentes explicações de ambas as teorias para o fenômeno do equilíbrio térmico. Quando utilizou a Teoria do Calórico, argumentou que “*se dois corpos com temperaturas diferentes estiverem em contato, o calórico que é maior no corpo mais quente, será em parte, transferido para o corpo mais frio, para que os níveis de calórico entre os dois se igualem, igualando também a temperatura*”. Nesse caso, desenhou duas situações no questionário que lhe foi entregue. Uma delas com dois cubos afastados, um mostrando muito calórico em seu interior¹¹⁷ e outro com pouco calórico, indicando aos corpos a notação $T_{\text{corpoA}} > T_{\text{corpoB}}$. A situação de equilíbrio térmico foi representada com esses corpos em contato, ambos com a mesma quantia de calórico e com a notação $T_{\text{corpoA}} = T_{\text{corpoB}}$.

Quando utilizou a Teoria Cinético-Molecular afirmou que: “*em um corpo mais quente, as moléculas que o compõem estão em maior vibração do que as do corpo mais frio, e quando os dois corpos entram em contato há uma transferência de energia entre os corpos através do calor. A transferência dessa energia faz com que o grau de vibração das moléculas dos dois corpos se igualem, igualando também a temperatura*”. Fica claro pelo grifo que o aluno está relacionando a idéia de calor como uma transferência de energia.

É possível dizer que o aluno distinguiu razoavelmente bem os modelos por mencionar a transferência de calor com entendimento de transferência de substância apenas para o modelo calórico, também por atribuir a idéia de grau de movimentação das partículas para o modelo cinético, e ainda por usar a palavra calor com a idéia de transferência de energia para o

¹¹⁶ Conforme mostrado na análise do passo anterior, o aluno continua com uma linguagem equivocada que dá à temperatura a função de medir, como se ela fosse um instrumento. Nota-se que, mesmo decorrido uma aula sobre o assunto, o aluno ainda não se corrigiu nesse detalhe.

¹¹⁷ Os calóricos foram representados por pontos para caracterizar o fluido.

alcance do equilíbrio térmico dos corpos considerados. Isso comprova as inteligibilidades desses modelos teóricos.

Análise do desempenho do aluno no passo 5

As inteligibilidades dos dois programas adquiridas pelo aluno no último passo foram mantidas pelo que se vê respondido na primeira questão: *“Teoria do Calórico – a amostra com temperatura maior tem mais calor (fluido calórico) que a outra. Ao misturar-se, o fluido calórico passa de uma a outra até que haja o equilíbrio (da temperatura). Teoria Cinético-Molecular – na amostra com temperatura maior as moléculas estão em maior vibração que a outra (amostra de água). Ao misturar-se, as partículas em maior vibração fazem com que as com menor vibração comecem a vibrar (mais), até que haja equilíbrio térmico”*. Desta resposta também é possível dizer que o aluno adquiriu outras formas de responder a quarta questão do primeiro passo (pré-avaliação), por comparação ao que havia respondido naquela ocasião, visto que tal questão foi novamente cobrada neste passo.

Para a RRD, pode-se inicialmente dizer que ela provocou um entendimento do enfraquecimento do núcleo do programa calórico pela segunda resposta do aluno: *“sim (essa Teoria teve dificuldade explicativas)”*. O aluno ainda justificou o seguinte: *“pois ela (teoria calórica) começou a ser contraditória, como no caso da perfuração dos canhões, onde não seria possível que houvesse tanto calor (calórico) dentro do canhão (do material que constitui o canhão), pois se houvesse ele já teria derretido (mesmo antes do atrito)”*. Neste caso, de acordo com essa teoria, nota-se que o aluno não partiu de comentários sobre a impossibilidade de criação de calórico, mas da hipótese auxiliar de que o aumento de temperatura se devia à quantidade de calórico que estaria sendo espremida para a superfície das peças no processo de atrito. Assim, essa discussão sobre esse enfraquecimento reconhecido pelo aluno ocorreu pela RRD provocar um entendimento de que certos questionamentos, como o mencionado pelo aluno da incoerência da possibilidade de existir tanto calórico nas peças senão as derreteria antes mesmo do processo de atrito, podem abalar uma estrutura explicativa, no caso a teoria calórica.

A RRD também se mostrou útil em auxiliar o aluno a estabelecer uma comparação explicativa dos dois programas para o fenômeno do aquecimento por atrito. Nesse sentido, disse na terceira questão que: *“não (a teoria do calórico não explica o fenômeno do*

aquecimento por atrito). *Segundo a teoria do calórico, o calórico já estaria nos corpos* (pois não poderia ser criado naquele processo). *Porém, na perfuração dos canhões, observou-se que a temperatura se elevasse muito, não sendo possível que o canhão já tivesse esse calor* (toda aquela quantidade de calórico), *pois derreteria. Para a teoria cinético-molecular, o atrito gera a produção de energia* (das vibrações das moléculas), *que gera um aumento na temperatura*". Essa inadmissão da hipótese auxiliar da teoria calórica de que o calórico já estivesse inicialmente nas peças, concentrando-se nas superfícies em situação de atrito, de acordo com a discussão em sala de aula, revela uma condição de insatisfação então estabelecida no aluno. Do contrário, explicou pela teoria cinética que o atrito produz energia, que gera aquecimento. Logo, pelo seu entendimento anteriormente analisado no terceiro passo, é possível dizer que ele concordaria que essa energia 'produzida' refere-se a um aumento da energia cinética (vibração) das partículas dos corpos em atrito.

A respeito do critério de escolha de teorias, o aluno afirmou: "*qual (teoria) explica melhor os fatos sem se contradizer ou não ter respostas*" (resposta da quarta questão). Esta resposta mostra que o aluno selecionaria uma teoria fundamentando-se no critério do grau de explicações sem contradição. Pela palavra contradizer (também já mencionou a palavra "*contraditória*" em fala do parágrafo anterior), o aluno se refere a uma evidência que falseia um pensamento básico da teoria, ou seja, um fato contraditório a um postulado. Isso é comprovado pelo seu reconhecimento de que o processo de atrito parecia criar calórico, como se vê no grifo: "*Observou-se que a temperatura se elevasse muito* (logo, aumento de calórico), *não sendo possível que o canhão já tivesse esse calor* (tivesse todo aquele calórico)". Esse comentário do aluno mostra sua interpretação de que o fato parecia criar calórico no aumento de temperatura, conseqüentemente, fato contraditório a um dos postulados estudados. Além disso, ele reconheceu que todo calórico não poderia estar inicialmente nas peças senão as derreteria ("*pois derreteria*") independentemente do atrito. Também se pode notar que o critério adotado pelo aluno não se baseia simplesmente em relação aos enfraquecimentos de uma teoria por questionamentos apoiados em evidências¹¹⁸. Isso porque respondeu "*qual (teoria) explica melhor os fatos...*", sendo o embate entre rivais teorias que se apóiam em evidências, o que pode ser interpretado como o aluno aceitando que não se descarta uma teoria unicamente pelo seu fracasso explicativo,

¹¹⁸ Como se adotasse um critério semelhante ao falseacionismo metodológico ingênuo de Popper.

mas porque outra melhor encontra-se disponível para substituí-la. Como o aluno admitiu que a teoria calórica “*não*” explicou o processo de aquecimento por atrito, que de acordo com seu raciocínio é porque houve contradição, ele apresentou o seguinte julgamento na comparação entre as rivais teorias: “*a Teoria Cinético-Molecular tem maior sucesso porque explica (fornece respostas) o que a Teoria do Calórico explica e outras coisas que ela não explica. Sendo assim, ela (Teoria Cinético-Molecular) pode superar (a rival calórica)*” (resposta da quinta questão) e “*sim, a Teoria Cinético-Molecular, por exemplo, por explicar mais fenômenos que a Teoria do Calórico, passou a substituí-la*” (resposta da sétima questão). Esses resultados permitem concluir que a RRD influenciou um critério de escolha de teorias, baseado no grau de explicações sem contradição, que se mostrou útil em auxiliar o aluno a julgar racionalmente que a teoria cinético-molecular é superior.

A sexta questão solicitava ao aluno refletir e apresentar sua visão sobre o desenvolvimento das teorias na Física, adotando as discussões em classe como exemplo. O aluno realizou os seguintes comentários: “*(as teorias) são modelos que vão se aprimorando. A partir do momento que ela (uma teoria) se contradiz e começa a surgir outra que possa superá-la, ela começa a perder seu valor*”. Essa resposta, por admitir a possível situação de um programa degenerativo com menos valor em comparação com um rival progressivo, conduz à aceitação de que a RRD auxiliou o estudante a caminhar para um entendimento do processo de evolução do conhecimento científico na Física que não seja exclusivamente cumulativo e linear. Um outro aspecto da natureza de uma teoria científica é sobre a questão da verdade e, nesse sentido, o aluno completou sua visão: “*se uma teoria fosse verdade absoluta não surgiriam outras que a superassem*” (sétima resposta). Essa resposta dá indícios de que a RRD auxiliou a promover o entendimento de que as teorias físicas não representam verdades inquestionáveis, como se elas pudessem caracterizar a imagem da realidade num espelho.

Análise do desempenho do aluno no passo 7

Referente à primeira pergunta, o aluno esqueceu de anotá-la e respondê-la¹¹⁹. Essa pergunta objetivava que o aluno novamente explicitasse seus entendimentos dos conceitos de calor e temperatura dados pela Teoria Cinético-Molecular, auxiliando-o a melhor responder a questão seguinte, subdivida em quatro perguntas (a, b, c, d). Mesmo assim, é possível mostrar que o aluno apresentou uma frutificação do programa cinético-molecular nessas novas situações. Assim respondeu: *“porque esse atrito faz com que a movimentação das moléculas se intensifique e, conseqüentemente, a temperatura aumente”* (questão a), *“porque esse choque faz com que a movimentação das moléculas se intensifique e, conseqüentemente, a temperatura aumente”* (questão b), *“porque ao flexioná-lo (o arame), faz com que a agitação das partículas se intensifique e a temperatura aumente”* (questão c). A previsão aqui era a de que os alunos não fornecessem muitos detalhes explicativos para essas questões (a, b, c) porque elas foram pouco trabalhadas em classe, quando, no máximo, realizaram-se demonstrações experimentais para potencializar situações desafiadoras. Apesar das respostas repetirem-se nas três situações (a, b, c), o que se torna relevante é o fato de o aluno ter associado, coerentemente com a Teoria Cinético-Molecular, o fenômeno de elevação de temperatura com a intensificação da movimentação das partículas dos corpos. Como as três situações não partem de uma diferença de temperatura, elas são importantes para verificar se o aluno incorretamente atribui a palavra calor em qualquer situação, o que não ocorreu. Uma conclusão que se pode tirar desses resultados é que, para esse aluno, qualquer situação onde ocorra variação de temperatura é porque há variação da agitação das partículas.

Para a questão d, suas explicações são decorrentes do processo de ensino relacionado aos comportamentos das partículas conforme o modelo cinético-molecular, quando um sistema varia a temperatura e quando há mudança de fase. Propositadamente, nada foi explicitado pelo professor com o modelo do calórico nesse sentido. A situação pedia para que o aluno explicasse pelo modelo cinético-molecular e, diferentemente, caso conseguisse, pelo conhecimento do modelo do calórico ou por suas idéias iniciais de calor e temperatura. Assim o aluno respondeu: *“a teoria do calórico não explicaria esse caso, pois o fluido transmitido do aquecedor a água não estaria tendo efeito e, não haveria mais como se igualar a temperatura”*.

¹¹⁹ A primeira pergunta deveria ser acrescentada no questionário após o professor entregá-lo aos alunos. Para isso, o professor a escreveu na lousa e pediu para que os alunos a notassem no questionário como primeira questão a ser respondida.

Destaca-se, aqui, o comentário do aluno de que o fluido calórico parece não ter efeito nessa situação de diferença de temperatura entre o aquecedor e a água em ebulição. Aparentemente para o aluno, o fato é altamente questionador e incompatível com idéias básicas (postulados) da teoria calórica como a de o calórico sempre fluir do corpo mais quente para o mais frio, elevando a temperatura deste último. Isso pode ser comprovado pelo seu raciocínio anterior com a teoria calórica, “*se dois corpos com diferentes temperaturas (que nesse caso são a água e o aquecedor) estiverem em contato, o calórico que é maior (tem mais) no corpo mais quente (aquecedor) será transferido para o mais frio (água)*”. Portanto, se é transferido calórico, o aluno afirma que este “*não tem (o) efeito*” que a teoria calórica afirma que deva ter nessa situação. Essa evidência para o aluno destaca-se como um fato contraditório e caracteriza uma condição de insatisfação com a explicação da Teoria Calórica. Já, por outro lado, respondeu: “*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 quebrem e estas se desprendam, evaporando como vapor d’água*”. Nota-se nesta resposta uma adequada articulação do conceito de mudança de fase, revelando, além de uma condição de inteligibilidade, uma condição de satisfação desse aluno com a Teoria Cinético-Molecular.

Na terceira questão, pediu-se para que o aluno respondesse¹²⁰ as questões anteriores (a, b, c, d) utilizando suas idéias iniciais de calor e temperatura. O aluno comentou: “*porque o atrito gera calor e aumenta a temperatura*” (questão a), “*porque o choque gera calor e aumenta a temperatura*” (questão b), não respondeu a questão c, “*não sei explicar pelas minhas idéias iniciais*” (questão d). Na questão a, o aluno praticamente copiou o que havia respondido na primeira avaliação, visto que a questão é similar. Para a questão b, tentou associar da mesma maneira a produção do calor durante o processo de choque, que eleva a temperatura. Interessantemente, na questão d, ele realmente afirmou não conseguir responder pelas suas idéias iniciais. Pode-se dizer que, pelo fato de, em suas idéias iniciais, ele admitir a troca e produção de calor em aumento de temperaturas, essa questão d foi um desafio que ele não superou de imediato, mostrando-se ciente disso (“*não sei explicar*”). Apesar da evidente diferença de temperaturas, o aluno não se admitiu afirmar que o calor era produzido ou transitado para a água em razão de sua temperatura não se elevar, coerentemente com suas idéias iniciais. Essa

¹²⁰ De posse da primeira avaliação que continha seus comentários dos fenômenos a partir de seus primeiros entendimentos de calor e temperatura.

incapacidade explicativa se mostrou como o ponto chave para que ele pudesse avaliar o seu próprio avanço do conhecimento sobre a natureza dos fenômenos térmicos por comparação com a capacidade explicativa dada pela Teoria Cinético-Molecular.

Assim, a intenção agora é verificar se o aluno resgatou o critério (por influência da RRD) para comparar os méritos de tais noções (científicas e intuitivas) e julgar qual é a melhor. Nesse sentido, o aluno disse que adota o critério das *“respostas coerentes e se são capazes de responder todas as perguntas”* e responde objetivamente a quinta questão, afirmando que a melhor é a *“Teoria Cinético-Molecular”*, justificando seu julgamento pelo fato *“dela ser capaz de explicar todas as situações e apresenta coerência”*. Essas respostas permitem concluir que o aluno manteve o critério racional do quinto passo (*“qual explica melhor os fatos sem se contradizer ou não ter respostas”*), mas com outras palavras. Mostrou-se, no quinto passo, que ele reconheceu como contradição¹²¹ a situação em que uma explicação para um dado fenômeno entra em conflito com algum postulado e, por isso, em suas palavras: *“não explica”* ou *“não (tem) ter respostas”* (quinto passo). Agora, no sétimo passo, além de não ter respondido a questão c, afirmou: *“não explicar pelas minhas idéias iniciais”* a questão d (cujas razões se procurou discutir no parágrafo anterior). Diante disso, ao comparar as explicações de ambos os lados, ele pode concluir que a Teoria Cinético-Molecular é melhor por *“explicar todas as situações com coerência”* (sétimo passo). Esse critério é o mesmo de ter mais respostas (explicações) para as situações sem contradição (*“explicar todas as situações e apresenta coerência”* – quinto passo). Esses resultados permitem concluir que a RRD conseguiu promover uma racionalidade com certo critério de escolha de teorias que se manteve em passos posteriores (sétimo passo), ajudando o aluno a mostrar que se convenceu, de maneira igualmente racional, ao justificar sua opção pela Teoria Cinético-Molecular como melhor.

7.2.2 Aluno 2

Análise do desempenho do aluno no passo 1

¹²¹ Visto que em seu entendimento a teoria do calórico não respondeu (*“não ter respostas”*) o processo de aquecimento por atrito (resposta da terceira questão) por haver contradição.

Este aluno apresentou entendimentos sobre os conceitos de calor e temperatura que se identificam com a quarta noção intuitiva. Para ele, o *“calor é a transferência de energia de um corpo para o ambiente e/ou de um corpo para outro”* (primeira resposta) e a temperatura *“é a medida de calor de um determinado corpo”* (segunda resposta). Na terceira questão, diferenciou esses conceitos por afirmar que o *“calor é a transferência de energia térmica e temperatura é a medida de calor resultante dessa transferência”*. Nessas respostas, fica evidente que seu entendimento de calor foi construído por influência do conceito científico deste termo em alguma outra ocasião. Isso porque a idéia de calor como transferência de energia térmica não pertence ao senso comum. Um outro conceito científico que também foi mencionado pelo aluno na quarta questão é o de equilíbrio térmico. Assim ele disse: *“isso pode ser explicado devido ao fenômeno do equilíbrio térmico”* (quarta questão). Já na quinta questão, o aluno explicou resumidamente, mas de forma incorreta que: *“isso ocorre basicamente porque o atrito gera energia térmica”*. Isso porque o termo energia térmica só tem significado num contexto em que haja uma diferença de temperatura, pois energia térmica não é energia interna.

As respostas acima justificam seus entendimentos na quarta noção intuitiva pelos problemas conceituais nelas existentes. Primeiramente, o aluno afirma erradamente que a temperatura é uma medida do calor de um corpo. O problema aqui é entender que não é correto afirmar que um corpo tem uma certa quantidade de calor, apesar de ser correto dizer que um corpo transferiu calor para outro. Esse contra-senso torna o aprendizado do conceito de calor difícil para os alunos. É essencial lembrar que o conceito de quantidade de calor só tem sentido no contexto de uma interação em que haja transferência de energia de um sistema para outro como resultado de uma diferença de temperatura. Além disso, o aluno mencionou o termo científico equilíbrio térmico na quarta questão, porém apenas descreveu o fenômeno dizendo: *“Os corpos podem atingir uma temperatura ‘média’ entre eles: água quente reage com água fria formando água morna”*. Nessa quarta questão, nota-se também que o aluno não especificou uma transferência de energia térmica como calor (por ele definido na primeira questão), logo, não apresentou uma explicação compatível com o modelo cinético-molecular.

A análise neste passo, além de justificar a classificação já mencionada, destaca a necessidade de um processo de ensino dos conceitos científicos em foco.

Análise do desempenho do aluno no passo 3

O aluno conseguiu entender e diferenciar as definições de calor e temperatura de ambos modelos teóricos. Respondeu para as duas primeiras perguntas que o calor é entendido como o calórico com certas características e também apresentou o conceito de temperatura nessa teoria com as seguintes palavras: *“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”*. Para o entendimento do conceito de calor conforme a teoria cinético-molecular, visto na única resposta que apresentou para as terceira e quarta questões, o aluno definiu calor como a energia em movimento numa situação de diferença de temperaturas. A resposta é: *“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)”*. Essa definição de calor é diferente daquela apresentada por ele no passo anterior (*calor é a transferência de energia térmica*). Entretanto, não se pode desconsiderar nenhuma delas, pois a análise do significado do conceito de calor na Física permite ambos os entendimentos. O aluno também apresentou a seguinte definição de temperatura: *“(a) temperatura está intimamente relacionada com a medida de agitação das moléculas, ou seja, da energia interna de um determinado corpo”*. Esta nova definição de temperatura respondida pelo aluno é importante porque se diferencia daquela que apresentou no primeiro passo (*temperatura é a medida de calor de um determinado corpo*) e por estar compatível com o modelo cinético-molecular. Mais ainda, o aluno mostrou uma diferença essencial entre os modelos pelo seu entendimento de que, na Teoria Cinético-Molecular, um corpo pode apresentar energia, mas não calor (*“É importante salientar que, nessa teoria (teoria cinético-molecular), o que está presente em um corpo não é calórico, mas energia cinética”*).

Para a quinta questão, o aluno mostrou uma correta compreensão das explicações de ambos os modelos para o fenômeno do equilíbrio térmico. Ele afirmou por meio da Teoria do Calórico que: *“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”*. Já com a Teoria Cinético-Molecular afirmou: *“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". Esses comentários do aluno mostram que ele alcançou um nível de inteligibilidade satisfatório dos modelos teóricos estudados.

Análise do desempenho do aluno no passo 5

Para a continuidade neste passo 5, é necessário observar se o aluno mantém as inteligibilidades dos modelos teóricos alcançadas no passo 3. Essas inteligibilidades podem ser verificadas pelas explicações na primeira questão: *"Na teoria do Calórico, o calor é transferido do corpo mais quente para o mais frio. Ou seja, se o corpo mais quente possui 60°C e o mais frio, 20°C, os corpos tendem a atingir uma temperatura igual, podendo ser estabelecida uma média (por exemplo, 40°C). Vale lembrar que se varia a temperatura, altera-se também o calórico, uma vez que Δ temperatura = Δ calórico. Na teoria cinético-molecular o corpo mais quente possui mais energia cinética. Nesse caso, duas amostras de água, a amostra mais quente perderá parte de sua energia cinética (vibrará¹²² menos), enquanto a mais fria 'receberá' tal energia cinética ('vibrará um pouco mais'). Assim sendo, a energia cinética, e a temperatura também, ficando igualadas, lembrando que Δ temperatura = Δ energia cinética*". Com estas repostas, também se comprova que o aluno adquiriu duas diferentes formas de explicar esse fenômeno, visto que, no primeiro passo, o aluno apenas o descreveu. Vale dizer então que esses resultados representam uma construção do conhecimento científico.

Para a segunda questão, vê-se que o aluno entendeu, por meio da discussão histórica, que a teoria calórica apresentou problemas (respondendo que "sim") porque ela não explicou satisfatoriamente certos fenômenos (*"pois não explicou satisfatoriamente o aquecimento pelo atrito e diversos outros fenômenos"*). Observa-se, a princípio, que a avaliação feita pelo aluno é sobre uma única teoria, é uma avaliação individual dos méritos da teoria do calórico. Verifica-se, nesse último comentário do aluno, que o critério de avaliação usado é se a teoria explica satisfatoriamente um certo fenômeno. Por satisfatoriamente, o aluno entendeu a situação em que a teoria explica um fenômeno por compatibilidade com seus postulados, senão a explicação é insatisfatória (*"a teoria do calórico não conseguiu explicar tal fenômeno (do atrito)*).

¹²² O aluno refere-se à vibração das moléculas, assim como vem se referindo desde o passo 3 (*"moléculas mais agitadas"*).

Se assim o fizesse, acabaria por contradizer seu postulado que diz que o corpo mais quente cede calor para o mais frio” – respondido na terceira questão). Assim, o aluno afirmou que o aumento de temperatura devido ao atrito não é explicado pela teoria calórica por esta admitir que um aumento de temperatura somente ocorre quando um corpo recebe calórico de um outro corpo mais quente (com mais calórico). Essa interpretação do aluno é resultado das situações de atrito exemplificadas em classe partirem com corpos a iguais temperaturas, refletindo sobre o evidente aquecimento desses corpos e apontando a contradição com os postulados da teoria calórica. Uma contradição discutida foi a de o calórico estar sendo criado durante o atrito, mas a resposta do aluno fundamentou-se apenas na idéia de o calórico transferido alterar a temperatura dos corpos, sempre no sentido do corpo mais quente para o mais frio. Logo, em seu entendimento da teoria calórica, é necessário uma diferença de temperatura entre os corpos para que haja um aquecimento do corpo mais frio, por este receber quantidades de calórico do corpo mais quente. Como as situações de atrito discutidas não partiram com corpos a diferentes temperaturas, o aluno entendeu que a teoria calórica não as explica satisfatoriamente.

Ainda na terceira questão, o aluno respondeu: *“já a teoria cinético-molecular o explicou (o fenômeno do atrito) satisfatoriamente, utilizando adequadamente suas concepções e seus postulados, dizendo que o atrito entre as mãos gera energia cinética (das moléculas) e aquece o corpo”*. Esta resposta revela uma condição de satisfação com o modelo cinético-molecular, o que não ocorreu com o outro modelo pela análise do parágrafo anterior.

As respostas dos dois modelos teóricos apresentadas pelo aluno, na terceira questão, permitiram a ele avaliar seus méritos individuais e compará-los para escolher o melhor segundo seu entendimento sobre o critério pertinente da RRD. Critério este baseado no grau de explicações satisfatórias, que é visto na seguinte resposta da quarta questão: *“a teoria deve responder e explicar satisfatoriamente ao maior número possível de fenômenos”*. Assim o aluno julgou: *“A teoria Cinético-Molecular é a melhor porque explica todos os fenômenos que a teoria do Calórico também explicava e ainda os que esta não conseguiu explicar. Porém, para avaliar adequadamente duas teorias é necessário que se leve em consideração (explicações conforme) seus notáveis e respectivos fundamentos (base ou postulados da teoria)”* (respondido na quinta questão). Conclui-se que a RRD conseguiu transmitir um determinado critério de escolha de teorias, conforme explicitou o aluno. Além disso, o aluno mostrou que soube explicar, de maneira

igualmente racional, porque uma teoria supera uma rival ao seguir esse critério, reconhecendo a Teoria Cinético-Molecular como vencedora.

Já a resposta da sexta questão confirma que o aluno assumiu a postura de que as explicações científicas são modelos que se desenvolvem e permitem novas reflexões. Disse ele: *“Em modelos que se aprimoram, uma vez que o mundo vive em intensa instabilidade e o homem, por sua vez, é um ser dotado de intelectualidade e capacidades psíquicas que lhe permitem uma nova reflexão a respeito desse mundo”*. Em conformidade com isso, admitiu, na sétima questão, que uma teoria pode ser substituída (“sim”). Continuando, respondeu convicto: *“para provar isso (que as teorias são substituíveis), é sábio uma reflexão: algum dia, possivelmente haverá um fenômeno que a teoria cinético-molecular não saberá responder. Daí, haverá a necessidade de se estabelecer por intensos estudos uma nova teoria”*. Das respostas da sexta e sétima questões, conclui-se que a RRD promoveu um entendimento no aluno de uma Ciência cujas teorias não são invioláveis, mas falíveis, e, por isso, podem ser substituídas por outras melhores segundo o critério por ele aqui entendido.

Análise do desempenho do aluno no passo 7

Este aluno não respondeu a primeira questão por esquecer de anotá-la, assim como aconteceu com o aluno 1, anteriormente analisado. Independente disso, verifica-se a frutificação de explicações compatíveis com a teoria cinético-molecular nas quatro situações da segunda questão. Em a) o aluno respondeu: *“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) ele respondeu: *“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) ele respondeu: *“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”*. Pode-se notar nessas três respostas que o aluno

não mencionou a palavra calor, associando-a aos aquecimentos, senão a estaria utilizando incorretamente nessas situações. Além disso, esses resultados permitem dizer que o aluno apresentou explicações compatíveis com a teoria cinético-molecular por ele relacionar o aumento de temperatura com o aumento da energia cinética das moléculas, entendendo que isso acarreta um aumento do nível de agitação das moléculas. Isso destaca uma certa construção do conhecimento científico em foco.

A questão d provocou uma comparação entre as explicações das teorias calórica e cinético-molecular para o fenômeno da água em ebulição não elevar a temperatura. Nessa comparação, o aluno disse que a Teoria do Calórico não explica esse fenômeno, justificando o seguinte: *“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 estabilização ocorre)”*. Quando o aluno afirmou que os postulados se rompem, ele se referiu ao postulado por ele entendido que diz que somente *“o calor (calórico) é transferido do corpo mais quente para o mais frio”* (respondido na primeira questão do quinto passo). O aluno também afirmou esse postulado na terceira questão do quinto passo (*“a teoria do calórico não conseguiu explicar... por contradizer seu postulado que diz que o corpo mais quente cede calor para o mais frio”*). Assim, nessa questão d, o aluno entendeu que o fenômeno da estabilização da temperatura da água é um desafio explicativo que a Teoria Calórica não dá conta de responder. Já por comparação com a Teoria Cinético-Molecular o aluno respondeu: *“a teoria cinético-molecular explica satisfatoriamente (porque não rompe nenhum postulado), dizendo que a água, atingindo os 100°C, não tendo como aumentar a temperatura e com a ‘vibração’ na intensidade máxima, romperia a ligação interativa das moléculas, originando água no estado gasoso (vapor)”*. Além da condição de inteligibilidade observada nesta resposta, nota-se que o aluno não se mostrou em condições de insatisfação com o modelo cinético-molecular por não encontrar, do jeito que ocorreu com o modelo calórico, incompatibilidades com algum postulado que foi abordado em classe pertencente a esse modelo.

Na terceira questão, o aluno reconheceu uma inferioridade de suas concepções iniciais frente à teoria cinético-molecular, justificando que elas não são coesas, não são capazes de explicar satisfatoriamente a totalidade de fenômenos. Assim respondeu: *“Minha concepção primária de calor e temperatura não seria eficaz na explicação de tais fenômenos, uma vez que não são coesas”*. O aluno limitou-se a esse comentário e não respondeu as questões com suas

idéias iniciais como fez usando a Teoria Cinético-Molecular. No entanto, é interessante notar nessa resposta uma reflexão que ele realiza sobre suas próprias idéias iniciais que, por não caracterizarem uma estrutura organizada de noções coesas, como as dos modelos estudados, não são tão eficazes como estes. Isso já caracteriza, ainda que resumidamente, uma comparação que revela uma condição de insatisfação com suas explicações iniciais.

Pelas discussões nos dois últimos parágrafos acima, é possível dizer que o aluno manteve o critério racional para avaliar teorias rivais que é o de responder e explicar satisfatoriamente o maior número possível de fenômenos. Neste grifo, está o critério do grau de explicações satisfatórias que ele mencionou no quinto passo por influência da RRD. Pode-se comprovar que esse critério foi decisivo neste sétimo passo para justificar seu julgamento da superioridade de uma teoria como melhor, visto em suas respostas das quarta e quinta questões, respectivamente: “*A teoria cinético-molecular explica uma variedade muito maior de fenômenos em relação à minha teoria (idéias iniciais)*”; “*A teoria cinético-molecular, 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 seus postulados)*”. Dessas respostas, é preciso dizer que o grau de explicações satisfatórias (mencionado no quinto passo) é semelhante ao grau de explicações coerentes (presente na última resposta acima), pois, para o aluno, satisfatoriamente ou coerentemente referem-se à compatibilidade que uma explicação deva ter com os postulados de um modelo teórico para ser considerada válida. A idéia de explicações satisfatórias, presente no critério racional do quinto passo, pode ser vista na justificação do aluno, discutida no penúltimo parágrafo acima, do porquê da Teoria Calórica não explicar satisfatoriamente o fenômeno da estabilização da temperatura da água, fortalecendo, assim, a afirmação de que o critério racional aqui se manteve.

Concluiu-se pelos resultados do quinto passo que a RRD mostrou-se importante em exemplificar ao aluno uma situação de comparação de teorias que apresentou uma vencedora por um critério racional. Os resultados deste sétimo passo permitem dizer que aquela exemplificação da RRD foi importante na preparação deste aluno para que ele, individualmente agora, pensasse de maneira igualmente racional para julgar a Teoria Cinético-Molecular como a mais abrangente.

7.2.3 Aluno 3

Análise do desempenho do aluno no passo 1

Esse aluno apresentou entendimentos de calor e temperatura que se identificam com a primeira noção intuitiva. Isso porque ele definiu o calor como “*uma temperatura quente*” (respondido na primeira questão). Também porque, na segunda questão, afirmou que a “*temperatura diz respeito a algo ser quente, frio, morno*”, e ainda porque na terceira questão ele apresentou a seguinte diferenciação entre esses conceitos: “*calor é classificado como uma temperatura, é só uma parte da ‘área’ da temperatura, dentro dela (da temperatura) existe o frio, o morno, etc*”. É possível observar, nessas respostas, que o entendimento de que a temperatura abrange o calor, entendido como a parte quente da temperatura entre outras partes, está presente, o que justifica essa classificação.

Na explicação do fenômeno da quarta questão, ele respondeu: “*Porque ao se misturarem (as amostras de água) elas irão se equalizar para possuir uma temperatura igual juntando a temperatura que cada uma possuía e atingindo uma temperatura média entre os dois líquidos*”. Essa explicação mostra-se coerente com suas idéias de calor e temperatura por admitir uma *temperatura média* entre uma parte quente (líquido quente) e uma parte fria (líquido frio). Nota-se que essa simplista forma de raciocínio explica qualquer aquecimento devido à interação de uma parte quente (calor) com uma parte fria, mas apenas descreve os fenômenos. Ademais, a explicação do aluno na quinta questão não apresenta coerência. Nesta questão, o aluno afirma que o aquecimento somente ocorre porque, ao se esfregar as mãos, retira-se a parte fria (*ar frio*) entre elas. Em suas palavras: “*o ato de esfregar as mãos impede que o ar frio passe entre elas, assim as mãos se aquecem*”. Logo, incoerentemente, o aluno atribui o aquecimento mais pela ausência de uma parte fria (*ar frio*) do que pelo atrito, desconsiderando o fato de não haver aquecimento quando esta parte fria não existe entre as mãos somente por encostá-las.

Análise do desempenho do aluno no passo 3

A união das primeira e segunda respostas mostra que os conceitos de calor e temperatura da Teoria Calórica foram bem apresentados pelo aluno. As respostas são: “*Calor é uma substância sem massa e invisível que existe nos corpos. Na Teoria do Calórico nada (de*

calórico) é criado e nem destruído, o calor é uma substância que flui do corpo com mais calórico para o com menos calórico afim de obter o equilíbrio de temperatura entre os dois. A temperatura mediria essa quantidade de calor (calórico)”. Pelas respostas das terceira e quarta questões, o aluno mostrou o seguinte entendimento de calor e temperatura com o outro modelo teórico: “Na Teoria Cinético-Molecular a energia do corpo ocorre de acordo com o movimento de suas moléculas. Quanto maior é o movimento dessas partículas maior é a energia. Calor é a energia liberada pelo movimento das moléculas e a temperatura é o que mede a quantidade de energia do corpo em questão”. Neste último modelo, embora o aluno não mencione o termo energia cinética para as moléculas, ele afirma que quanto maior é o movimento dessas partículas, maior é a energia. Como esta energia está sendo referida à energia do movimento das partículas, conseqüentemente, pode-se dizer que ele se refere à idéia correta do termo científico energia cinética das partículas, mesmo que assim não o tenha dito. Isso caracteriza um entendimento compatível com o modelo cinético-molecular, apesar do aluno não ter mencionado termos como energia térmica, energia cinética, ou energia potencial. O aluno também afirmou que a temperatura mede (ao invés de ser uma medida da) a quantidade de energia de um corpo, mas corretamente entendeu que essa energia está relacionada ao nível de movimentação das partículas.

As respostas da quinta questão revelam que o aluno soube diferenciar as explicações teóricas de ambos modelos. Assim respondeu: “A Teoria Calórica explicaria que o corpo com maior quantidade (de) calórico transferiu seu calor para o corpo com menos calórico até que os dois obtivessem a mesma temperatura, ou seja, (mesma) quantidade de calórico. A Teoria Cinético-Molecular explicaria que o corpo com menos energia em contato com um corpo com mais energia aumentaria, conseqüentemente, o movimento das suas moléculas, através da transferência de calor que a vibração das partículas do corpo com mais energia transmite”. Quando o aluno afirma *transferência de calor*, é importante dizer que, neste modelo cinético-molecular, o aluno compreende o calor como *a energia liberada em movimento das moléculas* (respondido na quarta questão). Assim, as respostas apresentadas pelo aluno neste fenômeno indicam que os modelos encontram-se inteligíveis.

Análise do desempenho do aluno no passo 5

Inicia-se essa análise mostrando que o aluno mantém inteligíveis os modelos teóricos ensinados no passo 3, condição importante para o acompanhamento da discussão racional presente na RRD. Essas inteligibilidades podem ser vistas nas explicações que ele forneceu para a primeira questão: *“A teoria do calórico explica que o líquido de maior temperatura, ao entrar em contato com o líquido de menor temperatura, transfere seu calor (calórico) para a outra substância até que as duas atinjam a mesma temperatura. Pela teoria Cinético-Molecular, o equilíbrio térmico seria explicado pelo movimento das moléculas. A substância de maior temperatura (maior agitação das partículas) transferiria energia para a substância de menor temperatura (menor agitação das partículas), elevando a vibração das moléculas desta (última substância), assim as duas substâncias encontrar-(se)-iam (em equilíbrio térmico)”*. Essas articulações dos conceitos de calor e temperatura de ambas as teorias feitas pelo aluno são aceitáveis para justificar tais inteligibilidades conforme o nível qualitativo em que elas foram discutidas em classe. Essas inteligibilidades permitem dizer que o aluno adquiriu duas explicações diferentes para o fenômeno do equilíbrio térmico quando se comparam à sua resposta da quarta questão do primeiro passo. Isso mostra uma certa construção do conhecimento científico neste processo de ensino e de aprendizagem.

Em relação aos questionamentos que a Teoria do Calórico sofreu, nota-se que a RRD proporcionou ao aluno entendê-los. Para a segunda questão, o aluno afirmou que a Teoria do Calórico teve problemas explicativos (“*sim*”) e, por seu entendimento da RRD respondeu: *“se o calor era uma substância já existente no corpo, sem ser criado, como essa teoria (do calórico) poderia explicar o fato de dois gelos da mesma temperatura quando em atrito derreterem¹²³? O cientista Thompson observou que ao furar um canhão a temperatura deste aumentava excessivamente, mas não havia (não deveria ter) a presença de (todo aquele) calor ali (nas peças), pois se houvesse, o canhão derreteria antes (de) ser furado, o que sugeria que o ‘calor’ havia sido criado e na teoria do calórico nada (de calórico) é criado”*. Essa resposta revela que o aluno entendeu que o aquecimento de materiais em atrito é um fato contraditório para a teoria calórica por violar o postulado de que o calórico não pode ser criado nem destruído. Isso porque

¹²³ Embora o aluno não tenha especificado que esta experiência de atritar gelos se realizara num ambiente cuja temperatura estivesse abaixo do ponto de fusão da água, admite-se aqui que esse raciocínio esteja implícito em sua resposta por dois motivos: primeiro porque essa condição experimental em temperatura inferior ao do ponto de fusão foi muito bem explicitada pela RRD e, segundo, porque não é preciso aprender pela Física ou pela História da Física que qualquer bloco de gelo independe de atritos para derreter em temperaturas ambientes acima de 0°.

ele reconheceu que a interpretação do resultado experimental sugeria um contínuo aumento da substância calórico pelo atrito, além da quantidade que inicialmente existira nos blocos de gelo.

Uma avaliação feita pelo aluno sobre o alcance explicativo de ambos os modelos teóricos para o fenômeno do atrito é vista na resposta da terceira questão. Assim ele comentou: *“A Teoria do Calórico explicava que o aumento da temperatura entre dois corpos em atrito se dava pelo calor ambiente, ou seja, o meio ambiente fornecia o calor que aquecia estes corpos. Já a Teoria Cinético-Molecular explica que dois corpos quando estão em atrito, o movimento (de atrito) aumenta a vibração de suas moléculas, aumentando sua(s) temperatura(s)”*. É importante notar que o aluno admitiu que as duas teorias ofereceram explicações para esse fenômeno. No entanto, ele diferenciou a qualidade das explicações ao afirmar: *“Enfim, essa teoria (do calórico) encontrou limitações e não conseguia mais explicar tantos fenômenos de forma coerente”* (respondido na segunda questão). Por uma explicação coerente, esse aluno entendeu uma explicação que não apresenta incoerência com algum dos postulados da teoria em uso, como foi o caso de especificar, na segunda resposta, a incoerência da explicação do calórico estar sendo criado no processo de atrito.

Pelo que percebeu do critério de falseamento de teorias presente na RRD, o aluno respondeu o seguinte na quarta questão: *“Observo qual (teoria) consegue explicar o maior número de fenômenos de forma coerente”*. Essa é a regra que o aluno diz para avaliar se uma teoria é melhor que outra, caracterizada pelo critério do grau de explicações coerentes. Com esse critério, o aluno realizou o seguinte julgamento para a quinta questão: *“A Teoria Cinético-Molecular (é a melhor) porque ela explica mais fenômenos que a Teoria do Calórico e de forma mais coerente quando permite que o calor não seja considerado uma substância, mas o efeito da maior (variação) da agitação de partículas. Eu acho que a melhor teoria é a que explica mais fenômenos (coerentemente)”*. Pode-se dizer que a RRD obteve êxito em permitir que o aluno reconhecesse a degeneração de um programa devido à proliferação de fatos contraditórios quando comparado com um rival então progressivo, como se nota por essa exemplificação da degeneração do programa calórico frente ao programa cinético-molecular. Essa proliferação de fatos contraditórios foi estabelecida a partir das experiências iniciais de troca de calor por diferença de temperatura serem interpretadas pela transmissão de calor e não pela sua criação, conforme postulado teórico, enquanto as experiências de atrito serem interpretadas pela criação dessa substância. Assim, por influência desta RRD é possível dizer que o aluno, embora em

outros termos, admita a rejeição do programa calórico, por este apresentar-se degenerativo em razão de um fraco cinturão de explicações, auxiliares na comparação com um rival, logo vencedor.

Para a sexta pergunta ele respondeu: *“As teorias são colocadas em cheque conforme novas descobertas são feitas, então elas devem se(r) aprimoradas e caso encontrem limitações para isso, novas teorias devem ser formuladas”*. Esse comentário pode ser interpretado como se uma teoria dominante, ao se deparar com muitas anomalias, ceda seu posto a uma nova teoria que se necessitou formular. Isso tendência para a visão kuhniana de ciência extraordinária. Porém, a resposta da sétima questão foge desta visão kuhniana ao retomar a essência da comensurabilidade entre os programas rivais desta RRD. Isso é verificado pelo fato de o aluno resgatar o critério racional do grau de explicações coerentes ao afirmar: *“Teorias incoerentes ao explicar fenômenos (explicações incoerentes) não têm muita utilidade para o homem. Teorias que explicam o maior número de fenômenos (coerentemente) satisfazem mais nesta incessante busca de respostas”*. Esta resposta permite dizer que um importante benefício desta RRD, em influenciar a concepção da Ciência, está no fortalecimento da crença que este aluno mostrou de um conhecimento científico inacabado e que não é exclusivamente cumulativo. Além disso, também se pode dizer que o aluno admite explicações científicas que são coerentes com os postulados de uma teoria, devido ao raciocínio por ele desenvolvido em respostas deste passo. Esse pensamento é compatível com a metodologia dos programas de pesquisa de Lakatos por analogia à linguagem de uma série de teorias que se desenvolvem num autêntico programa de pesquisa.

Análise do desempenho do aluno no passo 7

O aluno respondeu na primeira questão que: *“Calor é a energia transferida de um corpo para outro durante a intensa atividade (movimento) das partículas (do primeiro corpo). Temperatura é o que mede a energia (de intensa atividade das partículas)”*. Essa idéia de calor como a energia transferida de um corpo para outro pela intensa atividade das partículas é semelhante à idéia de calor apresentada por ele no terceiro passo como energia liberada em movimento das moléculas. A mesma semelhança ocorre com o conceito de temperatura. No terceiro passo, o aluno admitiu que a temperatura mede a quantidade de energia de um corpo,

energia que ele relaciona ao nível de movimentação das partículas. Embora o aluno tenha se equivocado em comentar que a temperatura mede ao invés de ser uma medida, pode-se dizer que ele corretamente entendeu que essa energia está relacionada à intensidade de movimentação das partículas de um corpo. Para o conceito de calor, ainda que ele não tenha explicitado uma diferença de temperaturas, ele entendeu que o calor é a energia transferida de um corpo a outro em virtude de uma intensa atividade das partículas de um deles, logo, de temperatura maior, conforme seu entendimento de temperatura. Esses entendimentos representam um avanço conceitual significativo em comparação com os entendimentos de calor e temperatura da noção intuitiva que ele apresentou no primeiro passo.

A frutificação de idéias compatíveis com a Teoria Cinético-Molecular pode ser observada em respostas das quatro situações da segunda questão. Em (a) o aluno respondeu: *“Porque o movimento exercido ao atritar esses materiais estimula o aumento do movimento das moléculas desses corpos”*. Em (b) ele respondeu: *“Porque o choque provoca um impacto que aumenta a agitação das partículas do prego, assim ele se aquece”*. Assim respondeu em (c): *“Porque o movimento realizado para que o arame se rompa leva a um leve aquecimento deste material o que proporciona que ele se rompa a partir da força exercida por nosso movimento”*. Mesmo que o aluno tenha apenas realizado uma descrição do observável na resposta (c), as duas primeiras respostas revelam explicações compatíveis com a Teoria Cinético-Molecular. Isso porque ele admitiu, nessas duas situações, que as elevações de temperatura se devem ao aumento do grau de agitação das partículas dos corpos. Nota-se também que o aluno não mencionou o conceito de calor nessas três situações. Resultados então desejados nesse processo de ensino e de aprendizagem.

Para a questão (d), alguns comentários do aluno comprovam uma condição de inteligibilidade com a Teoria Calórica. O aluno afirmou: *“A teoria do calórico não explica este fenômeno, pois, a água se estabiliza em uma temperatura mesmo quando ainda é fornecido calor a ela através do fogo, que se encontra (o fogo) numa temperatura muito mais elevada que a da água”*. Nota-se nesta resposta que o aluno admitiu uma fraqueza explicativa da Teoria Calórica para esse fenômeno, pois se há fornecimento de calor (calórico) para a água, esta deveria aumentar sua temperatura. Pode-se dizer que o aluno entendeu que a proposição fatural, de *“a água se estabiliza(r) em uma temperatura mesmo quando ainda é fornecido calor (calórico) a ela através do fogo”*, está incoerente com a seguinte base dessa Teoria: *“Na Teoria do Calórico nada*

(de calórico) *é criado e nem destruído, o calor é uma substância que flui do corpo com mais calórico para o com menos calórico afim de obter o equilíbrio de temperatura entre os dois*” (comentado no terceiro passo). Já com a Teoria Cinético-Molecular ele respondeu: *“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 que mesmo o fogo tendo uma temperatura mais elevada que a da água, a Teoria Cinético-Molecular explica o fenômeno”*. Essa resposta destaca uma condição de inteligibilidade com o modelo cinético-molecular. Nota-se que o aluno comparou os alcances explicativos de ambos os modelos teóricos ao afirmar que o modelo calórico não explica tal fenômeno e o modelo cinético-molecular o explica, conforme suas justificativas pela válida articulação dos conceitos presentes em cada modelo. Aliás, essas suas explicações destacam uma condição de insatisfação com o modelo calórico, mas não com o rival cinético-molecular.

Na terceira questão, vê-se que o aluno procurou responder todas as quatro situações da segunda questão por suas idéias iniciais do primeiro passo. As respostas foram: *“Porque o ato de esfregar as mãos impede que o ar frio passe entre elas, assim as mãos se aquecem”* (respondido em a); *“Porque o choque desprende energia e gera calor”* (respondido em b); *“Devido ao movimento repetitivo que realizamos com o arame”* (respondido em c); *“A água chega a uma certa temperatura e entra em ebulição começando a evaporar, por isso a temperatura no recipiente com água não sobe mais”* (respondido em d). A primeira resposta está idêntica àquela do primeiro passo, analisada de acordo com sua noção intuitiva. Na segunda resposta, o aluno afirmou que o desprendimento de energia pelo choque gera calor, podendo então ser por ele entendido como a parte quente da temperatura. Nas terceira e quarta respostas, o aluno nem sequer explicou coerentemente por suas noções iniciais os fenômenos, apenas limitou-se a descrições dos observáveis. Essa análise de suas respostas é reforçada pela reflexão que o próprio aluno fez sobre elas quando as comparou com o alcance explicativo da Teoria Cinético-Molecular: *“A Teoria Cinético-Molecular explica os fenômenos com muito mais coerência do que minhas idéias, que se limitam a não explicar quase nada e de forma que ainda existam fatos a ficarem sem explicação”* (resposta da quarta questão). Também na resposta da quinta questão, o aluno mostrou-se convencido da supremacia da Teoria Cinético-Molecular, justificando o seguinte: *“A Teoria Cinético-Molecular (é a melhor), pois ela explica os fenômenos de forma*

científica e eu, uma leiga, explico (com minhas idéias iniciais) quase de forma mística sem que o fenômeno seja compreendido”.

Pode-se notar que o aluno resgatou o critério de avaliação de teorias, baseado no grau de explicações coerentes, que havia mencionado por influência da RRD. Esse critério está embutido na justificativa de seu julgamento, explícito no grifo da resposta da quarta questão: “*A Teoria Cinético-Molecular explica os fenômenos com muito mais coerência do que minhas idéias, que se limitam a não explicar quase nada e de forma que ainda existam fatos a ficarem sem explicação*”. Conclui-se que a RRD mostrou-se importante para exemplificar uma racionalidade que auxiliou o aluno neste último passo a entender e justificar uma superioridade da Teoria Cinético-Molecular de maneira igualmente racional.

7.2.4 Aluno 4

Análise do desempenho do aluno no passo 1

Esse aluno apresentou entendimentos de calor e temperatura relativos à terceira noção intuitiva. Identificam-se, em suas respostas, conceitos cujas características são semelhantes com os de calor e de temperatura da Teoria Calórica. Uma característica é a de o calor estar contido nos corpos, vista em resposta da primeira questão: “*calor é armazenado*”. Também respondeu: “*calor é a temperatura que um corpo passa para outro*”. É preciso mostrar que o aluno não entende calor e temperatura como sinônimos, mas que o calor transferido de um corpo para outro altera suas temperaturas. Isso pode ser comprovado pela resposta da segunda questão: “*Cada corpo tem uma temperatura diferente conforme o calor que recebe a cada ambiente*”. Esta resposta é coerente com a idéia de que a temperatura é a medida da quantidade de calor, pois o aluno relaciona a dependência da temperatura de um corpo com a quantidade de calor que este corpo possa ter ao ceder ou receber tal quantidade. Para a quarta questão ele respondeu: “*Porque teve transferência de calor entre as duas amostras de água*”. Esta resposta, embora aparentemente correta, apresenta problemas pela definição de calor do aluno. Isso porque o aluno não associou o calor à palavra energia em nenhuma resposta. Mais ainda, porque ele entende que o calor pode transitar de um corpo a outro para alterar a temperatura e nele ficar armazenado. Justificam-se, assim, seus entendimentos na terceira noção intuitiva.

Para a quinta questão, o aluno forneceu a seguinte explicação: “*Porque passa calor de uma (mão) para outra*”. Esta explicação está compatível com a noção de que um corpo armazena calor. Como a quinta questão é um desafio explicativo para estudantes da terceira noção intuitiva, o aluno despreza a reflexão sobre o fato, contraditório com suas idéias, de as mãos não partirem de uma diferença de temperatura e manterem uma temperatura comum durante o processo de aquecimento por atrito, explicando simplesmente por admitir que as mãos estariam trocando calor.

Análise do desempenho do aluno no passo 3

Como resultado do processo de ensino, o aluno apresentou uma suficiente compreensão dos conceitos de calor e temperatura de ambos modelos teóricos. Assim disse para a primeira questão: “*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 ou destruída e sim transferida de um corpo para outro. Quanto maior a quantidade de calórico maior a temperatura*”. Também respondeu na segunda questão: “*Temperatura é a análise do grau de medida de calórico em um determinado corpo. Calor é um fluido de massa desprezível denominado calórico, que pode ser transferido de um corpo para outro*”. Essas respostas mostram que o aluno entendeu vários aspectos importantes dos conceitos de calor e temperatura da Teoria do Calórico, como as características do fluido calor e a dependência proporcional que a temperatura de um corpo tem em relação à sua quantidade de calórico. Já pelas respostas das terceira e quarta questões, o aluno mostrou os seguintes entendimentos da 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*”. Nestas respostas, o aluno refere-se ao calor como um método de transferir energia na mencionada situação de diferenças de temperaturas e, à temperatura, como uma forma de analisar o grau de energia cinética das moléculas. Assim, o aluno distinguiu adequadamente os significados de calor e temperatura dos dois modelos teóricos discutidos em classe. Uma comparação também realizada pelo aluno é a de que, na Teoria Cinético-Molecular, “*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". Essa comparação do aluno torna-se um resultado importante deste processo de ensino e de aprendizagem porque é igualmente válida à sua idéia inicial, de calor armazenado nos corpos, por ser semelhante ao conceito de calor contido nos corpos, da Teoria Calórica.

As inteligibilidades dos modelos teóricos podem ser verificadas nas respostas da quinta questão: *"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 encosta(m), e assim ocorre a transferência de energia, já que a molécula com mais movimento esbarra na outra gerando mais movimento (à esta última), assim, igualando os movimentos (das partículas) dando a mesma temperatura"*. Essas respostas comprovam que o aluno soube explicar o fenômeno do equilíbrio térmico pelas duas maneiras, concluindo, por uma teoria, que isso ocorre devido ao equilíbrio de calórico e, por outra, porque há igualdade (equilíbrio) de energia dos movimentos das partículas dos corpos.

Análise do desempenho do aluno no passo 5

A mesma conclusão feita no último parágrafo acima sobre a inteligibilidade de cada um dos modelos teóricos pode-se repetir para a resposta que o aluno apresentou para a primeira pergunta deste quinto passo: *"O equilíbrio térmico explicado pela teoria do calórico é pelo fato da substância calor (se) transferir para (o) outro corpo, equilibrando (as quantidades dessa substância), deixando o mais quente (amostra de água quente) mais frio e o mais frio (amostra de água fria) mais quente. O equilíbrio térmico explicado pela teoria cinética molecular é pela transferência de energia de um corpo para o outro, as moléculas do corpo mais quente dando (um aumento de) movimento às moléculas do corpo mais frio, (estas) começam a se movimentar mais graças à transferência de energia, igualando (a temperatura do corpo quente) à temperatura do corpo mais frio"*. Esta resposta mostra que o aluno obteve um avanço no

conhecimento dos conceitos em foco, por comparação ao que havia respondido na quarta questão do primeiro passo, explicando, de duas maneiras diferentes, o fenômeno. Essas inteligibilidades, então mantidas, revelam que o aluno compreende e distingue as diferenças entre os modelos, condição importante para o acompanhamento da discussão racional da RRD, cujos resultados são agora analisados.

Pela resposta da segunda questão, é possível dizer que a RRD convenceu o aluno das várias dificuldades explicativas que a Teoria do Calórico enfrentou. O aluno entendeu que, durante o processo de atrito, a quantidade de calórico que surgia parecia inesgotável, interpretação incompatível como o postulado de sua proibida criação (*“A primeira dificuldade foi a do calor por atrito, pois a transferência de fluido (calórico) (para as superfícies) era inesgotável, quanto mais atrito, maior ficava a temperatura”*). Ele percebeu também que a hipótese auxiliar do calórico ser espremido para a superfície não foi satisfatória: *“conseguiram explicar não muito satisfatoriamente que a substância (calórico) ficava espremida (para a superfície) e assim aquecia (a superfície)*. Conseqüentemente, uma vez entendido que *“o calórico é uma substância que não pode ser criada ou destruída e sim transferida de um corpo para outro”*, o aluno reconheceu que, se aquela quantidade de calórico já estivesse nas peças, elas poderiam se fundir antes mesmo do processo de atrito, conforme comentou: *“a segunda (dificuldade) foi a da broca e do canhão, conforme a teoria do calórico, se o canhão já tivesse todo aquele calórico para transferir, ele (o canhão) teria fundido antes de ser perfurado com a broca”*. Mais ainda, o aluno aceitou a contradição com o postulado da Teoria Calórica, que diz que o calórico *“passa livremente nas partículas do corpo, sempre no sentido do mais quente para o mais frio”*, quando dois blocos de gelo derretem pelo atrito mesmo em temperaturas inferiores à de fusão da água, visto no seguinte comentário: *“A terceira (dificuldade) foi questionada em um dia que a temperatura tava abaixo de zero e o gelo derreteu quando foi atritado, colocando em dúvida sobre a transferência de calórico do meio ambiente, já que a temperatura (ambiente) estava abaixo do ponto de fusão (da água)”*. Esta resposta também revela que o aluno interpretou que não se validou essa segunda explicação (hipótese) auxiliar, justificando seu entendimento de dificuldades explicativas. Conclui-se que o uso desta RRD alcançou resultados interessantes na intenção de permitir ao aluno o entendimento de uma proliferação de resultados experimentais incongruentes que se mostraram de difícil superação para o programa calórico, gerando no aluno condições de insatisfação com esse programa.

Na comparação das explicações de ambas teorias para o fenômeno do aquecimento por atrito, ele respondeu na terceira questão que a Teoria do Calórico explica que “*o fluido fica espremido (concentrado na superfície) entre os dois corpos, gerando calor (calórico)*”. Essa resposta mostra que o aluno percebeu que houve explicação do fenômeno pelo modelo calórico. Se por um lado essa explicação do aluno está incorreta por ele usar a palavra *gerando* (calórico), descuido que o aluno mostra por esquecer que gerado é sinônimo de criado, fato proibido pelo modelo, de outro lado, ela fortalece a afirmação de que ele admitiu a criação de calórico no processo. Além disso, nota-se, pela análise do parágrafo anterior, que o aluno reconheceu que essa explicação não foi satisfatória porque a quantidade de calórico que surgia entre os corpos, durante o atrito, parecia *inesgotável*, logo, contrariando o postulado de que o calórico não pode ser criado. Ainda na terceira questão ele respondeu: “*Enquanto a Teoria Cinético-Molecular afirma que o calor obtido é pelo constante movimento das moléculas, quanto mais movimento (de atrito), maior será o choque entre elas (as moléculas), maior será a pressão (das superfícies em contato) e a transferência de energia*”. Um problema conceitual nesta resposta refere-se à palavra calor. Nesta situação de atrito, não existe calor e, incorretamente, o aluno assim afirma obtê-lo no aquecimento. Embora o aluno já tenha especificado que calor é transferência de energia, esqueceu que é uma transferência de energia quando há diferença de temperaturas. Neste processo de tentativa de construção do conhecimento científico, procurar-se-á verificar também se esse problema conceitual se mantém em análises das respostas do sétimo passo. Entretanto, nota-se que a RRD não gerou condições de insatisfação no aluno com a Teoria Cinético-Molecular como ocorreu com a rival Calórica.

Assim sendo, para a quarta questão o aluno respondeu que escolhe “*a teoria (que) explica melhor e de maneira mais convincente os fenômenos do que a outra*”. Desta resposta pode-se afirmar que o aluno segue a regra de selecionar a teoria que explica mais convincentemente os fenômenos, cujo critério baseia-se no grau de explicações convincentes de uma teoria. Um comentário do aluno na quinta resposta permite entender o que o aluno quer dizer com ‘*mais convincente*’. Lá o aluno afirmou que “*pode existir uma teoria melhor que a outra, que é aquela que explica de forma mais lógica os fenômenos ocorridos*”. Portanto, por ‘*mais convincente*’ o aluno entende por ‘*de forma mais lógica*’. Lógica é sinônimo de coerência, e adiantando o que o aluno afirmou no sétimo passo (“*quem explica mais fenômenos de forma coerente*”), pode-se dizer que é exatamente esse o significado que a palavra lógica tem para ele.

Assim, o aluno apresentou o seguinte julgamento para a quinta questão: “A *teoria cinético-molecular obteve melhor desempenho por conseguir explicar mais claramente todos os fenômenos*”. É interessante notar que a justificativa desse julgamento deve-se à teoria escolhida explicar mais claramente todos os fenômenos. Diante disso, conclui-se que o aluno observou e comparou as explicações que os dois modelos teóricos rivais forneceram aos fenômenos discutidos na RRD, reconhecendo a Teoria Cinético-Molecular como vencedora. Conclui-se que a RRD foi uma importante ferramenta para exemplificar uma discussão racional e promover o entendimento no aluno de um critério de comparação de teorias, mesmo pelo fato do aluno tê-lo manifestado em diferentes expressões, quer pelo grau de explicações convincentes, quer pelo grau de explicações lógicas, ou pelo grau de explicações mais claras.

Em relação à visão do desenvolvimento das teorias científicas, pode-se dizer que o aluno entendeu que a Teoria do Calórico era a teoria dominante e que, devido aos seus problemas explicativos, a rival Teoria Cinético-Molecular surgiu como sua substituta. Assim respondeu a sexta questão: “*Pelas dúvidas (questionamentos) da teoria do calórico que surgiu a teoria cinético-molecular. As teorias são reformuladas conformes os fenômenos e conforme as experiências com os resultados obtidos*”. Embora o aluno tenha enfatizado que o surgimento de uma nova teoria ocorre pelos problemas que a antiga tenha apresentado, visão diferente de uma história dos programas de pesquisa em competição, a RRD conseguiu exemplificar para ele uma evolução do conhecimento científico que não ocorre de maneira exclusivamente cumulativa. Já na sétima questão o aluno respondeu: “*Mesmo que a Teoria Cinético-Molecular explica de forma mais abrangente os fatos, a Teoria do Calórico não foi esquecida, até porque estou estudando as duas teorias agora*”. Por esta resposta e pelas tentativas explicativas da Teoria Calórica que o aluno comentou neste passo, pode-se dizer que ele caracterizou um entendimento interessante para uma analogia com o pensamento de Lakatos (1970, p. 195), que afirma que mesmo um programa estando velho, ‘cansado’, perto do seu ‘ponto de saturação’, ou mesmo derrotado, ele pode continuar a resistir por muito tempo e a manter-se com engenhosas inovações, ainda que estas não estejam com sucesso empírico.

Análise do desempenho do aluno no passo 7

Nota-se, na resposta da primeira questão, que o aluno diferenciou corretamente os conceitos de calor e temperatura pela Teoria Cinético-Molecular. Assim ele respondeu: *“Calor é a transferência de energia dada pelos movimentos da(s) molécula(s) que interage(m) entre dois corpos de temperatura(s) diferente(s). Temperatura é a análise do grau de energia (relacionada aos movimentos das moléculas)”*. Observa-se nesta resposta que o aluno especificou uma diferença de temperaturas entre os corpos, situação única em que o uso da palavra calor tem correto significado como transferência de energia. Apesar disso, é necessário lembrar do erro conceitual que o aluno cometeu em relação ao uso da palavra calor numa situação de aquecimento que foi discutida no terceiro parágrafo da análise do quinto passo. Agora, com as respostas da segunda questão, pode-se verificar se aquele equívoco se manteve. As respostas são: *“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”* (respondido em a); *“Por causa da pressão dada pelo impacto dado pelo martelo ao bater no prego. Essa pressão faz que ocorra agitação entre as moléculas assim aquecendo-o”* (respondido em b); *“Por causa do movimento. Ao flexionar um pedaço de arame você também está provocando movimento nas moléculas. Quanto mais flexionar maior será a agitação delas e maior será a temperatura, deixando o metal mais fraco a ponto que se rompa”* (respondido em c). Essas respostas revelam que o aluno não citou a palavra calor em qualquer uma das três situações de aquecimento. Revelam também uma condição de frutificação de explicações coerentes com a teoria cinético-molecular em razão de o aluno relacionar a variação do movimento das moléculas com o aumento de temperatura. Conclui-se que o descuido do aluno, relacionado ao inapropriado uso do conceito de calor verificado em uma explicação de aquecimento por atrito em análise do quinto passo, agora não se repetiu.

Em relação à comparação explicativa provocada na questão (d), o aluno respondeu que a Teoria do Calórico “*não*” explica o fenômeno da estabilização da temperatura da água em ebulição, mas a Teoria Cinético-Molecular explica. Em suas palavras, de um lado justificou que: *“conforme a Teoria do Calórico, a diferença de temperatura entre dois corpos sofre o equilíbrio térmico. Então, quanto mais calor (calórico) um corpo ter, mais calor (calórico) ele irá transferir para o corpo mais frio, assim, aquecendo cada vez mais até tiver o equilíbrio térmico ou interromper a transferência da substância (calórico). Esse fenômeno, do*

ponto de fusão (ebulição) da água, entra em contradição porque mesmo com a transferência constante de calor, a água não altera a temperatura depois de 100°C". Do outro lado justificou o seguinte: "A Teoria Cinético-Molecular explica que, para que a água mude de temperatura e ultrapasse os 100°C é preciso que todas as moléculas presente no corpo estejam na mesma condição. As moléculas da água em forma líquida estão mais ligadas e agrupadas do que na forma de vapor. Com o aquecimento da água líquida (a 100° C) essas ligações se rompe(m), dando pouco a pouco a organização de vapor. Até todas as moléculas não ter(em) essas ligações rompidas, não ocorre a mudança de estado e também (não ocorre) a mudança de temperatura (acima dos 100°C)". É interessante agora apontar para certos detalhes explicativos do aluno conforme seus entendimentos de ambos os modelos teóricos ensinados em classe. O aluno reconheceu que o calor (calórico) fornecido pela diferença de temperatura deveria alterar a temperatura da água, conforme sua previsão pela Teoria do Calórico, até que houvesse o equilíbrio térmico ou que se interrompesse a transferência da substância calórico. Logo, o aluno admitiu que a experiência revela um fato contraditório para aquele modelo (*esse fenômeno entra em contradição*), pois o aluno já havia entendido que "o calor (calórico), substância de massa desprezível, passa livremente nas partículas do(s) corpo(s), sempre no sentido do (corpo) mais quente para o (corpo) mais frio" (respondido no terceiro passo), alterando a temperatura deste último. Como a interpretação deste fato pelo aluno é de que o calórico transferido do corpo mais quente para o mais frio não altera a temperatura deste último, essa interpretação torna o fato contraditório aos fatos de equilíbrio térmico que anteriormente ele interpretou com o modelo calórico. Pode-se dizer aqui que essa proliferação de fatos contraditórios destacou uma nova condição de insatisfação com a Teoria Calórica no aluno, além daquela igualmente alcançada em fenômenos de aquecimento por atrito. Já com a Teoria Cinético-Molecular, viu-se que o aluno caracterizou uma condição de satisfação explicativa, apresentando uma resposta compatível com essa teoria.

Na terceira questão, procurou-se verificar se o aluno apresentou explicações conforme a terceira noção intuitiva em que foram classificadas suas idéias iniciais, quer dizer, num programa alternativo por analogia com o programa calórico. Mas, ainda que o aluno tenha mostrado condições de responder as questões com suas idéias iniciais, assim como fez com a Teoria Calórica, ou ao menos de tentar respondê-las, ele não forneceu explicações e apenas apresentou o seguinte reconhecimento: "*Não é possível (explicar), porque as minhas concepções*

da primeira avaliação são insuficientes e entram em contradição, já que a teoria que escrevi ('teoria' do primeiro passo) se assemelha com a teoria do calórico que não cobre as explicações destes fenômenos (do atrito e da água em ebulição)". Apesar desta resumida resposta, é possível notar que o aluno admitiu uma semelhança de suas idéias iniciais com as da Teoria Calórica e que, pelo fato de ter realizado comparações explicativas entre os modelos rivais do Calórico e Cinético-Molecular, avaliando seus êxitos, ele igualmente conclua que a Teoria Cinético-Molecular permaneça como melhor diante de suas idéias iniciais. Esta afirmação é comprovada pelo seguinte julgamento do aluno: "(minhas concepções iniciais) são piores (do que as da Teoria Cinético-Molecular), porque além de serem menos elaboradas, (elas) não cobrem a explicação lógica de todos os fenômenos como a Teoria Cinético-Molecular cobre" (comentado na quarta resposta). Esse julgamento baseou-se no critério comparativo do grau de explicações lógicas de uma teoria, critério que o aluno havia mencionado no quinto passo. Pelos dicionários, lógica é sinônimo de coerência. Como foi mostrado em análise do quinto passo, 'coerência' é o sentido que a palavra 'lógica' tem para o aluno. Prova-se isso pela resposta da quarta questão: "Meu critério para comparar as duas teorias (a minha e a Cinético-Molecular) é quem (qual) explica mais fenômenos de forma mais coerente". E por esse critério o aluno novamente julga na quinta questão que a melhor é: "(a) Teoria Cinético-Molecular porque ela explica maior quantidade de fenômenos de forma mais coerente".

Conclui-se que a RRD conseguiu exemplificar uma discussão racional entre teorias rivais baseada num critério de comparação, entendido pelo aluno como grau de explicações lógicas ou coerentes, que foi mantido nesta última etapa, auxiliando o aluno a comparar e julgar, de maneira igualmente racional, que a Teoria Cinético-Molecular é a melhor.

7.2.5 Aluno 5

Análise do desempenho do aluno no passo 1

Este aluno apresentou respostas em forma de dúvida para as duas primeiras perguntas. Assim ele escreveu: "Calor seria a capacidade de aquecimento ou resfriamento de algo?" (primeira resposta); "(temperatura) é a variação do calor?" (segunda resposta). Embora o aluno tenha apresentado essas perguntas que revelam uma posição incerta em relação às suas

noções de calor e temperatura, as demais respostas não apresentaram interrogações e mostram uma tendência para a terceira noção intuitiva. Para a terceira pergunta ele afirmou que *“a temperatura depende (da quantidade) do calor, porém, a temperatura é medida, o calor não”*. Afirmou na quinta resposta que o calor está contido nos corpos (*“pois, as mãos já possuem um calor próprio”*). Também mostrou um entendimento de que o aumento de temperatura depende do aumento da quantidade de calor, ao dizer que: *“quando ocorre o atrito, deve se aumentar o calor por serem duas mãos (cada uma com uma quantidade de calor próprio), e não mais uma só”*. Essa última resposta mostra o entendimento de que a união das mãos pelo atrito permite que a quantidade de calor seja maior, igual à soma do calor próprio que cada mão inicialmente possuía, explicando assim a elevação de temperatura pelo aumento da quantidade de calor.

Para a quarta questão, o aluno apenas descreveu o fenômeno sem mencionar a palavra calor: *“Por elas estarem (com temperaturas) diferentes, quando ocorre a mistura, uma aquece a outra, e esta por sua vez é resfriada, fazendo com que as duas igualem sua(s) temperatura(s)”*.

Análise do desempenho do aluno no passo 3

Pode-se dizer que o processo de ensino conseguiu proporcionar ao aluno um conhecimento suficiente dos conceitos em foco de ambos os modelos teóricos em relação ao nível discutido em sala de aula. Pela Teoria do Calórico, o aluno apresentou os seguintes entendimentos: *“o calor é uma substância chamada calórico que possui massa desprezível (pois o mesmo corpo quente ou frio não varia a massa) e é invisível (pois ninguém nunca conseguiu ver o calórico), presente em um corpo. Quando se junta dois corpos com diferentes temperaturas, ou seja, com diferente(s) quantidade(s) de calórico, há uma transferência de calórico do corpo mais quente para o corpo mais frio e, assim, iguala-se a temperatura. A temperatura mede a quantidade de calórico que um determinado corpo possui”*. Com a Teoria Cinético-Molecular o aluno afirmou: *“o calor é a transferência da energia cinética, decorrente (da diferença) da temperatura existente nos corpos. A temperatura mede o grau de agitação das partículas, ou seja, o grau da energia cinética”*. Essas respostas comprovam que o aluno percebe a diferença conceitual de calor e temperatura entre os modelos estudados. Uma comparação feita pelo aluno que fortalece ainda mais esta última afirmação é: *“Nessa teoria (Cinético-Molecular)*

não existe transferência de substância (calórico) e sim transferência de energia de um corpo para o outro”.

Já para a quinta questão, o aluno respondeu: *“Na Teoria do Calórico, existe passagem de calórico do corpo mais quente para o corpo mais frio. O corpo mais quente, por passar calórico para o mais frio, perde calórico (para este) e, assim, iguala-se a temperatura, ou seja, a quantidade de calórico existente nos dois. Na teoria cinético-molecular, há transferência de energia (cinética das partículas), ou seja, o movimento das partículas é igualado. O corpo em que suas partículas tem movimento menor, o movimento aumenta, e o corpo em que suas partículas tem movimento maior, o movimento diminui e assim ocorre o equilíbrio térmico”.* Esses comentários mostram que o aluno adquiriu uma inteligibilidade de cada teoria, explicando o fenômeno por equilíbrio de calórico ou por equilíbrio de energia.

Análise do desempenho do aluno no passo 5

Uma condição importante para que o aluno acompanhe as discussões racionais é a compreensão dos conceitos e explicações dos modelos teóricos até então estudados. Para verificar isso, mostra-se que o aluno mantém inteligíveis esses modelos pela resposta da primeira pergunta: *“De acordo com a Teoria do Calórico, quando essas duas amostras de água entram em contato, há uma transferência de calórico da água mais quente para a mais fria e, assim, se iguala o número de calórico, havendo um equilíbrio térmico entre essas amostras de água. A Teoria Cinético-Molecular diz que não há transferência de uma substância, e sim (transferência de) vibrações de moléculas, e que quando uma amostra (de água) quente (com bastante vibração entre as moléculas) entra em contato com uma amostra (de água) fria (pouca vibração entre as moléculas), elas começam a entrar em um mesmo ritmo de vibração, havendo assim um equilíbrio térmico”.* Essa resposta, por comparação com a resposta que inicialmente ele apresentou na quarta questão do primeiro passo, já é um resultado positivo da construção do conhecimento do aluno em razão de ele ter apresentado duas novas explicações de acordo com os modelos teóricos ensinados.

Nota-se, pela resposta da segunda questão, que a RRD conseguiu transmitir ao aluno um entendimento de algumas dificuldades explicativas que a Teoria do Calórico sofreu. Assim comentou o aluno nesse sentido: *“sim, pois apesar de dar conta de explicar vários*

fenômenos, foram surgindo questões que a Teoria do Calórico não conseguiu dar uma boa explicação". Pode-se dizer que o aluno entendeu que o argumento das peças em atrito terem de derreter antes mesmo desse processo, devido às quantidades de calórico que se supunha perceber serem admitidos inicialmente nelas estarem em razão da proibida criação de calórico, foi problemático para a teoria, como se vê na frase: *"Um exemplo foi o canhão, que quando foi furado, houve um aquecimento grande e questionaram de onde veio aquela quantidade de calórico, pois se estivesse no canhão, este já teria derretido antes mesmo de ser furado"*. O aluno ainda compreendeu que uma teoria não é abandonada e procura manter explicações (hipóteses) auxiliares para proteger seus postulados. Assim ele continuou: *"A explicação (hipótese) foi do calórico vir do meio ambiente. Porém, foi realizada outra experiência em um dia que a temperatura estava alguns graus abaixo de zero e foi colocado gelo em atrito, e este começou a derreter, e não tinha como o calórico surgir do meio ambiente, pois a temperatura estava abaixo da de fusão da água, e isso a teoria do calórico não deu conta de explicar"*. Esta resposta permite concluir que o aluno admitiu como inválida a hipótese auxiliar (entendida por ele como explicação) em que a previsão naquele ambiente de temperatura negativa não era a de os gelos derreterem, pois, pela interpretação do fato, contrariaria o sentido de propagação do calórico, conforme já havia mencionado: *"quando se juntam dois corpos com diferentes temperaturas, ou seja, com diferentes quantidades de calórico, há uma transferência de calórico do corpo mais quente para o corpo mais frio"*. Como ele entendeu que os gelos derretem na situação experimental discutida, ele admitiu, embora em outros termos, que tal hipótese auxiliar deveria ser descartada, o que enfraqueceu o cinturão protetor desse programa, enfraquecimento assim admitido pelo aluno: *"A explicação (hipótese) foi do calórico vir do meio ambiente. Porém... isso, a teoria do calórico não deu conta de explicar"*. Esses resultados da segunda questão mostram que a RRD estabeleceu uma condição de insatisfação com o programa calórico.

Na terceira questão, o aluno afirmou que ambas as teorias 'explicam' o fenômeno do aquecimento por atrito, como se vê no comentário: *"Sim, de acordo com a Teoria do Calórico, quando objetos estão em atrito há uma grande transferência de calórico de uma substância para outra, aumentando a temperatura, e o calórico poderia vir também do meio externo. A Teoria Cinético-Molecular diz que a energia (cinética do movimento de atrito) vai para as partículas da superfície do(s) corpo(s) (em contato) e, assim, quando (os corpos) entra(m) em atrito, há uma grande transferência de energia e aumento da temperatura"*.

Conclui-se, por influência do que ele respondeu na segunda questão, que o aluno assim afirmou uma aparente igualdade dos méritos dessas teorias pelo fato de a Teoria Calórica ter fornecido ‘explicações’ para os fenômenos, entendendo ele que algumas dessas explicações não foram satisfatórias. Explicações essas que, de acordo com a análise do parágrafo anterior, revelaram-se a ele mais como tentativas explicativas sem êxito, o que não ocorreu com a rival Cinético-Molecular. Isso pode ser comprovado pelo seguinte julgamento que o aluno faz de qual delas é a melhor: “A (Teoria) *Cinético-Molecular* é mais convincente, pois a Teoria do Calórico não deu conta de explicar fenômenos que a *Cinético-Molecular* deu (exemplo: *Danyel no frio*)” (quinta resposta). Esse julgamento baseou-se no critério do grau de explicações satisfatórias que pode ser visto na quarta resposta: “...verificando se essas teorias conseguem explicar os fenômenos, através de experiências, de uma forma satisfatória. A mais convincente e que seus resultados se mostram mais aceitáveis é adquirida”. Além do termo ‘forma satisfatória’, o aluno usou, no mesmo sentido outros termos, como ‘mais convincente’ e ‘boa explicação’, que permitem escrever de outras maneiras o critério de seleção de teorias que ele entendeu através da RRD, cujo julgamento não seria alterado. Assim, os critérios semelhantes ao do grau de explicações satisfatórias podem ser o do grau de explicações mais convincentes ou o do grau de boas explicações. A análise do último parágrafo mostra que a RRD fez com que o aluno entendesse por *boa explicação* (*explicação satisfatória* ou *explicação mais convincente*) uma interpretação factual que não contradiz os postulados de uma teoria, visto que o aluno reconheceu uma possível contradição do calórico ser criado¹²⁴ e igualmente do calórico se transferir do corpo mais frio para o mais quente¹²⁵. Conclui-se que a RRD, ao procurar estabelecer um entendimento análogo ao da proliferação de fatos contraditórios, mostrou alcançar um enfraquecimento (ou analogamente degeneração) do programa calórico, que foi percebido pelo aluno. Além disso, mostrou-se que o critério racional entendido pelo aluno por influência dessa RRD permitiu a ele compreender uma razão da Teoria Cinético-Molecular ser a melhor.

Em relação à visão da Ciência, uma das bases do progresso científico é o caráter acumulativo do corpo de conhecimentos à medida que são construídos. Identifica-se essa característica na sexta resposta: “As teorias vão tentando, cada vez mais, explicar fenômenos

¹²⁴ “Houve um grande aquecimento e questionaram de onde veio (toda) aquela quantidade de calórico”.

¹²⁵ “Não tinha como o calórico surgir do meio ambiente pois a temperatura estava abaixo da de fusão da água, e isso a teoria do calórico não deu conta de explicar”.

ocorridos. E podem se aprimorar por conseguir explicar de forma satisfatória esses fenômenos". Isso porque já se mostrou que o aluno admitiu por uma explicação satisfatória um entendimento análogo a uma hipótese auxiliar de um programa de pesquisa, explicação satisfatória entendida como uma explicação factual compatível com algum postulado teórico. No entanto, a resposta da sétima questão revela que o aluno não adquire uma concepção exclusivamente cumulativa do progresso científico. Assim o aluno respondeu: *"Pois uma teoria é certa (aceita) até que entre outra, com resultados mais aceitáveis e contrarie essa teoria. Um exemplo é a (Teoria) Cinético-Molecular substituir a Teoria do Calórico"*. Dessas respostas, pode-se afirmar que esta RRD é coerente com um ensino fundamentado numa visão de Ciência cujo progresso linear por acumulação é apenas uma simplificação da história vista somente num programa de pesquisa, em que esse tipo de progresso é rompido quando um programa é substituído.

Análise do desempenho do aluno no passo 7

Na primeira questão o aluno respondeu: *"Calor é energia que se dá pela vibração de partículas de um determinado corpo. A temperatura mede o grau de agitação dessas partículas"*. Essas respostas se apresentam incompletas em comparação com o que o aluno havia respondido no terceiro passo. Agora ele afirmou que o calor é energia em lugar de transferência de energia e esqueceu de mencionar a situação específica de uma diferença de temperaturas pela qual a palavra calor tem significado. Também usa a palavra temperatura como um instrumento de medida e não como uma medida de. Poder-se-ia dizer que o aluno esqueceu de mencionar o que acima se diz necessário para uma melhor interpretação desses conceitos e que ele estaria de acordo com os detalhes ausentes em sua resposta caso estes fossem a ele recordados, mas isso é apenas uma suposição. O que realmente se pode dizer é que, por comparação com suas noções iniciais, o aluno não mencionou duvidosamente que o calor seja uma capacidade de aquecimento ou mesmo que o calor seja algo contido nos corpos. E também não admitiu que a temperatura depende da quantidade do calor de um corpo. Neste momento, o aluno afirmou conceitos de calor e temperatura muito próximos dos que havia anteriormente afirmado de maneira compatível com a Teoria Cinético-Molecular e, portanto, essa resposta destaca uma certa construção do conhecimento científico.

As respostas da segunda questão mostram uma condição de frutificação de noções coerentes com a Teoria Cinético-Molecular. Em (a) o aluno respondeu: “*Pois quando esses dois corpos se atritam, há uma agitação das partículas e, assim, variação da temperatura, ou seja, ele(s) se aquece(m)*”. Em (b) ele respondeu: “*Pois com o choque, o martelo está fazendo com que as partículas do ferro comecem a vibrar (mais), e isso conseqüentemente causa um aquecimento*”. Em (c) respondeu: “*Quando se flexiona o arame, suas partículas começam a se movimentar, e com isso, pode acontecer de se romper o ligamento das partículas, isso acontecendo, faz com que o arame se rompa*”. Essas respostas mostram que o aluno entendeu que em situações de aumento de temperatura, há aumento do movimento (ou agitação ou vibração) das partículas de um corpo. Também se vê que o aluno não utilizou o conceito de calor nessas situações de aquecimento, resultados que são desejados nesse processo de ensino e de aprendizagem.

Pelo conhecimento que o aluno foi mostrando da Teoria Calórica e pela sua resposta agora em (d), afirma-se que ele entendeu que a previsão da Teoria Calórica não era a da estabilização da temperatura, visto que havia diferença de temperaturas e transmissão de calórico do fogo para a água. Assim o aluno concluiu: “(A Teoria Calórica) *não* (explica o fenômeno), pois o fogo não deixa de transmitir calórico para a água, e esta não continua aquecendo”. Até então, os exemplos discutidos de corpos a diferentes temperaturas que trocavam calor e atingiam o equilíbrio térmico constituíram-se em fatos favoráveis aos postulados da Teoria Calórica¹²⁶, mas essa última interpretação do aluno revelou-se como uma proposição factual contraditória reconhecida pelo aluno que pode ser assim escrita: ‘uma quantidade de calórico transmitida a um corpo (água) não altera sua temperatura’. Essa proposição contradiz o próprio conceito de temperatura proporcional ao nível de calórico de um corpo, mencionado anteriormente pelo aluno. Logo, é possível dizer que seu entendimento é similar ao de existirem proposições factuais contraditórias que podem ser assim escritas: numa situação de diferença de temperatura, o calórico transmitido a um corpo altera sua temperatura; em outra situação de diferença de temperatura, o calórico transmitido a um corpo não altera sua temperatura. Segundo Lakatos

¹²⁶ Sendo que o aluno explicou, na primeira questão do quinto passo, que: “*De acordo com a Teoria do Calórico, quando essas duas amostras de água entram em contato, há uma transferência de calórico da água mais quente para a mais fria e, assim, se iguala o número de calórico, havendo um equilíbrio térmico entre essas amostras de água*”. Esta explicação se conforma ao postulado da não criação e da não destruição, mas de transição de calórico, alterando a temperatura de um corpo que o recebe em acordo com o conceito de temperatura.

(1970, p. 202), a proliferação de fatos contraditórios é um sinal típico de degeneração de um programa. Por analogia, conseguiu-se dar essa sensação de enfraquecimento desse programa ao estudante. Já com a Teoria Cinético-Molecular ele respondeu: *“quando a água chega a aproximadamente 100°C, as suas partículas chegam a um nível de vibração, e que é o (nível) máximo no estado líquido. A partir daí, podem haver quebra nas ligações das moléculas e assim essas partículas voltam a vibrar (mais, aumentando a temperatura), porém em um estado gasoso”*. Além de o aluno ter apresentado uma explicação coerente com o modelo Cinético-Molecular, nota-se que ele não apresenta insatisfação explicativa como apresentou com a Teoria Calórica. As respostas apresentadas neste parágrafo favorecem a sua conclusão do quinto passo de que a Teoria Cinético-Molecular é superior à sua rival Calórica.

Para a terceira questão, o aluno apresentou as seguintes explicações com sua noção intuitiva: *“Porque no atrito, há bastante acúmulo de calor no local e assim há um aquecimento”* (respondido em (a)); *“Pois o martelo passa um pouco do seu calor para o prego e como este já possui um calor próprio, ele se aquece”* (respondido em (b)); *“Porque parte do calor se concentra no local em que está sendo flexionado e, pode acontecer que o que (quem) está flexionando, passe um pouco de calor para o arame, assim, com o aquecimento, ele vai se rompendo, como se estivesse começando a mudar seu estado físico”* (respondido em (c)); *“Cada corpo teria um nível máximo de calor possível, então por mais que o fogo continue passando o seu calor para a água (líquida), esta já chegou no seu nível máximo e o calor passa a ir para o meio ambiente”* (respondido em d)). Essas respostas mostram que o aluno foi altamente criativo ao procurar explicações auxiliares, então compatíveis com sua concepção nuclear de que a temperatura depende da quantidade do calor de um corpo, pertencente ao seu programa alternativo e que, embora sejam explicações *ad hoc*, caracterizam uma condição de plausibilidade nesse programa. Essa condição é verificada quando o aluno não concluiu que a Teoria Cinético-Molecular é superior na resposta da quinta questão: *“A Teoria Cinético-Molecular consegue explicar os fenômenos provando através de experiências. A ‘teoria’, ou a idéia que eu tinha eu não pude experimentar para poder defendê-la. Então não dá para dizer que uma é melhor que a outra, o que ocorre é que por enquanto a Teoria Cinético-Molecular consegue dar explicações convincentes e satisfatórias para os fenômenos”*. É preciso mostrar que a racionalidade adquirida por influência da RRD, em que a essência está no critério de escolha de teoria, prevaleceu nesse sétimo passo. Assim ele respondeu a quarta questão: *“Se elas (as teorias) dão conta de explicar*

de forma convincente os fenômenos que ocorrem, através de experiências". Os grifos, nas respostas das quarta e quinta perguntas acima, permitem dizer que o critério respeitado pelo aluno é o do grau de explicações convincentes ou satisfatórias. Esse critério foi utilizado pelo aluno, mas ele foi talentoso e imaginativo com suas idéias iniciais quando concluiu, na quinta questão, que suas explicações poderiam causar um empate entre a Teoria Cinético-Molecular e seu defendido programa alternativo. Nesse sentido, é possível estabelecer uma forte analogia com a seguinte frase de Lakatos (1970, p. 195): *"É muito difícil derrotar um programa de pesquisa sustentado por cientistas talentosos e imaginativos. Alternativamente, defensores teimosos do programa derrotado podem oferecer explicações ad hoc das experiências"*.

Conclui-se que a RRD promoveu uma racionalidade fundamentada num critério entendido pelo aluno como grau de explicações convincentes ou satisfatórias que foi mantido neste sétimo passo. Esse critério permitiu que o aluno concluísse que a Teoria Cinético-Molecular é melhor que a Teoria Calórica e não é pior do que suas noções iniciais. Inclusive ele concluiu que a Teoria Cinético-Molecular pode até ser melhor que suas noções iniciais, embora ele não tenha certeza dessa vantagem.

7.2.6 Aluno 6

Análise do desempenho do aluno no passo 1

As idéias de calor e temperatura apresentadas por este aluno podem ser classificadas na quarta noção intuitiva. Para ele *"calor é a energia"* (respondido nas primeira e terceira questões). Na terceira questão, o aluno respondeu que *"a temperatura é o grau dessa energia"*. Especificar o calor como energia e relacionar a temperatura com o grau dessa energia são características da quarta noção intuitiva, mas a justificativa dessa classificação também se deve ao aluno ter afirmado que a *"temperatura é (a) escala de medida da variação do calor"* (segunda resposta) e, na quinta questão, ter explicado que as mãos se *"aquecem por causa do movimento que gera calor"*. Essas respostas mostram que o aluno entendeu que a temperatura mede a energia, nesse caso entendida como calor, ou a variação do calor, de um corpo. Ademais, afirmar que o movimento, na quinta questão, entre dois corpos gera calor é um equívoco por desprezar a situação de uma diferença de temperatura, condição necessária em que o conceito de

calor torna-se adequado. Aliás, é incorreto pensar em geração de calor, sua produção ou criação. Mais ainda, nota-se, na quarta questão que o aluno mais apresentou uma descrição do fenômeno do que um tipo de explicação compatível com suas noções iniciais de calor e temperatura. Assim respondeu: “*elas (as amostras de água) atingem a mesma temperatura, pois ao se misturarem elas se tornam homogênea*”. Assim sendo, esses resultados apontam a necessidade de um processo de ensino e de aprendizagem dos conceitos científicos em foco.

Análise do desempenho do aluno no passo 3

Uma junção das respostas das primeira e segunda perguntas permite avaliar como satisfatórios os entendimentos dos conceitos de calor e temperatura apresentados pelo aluno em relação à teoria calórica. O aluno respondeu que “*o calor (calórico) é uma substância invisível e sem peso, passa do (corpo) mais quente para o (corpo) menos quente, não pode ser criado nem destruído, e a temperatura mede o grau de calor (de um corpo)*”. Uma avaliação semelhante pode ser atribuída aos entendimentos desses conceitos apresentados com a teoria cinético-molecular. O aluno respondeu, em respostas das terceira e quarta questões, que o “*calor é a transferência de energia*” e que a “*temperatura é a medida do grau de vibração das moléculas do corpo*”. Além disso, o aluno apresentou uma distinção importante entre os modelos, ao afirmar que na teoria cinético-molecular, um “*corpo não tem calor, só energia*”. Entretanto, um detalhe importante que o aluno não especificou é a condição de uma diferença de temperatura em que o calor adquire significado na teoria cinético-molecular.

Na quinta questão, o aluno apresentou a seguinte resposta: “*Na teoria do calórico, um corpo, ao se aproximar de outro corpo com temperatura diferente, é doado calor (calórico) do (corpo) mais quente para o (corpo) mais frio até se igualarem (em quantidades de calor). Na teoria cinético-molecular, um corpo (quente) ao se aproximar de outro corpo (frio) transfere a energia até atingirem a mesma vibração (das moléculas)*”. Analisando a inteligibilidade dos modelos teóricos, pode-se dizer que o aluno entende que a teoria calórica explica o equilíbrio das temperaturas pelo equilíbrio de calórico nos corpos, e pela teoria cinético-molecular isso ocorre pela igualdade das vibrações das moléculas dos corpos.

Análise do desempenho do aluno no passo 5

Para a primeira questão o aluno respondeu: “*A teoria do calórico diz que a temperatura atinge o equilíbrio, pois o calor é um fluido que vai passando do mais quente (água quente) para o mais frio (água fria) até atingirem a mesma temperatura. Já a teoria cinético-molecular diz que a temperatura atinge o equilíbrio, pois ocorre uma agitação das moléculas que é transferida do mais quente para o mais frio*”. Essas duas explicações fornecidas pelo aluno revelam uma construção do conhecimento científico em comparação ao que respondeu para essa mesma questão no primeiro passo. Além disso, em continuação à análise do passo anterior, pode-se dizer que o aluno entende que a energia por ele mencionada refere-se à energia de agitação das moléculas e, por transferência de energia (“*transfere a energia*”, respondido na quinta questão do terceiro passo), ele se refere à transferência de energia de agitação das moléculas (“*ocorre uma agitação das moléculas que é transferida do mais quente para o mais frio*”, respondido na primeira questão deste quinto passo) que um corpo cede a outro numa situação de diferença de temperatura. Essas explicações do aluno destacam suas condições de inteligibilidades para ambos os modelos teóricos que foram estudadas em classe.

Para a RRD, pode-se mostrar pelas respostas das segunda e terceira questões que ela alcançou êxito em transmitir um entendimento ao aluno das dificuldades explicativas que a teoria calórica sofreu (“*a teoria do calórico teve problemas explicativos*”). O aluno afirmou as seguintes dificuldades: “*viu(-se) que na verdade o calor (calórico) não tem massa (e) entrou em contradição (no processo de atrito), pois disse (em postulado) que o calor (calórico) não podia ser criado*”. Nota-se, nesta resposta, que o aluno reconheceu uma contradição entre o postulado e a interpretação do fato ser de criação de calórico. O aluno também reconheceu que houve tentativas para proteger o postulado da teoria calórica em situações de atrito. Assim afirmou: “*a teoria do calórico explicava esse aquecimento, pois o calor (calórico) estava distribuído dentro do objeto e ao entrar em atrito ele ia para a superfície. Mas um cientista questionou isso dizendo que se esse calor estivesse todo lá dentro (devida a inacabável quantidade de calórico que parecia surgir), o objeto derreteria antes mesmo de entrar em atrito. O (modelo) calórico se defendeu dizendo que na verdade o calor vinha da temperatura ambiente, mas assim ele entrava em contradição, pois disse que o calor (calórico) não podia ser criado*”. É interessante dizer que o aluno já havia mencionado o sentido do fluxo do calórico no terceiro passo (“*passa do mais quente para o menos quente*”) e essa seria a incompatibilidade na situação do meio ambiente que

foi discutida em sala de aula, mas ele entendeu que, na situação do atrito entre os blocos de gelo, também parecia criar calórico, ainda contrariando o postulado da proibida criação. Logo, o aluno admitiu que *“ela (a teoria calórica) não deu conta de explicar todos os fenômenos”*, em razão de *“entrar em contradição”* com seu postulado que proibia a criação de calórico.

Os resultados do parágrafo acima permitem dizer que a RRD provocou uma condição de insatisfação do aluno com o programa calórico. Isso ocorreu por meio da analogia com o típico sinal de degeneração de um programa pela proliferação de fatos contraditórios. A saber: situações de diferença de temperatura estudadas em sala de aula visaram a corroborar a teoria calórica por interpretação dos fatos em coerência com seus postulados, mas as situações de aquecimento por atrito não. Mesmo o aluno não tendo realizado comentários com a teoria cinético-molecular, (o que permitiria comprovar ou não a sua satisfação com esta teoria em relação aos fenômenos de atrito que a teoria calórica, segundo suas palavras, *“não deu conta de explicar”*) ele realizou o seguinte julgamento na comparação¹²⁷: *“Eu acho que sim (que a teoria cinético-molecular é melhor), pois a teoria do calórico entrou em contradição e não deu conta de explicar alguns fenômenos”* (respondido na quinta questão). Em relação ao critério para avaliar teorias rivais ele afirmou: *“para verificar que uma teoria é melhor do que a outra temos que ver qual explica de forma mais clara os fenômenos, ver se a teoria da conta de explicar todos os fenômenos”*. A partir dessas últimas respostas é possível dizer que o aluno concorda que uma teoria supera uma rival se um julgamento for baseado no critério do grau de explicações sem contradição ou, em outras palavras, no critério do grau de explicações mais claras. Esse critério alcançado no processo de ensino e de aprendizagem refere-se ao padrão de racionalidade, que é um resultado que a RRD buscou. A análise do próximo passo verificará se essa influência racional da RRD foi importante.

Em se tratando da natureza das teorias na Ciência, pode-se dizer que a RRD fortaleceu a concepção de modelos científicos em lugar de verdades inquestionáveis. Isso pode ser comprovado pela sexta resposta: *“elas (teorias) baseiam-se em modelos que vão se aprimorando, pois, a cada teste, eles (os cientistas) descobrem coisas novas e que tem que se adaptar a teoria a essas novas descobertas”*. Um entendimento do aluno, nesse sentido, que pode

¹²⁷ Apesar de o aluno não fornecer comentários com a teoria cinético-molecular, como foi dito, ele assistiu as discussões da RRD em que tais comentários foram realizados e, por isso, não se pode dizer que o aluno não sofreu alguma influência de satisfação com essa teoria.

ser agora resgatado está na sua afirmação: “*a teoria do calórico teve problemas, pois viu que na verdade o calor (calórico) não tem massa*”, sabendo o aluno que a teoria se aprimorou ao postular o calórico como “*uma substância invisível e sem peso*” (respondido no terceiro passo). Aliás, nota-se, pela resposta da sétima questão, que o aluno apresentou um entendimento que não é compatível com o caráter exclusivamente linear e cumulativo do progresso científico. Essa resposta é: (uma teoria) “*é possível ser substituída, pois se outra explica um maior número de fenômenos, ela (esta) é mais aceita, pois (esse critério) convence melhor as pessoas*”. Desta resposta, ainda é preciso dizer que o aluno concordaria com o entendimento de que uma explicação somente é válida, para um número de explicações de uma teoria a ser comparada com uma rival, quando não contradiz postulados. Do contrário, a teoria não tem explicação, conforme ele comentou com a Teoria Calórica em fenômenos de aquecimento por atrito.

Análise do desempenho do aluno no passo 7

Uma conclusão que agora se pode fazer da construção do conhecimento deste aluno é que para ele o calor equivale à agitação das partículas e a temperatura equivale ao grau de agitação das partículas, resultados que revelam uma dificuldade da compreensão destes conceitos que o aluno teve por esta estratégia. Assim ele respondeu na primeira questão: “*Calor é a agitação das moléculas*”. Nota-se, nesta resposta, que o conceito de calor da maneira como foi apresentada pelo aluno no terceiro passo aqui se perdeu. É válido dizer que o calor é a transferência de agitação das moléculas de um corpo a outro quando estes se encontram inicialmente em diferentes níveis de agitação média de suas moléculas, mas não simplesmente que calor é agitação das moléculas ou energia de agitação das moléculas. Ainda que o aluno entenda que calor é energia, pois assim admitiu desde o primeiro passo desta estratégia, sua resposta acima conduz à afirmação de que seja provável que ele, descuidadamente, admita o calor como a energia de agitação das moléculas sem a preocupação de especificar a necessária condição de uma diferença de temperaturas, logo, equivocando-se no entendimento do conceito de calor. Já para o conceito de temperatura ele respondeu: “*temperatura é o grau de agitação das moléculas*”. Este último entendimento mostra melhor proximidade com o conceito adequado de temperatura em vista daquele que apresentou para o calor. Mas como o aluno afirmou que o calor é agitação das moléculas e temperatura é o grau (ou medida do grau) de agitação das moléculas, é

possível deduzir que para ele a temperatura deva ser o grau (ou medida do grau) de calor. Isso permite afirmar que a compreensão dos conceitos de calor e temperatura da Teoria Cinético-Molecular que o aluno adquiriu ainda pode ser compatível com sua quarta noção intuitiva, apenas com um acréscimo de conhecimento relacionado à agitação das partículas dos corpos.

Para a segunda questão ele apresentou as seguintes explicações: “*Eles (os materiais) aquecem, pois mesmo tendo a mesma temperatura, ao se atritarem produzem uma certa agitação (das moléculas), com essa agitação (das moléculas) a temperatura aumenta, pois a vibração (das moléculas) é maior*” (respondido em (a)); “*Quando realizamos choques há um pequeno aquecimento (nas regiões colididas), pois quando os objetos se chocam há uma agitação (das moléculas) que faz com que a temperatura aumente*” (respondido em (b)); “*Ao flexionarmos um pedaço de arame ele (se) aquece porque as moléculas se movimentam, com esse movimento (das moléculas) a temperatura aumenta. Ele se rompe por causa da força exercida sobre o material*” (respondido em (c)). É possível dizer por essas respostas que o aluno admite que, em situações de aumento de temperatura, há aumento do movimento (ou agitação ou vibração) das partículas. Embora o aluno não tenha mencionado a palavra calor nessas situações de aquecimento, conduzindo a uma interpretação positiva do resultado do processo de aprendizagem, é necessário observar que ele deveria utilizar a noção de agitação das moléculas como, de acordo com sua inadequada compreensão, calor. Entretanto, pode-se dizer que suas explicações incorporam o modelo de partículas que foi trabalhado em sala de aula a respeito das propriedades e da estrutura da matéria, caracterizando uma certa construção do conhecimento científico.

Para o último fenômeno da segunda questão, em (d), nota-se que o aluno apresentou condições de inteligibilidade com ambos os modelos teóricos. Assim ele respondeu com a Teoria Calórica: “*a teoria do calórico não consegue explicar (o fenômeno da estabilização da temperatura da água em ebulição), pois, segundo essa teoria, o calor (calórico) deveria continuar aumentando (a temperatura da água), pois se o calor é um fluido que passa do mais quente para o mais frio e a temperatura do aquecedor continuava aumentando (continuava maior em relação à da água), a (temperatura da) água também deveria continuar aumentando*”. Essa resposta comprova que o aluno admitiu uma fraqueza explicativa da Teoria Calórica nesse fenômeno, por contradizer o postulado de o calórico passar do corpo mais quente para o corpo mais frio, aumentando a temperatura deste último. Pelo pensamento relacionado à sua frase “(a

temperatura) *também deveria continuar aumentando*”, ele ainda revelou uma previsão em que há o reconhecimento da proibição que a teoria faz dessa estabilização da temperatura, conforme seu postulado. Por outro lado, com a Teoria Cinético-Molecular ele respondeu: *“a teoria cinético-molecular explica dizendo que ao alcançar uma certa temperatura, (as ligações das) moléculas que estão vibrando começam a se quebrar, então, ao invés de a temperatura aumentar por causa (do aumento) das vibrações (das moléculas), ela se mantém para (que haja) quebra das ligações das moléculas. Depois que essas (ligações das) moléculas são quebradas, a temperatura continua aumentando*”. Essas respostas comprovam que o aluno comparou os alcances explicativos de ambos os modelos teóricos quando afirmou que o modelo calórico não explica o fenômeno e o modelo cinético-molecular o explica, apresentando justificativas por articulações de idéias compatíveis com cada modelo.

Na terceira questão, o aluno primeiramente anotou as definições de calor e temperatura conforme suas noções iniciais (*“calor é energia”; “temperatura é a escala de medida da variação do calor”*) e depois apresentou as seguintes explicações: *“Eles (os materiais) aquecem, pois, ao se atritarem, a energia (calor) é produzida e aumenta (a temperatura)”* (respondido em a)); *“Quando realizamos choques há uma mudança de temperatura, pois é produzida uma energia (calor)”* (respondido em b)); *“Ao flexionarmos, uma energia (calor) é produzida, fazendo com que a temperatura aumente”* (respondido em c)); *“A temperatura para de subir pois a energia (calor) chega num ponto daquela fase que ela não pode ser aumentada, só aumentando novamente quando em estado de ebulição”* (respondido em d)). O interessante nas três primeiras respostas acima é o fato de o aluno afirmar que a temperatura aumenta em razão da produção de calor (energia), explicações coerentes com sua concepção nuclear de que a temperatura está relacionada com o grau de energia (calor) de um corpo, pois essa sua concepção admite também a geração de calor (primeiro passo). Logo, quanto mais calor se produz, maior a temperatura. No entanto, a última resposta não se mostra coerente com sua concepção nuclear acima. O aluno respondeu que a temperatura da água pára de subir porque, em um ponto daquela fase líquida, não pode haver mais aumento de energia (calor), limitando-se a uma descrição do observável. Da mesma maneira que ele reconheceu que *“a teoria do calórico não consegue explicar (o fenômeno da estabilização da temperatura da água em ebulição), pois, segundo essa teoria, o calor deveria continuar aumentando (a temperatura da água)”*, ele entendeu que sua explicação não é convincente pela incompatibilidade com a previsão de suas idéias iniciais,

segundo a qual a energia (calor) fornecida à água também deveria continuar aumentando sua temperatura. Prova-se isso com suas palavras: *“Para comparar (as minhas explicações e as da teoria cinético-molecular) eu tentei que ver qual teoria dava conta de explicar mais coisas (fenômenos). Vendo isso, cheguei à conclusão de que a teoria cinético-molecular é melhor, pois não há uma explicação convincente da minha teoria sobre o fato da temperatura a 100°C não subir mais”* (resposta da quarta questão). Essa conclusão ou julgamento baseou-se no critério do grau de explicações convincentes que toma o mesmo sentido do critério que havia mencionado por influência da RRD: critério do grau de explicações mais claras, ou seja, explicações sem contradição. Um pensamento do aluno por junção das quinta e sétima respostas do quinto passo fortalece a última afirmação acima. Esse pensamento é o da possibilidade de substituição de uma teoria por outra que explica um número maior de fenômenos sem contradição, porque são explicações que convencem melhor as pessoas: *“é possível ser substituída, pois se ela explica um maior número de fenômenos (sem contradição), ela é mais aceita, pois convence as pessoas”*. Já para a quinta questão o aluno apenas explicou resumidamente o que disse na quarta resposta (*“a teoria cinético-molecular é melhor, pois ela deu conta de explicar mais coisas como, por exemplo, o fato da temperatura da água a 100°C não subir mais”*).

Por fim, as análises do parágrafo anterior permitem dizer que a RRD influenciou um padrão de racionalidade para avaliar teorias rivais que auxiliou o aluno, neste sétimo passo, a julgar e justificar seu julgamento da Teoria Cinético-Molecular como melhor. Embora tenha se discutido que não houve grandes avanços, em suas noções de calor e temperatura, pode-se afirmar que houve uma incorporação do modelo de partículas estudado a respeito das propriedades e da estrutura da matéria que permitiu a ele avançar suas explicações da segunda questão deste sétimo passo em direção a uma compatibilidade com a Teoria Cinético-Molecular, que ele próprio reconheceu ir além de suas explicações por suas noções iniciais.

7.2.7 Aluno 7

Análise do desempenho do aluno no passo 1

Esse aluno apresentou entendimentos de calor e temperatura que puderam ser interpretados como tendenciosos à primeira noção intuitiva. Embora o aluno tenha mencionado

na primeira resposta que o “*calor é uma energia*”, o que levaria seus entendimentos à classificação na quarta noção intuitiva, ele afirmou que o calor seja uma parte que integra a temperatura como se ela admitisse partes (“*o calor é apenas uma parte da temperatura*”). Para a temperatura ele respondeu: “*é o termo usado para distinguir o nível de calor ou de frio de um corpo*” (segunda resposta) e que “*a diferença entre os dois (calor e temperatura) é que a temperatura engloba o calor e o frio, e atribui um grau de temperatura a eles, enquanto o calor é apenas uma parte da temperatura*” (terceira resposta). Assim, pode-se dizer que o aluno entendeu o calor como uma energia que pertence à parte quente da temperatura. Para a quarta questão ele comentou que: “*ao se misturar com a amostra de água fria, a quente irá resfriar. Porém, a fria irá se aquecer com o calor (energia da parte quente) emitido pela água quente. Quando ambas as amostras chegarem na mesma temperatura, elas vão se estabilizar e manter a temperatura*”. Essa resposta poderia ter outra interpretação, mas pelas noções que o aluno foi apresentando, é possível dizer que ele entendera a estabilização da temperatura por um equilíbrio entre trocas de partes quentes (calor) e partes frias das amostras de água. Já para a última questão, ele explicou o seguinte: “*porque o atrito causado quando esfregamos as mãos libera energia (parte quente da temperatura das mãos), e essa energia é o calor, que aquece as mãos*”. Essa resposta mostra que o aluno não articulou uma explicação adequada com suas noções iniciais pela provável razão da incoerência por ele despercebida com o argumento válido de que tais partes quentes deveriam estar presentes nas mãos antes mesmo do atrito. Sendo assim, um problema do processo de ensino e de aprendizagem a ser enfrentado é conseguir que o aluno abandone a noção de calor em situações de atrito onde não haja diferença de temperatura.

Análise do desempenho do aluno no passo 3

Pode-se mostrar que o aluno apresentou entendimentos satisfatórios em relação às noções de calor e temperatura de ambos os modelos teóricos. Na seqüência, são apresentados os entendimentos reunidos de suas respostas das quatro primeiras questões. Pela teoria calórica ele afirmou que: “*o calor é um fluido invisível e de massa desprezível que é transferido de um corpo para outro quando esses dois corpos se interagem. Esse fluido não pode ser criado nem destruído, apenas transferido de um corpo para outro quando há interação entre eles. A temperatura mede a quantidade desse fluido (calórico) nos corpos*”. Com a teoria cinético-

molecular ele afirmou que: “*calor é a energia cinética transferida de um corpo para outro que provém da movimentação e/ou vibração das moléculas desse corpo. Essa energia cinética é formada pela colisão das moléculas desse corpo entre elas mesmas ou nas ‘paredes’ desse corpo. A temperatura mede a quantidade de energia cinética que um corpo possui*”. Ainda que o aluno tenha mencionado que a temperatura mede a quantidade de energia, ao invés de ela fornecer uma medida indireta do nível de agitação médio das partículas, esse seu entendimento está muito diferente de suas noções iniciais, revelando uma certa construção do conhecimento científico válida pela proximidade com o que se almejou que ele alcance.

Para a quinta questão, o aluno apresentou explicações corretas de ambos os modelos para o fenômeno do equilíbrio térmico. Assim ele respondeu por meio da Teoria do Calórico: “*quando dois corpos interagem (um com mais calórico e outro com menos) ocorre uma troca desse fluido invisível e sem massa, sempre do corpo com mais calórico para o corpo com menos calórico, até atingirem a mesma temperatura*”. Com a Teoria Cinético-Molecular respondeu: “*quando dois corpos interagem (um com mais movimentação de suas moléculas e outro com menos), o (corpo) com mais movimentação transfere energia cinética (calor) para o com menos movimentação, até eles atingirem a mesma vibração (de suas moléculas) e se estabilizarem*”. Nota-se que, embora para esta última teoria o aluno não tenha especificado a situação de diferença de temperatura nessas palavras, noutras palavras ele explicita, por reconhecer uma interação em que há uma transferência de energia cinética, que ele entendeu por calor, das moléculas mais agitadas de um corpo para as menos agitadas do outro, logo, em diferentes temperaturas, conforme seu conceito de temperatura nessa teoria.

Esses comentários revelam as inteligibilidades do aluno em relação a esses modelos estudados no processo. Pode-se dizer que ele conseguiu entender e diferenciar os conceitos de calor e temperatura, assim como as explicações, das duas rivais teorias.

Análise do desempenho do aluno no passo 5

Por conseqüência do aprendizado analisado no terceiro passo, a resposta da primeira pergunta mostra que os dois modelos teóricos encontram-se inteligíveis neste quinto passo. A resposta é: “*Pela teoria do calórico, é explicado da seguinte maneira: a amostra de água mais quente passa calórico (calor) para a amostra de água mais fria, até ambas ficarem*

com a mesma temperatura. Pela teoria cinético-molecular, explica-se dizendo que as moléculas da água quente se movimentam mais que a da água mais fria, e, quando se misturam, as moléculas da água quente transferem energia cinética para a(s) (moléculas da) água mais fria, aumentando sua temperatura até que ambas (amostras) se igualem". Esses entendimentos, de que pela teoria calórica o equilíbrio térmico entre dois corpos ocorre porque há passagem de calórico de um corpo mais quente para o mais frio e pela teoria cinético-molecular quando há transferência de energia cinética das moléculas, caracterizam um resultado positivo da construção do conhecimento científico alcançado no processo de ensino e de aprendizagem. Isso porque o aluno apresentou duas novas explicações em comparação com a resposta que apresentara na quarta questão do primeiro passo.

Para a RRD, pode-se dizer que ela alcançou êxito em vários aspectos a seguir apresentados. Proporcionou ao aluno um entendimento de que a teoria calórica buscou explicações para os fenômenos: *"sim (a teoria calórica explica), ela diz que quando dois corpos entram em atrito, ocorre uma transferência de calórico (visto como um fluido invisível e sem massa) de um corpo para outro"* (respondido na terceira questão); *"a teoria do calórico é dito (explicou) que o calórico é um fluido que pode passar do ambiente para o corpo por um processo ainda desconhecido"* (respondido na quinta questão). Apesar dessas tentativas entendidas pelo aluno, ele reconheceu que tais explicações não eram satisfatórias (*"a teoria do calórico não explicava satisfatoriamente o(s) fenômeno(s), tendo seus postulados básicos sendo contraditórios"* – respondido na segunda questão). Para a explicação em que o ambiente estivesse fornecendo calórico aos cubos de gelo, derretendo-os, o aluno admitiu: *"isso contradiz esse postulado ('troca desse fluido invisível e sem massa sempre do corpo com mais calórico para o corpo com menos calórico' – terceiro passo), (pois) se esfregarmos (atritarmos) dois cubos de gelo num ambiente mais frio que o cubo de gelo, os cubos derreterão"* – respondido na quinta questão. Esse comentário do aluno mostra que ele entendeu que, independentemente do atrito, a previsão da Teoria Calórica não era o derretimento dos blocos de gelo, pois, senão, interpretar-se-ia que o calórico estaria fluindo de um meio frio para um corpo quente (gelo em fusão), caracterizando uma proposição factual contraditória. Esses resultados permitem concluir que a RRD promoveu uma condição de insatisfação do programa calórico no estudante por transmitir um entendimento de fraqueza explicativa desse programa.

Para a avaliação e escolha de teorias rivais o aluno afirmou que: *“para constatar qual das teorias é melhor, devemos levar em consideração a capacidade e a eficiência na explicação de ambas as teorias. Quando as explicações de uma teoria começam a ser contraditórias, ela vai perdendo força, até que é substituída por outra teoria que explica melhor o fenômeno”* (respondido na quarta questão). Nota-se nesta resposta que o aluno baseia-se no critério do grau de explicações eficientes, ou satisfatórias (por resposta da segunda questão), que significam sem contradições. Conforme esse critério, ele realizou o seguinte julgamento na quinta resposta: *“a teoria cinético-molecular (é melhor), pois a (teoria) do calórico é contraditória em vários pontos”*. É preciso dizer ainda que esse julgamento se deve ao aluno não caracterizar uma condição de insatisfação em relação à explicação que ele dá pela teoria cinético-molecular, como se vê na resposta: *“a teoria cinético-molecular explica que, quando ocorre o atrito, há agitação das moléculas, gera energia cinética, que é transferida de um corpo para outro, aumentando a temperatura (destes corpos)”*.

Os resultados acima comprovam que o estabelecimento da proliferação de fatos contraditórios, ou proposições factuais contraditórias, em relação à teoria calórica foi positivo para que o aluno reconhecesse a degeneração desse programa de pesquisa em relação à rival cinético-molecular. Esse reconhecimento do aluno também pode ser visto na seguinte resposta: *“quando as explicações de uma teoria começam a ser contraditórias, ela vai perdendo força, até que é substituída por outra teoria que explica melhor o fenômeno”*. Isso permite dizer ainda que a RRD provocou um entendimento análogo ao do enfraquecimento do cinturão protetor de um programa, enfraquecimento que torna este programa degenerativo até sua substituição por um rival progressivo. Nesse processo de ensino e de aprendizagem, as experiências iniciais de corpos a diferentes temperaturas constituíram-se em fatos que foram interpretados pelo aluno com coerência com os postulados da teoria calórica, enquanto as experiências de atrito não. Assim, a RRD promoveu um reconhecimento por parte do aluno do fortalecimento da teoria cinético-molecular por comparação com sua rival calórica, como também de um padrão de racionalidade.

Pode-se mostrar também que a RRD promoveu um entendimento incompatível com uma visão sobre o desenvolvimento exclusivamente linear da Ciência, resultado coerente com epistemologias contemporâneas. Comprova-se isso pelo fato de o aluno concluir que: *“(as teorias são) modelos (que) vão sempre se aprimorando, pois começam a surgir novas perguntas e novos testes e, se uma teoria não dá conta de explicar esses testes (resultados) e perguntas, essa*

teoria deve ser aprimorada ou substituída por outra que (os) explique” (respondido na sexta questão). Já na quinta questão ele respondeu que: *“Essas teorias sempre estão sujeitas a mudanças, quando não conseguem explicar satisfatoriamente um fenômeno, elas vão enfraquecendo, e se surgir outra teoria que explique esse fenômeno satisfatoriamente, ou que explique mais fenômenos, essa teoria substitui a primeira”*. Por essas duas últimas respostas, nota-se que o aluno admite que um programa de pesquisa não seja abandonado simplesmente por se tornar degenerativo, mas quando se tem um outro disponível com o êxito explicativo do primeiro e mais um acréscimo de fenômenos explicados satisfatoriamente. É possível dizer que a RRD fez com que o aluno adquirisse um entendimento semelhante ao da seguinte situação: não deve haver rejeição ou falsificação de uma teoria antes do aparecimento de uma outra melhor capaz de substituí-la.

Análise do desempenho do aluno no passo 7

O aluno apresentou a seguinte resposta na quinta questão: *“Pela teoria cinético-molecular, calor é a energia transferida de um corpo para outro, quando há contato entre eles. Essa energia (transferida) aumenta a vibração das moléculas (do corpo frio). A temperatura mede a quantidade dessa energia transferida”*. Encontram-se nessa resposta alguns entendimentos distorcidos, mas que, se forem comparados com suas noções iniciais, revelam uma evolução na compatibilidade com a Teoria Cinético-Molecular, como se discute a seguir. Nota-se que o aluno não especificou a condição de uma diferença de temperatura para o conceito de calor e, para a temperatura, ela não mede a quantidade de energia transferida de um corpo para outro como ele acima afirmou. Apesar disso, ao resgatar suas idéias iniciais (*“calor é energia, a temperatura engloba o calor e o frio, e atribui um grau de temperatura a eles, enquanto o calor é apenas uma parte da temperatura”*), a única associação vista neste conceito de calor do aluno, e que é válida para a Teoria Cinético-Molecular, é com a palavra energia, embora essa noção de energia mostrou-se, naquela ocasião, como um conceito ainda muito vago. Agora, como um ponto positivo, foi possível notar em sua primeira resposta que ele relacionou a energia transferida à energia de vibração das moléculas de um corpo. Para a temperatura, diferentemente do que o aluno afirmou, é válido o entendimento de que ela seja uma medida indireta do nível de agitação médio das partículas de um corpo. Entretanto, pode-se dizer que suas noções

apresentadas na primeira resposta acima incorporam o modelo de partículas que foi discutido a respeito das propriedades e da estrutura da matéria, caracterizando certa construção do conhecimento científico compatível com a Teoria Cinético-Molecular.

Para a segunda questão, o aluno apresentou as seguintes respostas: *“Pois, com o atrito, é liberada (transferida) energia, que aumenta a vibração das moléculas de ambos os corpos, aquecendo-os”* (em (a)); *“Pois a energia resultante da colisão entre dois corpos (energia cinética das peças) aumenta a vibração das moléculas desses corpos (aumentando a temperatura)”* (em (b)); *“Porque há um aumento da movimentação das moléculas do arame no local onde há maior movimentação, onde aumenta a temperatura. Com a força que você está utilizando para movimentar esse arame ele se rompe, não pelo aumento de temperatura, mas sim pela baixa resistência (do arame) sobre a força imprimida”* (em (c)). Essas respostas indicam condições de frutificação por explicações compatíveis como o modelo Cinético-Molecular. Na resposta da primeira pergunta do parágrafo anterior, pode-se dizer que o aluno caracterizou o seguinte entendimento: o calor é a energia transferida de um corpo para outro que aumenta a movimentação das moléculas deste último. Isso significa que ele admitiu a condição inicial desses corpos estarem com níveis de movimentações moleculares diferentes para, como ele disse, numa interação, haver essa energia transferida chamada calor, ainda que se tenha dito que ele não explicitou a condição de uma diferença de temperatura nesses termos. Como as situações da segunda questão não partiam dessa condição inicial, pode-se notar que o aluno coerentemente não mencionou a palavra calor em nenhuma delas. Além disso, apresentou explicações compatíveis com a Teoria Cinético-Molecular ao admitir que em situações de aumento de temperatura, há aumento do movimento das partículas. Isso é um resultado positivo por representar uma certa construção do conhecimento científico.

Ainda na segunda questão, em (d), o aluno apresentou explicações que revelam condições de inteligibilidade em ambos os modelos teóricos. Com a Teoria Calórica ele comentou que: *“na minha opinião, a teoria do calórico não é capaz de explicar esse fenômeno, pois, nessa teoria, sempre o corpo com mais calórico transfere esse calórico para o (corpo) com menos, não explicando como a temperatura pode se manter (pois ela deveria aumentar)”*. Essa resposta mostra que o aluno entendeu que a previsão com a Teoria Calórica não seria uma estabilização da temperatura da água, reconhecendo uma fraqueza explicativa dessa teoria. Nota-se uma condição de insatisfação em seu comentário: *“a teoria do calórico não é capaz de*

explicar esse fenômeno". Também por outro lado ele afirmou: "Já a do Cinético-Molecular explica que, ao atingir os 100°C, a água usa a energia que recebe para quebrar algumas ligações de suas moléculas, sendo transferida para outro estado físico (gasoso), podendo haver o aumento de temperatura depois dessa transferência". Neste comentário, além de ser possível notar uma condição de inteligibilidade, o aluno não mostrou uma condição de insatisfação com a Teoria Cinético-Molecular, ao contrário da outra teoria. Pode-se dizer que o aluno comparou os méritos das duas teorias ao concluir que a teoria calórica não explica o fenômeno da estabilização da temperatura e a teoria cinético-molecular o explica, apresentando as razões dessa conclusão por articulações de idéias compatíveis com cada teoria.

Os comentários do aluno na terceira questão com sua noção intuitiva foram: "Eu acreditava que, com o atrito aumentava o calor pela formação de energia, aumentando a temperatura dos corpos" (em (a)); "Com os choques, era formada energia que aquecia os corpos" (em (b)); "O movimento feito pelo arame libera energia, e essa energia aquece o corpo. 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 energia da parte quente da temperatura) para a água, sua temperatura continuaria a subir" (em (d)). Dessas quatro respostas, pode-se enfocar uma análise interessante em (a) e em (d), pois, nas outras duas respostas, apesar de o aluno 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 aumento de calor por atrito ("o atrito aumentava o calor"), mas é possível dizer que ele entendeu que essa noção é inadequada na situação pelo fato de ter afirmado: "eu acreditava que...". Isso indica que ele não encontrou nessa ocasião uma plena satisfação com tal explicação intuitiva. Em (d) o aluno 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 ele realizou na quinta questão: "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". Pode-se notar que esse julgamento do aluno foi baseado no critério do grau de explicações satisfatórias, pois assim respondeu a quarta questão: "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 racionalidade é o mesmo daquele que apresentou por influência da RRD, visto em análise do quinto passo, onde se afirmou que o aluno baseou-se no critério do grau de explicações eficientes, ou satisfatórias, que significam sem contradições.

Conclui-se que a RRD alcançou êxito na exemplificação de uma discussão racional em que o critério racional entendido pelo aluno como grau de explicações satisfatórias se manteve nesta última etapa, ajudando-o a avaliar e a julgar, por este padrão racional, que a Teoria Cinético-Molecular é a melhor teoria.

7.2.8 Aluno 8

Análise do desempenho do aluno no passo 1

Este aluno apresentou entendimentos que puderam ser classificados na segunda noção intuitiva. Para a primeira questão ele respondeu: *“Quando o tempo está muito quente (sensação de quente), o sol está forte, conseqüentemente estará calor”*. Mesmo o aluno não tendo mencionado a palavra sensação, ele afirmou situações em que é possível notar que algo está quente no sentido de se sentir que está quente, por exemplo, que o *sol está forte*. Assim, ele entendeu que está calor ao sentir que algo está quente. O aluno ainda apresentou a seguinte diferença entre calor e temperatura: *“que se o tempo está quente vai estar calor (sensação de calor; calor é sensação de tempo quente). Já a temperatura vai medir o quanto de calor está num determinado ambiente”* – respondido na terceira questão. Essa concepção de que a temperatura mede a quantidade de calor está de acordo com a segunda noção intuitiva. Mas o que justifica essa classificação é o fato de o aluno não ter especificado o calor como algo contido nos corpos (terceira noção intuitiva) ou como energia (quarta noção intuitiva). Em relação à resposta da quarta questão, o aluno mal explicou o fenômeno com suas noções iniciais, apenas descrevendo-o da seguinte maneira: *“se em uma amostra de água está fria e na outra (está quente), misturando-as, elas vai ficar estáveis, a temperatura num vai ficar nem baixa e nem alta”*. Já para a quinta questão ele afirmou: *“porque elas (as mãos) transmitem calor”*. Essa última resposta pode ser interpretada como o aluno admitindo que as mãos liberam um calor próprio, pensamento compatível com a terceira noção intuitiva, mas pelas respostas anteriores, também se pode interpretar como o aluno entendendo que as mãos transmitem a sensação de quente ao se

atritarem, a sensação de elevação de temperatura, assim, compatível com a classificação aqui realizada. Independente desta dúbia interpretação, a conclusão válida por sua última resposta é que o aluno deva entender que o conceito adequado de calor somente é utilizado numa situação em que há troca de energia por diferença de temperatura.

Análise do desempenho do aluno no passo 3

O aluno mostrou entendimentos satisfatórios dos conceitos de calor e de temperatura pertencentes aos dois modelos teóricos discutidos em sala de aula. Respondeu pela Teoria Calórica que: *“Calor é uma substância chamada calórico, com massa desprezível, não pode ser criado nem destruído e o fluído sempre vai do corpo mais quente (com mais calórico) para o mais frio (com menos calórico). Quanto maior a temperatura de um corpo, maior a quantidade de calórico em seu interior. Temperatura mede (indica) a quantidade (grau) de calórico de uma substância”* (respostas das primeira e segunda questões). Já com a Teoria Cinético-Molecular respondeu: *“Quanto maior a velocidade (das partículas), maior a energia cinética. Quanto maior a temperatura, maior a energia cinético-molecular. Calor é a transferência de energia térmica de um corpo para o outro, decorrente unicamente da diferença de temperatura que eles representavam. Temperatura é (uma medida) do grau de agitação das partículas. Quanto maior a oscilação (agitação) maior a temperatura”* (respostas das terceira e quarta questões). Essas respostas comprovam que o aluno distinguiu bem os conceitos de calor e de temperatura entre os modelos teóricos estudados.

Apesar de as respostas acima apresentarem bons resultados dos entendimentos do aluno, sua quinta resposta não revelou boas inteligibilidades com as teorias, principalmente com a Teoria Calórica. Assim respondeu: *“Teoria do Calórico – o corpo A após atingir (interagir com) o corpo B, a temperatura vai ficar estável. Teoria Cinético-Molecular – o corpo A após atingir (interagir com) o corpo B, vai aumentar a agitação dessas partículas (do corpo de menor temperatura)”*. Pode-se dizer que o aluno nada explicou com a Teoria Calórica e apenas explicou que, ao se aumentar o nível de agitação das partículas do corpo B, aumenta-se sua temperatura, coerentemente com suas respostas pela Teoria Cinético-Molecular. Entretanto, essa resposta não é a única oportunidade que o aluno teve para revelar tais inteligibilidades. Os resultados da primeira questão do próximo passo permitem uma nova observação nesse sentido.

Análise do desempenho do aluno no passo 5

Assim o aluno respondeu a primeira pergunta: *“Quando dois corpos se interagem, a temperatura (dos dois corpos) vai ficar estável, passando (calórico) do corpo mais quente para o corpo mais frio. Portanto, o corpo quente (ao perder calórico) vai esfriar e o frio (ao receber calórico) vai esquentar, ficando com uma temperatura igualada”*. Essa explicação revela uma inteligibilidade do modelo calórico, pois o aluno entende que uma temperatura estável dos corpos ocorre quando há um equilíbrio de calórico em razão do corpo com mais calórico passar uma certa quantia dessa substância para o corpo mais frio, esquentando este último. Ainda o aluno respondeu: *“Já na teoria cinético-molecular, conforme os dois corpos se interagem, o grau de agitação das moléculas do corpo frio vai aumentar”*. Curiosamente, o aluno somente explica que haverá um aumento do grau de agitação das moléculas do corpo frio na interação com outro corpo mais quente, mas não especifica o que acontece com o grau de agitação das moléculas desse último corpo. Pode-se dizer que o aluno reconhece que, se há aumento de temperatura, pela teoria calórica, é porque há aumento de calórico e, pela teoria cinético-molecular, é porque há aumento do grau de agitação das moléculas. Como na quarta questão do primeiro passo, o aluno mal forneceu alguma explicação, esses raciocínios merecem ser considerados como uma construção do conhecimento científico devido o fato de o aluno ter fornecido duas distintas explicações para o fenômeno por coerência com os modelos teóricos estudados.

Para a RRD, ela promoveu um entendimento no aluno de que a teoria calórica teve problemas explicativos (*“essa teoria teve problemas explicativos”* – segunda resposta) a partir de um fato contraditório. O aluno percebeu que, ao se usar a teoria calórica como teoria interpretativa, não há compatibilidade com a interpretação imediata que se tem com os resultados experimentais, como os processos de aquecimento por atrito. Isso porque a teoria impede a criação do calórico em seu postulado, mas a interpretação do resultado experimental era a de que a quantidade de calórico que surgia parecia inesgotável no processo. Nesse sentido, o aluno afirmou: *“Porque ela (a teoria calórica) falava que o calor não podia ser criado, então não sabia explicar o atrito (segunda resposta). Não consegue (explicar), pois quando atritados (os materiais) eles liberam calor (calórico), e essa teoria dizia que o calor não podia ser criado e*

nem destruído” (terceira resposta). Assim, como as experiências iniciais discutidas, em sala de aula, que partiram de uma diferença de temperatura, eram explicadas pelo aluno com a teoria calórica de acordo com a transmissão de calórico e não pela sua (proibida) criação, agora as experiências de aquecimento por atrito revelavam uma aparente criação de calórico, que desse modo foi entendido pelo aluno. Esses fatos contraditórios reconhecidos pelo aluno permitem dizer que a RRD foi importante para mostrar que o programa calórico tornou-se degenerativo. Além disso, para ele, a teoria rival explica o fenômeno: “*Na teoria cinético-molecular quando é feito o atrito, ocorre (um aumento) (d)a vibração das partículas formando o calor*”. Isso porque ele não admitiu insatisfação com essa última teoria, ainda que tenha equivocadamente entendido que haja a formação de calor pelo aumento da vibração das partículas dos corpos em atrito. Por satisfação, é possível dizer que o aluno aceite uma proposição factual que não contradiga os postulados de uma teoria. Em suas palavras: “*Uma teoria tem que explicar satisfatoriamente (de acordo com) seus postulados*” – respondido na quarta questão. Caso contrário, não explica, ou explica de forma insatisfatória.

Quanto ao entendimento sobre a possibilidade de uma teoria ser melhor que outra, ele afirma: “*Sim, (uma teoria) pode ser melhor que a outra, tendo um número de fenômenos maiores e explicados de maneira satisfatória*” (na quinta resposta). Essa resposta mostra que o aluno baseia-se no critério do grau de explicações satisfatórias ao escolher uma teoria como melhor. Comprova-se o uso desse critério pela avaliação dos méritos explicativos de ambos os modelos teóricos rivais que o aluno realizou, visto no seguinte julgamento: “*A Teoria Cinético-Molecular pode ter maior sucesso explicativo (que a Teoria Calórica), pois comprovam com suas experiências, (com explicações) feitas satisfatoriamente*” (na quinta resposta).

Conclui-se que a RRD estabeleceu um entendimento de uma degeneração do programa calórico por auxílio da proliferação de fatos contraditórios a essa teoria e que, por coerência com o critério racional entendido pelo aluno, permitiu que ele apresentasse a razão da Teoria Cinético-Molecular como a melhor teoria.

Para a natureza do desenvolvimento das teorias científicas, o aluno afirma que “*as teorias novas pegam o que tem de bom na teoria anterior e apenas corrige os seus erros*” (sexta resposta). É difícil interpretar o sentido desse comentário pelo que foi discutido em sala de aula com a RRD, pois as teorias estudadas são incompatíveis. Essa resposta pode gerar distintas interpretações que limitam essa análise. Uma interpretação possível é de que o aluno entenda uma

linear evolução das teorias na ciência, em que as teorias não são completamente abandonadas, mas modificadas, embora de outro lado ele possa também vir a aceitar que uma alteração já caracteriza uma outra teoria diferente da inicial, que não mais representa uma evolução linear. Pode-se concluir como resultado da influência da RRD que o aluno admite que haja uma seleção natural de teorias rivais na ciência por um padrão racional: *“a ciência sempre vai procurar uma teoria que tem mais capacidade de explicar seus fenômenos satisfatoriamente”* (sétima resposta).

Análise do desempenho do aluno no passo 7

O aluno respondeu na primeira questão que o *“calor é a transferência de energia”* e que a *“temperatura é o grau de agitação das partículas”*. Em primeiro lugar, realizam-se comentários negativos à sua resposta. Nota-se que o aluno não especificou uma situação de diferença de temperatura para o conceito de calor, e a temperatura não *“é o grau de ...”*, mas uma grandeza que está relacionada ao grau de agitação médio das partículas de um sistema ou, numa linguagem mais próxima à do aluno, pode ser entendida como uma medida indireta do grau de agitação médio das partículas. Agora, em segundo lugar, realizam-se os comentários positivos, sendo que é preciso também comparar a resposta acima com os entendimentos iniciais do aluno vistos no primeiro passo. Em relação a estes entendimentos, pode-se dizer que o aluno apresentou um avanço do conhecimento por uma proximidade de suas noções de calor e de temperatura com o modelo de partículas a respeito das propriedades e da estrutura da matéria que foi estudado em sala de aula. Considera-se, assim, uma aprendizagem do conhecimento científico.

Para a segunda questão, o aluno forneceu as seguintes respostas: *“Porque há uma transferência de energia (do movimento dos materiais) de um material para outro, o grau de agitação das partículas (desses materiais) vai aumentando e a temperatura vai se aquecendo cada vez mais”* (em (a)); *“Porque a agitação das partículas rompe os ligamentos”* (em (b)); *“Conforme vamos flexionando, a temperatura daquele local tende a aumentar e, com esse aquecimento, ele se rompe”* (em (c)). Pode-se dizer que a resposta em (a) caracteriza uma inteligibilidade da Teoria Cinético-Molecular pelo fato de o aluno ter argumentado que o aumento de temperatura ocorre pelo aumento do grau de agitação das partículas numa situação em que esses aumentos se devem à transferência de energia cinética do movimento dos materiais

em atrito. Esse é um resultado positivo alcançado por comparação ao que o aluno respondeu na quinta questão do primeiro passo (situação semelhante). O mesmo não se pode dizer de suas respostas em (b) e em (c). Isso porque em (b) não é possível traduzir o que o aluno quis dizer com “*rompe seus ligamentos*” e, em (c), porque o aluno apenas descreveu o fenômeno. No entanto, o aluno reconheceu que: “*na Teoria Cinético-Molecular, se está elevando a temperatura, vai ocorrer um aumento da vibração das partículas (do corpo)*” – respondido em d). É interessante notar também que ele não mencionou a palavra calor nas três primeiras respostas dessa segunda questão, sendo que as situações de aquecimento são provocativas para o uso inadequado desse conceito, como o aluno assim o fez na resposta da quinta questão do primeiro passo e na resposta da terceira questão do quinto passo.

Ainda na questão (d), o aluno respondeu: “*Com a teoria do calórico não é possível explicar esse fenômeno porque (a teoria) diz que o(s) corpo(s) vai ficar estável (equilíbrio térmico que não ocorre), passando (calórico) do corpo mais quente para o corpo mais frio*”. Essa resposta revela não somente a inteligibilidade do aluno com essa teoria, mas a capacidade de previsão que o aluno apresentou com ela ao comentar “(a teoria) diz que ...”, podendo-se dizer que tem o sentido de ‘a teoria prevê que...’. Essa resposta do aluno também revela que ele entendeu que a razão de a teoria não explicar o fenômeno está no fato de a temperatura da água ficar estável ao mesmo tempo em que não há uma igualdade de temperaturas entre a água e o aquecedor, já que passa calórico do aquecedor para ela (“*passando do corpo mais quente para o mais frio*”). Pode-se dizer que o aluno encontrou insatisfação com a explicação da Teoria Calórica, mas não com a da Teoria Cinético-Molecular, embora com esta ele não tenha fornecido uma explicação com detalhes de mudança de fase.

Ao tentar articular suas idéias iniciais na terceira questão, o aluno apresentou as seguintes respostas: “*Porque transmite calor de um material para outro*” (em (a)); “*Não é possível explicar*” (em (b)); “*Também não consigo explicar do modo que disse na 1ª avaliação (primeiro passo)*” (em (c)); “*Porque se estou elevando a temperatura da água, conseqüentemente a água vai aumentar sua temperatura*” (em (d)). Nota-se que o aluno repetiu a explicação que havia dado no primeiro passo em (a) e afirmou ter dificuldades para explicar os outros fenômenos com suas noções iniciais. Sua resposta em (d) reforça o entendimento dessa sua dificuldade, pois nessa tentativa ele nada explicou.

Mesmo o aluno não tendo apresentado maiores detalhes em explicações com a Teoria Cinético-Molecular, em situações da segunda questão, ele admitiu que as explicações com suas noções iniciais foram ainda piores. Nesse sentido, ele concluiu na quinta resposta: “*Sem dúvidas a Teoria Cinético-Molecular (é melhor), pois eu não sei explicar de uma maneira satisfatória e convincente (com minhas noções iniciais)*”. Esse julgamento baseou-se no critério do grau de explicações satisfatórias (“*só o fato das explicações feitas pela Teoria Cinético-Molecular ser satisfatórias, já é o suficiente para meus critérios*” – quarta resposta). Critério que se manteve nesta etapa por influência da RRD.

Por fim, as análises deste sétimo passo permitem dizer que, apesar de o aluno apresentar explicações com a Teoria Cinético-Molecular num nível inferior por comparação com as explicações dos alunos precedentes, a RRD obteve êxito na preparação de uma racionalidade que permitiu ao aluno julgar a Teoria Cinético-Molecular como melhor.

7.2.9 Aluno 9

Análise do desempenho do aluno no passo 1

Os entendimentos de calor e de temperatura desse aluno puderam ser classificados na quarta noção intuitiva. Para ele o calor “*é uma forma de energia*” (primeira resposta) e a temperatura “*é a medição do calor e pode ser feita através de aparelhos como o termômetro*” (segunda resposta). A justificativa dessa classificação está em sua noção de temperatura que envolve a idéia de calor contido no corpo. Mesmo admitindo que calor é energia, a noção intuitiva baseia-se no entendimento de que o calor é a energia contida no corpo. Sua resposta da terceira questão é um outro exemplo que fortalece essa classificação: “*A temperatura é uma consequência do calor*”. Esta resposta destaca a concepção de que a temperatura depende do calor, ou melhor, da quantidade de calor. Já a quarta pergunta refere-se a uma situação em que há diferença de temperaturas, onde é possível notar uma coerente explicação do aluno com sua noção intuitiva: “*Porque o calor passa de onde tem mais (da amostra de água quente) para onde tem menos (amostra de água fria), tendendo ao equilíbrio (de calor, logo, de temperatura)*”. Na última questão, como os corpos em atrito não apresentam diferença de temperatura, o aluno explicou que é possível ocorrer produção de calor: “*Porque o contato entre dois corpos produz*

calor”. Assim, em relação à construção do conhecimento científico, é interessante mostrar, nos resultados dos próximos passos deste processo de ensino e de aprendizagem, o quanto o aluno compreendeu dos seguintes aspectos: um corpo não tem calor; o calor não pode ser produzido; o calor como energia somente é definido numa situação de diferença de temperaturas.

Análise do desempenho do aluno no passo 3

Os resultados deste passo mostram que o aluno obteve suficiente compreensão dos conceitos de calor e de temperatura de ambos os modelos teóricos ensinados. Assim afirmou com a Teoria Calórica: *“Na teoria do calórico, o calor é entendido como uma substância que se movimenta de um corpo para outro, e depende da diferença de temperatura entre eles, ou seja, o calor (calórico) está dentro dos corpos e passa de onde tem mais (de maior temperatura) para onde tem menos. (O calórico) é um fluido invisível e com massa desprezível que ‘passa’ de um corpo para outro. Temperatura é a (medida da) quantidade de calor (calórico) existente num corpo”* – respostas das primeira e segunda questões. Essas respostas revelam que o aluno compreendeu detalhes importantes dos conceitos de calor e de temperatura da Teoria Calórica, como as características do fluido calor e a dependência proporcional que a temperatura de um corpo tem em relação à sua quantidade de calórico. Já com a Teoria Cinético-Molecular ele afirmou: *“o calor é uma transferência de energia, de um corpo para outro, de diferentes temperaturas. Temperatura é a medição da vibração das moléculas de um corpo. Quanto maior a temperatura, maior o grau de agitação das moléculas, quanto menor a temperatura, menor é a agitação das moléculas”* – respostas das terceira e quarta questões. Observa-se que o aluno está se referindo ao calor como uma transferência de energia relacionada a uma diferença de temperaturas, interpretação diferente de sua noção intuitiva de calor como energia contido no corpo. Assim ele comentou: *“Nessa teoria (Cinético-Molecular), o calor não existe no interior do corpo, ‘ele’ (calor) só se dá quando há uma relação (interação) entre os corpos. Calor é a transferência de energia entre corpos de diferentes temperaturas”* (terceira e quarta respostas). Pode-se dizer, então, que o aluno distinguiu adequadamente os significados de calor e de temperatura dos dois modelos teóricos estudados em sala de aula. Ademais, no passo anterior, pelo que se almejou observar na construção do conhecimento científico, agora se pode também

dizer que o aluno reconhece pela teoria Cinético-Molecular que um corpo não tem calor, mas que o calor refere-se a uma transferência de energia na situação de uma diferença de temperatura.

A resposta da quinta questão permite verificar as inteligibilidades dos modelos teóricos. A resposta é: “*Na teoria do calórico, o fluído (calórico) existente nos corpos passa de onde tem mais para onde tem menos, tendendo ao equilíbrio (de calórico, logo, de temperatura). Na teoria Cinético-Molecular, as moléculas começam a vibrar, transferindo energia (de vibração das moléculas) de um corpo para outro, até atingirem a mesma temperatura*”. Esses comentários comprovam que o aluno soube explicar o fenômeno do equilíbrio térmico pelas duas teorias, concluindo que isso ocorre por transferência de calórico, ou por transferência da energia de vibração das moléculas, de um corpo quente para outro frio.

Análise do desempenho do aluno no passo 5

As condições de inteligibilidade dos modelos teóricos verificadas no terceiro passo podem ser novamente observadas na resposta da primeira questão. Com a Teoria Calórica o aluno afirmou que o equilíbrio térmico ocorre porque “*o calor passa da substância mais quente (amostra de água quente) para a mais fria (amostra de água fria), como um fluído*”. Também afirmou que “*na teoria Cinético-Molecular, quando as substâncias (amostras de água) têm temperaturas diferentes, as moléculas da amostra fria se agitam (mais), há uma transferência de energia (dessa agitação), até (as amostras) atingirem a mesma temperatura*”. Essas explicações permitem dizer que o aluno adquiriu duas formas diferentes de responder a quarta questão do primeiro passo por comparação ao que havia respondido naquela ocasião, sendo que tal questão foi novamente cobrada neste passo. Isso caracteriza uma construção do conhecimento científico.

Para a RRD, nota-se que ela conseguiu transmitir ao aluno o entendimento de uma fraqueza da Teoria Calórica por meio de proposições factuais contraditórias. O aluno reconheceu que essa teoria teve dificuldades explicativas (“*sim*” – segunda resposta) e o bombardeamento do núcleo desse programa: “*algumas experiências ‘derrubaram’ alguns de seus postulados, como que o calor não pode ser criado nem destruído e que ele (calórico) passa de onde tem mais para onde tem menos*” (segunda resposta). Nota-se nesta resposta que o aluno compreendeu que o calor não poderia ser entendido com as características do fluido calórico, pois as interpretações de alguns resultados experimentais contradiziam postulados desse modelo.

Pode-se dizer que esse reconhecimento do aluno se deve às seguintes proposições factuais contraditórias que foram trabalhadas na RRD: a primeira delas é a da possibilidade da criação de calórico (interpretação realizada nos processos de aquecimento por atrito) e a segunda é a da possibilidade de o calórico estar transitando de um meio mais frio para um outro mais quente (interpretação realizada na experiência de Danyel). Essas proposições factuais discutidas, além de serem incompatíveis com alguns postulados do modelo, são contraditórias com as proposições factuais (ou explicações) que foram conduzidas com o modelo calórico em experiências de troca de calor, em situações de diferença de temperaturas, e que anteriormente não foram entendidas como incompatíveis com seus postulados.

Pode-se notar que o aluno também reconheceu que a Teoria Calórica forneceu algumas explicações, ainda que fossem posteriormente reconhecidas como inválidas tentativas de sucesso por incompatibilidade com os postulados que mencionou no parágrafo anterior, ao exemplificar a seguinte explicação auxiliar: *“a teoria do Calórico diz (explica) que com o atrito, o calor (calórico) contido nas substâncias (nos corpos) é ‘espremido’ (para suas superfícies), aquecendo a(s) superfície(s) da(s) substância(s)”* – respondido na terceira questão. Por outro lado, o aluno também afirmou que a Teoria Cinético-Molecular explica esse fenômeno, *“atribuindo esse aquecimento ao (aumento) do grau de agitação das moléculas”* – terceira resposta. É possível dizer que a RRD provocou uma condição de insatisfação com as explicações da Teoria Calórica, não ocorrendo o mesmo com a Teoria Cinético-Molecular, pois, mesmo o aluno tendo admitido que uma teoria não pode ser melhor que outra (*“uma teoria não é melhor que a outra, apenas se completam e se aprimoram”* – quinta resposta), ele afirmou escolher uma teoria entre rivais conforme o critério do grau de explicações satisfatórias. Comprova-se isso pela resposta da quarta questão, em que o aluno disse utilizar o critério de qual teoria *“explica os fenômenos que a outra teoria explica e também os fenômenos que a outra não consegue explicar satisfatoriamente”*. Desse critério seguiu o julgamento por ele realizado na quinta resposta: *“A Teoria Cinético-Molecular (é selecionada), pois ela explica os fenômenos que a Teoria do Calórico também explicava e outros que não explica de maneira satisfatória”*. Conclui-se que a RRD provocou um entendimento de um critério racional para seleção de teorias rivais em que o julgamento do aluno, nesse sentido, foi condizente com tal critério e a favor da Teoria Cinético-Molecular.

A respeito da visão do progresso científico, apesar de o aluno ter afirmado que as teorias “*podem ser substituídas*”, ele admitiu que: “*é sempre bom ter conhecimento das (teorias) anteriores para saber como se chegou à atual*” (sétima resposta). Isso revela o entendimento de uma dependência que as teorias carregam de suas antecessoras, de um caráter acumulativo do corpo de conhecimentos na medida em que é construído. A resposta da sexta questão fortalece essa interpretação do entendimento do aluno de que uma teoria é desenvolvida por dependência de uma antecessora, pois ele afirmou que: “*a teoria Cinético-Molecular só existe por causa da Teoria do Calórico*”; “*é uma teoria mais detalhada*”. Esse resultado mostra que mesmo o aluno tendo reconhecido que as teorias são substituíveis, a RRD não rompeu com uma visão acumulativa do desenvolvimento do conhecimento científico.

Análise do desempenho do aluno no passo 7

O aluno respondeu na primeira questão que o “*calor é uma transferência de energia que se dá pela diferença de temperatura dos corpos*” e que a “*temperatura mede o grau de agitação das moléculas*”. É interessante notar que a idéia de calor como transferência de energia permaneceu desde o terceiro passo, diferenciada da noção de calor como uma forma de energia contida nos corpos, detectada no primeiro passo. A noção de temperatura também não caracteriza a medida do calor de um corpo, como visto no primeiro passo, e está compatível com a Teoria Cinético-Molecular.

Para a segunda questão, o aluno apresentou as seguintes respostas: “*Porque ao entrarem em contato, as moléculas se agitam e a temperatura aumenta*” (em (a)); “*Porque quando os corpos se chocam, há uma pequena agitação das moléculas, que se aquecem, ao entrarem em contato*” (em (b)); “*Porque há uma transferência de energia (do movimento) da nossa mão para (as moléculas do) o arame, que aumenta a temperatura (do arame); o arame se rompe devido a força externa (força muscular) exercida sobre ele*” (em (c)). É interessante observar que nessas respostas não se encontram idéias como a de que um corpo tem calor ou que o calor pode ser produzido, pois o aluno sequer citou a palavra calor nessas situações de aquecimento, lembrando que essas idéias pertencem à sua noção intuitiva do primeiro passo. Além disso, suas explicações estão coerentes com o modelo cinético-molecular por relacionarem

o aumento de temperatura com o aumento do grau de agitação das moléculas, comprovando uma condição de frutificação de noções compatíveis a esse modelo.

Em (d), os comentários do aluno destacam condições de inteligibilidades dos dois modelos teóricos. Primeiramente, o aluno reconheceu que a Teoria Calórica não explica o fenômeno da estabilização da temperatura da água, respondendo que “*não*”, e justificou o seguinte: “*porque a teoria do Calórico diz que o calor (calórico) passa de onde tem mais para onde tem menos, e a temperatura do fogo é bem maior que a da água e essa não aquece mais do que os 100°C*”. Esse comentário permite dizer que o aluno, conforme seu conhecimento dos postulados, admitiu que a previsão da Teoria Calórica não era o fato de a temperatura da água não subir enquanto recebia calórico de algo mais quente. O fato é altamente questionador e incompatível com o pensamento de a quantidade de calórico transferida ser proporcional ao aumento de temperatura, o que estabelece uma insatisfação com o modelo. Já com a outra teoria ele respondeu que: “*A teoria Cinético-Molecular diz (explica) que quanto maior a temperatura, maior a agitação das moléculas. Quando a água chega aos 100°C, a energia transferida pelo fogo é usada para romper a ligação entre as moléculas, até (cessar) a mudança de estado. Depois a temperatura sobe até a molécula se desintegrar (no caso da molécula de água 1500°C)*”. Além de essa explicação caracterizar uma inteligibilidade, também não revela nenhuma insatisfação do aluno com esse último modelo teórico. Nota-se que ele comparou os alcances explicativos de ambos os modelos ao afirmar que o modelo calórico não explica tal fenômeno e o modelo cinético-molecular o explica, apresentando justificativas coerentes com os conceitos de cada modelo. Entendimento este que fortalece o julgamento que ele realizou em análise do quinto passo.

Na terceira questão, o aluno procurou responder todas as quatro situações da segunda questão com suas idéias iniciais do primeiro passo. As respostas foram: “*eles aquecem porque dois corpos em contato produzem calor*” (resposta de (a) e (b)); “*ao flexionarmos o arame, ele aquece ao entrar em contato com nossas mãos e se rompe pela força que exercemos sobre ele*” (resposta c); “*porque o calor passa de onde tem mais para onde tem menos até chegar a um equilíbrio. Eu achava que o fogo estaria na mesma temperatura da água, ou seja, 100°C*” (resposta d). As respostas (a) e (b) são idênticas àquela quinta resposta do primeiro passo, analisadas conforme sua noção intuitiva. Interessantemente, em (c) ele não utilizou a idéia de produção, passagem ou aumento de calor em relação ao aumento de temperatura, explicando

apenas que o contato dos corpos (mão e arame) aquece o arame, em que o fato dele mencionar “*ao flexionarmos o arame*” representa apenas uma descrição do observável. Entretanto, a resposta em (d) é importante para mostrar uma insatisfação que o próprio aluno admitiu com sua explicação, pois sabe que estaria errado em admitir que o fogo e a água pudessem estar em equilíbrio térmico a 100°C , conforme comentou “*eu achava...*”. Essa insatisfação ainda pode ser fortalecida por sua afirmação: “*...minhas idéias iniciais ... não explicariam o fenômeno da água não aquecer-se depois de 100°C* ” (quarta resposta). Pode-se dizer que o aluno também realizou uma reflexão interessante ao comentar: “*minhas idéias iniciais misturavam a teoria do Calórico e a teoria Cinético-Molecular*”. De fato, da teoria do Calórico a semelhança está no entendimento de que um corpo se aquece por receber calor, sendo a temperatura uma medida do calor, e da teoria Cinético-Molecular a semelhança está no entendimento de calor como energia.

Com as respostas que apresentou para as segunda e terceira questões, o aluno pôde avaliar os méritos explicativos entre suas idéias iniciais e a Teoria Cinético-Molecular, concluindo que suas explicações “*não são melhores*” (quarta resposta) e afirmou que seleciona a “*teoria Cinético-Molecular*” (quinta resposta). Pode-se mostrar que o aluno manteve o critério de seleção de teorias, baseado no grau de explicações satisfatórias, que havia mencionado conforme seu entendimento da RRD. Essa seleção é vista na quinta resposta: “*as explicações da teoria Cinético-Molecular (são melhores), porque (ela) explica melhor os fenômenos que ocorrem e também outros que a minha concepção não explicaria satisfatoriamente*”. Conclui-se que a RRD mostrou-se como uma ferramenta interessante em exemplificar uma racionalidade que auxiliou o aluno, neste último passo, a entender e a justificar, de maneira igualmente racional, a sua escolha da Teoria Cinético-Molecular como melhor.

7.2.10 Aluno 10

Análise do desempenho do aluno no passo 1

As respostas apresentadas pelo aluno permitiram classificar suas idéias de calor e de temperatura na segunda noção intuitiva. Para a primeira questão, ele afirmou que o “*calor é um tipo de temperatura, ele é quente*”. Embora essa resposta leve à interpretação de uma classificação na primeira noção intuitiva, o aluno afirma que a temperatura “*é a medida, ela mede*

o calor” (segunda resposta), logo, entendimento compatível com a segunda noção intuitiva. Mais ainda, sua terceira resposta justifica essa classificação: *“calor é uma sensação, sentimos, e temperatura, ela apenas mede o calor”*. Para a quarta questão, o aluno apresentou uma resposta em que uma previsão mais comum de uma temperatura de valor intermediário entre as diferentes temperaturas iniciais das amostras não foi caracterizada: *“Porque a maior temperatura (das amostras) estabelece ao se juntarem”*. Essa resposta destaca a necessidade do ensino do conceito de equilíbrio térmico, aprendendo que, nesse caso, a substância mais quente terá uma redução no valor de sua temperatura. Já na última resposta, o aluno apenas descreveu o fenômeno: *“Porque uma (mão) se junta a outra, estando junta(s) e se mexendo ela(s) se esquentam”*.

Análise do desempenho do aluno no passo 3

Uma junção das respostas das primeira e segunda questões permite dizer que o aluno distinguiu bem os conceitos de calor e de temperatura na Teoria Calórica. Assim afirmou: *“Calor é um fluido, sem peso, invisível, ele vai do (corpo) mais quente pro (corpo) mais frio. A temperatura mede o grau do calor”*. Pode-se dizer o mesmo com a Teoria Cinético-Molecular através dos seguintes comentários: *“Calor se transita em (situação de) diferentes temperaturas, é a energia em trânsito em diferentes temperaturas. Temperatura é o grau de agitação das moléculas”* (terceira e quarta respostas). Aliás, um ponto também importante como resultado deste processo de ensino e de aprendizagem revela-se no entendimento de uma rivalidade explicativa, visto no reconhecimento do aluno de que as teorias *“explicam calor e temperatura de modos diferentes”* (comentado na terceira resposta).

Para as inteligibilidades dos modelos teóricos, pode-se dizer que o aluno apresentou explicações compatíveis com cada modelo ao se analisar, na última resposta, os seus comentários juntamente com seus desenhos ilustrativos. Com a Teoria Calórica ele afirmou: *“dois corpos com temperaturas diferentes ao se juntarem, atingem a mesma temperatura, (atingem o) equilíbrio térmico”*. Nesse caso, desenhou duas situações. Uma delas com dois cubos afastados, um mostrando muito calórico em seu interior¹²⁸ e outro com pouco calórico¹²⁹, indicando aos corpos a notação $T_{\text{corpoA}} > T_{\text{corpoB}}$. A outra situação foi a de ilustrar o equilíbrio

¹²⁸ As quantidades de calóricos foram representados por rabiscos que preenchem completamente o cubo mais quente.

¹²⁹ Com poucos rabiscos.

térmico desses corpos quando em contato, ambos com a mesma quantia de calórico, apresentados com iguais intensidades de rabiscos, em que uma quantidade de calórico havia transitado do corpo A para o corpo B. Com a Teoria Cinético-Molecular afirmou: “*dois corpos com agitação das moléculas diferentes, quando se encontram, atingem a mesma agitação* (das moléculas), (atingem o) *equilíbrio térmico*”. Também com essa teoria desenhou as mesmas situações anteriores, mas ao invés de rabiscos, caracterizou o corpo mais quente com redes cristalinas de formas cúbicas com maior agitação das partículas em comparação com aquelas das redes cristalinas do corpo mais frio. O aluno procurou ilustrar que, quando esses corpos entram em contato físico um com o outro, eles atingem o equilíbrio térmico por igualarem os níveis de agitação das partículas que os constituem. Assim comprovam-se as inteligibilidades desses modelos teóricos.

Análise do desempenho do aluno no passo 5

Este aluno faltou aos quarto¹³⁰ e quinto¹³¹ passos. Sendo assim, a análise dos resultados do sétimo passo é importante para avaliar o quanto a ausência de uma preparação racional pode ser prejudicial ao acompanhamento de discussões por essa direção, bem como de uma melhor reflexão que o aluno venha ter de uma conclusão que tenha realizado.

Análise do desempenho do aluno no passo 7

Este aluno não anotou a primeira questão e, por conseqüência, também não a respondeu.

Para a segunda questão, ele forneceu as seguintes explicações: “*Porque houve atrito entre eles* (os materiais)” (respondido em a); “*Porque eles* (os choques) *estão vibrando* (mais as partículas), *umentando a temperatura*” (respondido em b); “*Porque a energia* (cinética das partículas) *está aumentando, deixando-o mole e fazendo com que se rompa*” (respondido em c). Nota-se que em (a) o aluno apenas transformou a pergunta numa resposta que leva o sentido de ‘porque sim’, logo, nada explicou. Já em (b) e em (c), devido à sua compreensão do modelo

¹³⁰ Inserção da RRD.

¹³¹ Segunda avaliação.

cinético-molecular analisada no terceiro passo, pôde-se entender que ele associou o aumento de temperatura com o aumento da vibração das partículas dos corpos, raciocínio que incorpora uma compatibilidade com o modelo de partículas a respeito das propriedades e da estrutura da matéria que foi estudado em classe.

Ainda na segunda questão, em (d), o aluno reconheceu que a Teoria Calórica não explica o fenômeno: “*a teoria do calórico não consegue (explicar), por ela (a Teoria do Calórico), (a temperatura) continuaria subindo*”. Essa resposta também representa uma previsão feita pelo aluno que é válida pela Teoria Calórica, em acordo com seus entendimentos dos conceitos de calor e temperatura dessa teoria apresentados no terceiro passo. Porém, com a Teoria Cinético-Molecular o aluno não apresentou uma explicação aceitável (“*já a cinético-molecular consegue, pois as moléculas vão estar vibrando*”), embora acredite que ela explica o fenômeno.

O aluno não respondeu a terceira questão com sua noção intuitiva e, em relação ao critério perguntado na quarta questão, afirmou o seguinte: “*por elas (as partículas) vibrarem, a temperatura aumenta*”. Entende-se com essa resposta que, se o aluno 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 comparar teorias que utilizam essa relação. Logo, não são apropriadas comparações explicativas entre a Teoria Cinético-Molecular e suas idéias iniciais ou entre a Teoria Calórica, 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 aluno, na quarta questão, não revelou um critério racional adequado e, conseqüentemente, seu raciocínio não conduziu a um julgamento racional. Isso pode ser provado pelo comentário incabível que apresentou como resposta para a quinta questão: “*calor e temperatura são vinculados, uma necessita da outra*”. Esse resultado permite dizer que o aluno teve dificuldades com o significado que a palavra critério, como base para direcionar uma opção ou decisão, deveria tomar. Ademais, o aluno nada justificou, ou ao menos opinou em relação a uma teoria ser ou não melhor que outra.

7.2.11 Aluno 11

Análise do desempenho do aluno no passo 1

Os entendimentos de calor e de temperatura deste aluno podem ser classificados na primeira noção intuitiva. Para ele, calor “*é a parte quente da temperatura*” (primeira resposta) “*e a temperatura pode ser quente ou fria*” (terceira resposta). Ainda reforçou: “*o calor é apenas quente*” (terceira resposta). Essa diferenciação em que o calor é entendido como integrante da temperatura justifica essa classificação. Já na quarta questão, o aluno fornece uma resposta que carrega a tendência das coisas acontecerem porque elas precisam naturalmente acontecer: “*Porque elas (as amostras) precisam se estabilizarem (em mesmas temperaturas)*”. Na quinta questão, ele explicou em razão da existência de calor entre as mãos durante o atrito (“*Por causa do calor entre elas*”). Essa última resposta mostra que o aluno apenas descreve o fenômeno com suas noções iniciais, admitindo que as mãos se aquecem porque o atrito causa calor, entendido como a parte quente da temperatura.

Análise do desempenho do aluno no passo 3

A respeito da Teoria Calórica, o aluno apresentou aspectos importantes dos conceitos de calor e de temperatura, como as características do fluido calor (“*Que o calor (calórico) é uma substância real que existe em um corpo, ele é um fluido invisível e sem massa*” – primeira e segunda respostas) e a proporcionalidade entre a temperatura de um corpo e sua quantidade de calórico (“*Quanto maior o calor, maior a temperatura*” – segunda resposta). Com a Teoria Cinético-Molecular, sua resposta da quarta questão revela que ele entendeu que duas definições de calor são válidas, quais sejam, como energia e como transferência de energia (“*o calor é energia, calor é a transferência de energia*”). Também afirmou que a “*temperatura mede o grau de agitação das partículas*” (quarta resposta). Essas respostas mostram que o aluno distinguiu bem os conceitos de calor e de temperatura em cada uma das duas teorias estudadas. Além disso, ao comparar os conceitos de calor entre as teorias, ele concluiu que, diferentemente da Teoria Calórica, na Teoria Cinético-Molecular “*o calor (como substância) não existe, ele transfere energia de um corpo para outro*” (terceira resposta), entendimento caracterizado como método de transferência de energia nessa última teoria.

A inteligibilidade da Teoria Calórica pode ser analisada nos seguintes comentários: “*se dois corpos possuem temperaturas diferentes, eles têm que se encostar para*

ocorrer um equilíbrio (de temperatura e calórico) (respondido na quinta questão), por exemplo, se um corpo tem 100°C e o outro tem 20°C, quando eles se encontram (encostam fisicamente) fica equilibrado a temperatura em 60°C (comentado na primeira resposta). O calor de um corpo que é um fluido invisível e sem massa, ao encostar em um (outro) corpo, deixa-o equilibrado com (em quantidade de) calor do (primeiro) corpo (respondido na primeira questão)”. Nota-se, no exemplo acima citado pelo aluno, que há uma compreensão do conceito de equilíbrio térmico. Ainda para o fenômeno da quinta questão, mas agora com a Teoria Cinético-Molecular, ele respondeu que: “um corpo passa calor (energia) para o outro, assim aumenta a temperatura de um e diminui a (temperatura) do outro”. Essa resposta mostra que o aluno reconheceu a transferência de calor, entendido por ele como energia nessa teoria, de um corpo para outro em situação de diferença de temperaturas. Energia essa que, conforme seus comentários, ele associou ao grau de agitação das partículas. Pode-se dizer que as inteligibilidades das duas teorias são alcançadas, pois o aluno soube explicar o fenômeno do equilíbrio térmico pelas duas maneiras, concluindo, por uma teoria, que isso ocorre em razão do equilíbrio de calórico e, por outra, porque há transferência de energia (calor) do corpo mais quente para o mais frio.

Análise do desempenho do aluno no passo 5

Assim como o aluno anterior, este aluno faltou aos quarto¹³² e quinto¹³³ passos. No entanto, seus resultados do sétimo passo são interessantes para mostrar o quanto ele, sem uma preparação racional, apresenta uma reflexão coerente dos caminhos que um julgamento tenha tomado.

Análise do desempenho do aluno no passo 7

Para a primeira questão, o aluno respondeu que calor “é o movimento das moléculas que são ligadas umas as outras e temperatura mede a quantidade de calor”. Essa resposta revela que muito do que o aluno caracterizou dos conceitos científicos adequadamente no terceiro passo é agora mesclado com noções intuitivas. A única idéia compatível com a Teoria

¹³² Inserção da RRD.

¹³³ Segunda avaliação.

Cinético-Molecular relaciona-se ao movimento das moléculas, mas o conceito de calor não especifica uma variação do movimento das moléculas em virtude de uma troca de energia por diferença de temperatura. Mais ainda, a temperatura apresenta uma noção de que corpo tem calor. Esse resultado mostra que noções importantes desses conceitos dadas pelo aluno no terceiro passo aqui se perderam.

Já na segunda questão, o aluno realizou as seguintes explicações: “(A temperatura aumenta) *porque as moléculas ficam (mais) agitadas*” (resposta a); “*Pelo mesmo motivo (da resposta anterior), as moléculas se agitam mais, (mas) é bem pouco (pelo fraco aquecimento)*” (resposta b); “*Por bastante movimentos, ele (arame) se aquece e se rompe*” (resposta c); “*Porque 100°C é o limite, daí, quanto chega nessa temperatura, muda de fase porque já está muito quente*” (resposta d). Apesar de, nas duas últimas situações as respostas se restringem em descrições dos fenômenos, limitadas nos observáveis, pode-se dizer que o raciocínio do aluno concorde que em situações de aumento de temperatura ocorrem aumentos do nível de agitação das moléculas. Isso porque, para as duas primeiras situações, ele apresentou essa proporcionalidade entre a temperatura e a agitação das partículas. Este é um resultado positivo da construção do conhecimento científico por coerência com o modelo cinético-molecular.

Quando tentou articular suas noções iniciais de calor e de temperatura, nas situações acima, afirmou na terceira questão que: “*Porque (a parte quente) (d)a temperatura de um material se junta com a do outro material, daí fica mais quente*” (resposta a); “*Mesma coisa da resposta acima (da resposta a)*” (resposta b); “*Acho que é mais pela força muscular mesmo*” (resposta c). Nota-se que as duas primeiras respostas estão coerentes com suas noções intuitivas, por explicar que os aquecimentos deveriam ocorrer pela junção de partes quentes da temperatura. A resposta c baseia-se na convicção de uma força externa (força muscular), mas nada com suas noções intuitivas foi articulado para explicar o fenômeno do aquecimento do arame. Também não forneceu comentários com suas noções intuitivas para o fenômeno da estabilização da temperatura da água em ponto de ebulição.

Com a totalidade das explicações dos dois últimos parágrafos, o aluno afirmou para a quarta questão que utiliza o seguinte critério de seleção de teorias: “*a lógica*”. Desse critério, ele afirmou julgar como melhor “*a Teoria Cinético-Molecular*” na comparação com suas noções iniciais (quinta resposta). Ao dizer ‘*a lógica*’, é necessário lembrar que o aluno mostra-se

racionalista se a palavra lógica adequadamente estiver se referindo ao encadeamento coerente de alguma coisa que obedece a certas convenções ou regras¹³⁴ (e critérios). Logo, a resposta do aluno seria aceitável caso ele mostrasse nessa sua lógica qual regra estaria seguindo para chegar a tal julgamento por coerência com um determinado critério pertinente. Mesmo que a palavra lógica tenha compatibilidade com racionalidade, ela se mostra ainda muito geral, podendo-se notar que uma reflexão racionalista não é perfeitamente dominada pelo aluno. 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)*” (quinta resposta). A justificativa ‘*tenho certeza*’ não caracteriza uma racionalidade como no sentido adotado neste trabalho, porque não segue nenhum critério racional então controlado pelo aluno. Poder-se-ia dizer que o aluno adotasse uma suposta lógica natural, ainda implícita, cujo critério fosse o grau de explicações ‘certas’¹³⁵, justificando assim a escolha realizada. Mas essa possibilidade deve ser descartada porque desse modo o aluno teria valorizado suas noções iniciais em respeito ao que também comentou na quinta questão: “*mas a minha (explicação) sobre o arame, acho que tá mais certa*”. Assim, embora o aluno tenha selecionado a Teoria Cinético-Molecular, os resultados dessa análise permitem concluir que seja interessante 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.

7.2.12 Aluno 12

Análise do desempenho do aluno no passo 1

Este aluno apresentou um conceito de calor que tendencia para a quarta noção intuitiva. Isso porque ele afirmou na primeira questão que calor é energia (“*calor é uma forma de energia*”) que pode ser produzida (“*gerada por atritos e reações físicas*”). No entanto, a relação que ele aparentemente estabelece entre calor e energia não está bem formada, pois, na terceira questão, o estudante já apresenta uma má definição de calor como algo desconhecido: “*o calor é*

¹³⁴ Acepção da palavra lógica conforme Houaiss e Villar (2001).

¹³⁵ Por ele entendida como certas.

algo gerado por certos fatores, produzindo a energia”. Além disso, uma análise rigorosa neste instante permite lembrar que o conceito de energia não envolve sua produção, mas sua conversão de uma forma em outra. Mas, ainda que o aluno tenha se referido a uma forma de energia que é ‘produzida’, no sentido de que é convertida, o equívoco conceitual está no fato de ele admitir que se gera calor em situações de aquecimento por atrito onde não há diferença de temperatura. Esse entendimento pode ser comprovado na explicação da quinta questão: *“Porque o atrito de nossas mãos geram o calor, que por sua vez nos esquentam”*. Para a temperatura, o aluno forneceu um entendimento que caracteriza somente que ela é uma grandeza variável. Assim comentou: *“temperatura é algo instável e (por isso, seu valor) varia de um lugar para outro, devido (a) fatores como clima, estações e reações”* (segunda questão). Na resposta da quarta questão, é possível notar que o aluno, sem citar palavras como calor e energia, apenas descreve o fenômeno: *“Quando nós misturamos água quente com água fria, teremos uma reação parecida com ambas; a temperatura da água quente vai esfriar em contato com a água fria, e o mesmo acontece com a água fria que tende a esquentar, assim ambas atingem a mesma temperatura”*. Esta resposta, entretanto, revela um raciocínio compatível com o conceito científico de equilíbrio térmico, conceito este que pode vir a ser facilmente compreendido pelo estudante.

Análise do desempenho do aluno no passo 3

Pode-se dizer pelas respostas das primeira e segunda questões que o aluno compreendeu bem os conceitos de calor e de temperatura da Teoria Calórica. Assim caracterizou o calor: *“O calor não tem peso e é invisível. Calor é a quantidade de calórico de um corpo”*. Para a temperatura ele respondeu: *“A temperatura mede essa quantidade de calórico. A teoria do calórico afirma que a temperatura de um corpo refere-se a quantidade de calórico que ele possui, e quando existe um contato com um corpo de diferentes temperaturas, é transferido uma quantidade de calórico do (corpo) mais quente para o mais frio”*. Esse último comentário do aluno mostra o correto entendimento da proporcionalidade entre a temperatura e a quantidade de calórico no corpo, como também do sentido do fluxo de calórico em situação de diferença de temperaturas.

Para a Teoria Cinético-Molecular, o aluno apresentou uma relação válida entre a temperatura e o nível de agitação das moléculas no comentário: *“A teoria cinético-molecular*

afirma que a temperatura de um corpo refere-se a agitação das moléculas, quanto maior essa agitação (das moléculas), maior a sua energia, quando entra em contato com outro corpo, essa energia que é transferida recebe o nome de calor, porém só ocorre quando as temperaturas são diferentes” (terceira resposta). Nesta terceira resposta, é possível notar que o aluno entendeu que se dá o nome de calor à energia que é transferida numa situação de diferença de temperatura. Ele também apresentou, na quarta questão, as seguintes noções: *“Calor é a energia transferida de um corpo para o outro, quanto maior a agitação das moléculas, maior a energia. Temperatura é medição da agitação das partículas”*. Dessa resposta, é preciso dizer que, mesmo o aluno não tendo mais acertadamente afirmado que a temperatura é uma medida indireta do nível de agitação médio das partículas, sua noção está ligada a esse entendimento.

Concordante com seus entendimentos dos conceitos de calor e de temperatura dos dois modelos teóricos acima, o aluno apresentou a seguinte resposta para a quinta questão: *“Segundo a teoria do calórico, quando dois corpos de diferentes temperaturas entram em contato, o que possui maior (quantidade de) calórico transfere uma certa quantidade até os dois corpos atingirem a mesma temperatura. Segundo a teoria cinético-molecular, quando um corpo entra em contato com outro, (h)á uma transferência de energia (calor), que é a agitação das partículas, ocorre essa transferência até os dois corpos atingirem a mesma temperatura (mesmo nível de agitação das partículas)”*. Essa quinta resposta mostra as inteligibilidades do aluno em ambas as teorias para o fenômeno do equilíbrio térmico. Isso porque ele entende que pela teoria calórica a explicação está na transferência de calórico até que haja equilíbrio dessa quantidade nos corpos e também porque, com a teoria cinético-molecular, há transferência de energia de agitação das partículas de um corpo para outro até que suas energias se igualem.

Análise do desempenho do aluno no passo 5

As mesmas observações realizadas, no parágrafo anterior, podem ser deslocadas para a seguinte resposta que o aluno apresentou na primeira questão: *“Na teoria do calórico, a água que está mais aquecida possui mais calórico e, em contato com a água fria, ocorre uma transferência desse calórico, igualando as temperaturas. Na teoria cinético-molecular a temperatura da água se dá pela (grau de) agitação das moléculas, a água quente, quando em contato com a água fria, equilibra a agitação dessas moléculas (das águas quente e fria)”*. Em

comparação com sua resposta da quarta questão do primeiro passo, essa última resposta mostra um avanço no conhecimento dos conceitos em foco em razão do aluno explicar de duas maneiras diferentes o fenômeno. Essas inteligibilidades assim mantidas revelam não só sua compreensão das distintas noções de calor e de temperatura, como também do fenômeno do equilíbrio térmico, compreensão importante para o acompanhamento da discussão racional da RRD.

Para a RRD, alguns comentários do aluno mostram que ele reconheceu uma inviabilidade do postulado da não criação de calórico em fenômenos de aquecimento por atrito, inviabilidade essa que não houve em processos de trocas de calor por diferença de temperaturas. Assim ele comentou a respeito da Teoria Calórica: *“Ela teve problemas porque se contradisse quando (se) afirmou que existia calórico dentro da substância (broca e canhão), (mas) no processo de perfuração (atrito) do canhão, a temperatura era alta e o atrito produzia (parecia produzir) mais calor (calórico)”* – segunda resposta. O aluno ainda comentou na terceira questão que: *“A teoria do calórico não conseguia explicar porque ela afirmava que um corpo possuía uma quantidade uniforme de calórico e que ele (calórico) só seria transferido se entrasse em contato com uma substância (ou corpo) de diferente temperatura, e esse atrito (da broca com o canhão) conseqüentemente produzira (aparentemente) mais calórico (o que era proibido pela teoria)”*. Assim, ao passo que as experiências iniciais discutidas, em sala de aula, que partiram de uma diferença de temperatura eram explicadas pela teoria calórica pela transmissão de calórico e não pela sua (proibida) criação, as experiências de aquecimento por atrito revelavam uma aparente criação de calórico. Essas interpretações de resultados incongruentes reconhecidas pelo aluno por influência da RRD mostraram-se importantes para ele aceitar o entendimento de um enfraquecimento do programa calórico, notando-se uma condição de insatisfação nesse sentido, pois, segundo o aluno, *“ela (Teoria Calórica) teve problemas...”*. Já do outro lado, para ele, a teoria rival explica o fenômeno do aquecimento por atrito: *“A teoria cinético-molecular consegue (explicar), pois ela afirmava que o calor é a energia transferida de um corpo para o outro (relacionada à agitação das partículas), ou seja, o atrito (colisão das partículas da superfície em contato) produz esse calor, não a substância (os corpos) em si”* (terceira resposta). Nota-se nesta resposta que o aluno associou o calor como uma energia transferida, desconsiderando a igualdade das temperaturas dos corpos em atrito, logo, equivocando-se no uso de tal conceito. Entretanto, um ponto positivo é que, na Teoria Cinético-Molecular, seu entendimento de calor não caracterizou a transferência de substância como na Teoria Calórica, mas de transferência de

energia de agitação das partículas. Uma análise, na próxima seção, das respostas do aluno em outras situações de aquecimento mostra se esse equívoco do aluno permaneceu constante.

Para o critério de seleção de teorias, o aluno afirmou: *“Eu avalio uma teoria segundo a maior quantidade de fenômenos explicados por ela”* (quarta resposta) – *“As teorias que explicam maior número de fenômenos é considerada a melhor”* (sétima resposta). Neste momento, é preciso mostrar o que o aluno admitiu, de acordo com seu entendimento da RRD, como uma explicação válida de um fenômeno. Nota-se, em suas respostas, que ele não comentou explicações auxiliares da Teoria Calórica conforme apresentadas na RRD, discutindo apenas que o fenômeno do atrito era inexplicável devido à suposta criação de calórico então proibida pela teoria (conforme análise do parágrafo anterior). Isso caracteriza uma aceitação de explicações coerentes com os postulados da teoria, do contrário, não há explicação. Conseqüentemente, é possível dizer, em relação ao último comentário do aluno, que ele se baseia no critério do grau de explicações que são coerentes com os postulados da teoria. Assim, realizou o seguinte julgamento: *“A teoria do calórico explica até um certo ponto¹³⁶ e a cinético-molecular consegue supri-la, assim sendo considerada a mais apropriada”*. O aluno ainda justificou esse julgamento que destaca a Teoria Cinético-Molecular como a mais apropriada (ou melhor): *“A teoria do calórico se contradiz em explicar o fenômeno do atrito, já a cinético-molecular deixa claro esse fenômeno pois a base de sua explicação é a transferência de energia que produz o calor”* (quinta resposta). Conclui-se que a RRD estabeleceu no aluno uma condição de insatisfação com a Teoria Calórica o que não ocorreu com a rival Cinético-Molecular. Também se conclui que ela promoveu o entendimento no aluno de uma racionalidade cujo critério permitiu a ele comparar teorias rivais e justificar que a Teoria Cinético-Molecular é a melhor.

A respeito do desenvolvimento das teorias científicas o aluno comentou que: *“As teorias se baseiam em modelos que vão se aprimorando, pois ela(s) pode(m) encontrar fenômenos que não podem ser explicados, então ela(s) vão se aprimorando até satisfazer(em) a explicação de todos fenômenos ocorridos ou da maioria”*. Esta opinião do aluno sobre a natureza das teorias na Ciência está numa direção oposta à visão de uma Ciência pronta, acabada e imutável. Pode-se dizer que essa característica ingênua das teorias representarem um espelho da realidade, entendimento muito comum no ambiente de sala de aula quando o professor de Física

¹³⁶ Como as situações de trocas de calor por diferença de temperaturas.

não se interessa pela filosofia, a RRD, como foi aqui trabalhada, auxiliou a desmistificar. Nesse sentido, o aluno ainda mostrou um caráter limitado das explicações que as teorias fornecem, como visto em seu comentário sobre a teoria calórica na frase: “*A teoria do calórico explica até um certo ponto e a cinético-molecular consegue supri-la, assim sendo considerada mais apropriada*”.

Análise do desempenho do aluno no passo 7

O aluno respondeu na primeira questão que: “*calor é a transferência de energia (relacionada à agitação das moléculas) de um corpo para o outro e a temperatura é o grau de agitação das partículas*”. Nota-se, nesta resposta, que o aluno não especificou a situação de uma diferença de temperatura para o conceito de calor como fez no terceiro passo, além de que a temperatura é mais bem conceituada como uma medida indireta do nível de agitação médio das partículas de um sistema. Porém, se a resposta acima for comparada com os entendimentos iniciais do aluno vistos no primeiro passo, é possível afirmar que ele apresentou um avanço do conhecimento em direção às noções de calor e de temperatura do modelo cinético-molecular.

Para as situações da segunda questão, o aluno forneceu as seguintes respostas: “*Porque ocorre a agitação das moléculas e ocorre a transferência da energia cinética (do atrito) para a energia térmica*” – respondido em (a); “*Porque quando (os corpos) se atritam (colidem), as moléculas aumentam seu grau de agitação, conseqüentemente gerando o aquecimento (dos corpos)*” – respondido em (b); “*Porque as moléculas se aquecem devido a agitação e o movimento de flexião (flexionar), e se rompem devido a força exercida sobre o arame que separam as moléculas*” – respondido em (c). Essas situações de aquecimento poderiam induzir o aluno a usar a palavra calor em suas explicações, visto que ele chegou a mencioná-la incorretamente numa situação de aquecimento por atrito no quinto passo, mas ele não a citou em qualquer uma das três situações de aquecimento. Além disso, essas respostas representam frutificações de explicações coerentes com a Teoria Cinético-Molecular por relacionarem o aumento de temperatura com o aumento do grau de agitação das moléculas. Conclui-se que o equívoco do aluno visto em passos anteriores no uso do conceito de calor aqui não ocorreu.

Em relação à comparação explicativa provocada em (d), ainda na segunda questão, o aluno respondeu que: “*a teoria do calórico não consegue explicar o fenômeno da*

evaporação, pois ela afirma que o calor é uma substância e devido a isso (a teoria) não explica esse fenômeno. Já a teoria cinético-molecular diz que as moléculas se agitam até certo ponto, quando ocorre o seu rompimento (das ligações entre as moléculas) e a mudança de estado físico". Nesta resposta, embora o aluno não tenha apresentado boa inteligibilidade com a Teoria Calórica por não apresentar adequadamente a razão de não se conseguir explicar o fenômeno, nota-se uma condição de insatisfação com essa teoria (*"a teoria do calórico não consegue explicar..."*). Contrariamente ocorre com a rival cinético-molecular, pois além de o aluno apresentar uma explicação válida com o modelo, vê-se que não há insatisfação explicativa. Pode-se dizer também que esse resultado está de acordo com o julgamento que ele realizou no quinto passo.

Admitida a superioridade explicativa da Teoria Cinético-Molecular no parágrafo acima, agora, ao comparar as explicações dessa teoria com as possíveis explicações de suas idéias iniciais, o aluno pôde afirmar: *"as minhas idéias anteriores não possuem fundamentos, nem base para explicar os fenômenos citados, pois antes eu não possuía a noção de calor e temperatura que as aulas de física me proporcionaram"* (terceira resposta). Ainda que o aluno não tenha mencionado as explicações com suas idéias iniciais, esse seu reconhecimento novamente favorece a opção pela Teoria Cinético-Molecular, opção que é mais bem comprovada no seguinte julgamento: *"com certeza a Teoria Cinético-Molecular é mais favorável que as minhas antigas idéias, pois ela é capaz de explicar fenômenos antes não compreendidos por mim"* (quinta resposta). Pode-se mostrar que esse julgamento está coerente com o critério do grau de explicações por ele respondido na quarta questão (*"o critério de que a teoria cinético-molecular apresenta um maior número de fenômenos explicados"*). Esse critério é o mesmo que mencionou no quinto passo (*"eu avalio uma teoria segundo a maior quantidade de fenômenos explicados por ela. As teorias que explicam maior número de fenômenos é considerada a melhor"*), onde se mostrou que tal critério baseou-se no grau de explicações que são coerentes com os postulados de uma teoria. Agora, pode-se dizer que o aluno avaliou o número de explicações coerentes com suas idéias iniciais, mas nada constatou conforme ele próprio afirmou: *"as minhas idéias anteriores não possuem fundamentos, nem base para explicar os fenômenos citados"*. Isso justifica seu julgamento conforme o critério pertinente.

Conclui-se que a RRD alcançou êxito em exemplificar uma discussão racional entre teorias rivais cujo critério de comparação, entendido pelo aluno como fundamentado no

grau de explicações coerentes, foi mantido nesta última etapa, auxiliando o aluno a avaliar e a concluir, de maneira igualmente racional, que a Teoria Cinético-Molecular é a melhor teoria.

7.2.13 Aluno 13

Análise do desempenho do aluno no passo 1

Este aluno apresentou entendimentos de calor e de temperatura tendenciosos à primeira noção intuitiva. Na primeira questão, ele afirmou que o calor “*é uma sensação de algo quente*”. Também afirmou: “*Esta sensação é maior no verão, pois o nosso corpo mantém uma certa temperatura interna, e a temperatura externa é maior, causando o calor que tanto falamos*”. Embora esta resposta possa mostrar um entendimento de calor como determinado por uma diferença de temperaturas, o aluno revelou na terceira questão que mantém uma confusa noção a respeito do que seja o calor. Assim disse: “*calor, pode-se dizer que é um clima, sensação e um tipo de força. Ah ... tá confuso né?!!*”. Para a noção de temperatura, é possível comprovar a tendência de seu entendimento para a primeira noção intuitiva pelo fato de ele admitir que ela seja uma mistura, no sentido de uma composição, de climas como frio e calor. Isso pode ser visto no seguinte comentário: “*Bom esta palavra temperatura lembra outras três: tempero ou temporário ou tempo. Então temperatura deve ser uma mistura de climas (tempero) que é temporário (por algum tempo) e que representa através de números se a sensação (não só climática) está fria ou calor*”. Em respeito à quarta questão, o aluno apenas descreveu o fenômeno do equilíbrio térmico por um balancete de temperaturas, como se vê na frase: “*Bom, é como se fosse uma conta de menos, temperatura maior menos a menor, ainda sim ia sobrar mais, depois o restante atingiria a temperatura ambiente do local*”. Na quinta questão, a explicação do fenômeno do aquecimento por atrito não ocorre por articulação coerente de suas noções de calor e de temperatura já discutidas, mas caracteriza uma noção de produção de calor (“*porque são corpos e em atritos produzem calor, assim como bater um pedaço de ferro no asfalto*”). Esse tipo de resposta aponta um problema deste processo de ensino a ser enfrentado que é o de conseguir que o aluno não utilize a noção de calor em situações de atrito onde não haja diferença de temperatura.

Análise do desempenho do aluno no passo 3

Nota-se, nas respostas das primeira e segunda questões, que o aluno caracterizou bem o calor pela teoria calórica ao afirmar: “*calor é uma substância, (um) fluido, invisível, sem massa*”. Também descreveu de maneira válida o conceito de temperatura nessa teoria (“*a temperatura é a medida deste calor*”), juntamente com a proporcionalidade com a quantidade de calórico (“*quanto mais calórico, maior é a temperatura; menos calórico, menor a temperatura*”). Ainda apresentou corretamente o sentido do fluxo do calórico, como se vê na frase: “(o calórico) *passa do corpo mais quente (com maior quantidade) para o (corpo) mais frio (de menor quantidade de calórico)*”. Esses comentários do aluno permitem dizer que ele compreendeu de maneira satisfatória os conceitos de calor e temperatura dessa teoria.

Nas respostas das terceira e quarta questões, o aluno mostrou um entendimento de calor e de temperatura coerente com a teoria cinético-molecular. Isso porque afirmou que o “*calor é uma energia e temperatura é o grau (de movimento) desta energia*”. A respeito da energia por ele citada, ele se refere à energia capaz de variar o movimento das moléculas, em que essa variação é proporcional à variação da temperatura, conforme comenta: “*No caso de um corpo sólido, onde as moléculas estão organizadas, ao receber esta energia, elas (as moléculas) vão começar a se movimentar (mais) e acabam-se batendo em outras que também vão se movimentar, quanto maior o movimento, maior é a temperatura, menor movimento, menor temperatura*”. Desses comentários, por um lado, o aluno equivocou-se em não especificar a condição de uma diferença de temperaturas para que a definição de calor se torne adequada. Mas, por outro lado, o ponto positivo da construção do conhecimento científico está no fato de ele entender que a temperatura relaciona-se ao grau de energia de um corpo, energia que ele associa ao nível de movimentação das partículas.

As respostas da quinta questão revelam que o aluno soube diferenciar as explicações teóricas de ambos os modelos estudados. Assim respondeu: “(Pela teoria calórica) *o corpo (com) mais calórico ao estar junto com um (outro com) menos calórico, (eles) atingem a mesma temperatura, pois esta substância invisível (calor) flui do corpo mais quente para o mais frio. (Pela teoria cinético-molecular) a energia de um corpo é transferida ao outro, fazendo com que (as moléculas de) ambos se movimentam (de maneira estável). O que tem mais energia, ao transferir (energia), perde um pouco de movimento (das moléculas), e o outro (corpo) que tinha*

pouco (movimento das moléculas) *ganha mais* (movimento das moléculas), *sendo assim, os dois ficam* (com movimentos de moléculas) *estáveis*”. Esta resposta comprova que os modelos teóricos estudados estão inteligíveis no aluno. Isso porque ele entende que a teoria calórica explica o equilíbrio das temperaturas pelo equilíbrio de calórico nos corpos e, de outra forma, por entender pela teoria cinético-molecular que esse fenômeno acontece quando há igualdade dos movimentos moleculares dos corpos. Mostra-se, assim, que o aluno conseguiu entender e diferenciar os conceitos de calor e de temperatura, como também as explicações, das duas rivais teorias.

Análise do desempenho do aluno no passo 5

Na primeira questão, nota-se que o aluno explicou, por meio da Teoria Calórica, que há um equilíbrio de temperatura entre os corpos porque surge uma transferência de calórico conforme o sentido de seu fluxo, observado na frase: *“Teoria do calórico – as amostras (de água) chegam a um equilíbrio (de temperatura), pois um fluido (calórico) parte da substância (água) mais quente para a (amostra de água) mais fria, mantendo temperaturas parecidas”*. Já com a Teoria Cinético-Molecular ele explicou o fenômeno do equilíbrio térmico em razão da transferência de energia entre os corpos alterar os movimentos de suas moléculas, como se vê na resposta: *“as amostras (de água) chegam a um equilíbrio, pois a energia em trânsito movimentada as moléculas, fazendo com que elas (as moléculas de ambas amostras de água) possam atingir uma mesma temperatura (mesmo nível de movimentação)”*. Essas explicações estão coerentes com os modelos teóricos estudados e revelam condições de inteligibilidade. Isso porque o aluno raciocinou que, segundo a Teoria Calórica, se há variação de temperatura também proporcionalmente há variação de calórico e, segundo a Teoria Cinético-Molecular, se há variação de temperatura também proporcionalmente há variação do nível de movimentação das moléculas. Diante disso, e por comparação com o que o aluno respondeu na quarta questão do primeiro passo, admite-se uma certa construção do conhecimento científico.

Para a RRD, é possível mostrar que ela foi bem sucedida em fornecer um entendimento ao aluno das dificuldades explicativas que a Teoria Calórica sofreu. Nesse sentido, o aluno afirmou, na terceira questão, que essa teoria não conseguiu explicar o fenômeno do atrito (respondendo que *“não”*) e justificou: *“porque segundo a teoria do calórico, o aquecimento*

obtido pelo atrito é causado (explicado) pela pressão exercida sobre o corpo, que por sua vez empurra o calórico para fora (para a superfície, aquecendo-a)". Nota-se, nesta resposta, que o aluno entendeu a explicação alternativa (hipótese auxiliar do programa) do aquecimento dos corpos por atrito pelo agrupamento de calórico em suas superfícies de contato. Mas ele reconheceu a explicação como inválida por entender que houve no fenômeno maior caracterização de criação de calórico, então proibido pela teoria, durante o aquecimento das peças, conforme o comentário: "*Sendo assim, (essa teoria) não saberia explicar porque no atrito (a quantidade de) o calórico é bem maior do que já tinha (anteriormente) no corpo. Ex. canhão*" (terceira resposta). Também reconheceu que a hipótese auxiliar do meio ambiente fornecer um aumento de calor (calórico) para os gelos em atrito se derreterem deveria ser descartada pela incompatibilidade com o sentido do fluxo de calórico ("*a substância invisível calórico passa do mais quente para o mais frio*" – conforme quinta resposta do terceiro passo). Isso porque ele afirmou que "*no caso do gelo em atrito, a teoria calórica dizia (previa) que o gelo não derreteria por estar num ambiente frio (de temperatura menor que a de fusão do gelo)*", do contrário estaria contra o postulado do sentido de fluxo de calórico. Entretanto, como ele disse: "*(mas) fazendo (essa) experiência se percebe que (os gelos) derretem, e a previsão da (teoria) calórica neste caso falhou*" – respondido na quarta questão. Assim, mostra-se que o aluno admitiu que as tentativas (hipóteses auxiliares) para proteger os postulados da Teoria Calórica em situações de atrito não foram bem sucedidas.

Conclui-se que a RRD promoveu um entendimento no aluno sobre o enfraquecimento do programa calórico através de reflexões de resultados experimentais que admitiram fatos contraditórios. Isso se deve aos fenômenos de equilíbrio térmico permitirem uma interpretação de corroboração do sentido do fluxo de calórico por transmissão, sem que houvesse a possibilidade de criação conforme os postulados, ao passo que a especificada experiência de atrito de gelos não. Aliás, essa provocada degeneração do programa calórico pela RRD ganhou reforço por comparação com a rival quando o aluno reconheceu que a Teoria Cinético-Molecular explicou o êxito da rival Calórica, superando-a por um acréscimo explicativo no fenômeno do aquecimento por atrito da seguinte forma por ele entendida: "*Na Teoria Cinético-Molecular, o atrito que é uma força cinética é transformada em força térmica (ganho de energia térmica), causando assim um aquecimento maior ou menor, dependendo da força aplicada no corpo*" (explicação vista na terceira resposta). Nesta explicação, pode-se dizer que o raciocínio do aluno

refere-se a uma força de atrito cinética, em que parte da energia cinética do movimento dos corpos em atrito esteja se transformando em aumento de suas energias térmicas. Esse raciocínio, além de se mostrar coerente com a noção de energia como algo que se transforma, também revela as condições de inteligibilidade e de satisfação do aluno com essa teoria. Resultado então desejado em vista da análise do parágrafo anterior ter mostrado que o estudante manteve uma condição de insatisfação com a rival calórica.

Para a escolha entre as teorias rivais, o aluno afirmou: “*Para mim, a melhor teoria seria a do cinético, pois ao decorrer de seus estudos foi a que menos demonstrou falhas*” (visto na quinta resposta). Esse julgamento foi baseado no critério do grau de explicações sem falhas, critério pelo qual o aluno se diz convencer-se da superioridade de uma teoria, conforme o seu comentário na quarta questão: “(as teorias) *teria(m) que me convencer, (porque eu verificaria a que tivesse menos falhas*”. Neste instante, é preciso mostrar o que o aluno entendeu por falhas. Para isso, discutem-se duas características que se destacam no entendimento do aluno em análise do penúltimo parágrafo. Uma delas é ele reconhecer como falha a admissão de qualquer hipótese incompatível com algum postulado (núcleo do programa), ao afirmar que “*no caso do gelo em atrito, a teoria calórica dizia que o gelo não derreteria por estar num ambiente frio (de temperatura menor que a de fusão do gelo)*”, do contrário estaria contra o postulado do sentido de fluxo de calórico. A outra característica é ele reconhecer que uma previsão pode falhar quando analisou a previsão da teoria calórica no caso do atrito dos gelos ao afirmar que: “(mas) *fazendo (ess)a experiência se percebe que (os gelos) derretem, e a previsão da (teoria) calórica neste caso falhou*”. Ainda comentou que essa falha se torna um ponto a menos em sua avaliação (“*um ponto a menos na minha avaliação*”). Assim, para ele, também é falha quando uma previsão não ocorre. Conseqüentemente, além do critério acima especificado como grau de explicações sem falhas, é possível dizer que o aluno também reconhece como válido o critério do grau de previsões confirmadas. Este critério é compatível com a linguagem lakatosiana de força heurística para avaliar teorias rivais, critério alcançado via RRD neste processo de ensino e de aprendizagem e que se refere a um padrão de racionalidade.

Em relação à natureza das teorias científicas, o aluno opinou pela visão dos modelos: “(as teorias são) *modelos que vão se aprimorando*” (sexta resposta). Nesse sentido, pode-se mostrar que a RRD promoveu um entendimento no aluno de que o conhecimento científico não é algo consumado, constituído por teorias sólidas e inabaláveis, como se nota em

sua conclusão de que a própria Teoria Cinético-Molecular também pode vir a ser substituída: “*neste caso, a (teoria) cinético(-molecular) substitui a (teoria) calórica por apresentar melhores explicações (sem falhas) para mais fenômenos e, a qualquer momento, ela (teoria cinético-molecular) também pode ser substituída*” (sétima resposta). Essa visão sobre o desenvolvimento das teorias científicas vai de encontro a uma visão de ciência exclusivamente cumulativa e linear, resultado desejado neste processo.

Análise do desempenho do aluno no passo 7

Este aluno não anotou e também não respondeu a primeira questão desta avaliação. Sendo assim, a análise dos resultados deste sétimo passo procede a partir da segunda questão.

O aluno apresentou as seguintes respostas para as três primeiras situações da segunda questão: “*Porque quando os dois (materiais) se atritam, causa um (aumento do) movimento nas moléculas, este (aumento de) movimento provoca o aquecimento entre ambas as partes (os materiais)*” (resposta a); “*Porque está sendo aplicada uma força (no impacto), e neste impacto há uma transição de energia (cinética). Esta energia em trânsito (para a energia das partículas) faz as moléculas se movimentarem, se movimentando, existe o aquecimento*” (resposta b); “*Porque você está dando a ele movimento (energia cinética), e o movimento faz as moléculas se mexerem (mais), fazendo com que a energia em trânsito quebre-as, destruindo a sua estrutura*” (resposta c). Essas explicações revelam condições de frutificação de noções compatíveis com a Teoria Cinético-Molecular. São elas: a noção de energia como algo que não se cria nem se destrói, mas se transforma; a noção de que em situações de aquecimento, há aumento da movimentação das partículas. As respostas também comprovam que o aluno não cometeu o equívoco do uso da palavra calor nesses casos de elevação de temperatura, assim como fez no primeiro passo. Resultados então positivos da construção do conhecimento científico.

Para a quarta situação da segunda questão (em d), o aluno apresentou uma condição de inteligibilidade com a Teoria Calórica em virtude de sua explicação se fundamentar no postulado de o calórico não poder ser criado ou 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". Entretanto, nota-se nesta explicação que o aluno mescla noções da Teoria Cinético-Molecular, como a quebra das ligações entre moléculas na mudança de fase, além da noção de energia como algo que se converte de uma forma em outra, levantando uma idéia de que a energia elétrica seria convertida em quantidades de calórico. Desse modo, o aluno se mostrou altamente criativo com o modelo teórico e até o modificou nessa tentativa de explicação pela inserção de outras noções, conforme ele próprio ressaltou que essa sua explicação acima é um faz de conta: *"A teoria do calórico (poderia) explicar este fenômeno em partes (Faz de conta!)"*. Já com satisfação, o aluno admitiu que a Teoria Cinético-Molecular explica o fenômeno da estabilização da temperatura no ponto de fusão. Assim comentou: *"A teoria cinético-molecular com certeza explica. A água após entrar em estado de ebulição, aonde todas as suas moléculas já estão em agitação (máxima nesta fase), começa a evaporar pois este movimento (máximo) causa a quebra (das ligações) entre elas"*. Além da condição de satisfação, comprovada na frase *"com certeza explica"*, os detalhes que o aluno mencionou com a Teoria Cinético-Molecular, nesta última explicação, caracterizam também uma condição de inteligibilidade.

Na terceira questão, o aluno respondeu que nem tentaria articular suas idéias iniciais para explicar os fenômenos, justificando isso por admitir que suas explicações eram inferiores até àquelas dadas pela Teoria Calórica, logo, para ele não houve sentido em explicitá-las, como se vê no comentário: *"Nem vou tentar explicar (com minhas idéias iniciais), pois a minha possível teoria é bem pior do que a do calórico, não chega a explicar nenhum fenômeno. Então deixa quieto!"*. Embora o aluno não tenha apresentado explicações por articulações com suas noções iniciais, não se pode dizer que ele não tenha habilidade e criatividade para isso, dado como exemplo a sua reflexão com a Teoria Calórica discutida no último parágrafo. No entanto, pode-se afirmar que ele reconheceu que suas noções iniciais apresentam explicações com falhas, falhas entendidas da mesma forma como se mostrou na análise do passo anterior. Mesmo ele não

tendo explicitado as falhas explicativas de suas noções porque achou desnecessário, nota-se que o critério do grau de explicações sem falhas, que assim o aluno entendeu por influência da RRD, foi novamente mencionado, prevalecendo neste passo conforme sua resposta da quarta questão: “(a teoria) *que convence, (é) a que possui menos falhas*”. Assim, por consequência das explicações que apresentou e por coerência com o critério pertinente, o aluno realizou o seguinte julgamento na quinta questão: “a (teoria) *cinético-molecular (é a melhor), sem comparações (não dá nem para comparar) com a minha suposta teoria (do primeiro passo)*”. É interessante dizer que o aluno, ao mencionar “*sem comparações*”, apresentou uma força de expressão pelo julgamento que realizou conforme o critério racional na comparação.

Conclui-se que a RRD apresentou-se como uma ferramenta interessante em exemplificar uma racionalidade que auxiliou o aluno, neste último passo, a entender de maneira igualmente racional que a Teoria Cinético-Molecular é superior.

7.3 Discussão geral dos dados

Realiza-se, nesta seção, uma discussão geral dos dados para cada um dos quatro passos em que se processou as análises individuais na seção anterior deste capítulo. A seqüência apresentada é: Discussão geral dos desempenhos dos alunos no passo 1; Discussão geral dos desempenhos dos alunos no passo 3; Discussão geral dos desempenhos dos alunos no passo 5; Discussão geral dos desempenhos dos alunos no passo 7.

Discussão geral dos desempenhos dos alunos no passo 1

Devido à maior ou menor tendência que um entendimento individual sobre calor e temperatura caracterizou para cada uma das quatro noções intuitivas, as análises anteriores justificaram as seguintes classificações: quatro entendimentos na primeira noção intuitiva (alunos 3, 7, 11e 13); três entendimentos na segunda noção intuitiva (alunos 1, 8 e 10); três entendimentos na terceira noção intuitiva (alunos 4, 5 e 12); três entendimentos na quarta noção intuitiva (alunos 2, 6 e 9). Além de justificar essas treze classificações realizadas, buscou-se

também analisar as dificuldades explicativas e os equívocos¹³⁷ conceituais individuais dos alunos em respostas das quarta e quinta questões propostas. Interpretam-se aqui, como dificuldades explicativas, 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 referem-se às explicações que indicaram alguma concepção de senso comum que fortaleceu ou não a classificação realizada. Essas dificuldades e equívocos estão abaixo apresentadas, em grupos de alunos reunidos conforme a classificação acima, como frutos das tentativas explicativas para os fenômenos das quarta e quinta questões.

Para o grupo de quatro alunos classificados na primeira noção intuitiva, discutiu-se que, na quarta questão, a maioria dos alunos (alunos 3, 11 e 13) mais apresentou uma descrição do fenômeno do que uma explicação coerente com suas noções iniciais. Como se mostrou, com exceção do aluno 7, cuja classificação pôde-se dizer que teve uma fraca tendência de suas idéias por relacionar calor com energia, todos os outros três alunos (alunos 3, 11 e 13) nem mencionaram a palavra calor na evidente situação de uma diferença de temperaturas. No caso da quinta questão, discutiu-se que o aluno 3 despercebeu uma incoerência entre sua explicação e o fato experimental na ocasião, além de se constatar em outros alunos o entendimento de que aquele aquecimento ocorre porque o atrito pode: liberar calor (aluno 7); causar calor (aluno 11); produzir calor (aluno 13).

Os três alunos com pensamentos relativos à segunda noção intuitiva (alunos 1, 8 e 10) apresentaram distintas razões para os fenômenos das quarta e quinta questões. Notou-se que a quarta questão permitiu: provocar o entendimento de uma troca de calor entre as amostras de água no aluno 1; revelar a possibilidade de o aluno 10 não conhecer o fenômeno por completo ao afirmar que a maior temperatura das amostras é a que prevalece no equilíbrio; observar que o aluno 8 apenas descreveu o fenômeno. Já na quinta questão, houve uma resposta que descreveu o fenômeno (aluno 10), também houve outra que mostrou o entendimento de produção de calor (aluno 1) e mais uma cujo entendimento presente era de transmissão de calor (aluno 8).

Notou-se, no grupo de três alunos classificados com a terceira noção intuitiva, que o uso da palavra calor como algo existente nos corpos não foi utilizada pela maioria deles

¹³⁷ Utiliza-se aqui o termo equívoco pelo ponto de vista científico.

quando tentaram explicar o fenômeno da quarta questão. Apenas um aluno (aluno 4) explicou coerentemente com suas idéias iniciais que as amostras trocam calor (conforme noção semelhante à Teoria Calórica). Já os alunos 5 e 12 somente descreveram o fenômeno. Na quinta questão, porém, constatou-se que os três alunos deram explicações para o aquecimento por atrito que se fundamentaram em aumento de calor nos corpos, coerentemente com a terceira noção intuitiva. Nesse sentido, os alunos admitiram que aquele aquecimento se deve: à passagem de calor de uma mão à outra (aluno 4); ao aumento de calor referente à somatória do calor das mãos, ao calor que cada mão possuía antes de se juntar com a outra no atrito (aluno 5); à geração de calor (aluno 12).

Para os três alunos de pensamentos classificados na quarta noção intuitiva pode-se dizer que: dois deles, alunos 2 e 6, apenas descreveram o fenômeno da quarta questão; o aluno 9 apresentou uma explicação coerente com suas noções de calor e temperatura por admitir uma transmissão de calor entre as amostras de água, mas, na quinta questão, somente descreveu o fenômeno; houve o entendimento de que o atrito gera calor (aluno 6) ou produz calor (aluno 9).

Portanto, de maneira resumida para os treze alunos, é possível afirmar que nove deles se destacaram com dificuldades explicativas para a quarta questão (alunos 2, 3, 5, 6, 8, 10, 11, 12 e 13) e três deles se destacaram com dificuldades explicativas para a quinta questão (alunos 3, 9 e 10). Em relação ao que se especificou como equívocos conceituais, estes foram observados em respostas da quarta questão de quatro alunos (alunos 1, 4, 7 e 9). Tais equívocos também foram observados em respostas da quinta questão de dez alunos (alunos 1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12 e 13). Esses resultados revelam que a grande maioria dos alunos encontrou dificuldades para explicar o fenômeno da quarta questão em razão de apenas descrevê-lo. Os resultados acima também destacam que uma outra grande parte desses alunos revelou equívocos conceituais na quinta questão. Isso é curioso e a razão está nos alunos admitirem a possibilidade de criação de calor em suas noções intuitivas, fato incompatível com as Teorias Calórica e Cinético-Molecular que são posteriormente estudadas. Conseqüentemente, os alunos explicaram o aquecimento dos corpos por atrito pelo aumento de calor nos mesmos, coerentemente com a proporcionalidade entre a temperatura e a quantidade de calor de suas noções intuitivas (temperatura mede a quantidade de calor). Em relação à pequena parcela de alunos que explicaram a quarta questão por coerência com suas noções intuitivas, alguns admitiam troca de calor entre as amostras, porém, calor entendido como algo presente nas substâncias ou corpos. Enfim, todos os resultados

analisados, sem exceção, caracterizaram a necessidade de um processo de ensino dos conceitos científicos de calor e temperatura.

Resume-se, na seguinte tabela 1, uma organização dos resultados dessa discussão geral dos desempenhos dos alunos no primeiro passo.

Tabela 1 – Resultados dos desempenhos dos alunos no primeiro passo

		ALUNOS
Noção intuitiva	I	3,7,11,13
	II	1,8,10
	III	4,5,12
	IV	2,6,9
Questão 4	Dificuldades explicativas	2,3,5,6,8,10,11,12,13
	Equívocos conceituais	1,4,7,9
Questão 5	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

Discussão geral dos desempenhos dos alunos no passo 3

Discutem-se agora os resultados obtidos em relação à compreensão dos alunos dos conceitos de calor e de temperatura dos modelos teóricos estudados, bem como suas inteligibilidades para o fenômeno da quinta questão.

No caso das duas primeiras perguntas relacionadas com a Teoria Calórica, pode-se dizer, pelas análises realizadas, que os treze alunos apresentaram respostas satisfatórias para os conceitos de calor e de temperatura conforme o nível de ensino trabalhado. Isso porque eles diferenciaram e entenderam as definições de calor e de temperatura ao apresentarem certas características do calor, entendido como calórico, e a proporcionalidade entre sua quantidade num corpo e a temperatura deste corpo.

Para as respostas das terceira e quarta questões relacionadas com a Teoria Cinético-Molecular, as análises mostram que dois entendimentos de calor foram plausíveis. Alguns alunos caracterizaram o calor como uma energia em trânsito (alunos: 2, 3, 7, 10, 12 e 13).

Outros alunos alegaram que o calor é uma transferência de energia (alunos: 1, 4, 5, 6, 8, 9, 11). Diante desses entendimentos, é preciso lembrar que nenhum deles pode ser considerado equivocado na Física. A respeito da temperatura, é possível dizer que os treze alunos a definiram bem em suas respostas por compatibilidade com o modelo Cinético-Molecular. Além disso, esse novo conceito de temperatura explicado pelos alunos se diferencia daqueles que eles apresentaram no primeiro passo, o que destaca, igualmente como no conceito de calor, uma certa construção do conhecimento científico. Mais ainda, foi possível observar que uma considerável parcela da totalidade dos alunos (alunos: 2, 4, 5, 6,9 e 11) apresentou uma reflexão sobre uma diferença significativa ao compararem os modelos teóricos, no sentido de que pelo modelo Cinético-Molecular um corpo pode conter energia interna, mas não calor.

Por quase todas as respostas da quinta questão (com exceção daquelas do aluno 8¹³⁸) pôde-se mostrar que os alunos souberam explicar o fenômeno do equilíbrio térmico de duas maneiras, concluindo, por uma teoria, que isso ocorre devido ao equilíbrio de calórico e, por outra, porque há igualdade (equilíbrio) de energia dos movimentos das partículas dos corpos. Notou-se que os alunos (alunos: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13) distinguiram bem esses equilíbrios térmicos por compatibilidade com cada modelo teórico por mencionarem a transferência de substância apenas para o modelo calórico e também por atribuírem a idéia de grau de movimentação das partículas para o modelo Cinético-Molecular. Neste último, ora se observou a explicação pelo uso da palavra calor com a idéia de transferência de energia (alunos: 1, 4, 5, 6, 8, 9, 11), ora pela explicação com a idéia de calor como energia em trânsito (alunos: 2, 3, 7, 10, 12 e 13).

Esses resultados permitem dizer que, embora esses diferentes entendimentos de calor da Teoria Cinético-Molecular gerados pelo processo de ensino e de aprendizagem sejam aceitáveis, também se caracteriza a dificuldade do aprendizado correto desse conceito, necessitando 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.

Enfim, pôde-se mostrar, em análises da seção anterior, que os alunos distinguiram bem os conceitos de calor e de temperatura de ambos os modelos estudados, assim

¹³⁸ O aluno 8 não apresentou boa inteligibilidade na quinta questão, mas pôde-se observar que melhorou nesse sentido na primeira questão do quinto passo.

como as inteligibilidades destes para o fenômeno do equilíbrio térmico na quinta questão. Ademais, é possível dizer que as discussões estabelecidas em sala de aula, pertencentes ao segundo passo desta estratégia, puderam estabelecer condições de satisfação com ambos os modelos teóricos nos estudantes. Uma questão que fortalece esta última afirmação foi realizada pelo aluno 2. Assim ele disse: “*Professor, mas qual teoria está certa se as duas explicam o fenômeno?*” Essa questão levantada em sala de aula revela que o segundo passo não destacou uma teoria como melhor, mas provocou o entendimento de um curioso empate explicativo então desejado no processo juntamente com o entendimento de uma rivalidade teórica. Esse é um objetivo pretendido no terceiro passo desta Estratégia de Ensino Lakatosiana que aqui se mostrou alcançar.

A tabela 2 abaixo procura dar uma visão mais sintética dos resultados dos desempenhos dos alunos no terceiro passo.

Tabela 2 – Resultados dos desempenhos dos alunos no terceiro passo

		ALUNOS
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
Realizaram 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		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	2,3,7,10,12,13

Discussão geral dos desempenhos dos alunos no passo 5

Antes de iniciar essa discussão geral, é preciso dizer que os alunos de números 10 e 11 faltaram aos quarto¹³⁹ e quinto¹⁴⁰ passos. Logo, como eles não sofreram influência da

¹³⁹ Inserção da RRD.

RRD e não forneceram resultados equivalentes, não serão agora mencionados. Na discussão geral dos resultados do sétimo passo, porém, esses casos se tornam importantes para se entender o quanto a ausência de uma preparação racional pode ser prejudicial ao acompanhamento de discussões por essa direção, bem como de uma melhor reflexão do aluno sobre uma conclusão individual que realize.

Uma preocupação inicial neste quinto passo foi a de observar se havia condições de inteligibilidade dos modelos estudados no segundo passo, sendo que essas são condições necessárias para que o aluno se encontre apto a realizar comparações das explicações e avaliar os méritos das teorias rivais. O fenômeno da primeira questão foi escolhido para tal observação. Nessa primeira questão, mostrou-se que os modelos teóricos encontravam-se inteligíveis nos seguintes alunos: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12 e 13. Diante desses resultados individuais, comentou-se que as explicações desses alunos também foram importantes para destacar uma construção do conhecimento científico em comparação ao que anteriormente eles haviam respondido na quarta questão do primeiro passo.

Pode-se dizer que esses resultados alcançados devem-se, principalmente, ao segundo passo, e, possivelmente, a alguma fortificação dos conceitos de calor e de temperatura dos modelos teóricos que as discussões com a RRD tenham estabelecido.

Mostrou-se, na discussão geral anterior, que a conclusão dos resultados do terceiro passo (avaliação das inteligibilidades) é que o segundo passo da estratégia proporcionou condições de inteligibilidade e satisfação de ambos os modelos teóricos nos estudantes. Isso porque, no caso da teoria calórica, as explicações para o fenômeno do equilíbrio térmico não eram entendidas como contraditórias com os postulados dessa teoria, em que proposições factuais, que não foram interpretadas pela criação, mas pela transição de calórico do corpo mais quente para o corpo mais frio, foram pensadas e bem articuladas pelos alunos. Também ocorreram explicações satisfatórias com a rival cinético-molecular.

Partindo dessa situação de condição de satisfação explicativa de ambos modelos teóricos geradas 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 entendimento nos estudantes do enfraquecimento, ou melhor, da degeneração do

¹⁴⁰ Segunda avaliação.

programa calórico frente ao rival cinético-molecular pela interpretação de proposições factuais contraditórias.

Abaixo são discutidos os efeitos que a RRD gerou nas reinterpretações realizadas das hipóteses auxiliares do programa calórico em argumentos contrários aos seus postulados e aos fatos inicialmente interpretados em fenômenos de equilíbrio térmico como compatíveis com tais postulados.

Para os fenômenos de equilíbrio térmico, mostrou-se que os alunos admitiram que o calórico não era criado, mas transitava de um corpo a outro, sendo que no processo de aquecimento por atrito, mostrou-se que vários deles (alunos 1, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 12 e 13) reconheciam que o fato parecia produzir calórico. Para esses alunos, mostrou-se que a RRD auxiliou no entendimento de que a proposição factual 'calórico é criado no processo de aquecimento por atrito', que eles assim reconheceram interpretar, não podia ser admitida pelo modelo correspondente. O que significa que houve, por parte desses alunos, uma certa compreensão de que uma explicação deveria manter coerência com os postulados de uma teoria. Entendimento este que a RRD proporcionou por analogia às heurísticas negativa e positiva da metodologia dos programas de pesquisa de Lakatos.

O ensino da racionalidade ateu-se também em discussões sobre aparentes hipóteses incoerentes que foram trabalhadas, como a hipótese da concentração de calórico nas superfícies em atrito ser descartada pelo argumento de que a quantidade de calórico que surgia no processo parecia não cessar. Essa discussão mostrou-se de considerável compreensão em alguns resultados (alunos 1, 4 e 6).

Para a discussão da suposição de que todo aquele calórico que se acreditava perceber no processo já estivesse nas peças, por não se permitir sua criação, estivesse inválida com o argumento de que estas deveriam encontrar-se derretidas antes mesmo do atrito, mostrou-se compreensões nesse sentido em vários resultados (alunos 1, 3, 4, 5 e 6).

Uma previsão, que se buscou gerar nos alunos a interpretação de inviável, pela Teoria Calórica era a do gelo derreter 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 do calórico, além de inviabilizar tal previsão. Mostrou-se que essa discussão foi interessante por alcançar vários entendimentos nesse sentido, a exemplo dos alunos 2, 4, 5, 7, 9 e 13; mesmo o aluno 6 tendo

inviabilizado a hipótese do meio ambiente, por entender que se criava calórico no processo de derretimento dos gelos em atrito naquele ambiente de temperatura negativa.

Por essa apresentação dos resultados, é possível dizer que os alunos responderam o que lembraram conforme seus entendimentos individuais da RRD. Nota-se, ainda, que cada um desses resultados individuais fortalece a afirmação de que a RRD provocou um entendimento semelhante ao do enfraquecimento do cinturão protetor de hipóteses auxiliares. Enfraquecimento que foi reconhecido pelos alunos (alunos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12 e 13) por entenderem uma inferioridade explicativa, ou uma análoga degeneração, do programa calórico frente ao programa cinético-molecular. Assim, a RRD gerou uma condição de insatisfação com o programa calórico nos estudantes.

A respeito do critério racional que a RRD visou influenciar, as respostas individuais encontradas apresentaram as seguintes características nesse sentido: o aluno 1 mencionou o critério do grau de explicações sem contradição; o aluno 2 mencionou o critério do grau de explicações satisfatórias ; o aluno 3 mencionou o critério do grau de explicações coerentes; o aluno 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 aluno 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 aluno 6 mencionou o critério do grau de explicações sem contradição, ora mencionado também como critério do grau de explicações mais claras; o aluno 7 mencionou o critério do grau de explicações eficientes, ou satisfatórias, que significam sem contradições; o aluno 8 mencionou o critério do grau de explicações sem contradição; o aluno 9 mencionou o critério do grau de explicações satisfatórias, entendidas por não contradizer postulados; o aluno 12 mencionou o critério do grau de explicações que são coerentes com os postulados da teoria; o aluno 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 discutiu ser um entendimento compatível com a linguagem lakatosiana de força heurística para avaliar teorias rivais. Embora esses alunos 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, mostrou-se que os julgamentos desses alunos foram justificados racionalmente ao indicarem a Teoria Cinético-Molecular como superior à sua rival Calórica, segundo a influência da RRD.

Pode-se dizer que esses julgamentos ocorreram em razão da RRD promover condições de insatisfação com o programa calórico em situações de aquecimento por atrito, condições essas que não existiram com o outro programa. Entretanto, apesar de, no geral, serem constatadas condições de satisfação em explicações com a Teoria Cinético-Molecular, mostrou-se que alguns alunos (alunos 4, 8 e 12) mencionaram equivocadamente a palavra calor ao explicarem o aquecimento por atrito com essa Teoria. Esses alunos assim explicaram por relacionarem, naquela ocasião, o calor como a transferência de energia que aumenta a energia de agitação das partículas dos corpos, aquecendo-os, e esqueceram da necessária situação de uma diferença de temperaturas em que o conceito de calor se torna adequado. Essa ocorrência pode ser explicada pelo fato de os alunos não terem ainda passado pelo processo de ensino do conceito de trabalho em termodinâmica e pela correspondente primeira lei¹⁴¹, em que maiores diferenciações da variação da energia interna dos corpos podem ser fortalecidas ora por calor ora por trabalho. Portanto, pode-se dizer que os alunos 4, 8 e 12 ainda se encontraram tentados a utilizar a palavra calor indevidamente. Por outro lado, com exceção do aluno 6 que não apresentou explicação com a Teoria Cinético-Molecular para o aquecimento por atrito, os demais alunos (alunos 1, 2, 3, 5, 7, 9 e 13) não se equivocaram em mencionar seus entendimentos do conceito de calor e forneceram explicações compatíveis com essa teoria. Ademais, procurou-se analisar, em alguns resultados do sétimo passo, se os alunos 4, 8 e 12, assim como os outros, se equivocavam em mencionar o conceito de calor em suas explicações de outras situações de aquecimento. Isso será apresentado na próxima discussão geral.

Também se procurou discutir, ainda que superficialmente, a direção educacional que a RRD tomou em fortalecer certo tipo de visão sobre o desenvolvimento das teorias científicas na Física. Mostrou-se que ela pode auxiliar o entendimento de uma visão desse desenvolvimento que não seja exclusivamente linear e cumulativo, conforme se discutiu pela maioria dos comentários individuais (alunos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 12 e 13). Conseqüentemente,

¹⁴¹ Ensino que esta estratégia não abordou.

nesses casos, ao fortalecer um entendimento compatível ao de modelos falíveis, afirmou-se que ela pode também ajudar a romper concepções de que as teorias representam verdades inquestionáveis, como se fossem retratos da realidade. Um entendimento de que as teorias não estão finalizadas pôde ser visto em comentários dos alunos 3 e 4. Aliás, mostrou-se que o aluno 4 caracterizou um entendimento interessante do programa calórico para uma analogia com o pensamento de Lakatos (1970, p. 195), em que mesmo um programa estando velho, ‘cansado’, perto de seu ‘ponto de saturação’, ou mesmo derrotado, ele pode continuar a resistir por muito tempo e a manter-se com engenhosas inovações, ainda que estas não estejam com sucesso empírico.

Em geral, pode-se dizer que a RRD gerou entendimentos em que são admissíveis explicações científicas quando estas estão coerentes com os postulados da teoria. Esse pensamento é compatível com a metodologia dos programas de pesquisa de Lakatos por analogia à linguagem de uma série de teorias que se desenvolvem num autêntico programa de pesquisa, conforme a heurística positiva. Com exceção do aluno 9, que apresentou entendimentos tendenciosos à uma visão de progresso linear e cumulativo, é possível afirmar, pela destacada maioria dos resultados alcançados, que a RRD aqui trabalhada foi coerente com um ensino fundamentado numa visão de Ciência cujo progresso linear por acumulação é apenas uma simplificação da história vista apenas num programa de pesquisa, em que esse tipo de progresso é rompido quando um programa é substituído. Concepção esta que mais fortemente se destacou em comentários do aluno 5.

Enfim, conclui-se que a RRD, nesta pesquisa, permitiu que o processo de ensino e de aprendizagem caminhasse no sentido oposto ao do entendimento semelhante com o realismo ingênuo. Entendimento este que é muito comum no ensino de Ciências, e criticado na literatura pertinente, em que as teorias científicas representam conhecimentos consumados, como se descrevessem as imagens da realidade num espelho tal como ela deva ser.

Na tabela 3 estão organizados os principais resultados dos desempenhos dos alunos desse quinto passo.

Tabela 3 – Resultados dos desempenhos dos alunos no quinto passo

	ALUNOS
Inteligibilidade dos modelos teóricos na primeira questão.	1,2,3,4,5,6,7,8,9,12,13

Entendimento 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, uma hipótese contraditória a esse sentido de propagação.	2,4,5,6,7,9,13
Compreensão de hipóteses incoerentes.	A hipótese da concentração do calórico da peça em sua superfície ser descartada pelo argumento de que a quantidade de calórico que surgia no processo parecia não cessar.	1,4,6
	A suposição de que todo aquele calórico que se acreditava perceber no processo já estivesse nas peças, por não se permitir sua criação, fosse 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 análogo ao da degeneração por enfraquecimento do cinturão protetor de hipóteses auxiliares de um programa.		2,3,4,5,6,7,8,9,12,13
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 ¹⁴² 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
Explicaram aquecimentos por atrito, pela Teoria Cinético-Molecular, sem mencionar o conceito de calor.		1,2,3,5,7,9,13
Entendimento compatível à de uma visão do desenvolvimento científico no sentido de que ele não seja exclusivamente cumulativo e linear		1,2,3,4,5,6,7,12,13

Discussão geral dos desempenhos dos alunos no passo 7

¹⁴² Ou seja, fatos novos preditos então corroborados. A saber: fatos improváveis à luz da teoria rival ou mesmo proibidos por ela (Lakatos 1970, p. 142).

A primeira questão objetivou o resgate dos entendimentos dos conceitos de calor e de temperatura da Teoria Cinético-Molecular, acreditando-se que, ao respondê-la, além da possibilidade de se avaliar tais entendimentos, estar-se-ia concentrando melhor os estudantes nestes conceitos, pois várias explicações de fenômenos com essa teoria seriam cobradas em questões posteriores. Encontrou-se, porém, alunos (alunos 1, 2, 10 e 13) que não forneceram respostas a essa primeira questão. Acredita-se que isso tenha ocorrido, provavelmente, por eles esquecerem de copiar tal questão que se encontrava no quadro negro¹⁴³, mas discutiu-se que isso não comprometeu as análises das próximas respostas, o que permitiu mantê-los como parte da amostra. Para os demais, notou-se que alguns alunos (alunos 3, 5, 7 e 11), ainda no sétimo passo, conservavam a linguagem de que a temperatura mede (como se fosse um instrumento de medida) ao invés de ser uma medida de. Também se notou que outros alunos (alunos 6, 8 e 12) afirmavam que a temperatura é o grau de agitação das partículas, ao invés de ser uma grandeza que está relacionada ao grau de agitação das partículas. Pode-se dizer que apenas o aluno 7 apresentou um comentário um tanto equivocado para o conceito de temperatura. Já para os alunos 4 e 9 nada se pôde criticar, pois se expressaram bem não só a respeito desse conceito, mas também para o conceito de calor. Neste último, mostrou-se ainda que muitos alunos (alunos 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, mesmo que de maneira implícita pudesse se encontrar esse entendimento, como se viu no comentário do aluno 3. Apesar dessas críticas, pôde-se dizer que os alunos de números 3, 4, 5, 8, 9, 12 e 13, que então responderam à primeira questão, apresentaram explicações pela Teoria Cinético-Molecular que incorporaram uma compatibilidade com o modelo de partículas a respeito das propriedades e estrutura da matéria que fora estudado em classe, o que caracterizou uma certa construção do conhecimento científico. Isso representou um avanço conceitual significativo em comparação com os entendimentos de calor e de temperatura de suas noções intuitivas levantadas no primeiro passo. Por outro lado, notou-se que as descrições dos conceitos de calor e de temperatura que os alunos 6 e 11 apresentaram no terceiro passo perderam-se neste sétimo passo, caracterizando entendimentos muito próximos de suas noções intuitivas, apenas com um acréscimo de conhecimento relativo à agitação das partículas dos corpos.

¹⁴³ Lembrando que essa questão foi elaborada e acrescentada de modo repentino, pelo professor, após o questionário ter sido entregue aos alunos.

Em seguida, procurou-se analisar como os alunos explicavam as quatro situações da segunda questão conforme a Teoria Cinético-Molecular. Para as três primeiras situações, mostrou-se que muitos alunos (alunos 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 outros alunos (alunos 3, 8, 10 e 11) também apresentaram essa associação em um ou dois fenômenos de aquecimento e descreveram esse fenômeno nas demais situações. Como as três primeiras situações não partiram de uma diferença de temperatura entre os corpos, elas foram importantes para verificar se os alunos incorretamente mencionavam o conceito de calor em qualquer uma delas, o que não ocorreu, ainda que os alunos 6 e 11 pudessem pensar que, ao se aumentar a agitação das partículas, aumenta-se o calor. Aliás, os alunos 4, 8 e 12, que cometeram equívocos em mencionar o conceito de calor em fenômeno de aquecimento por atrito com a Teoria Cinético-Molecular no quinto passo, não o mencionaram nessas novas situações, revelando inclusive frutificações de noções compatíveis com essa teoria. Uma conclusão que se pôde tirar desses resultados é que, para os alunos, qualquer situação em que ocorra uma variação de temperatura é porque há uma variação da agitação das partículas. Assim, afirmou-se alcançar uma certa construção do conhecimento científico, por constatar, nessas situações, condições de frutificação de explicações compatíveis com a Teoria Cinético-Molecular (alunos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 e 13).

Para a quarta situação da segunda questão, por resultado do processo de ensino e de aprendizagem, mostrou-se que muitos alunos (alunos 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 pôde dizer dos alunos 8, 10 e 11, pois realizaram pouco, ou nenhum comentário, nesse sentido. Por outro lado, foi possível notar que o fenômeno da estabilização da temperatura aparentou-se como um fato contraditório reconhecido pela maioria dos alunos 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.

As razões que esses alunos apresentaram de a Teoria Calórica não explicar satisfatoriamente esse fenômeno foram: segundo o aluno 1, porque o calórico não estaria tendo o efeito que a Teoria Calórica afirma que deveria ter; segundo o aluno 2, porque parte do fenômeno seria explicada conforme o postulado do sentido do fluxo do calor, mas parte não seria porque a

estabilização da temperatura ocorre; segundo o aluno 3, porque a previsão não era a da água manter uma temperatura constante; segundo o aluno 4, porque entra em contradição quando transfere calor à água e ela não altera sua temperatura; segundo o aluno 5, porque o fogo não deixa de transmitir calórico para a água e esta não continua aquecendo; segundo o aluno 6, porque o calórico que passa do aquecedor para a água deveria aumentar sua temperatura; segundo o aluno 7, porque sempre o corpo com mais calórico transfere esse calórico para o corpo com menos, não podendo a teoria explicar como a temperatura pode se manter constante, pois deveria aumentar; segundo o aluno 8, porque a teoria prevê que as temperaturas ficarão iguais passando calórico do corpo mais quente para o mais frio, o que não ocorre; segundo o aluno 9, porque passa calórico mas não aquece; segundo o aluno 10, porque a temperatura da água deveria continuar subindo. O aluno 11 nada respondeu. O aluno 12 justificou que a Teoria Calórica não explica por admitir o calor como substância, o que permite dizer que o aluno entendeu que essa característica foi problemática, embora ele não tenha mostrado justificativa para tal conclusão. O aluno 13 mostrou uma criatividade a partir de uma propositada inserção de noções que modificassem um pouco o modelo calórico de tal jeito que esse modelo até poderia explicar o fenômeno em questão.

Esses resultados foram importantes para se constatar as inteligibilidades dos alunos com o modelo calórico nessa nova situação, conforme o que eles entendiam que deveria acontecer (previsão) por uso desse modelo. Mostrou-se que, assim como em situações de aquecimento por atrito (quinto passo), os alunos (alunos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12 e 13) novamente se encontraram em condições de insatisfação com uma explicação pela Teoria Calórica. Condições estas que fortaleceram as conclusões que eles realizaram no quinto passo de que a Teoria Cinético-Molecular é superior à rival Calórica (com exceção dos alunos 10 e 11 que não participaram dos quarto e quinto passos).

Para a terceira questão, procurou-se analisar como os alunos responderam as quatro situações anteriores por meio de suas noções intuitivas. Abaixo estão organizados, em seqüência, os variados resultados dos reconhecimentos pessoais dos alcances explicativos de uma ou outra noção intuitiva individual em que cada aluno tentou se fundamentar para fornecer suas explicações dos fenômenos. Juntamente a isso se mostram os respectivos julgamentos particulares que realizaram por meio dos correspondentes critérios racionais.

O aluno 1, por admitir com a segunda noção intuitiva noções de troca e produção de calor no primeiro passo, explicou as duas primeiras situações de aquecimento por atrito e choque conforme sua noção intuitiva ao admitir a produção de calor. Entretanto, ele não forneceu explicação alguma para a terceira situação. Além disso, mostrou-se que ele reconheceu não saber explicar a quarta situação conforme suas idéias iniciais. Discutiu-se que, pelo fato de em suas idéias iniciais ele aceitar as noções de troca e produção de calor para um dado aquecimento, a quarta situação tornou-se um desafio que ele não superou, mostrando-se ciente disso. Viu-se que o aluno não se admitiu afirmar que o calor era produzido ou transitado para a água conforme suas idéias iniciais pela coerente razão da temperatura dessa substância não se elevar. Discutiu-se que o reconhecimento do aluno dessa incapacidade explicativa tornou-se o ponto chave para que ele avaliasse o seu próprio avanço do conhecimento sobre a natureza dos fenômenos térmicos em questão, por comparação com a capacidade explicativa entendida com a Teoria Cinético-Molecular. O que permitiu a ele julgar esta teoria como superior ao empregar o critério que havia entendido por influência da RRD.

No caso do aluno 2, viu-se que ele não apresentou explicações para os fenômenos com suas idéias iniciais, mas reconheceu que estas não eram coesas, querendo dizer que elas não caracterizavam uma estrutura de noções coerentes, semelhantes às dos modelos teóricos aprendidos. Segundo ele, essa compreensão já era suficiente para admitir que suas explicações poderiam alcançar contradições, logo, não sendo tão eficazes como a Teoria Cinético-Molecular. Esse reconhecimento tornou-se importante para mostrar um entendimento do aluno da estrutura que suas noções iniciais deveriam de ter, sendo coesas, como a dos postulados dos modelos estudados que se mostraram mais ou menos soldados, coesos no núcleo de um programa. Pôde-se mostrar que o aluno empregou o critério racional do quinto passo ao julgar a Teoria Cinético-Molecular como melhor nesse sétimo passo.

O aluno 3 respondeu conforme suas idéias iniciais as duas primeiras situações, mas, para as outras duas, apresentou apenas descrições dos fenômenos. No entanto, ele apresentou uma reflexão interessante em que a Teoria Cinético-Molecular explica os fenômenos com muito mais coerência do que suas idéias iniciais. Mostrou-se que seu julgamento a favor da Teoria Cinético-Molecular foi realizado conforme o critério racional que mencionou no quinto passo.

O aluno 4 reconheceu semelhança entre sua noção intuitiva (programa alternativo) com a Teoria Calórica. Mostrou-se que ele, por ter fornecido explicações com a Teoria Calórica e admitindo a inferioridade desta perante a rival Cinético-Molecular, acreditou ser desnecessário repeti-las com sua noção intuitiva que, segundo ele, eram explicações próximas às daquelas da Teoria Calórica que havia fornecido. Isso permitiu a ele julgar, de antemão, uma igual superioridade da Teoria Cinético-Molecular frente à sua noção intuitiva, conforme o critério que mencionou no quinto passo.

Para o aluno 5, discutiu-se que, mesmo com posse da racionalidade influenciada pela RRD, ele foi criativo com seu programa alternativo (terceira noção intuitiva) ao fornecer explicações *ad hoc* e não se convencer da superioridade da Teoria Cinético-Molecular frente às suas idéias iniciais. Nesse sentido, foi possível estabelecer uma forte analogia com a seguinte frase de Lakatos (1970, p. 195): “*É muito difícil derrotar um programa de pesquisa sustentado por cientistas talentosos e imaginativos. Alternativamente, defensores teimosos do programa derrotado podem oferecer explicações ad hoc das experiências*”.

Já o aluno 6 explicou as três primeiras situações coerentemente com sua noção nuclear de que a temperatura está relacionada ao grau de calor de um corpo, em que ele também admitiu a noção de geração ou produção de calor. Entretanto, na quarta questão, discutiu-se que ele admitiu que sua resposta não era convincente por incompatibilidade com a previsão de suas idéias iniciais, segundo a qual a energia (calor) fornecida à água também deveria continuar aumentando sua temperatura. Com esse entendimento, mostrou-se que o aluno foi igualmente racional como no quinto passo ao julgar a Teoria Cinético-Molecular como superior às suas noções iniciais no sétimo passo.

O aluno 7 apresentou explicações para as três primeiras situações, mas discutiu-se que ele justificou a não explicação da quarta situação por suas noções iniciais. Mostrou-se que o critério racional se manteve no sétimo passo e foi importante para que ele então, diante do que explicou, apresentasse a razão da Teoria Cinético-Molecular ser a melhor.

O aluno 8 copiou o que havia respondido na quinta questão do primeiro passo na primeira situação e admitiu estar com dificuldades para explicar com sua noção intuitiva as demais situações. Isso foi possível de se notar por meio da tentativa explicativa que fez na quarta situação, onde nada explicou, comprovando essa dificuldade. Discutiu-se que, mesmo o aluno não tendo apresentado maiores detalhes em explicações com a Teoria Cinético-Molecular em

situações da segunda questão, ele reconheceu que as explicações por suas noções iniciais foram ainda piores. Mostrou-se que o aluno resgatou o critério entendido no quinto passo ao justificar a superioridade da Teoria Cinético-Molecular como melhor.

O aluno 9 apresentou para as duas primeiras situações a resposta da quinta questão do primeiro passo. Na terceira situação, ele apenas descreveu o fenômeno e admitiu, na quarta situação, que se equivocaria ao explicá-la com suas idéias iniciais por imaginar que o fogo e a água estivessem em equilíbrio térmico a 100°C. Mostrou-se que esse reconhecimento do aluno foi importante para que ele avaliasse os méritos das explicações de ambos os lados ao resgatar o critério racional do quinto passo, critério que o conduziu a apontar a Teoria Cinético-Molecular como melhor.

Verificou-se que o aluno 10 não respondeu a terceira questão com suas idéias iniciais e discutiu-se que ele admitiu um critério incabível na comensurabilidade entre explicações rivais, o que se permitiu dizer que ele se conduziu a um julgamento irracional.

O aluno 11 respondeu as duas primeiras situações com sua noção intuitiva. Já a terceira situação ele não respondeu conforme sua noção intuitiva e também não forneceu explicações para a quarta situação. Discutiu-se que, apesar de o aluno apontar a Teoria Cinético-Molecular como superior, ao mencionar seu critério que poderia ter sido interpretado como fundamentado no grau de explicações lógicas, ele não estabeleceu uma reflexão racionalista no julgamento que realizou.

O aluno 12 não explicitou as explicações com suas idéias iniciais, mas, como um resultado desta estratégia, constatou-se que ele refletiu sobre a necessidade que suas noções apresentavam de uma organização semelhantemente à dos postulados dos modelos teóricos estudados. Entendimento este em que ele afirmou que tais noções não possuíam fundamentos ou bases para explicar os fenômenos citados, conforme a Teoria Cinético-Molecular o faz, julgando esta como melhor, de acordo com o critério pertinente que mencionou na RRD.

O aluno 13 acreditou ser desnecessário apresentar explicações com sua noção intuitiva, sendo que muito ele articulou com a Teoria Calórica ao realizar explicações por ela solicitada, julgando-a inferior à Teoria Cinético-Molecular conforme o critério pertinente do quinto passo. Diante disso, por mencionar que sua noção intuitiva já era inferior à própria Teoria Calórica, ele julgou ser mais inferior ainda que a Teoria Cinético-Molecular pelo mesmo critério do quinto passo.

Sinteticamente, esses resultados permitem dizer que os alunos 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 12 e 13 empregaram, no sétimo passo, o critério racional que entenderam por meio da RRD e julgaram, de maneira coerente com tal critério, que a Teoria Cinético-Molecular apresentava superioridade explicativa. Apenas uma exceção, o aluno 5, que mesmo utilizando o critério do quinto passo, ele pôde admitir um provável empate.

Conclui-se que, além do ensino tradicional dos conceitos de calor e de temperatura dos modelos teóricos estudados, a RRD foi importante para induzir um critério racional nos estudantes juntamente com um aprendizado de se realizar comparações entre teorias rivais conforme esse critério. Aprendizado este que caminhou a favor de um entendimento racional da preferência dos conceitos científicos frente aos do senso comum. Pode-se também concluir, a respeito dos alunos 10 e 11, ausentes das discussões da RRD, em comparação com os resultados dos demais alunos, que a RRD se mostrou como uma ferramenta importante à uma preparação racional neste tipo de estratégia. Isso porque, embora os alunos 10 e 11 tivessem mostrado condições de inteligibilidade com ambos os modelos teóricos no terceiro passo, as análises do sétimo passo mostraram que não bastou apenas que os estudantes compreendessem as teorias rivais para julgá-las. Nestes casos, os resultados confirmaram que, na carência de uma racionalidade, assim como de uma filosofia, há uma racionalidade imatura e mal controlada pelos estudantes em momentos de decisão. O que fortalece a necessidade de uma preparação racional para que um estudante melhor acompanhe discussões de escolha de teorias por essa direção, assim como em momentos em que ele seja cobrado, de maneira individual, a justificar racionalmente um julgamento que realize.

A tabela 4 abaixo apresenta uma organização dos resultados dessa discussão geral dos desempenhos dos alunos no sétimo passo.

Tabela 4 – Resultados dos desempenhos dos alunos no sétimo passo

	ALUNOS
Avanço conceitual em relação aos entendimentos de calor e temperatura das noções intuitivas¹⁴⁴.	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	1,2,4,5,6,7,9,12,13

¹⁴⁴ Lembrando que, na primeira questão, não foi possível analisar as explicações dos alunos 1, 2, 10 e 13 por não fornecê-las.

movimentação de suas partículas, coerentemente com o modelo cinético-molecular.	
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 contraditório reconhecido pela maioria dos alunos 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.	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,12 ¹⁴⁵ ,13.
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 intuitivas¹⁴⁶.	1,2,3,4,6,7,8,9,12,13

¹⁴⁵ O aluno 12 apenas justificou que a teoria calórica não explica o fenômeno por ela admitir o calor como substância, justificção assim resumida que permite concluir, certamente, somente que ele entendeu que a teoria não explica o fenômeno, mas não a razão desse entendimento.

¹⁴⁶ Apenas o aluno 5 que, mesmo empregando o critério racional que mencionou no quinto passo, ele pôde admitir um provável empate entre a teoria cinético-molecular e suas noções intuitivas.

CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS

Esta pesquisa objetivou fornecer uma proposta pela qual seja possível preparar os estudantes para debates racionais que envolvam escolhas de teorias rivais, auxiliando momentos de instrução de conceitos científicos por meio de uma estratégia de ensino lakatosiana. Discutiu-se que essa intenção é importante, sendo justificada por recomendações na literatura pertinente. Em continuidade à pesquisa de Niaz (1998), pode-se concluir que a RRD mostrou-se uma maneira interessante para realizar tal preparação. Conclusão esta que responde se a RRD pode auxiliar uma estratégia de ensino lakatosiana nesse sentido, problema central que se procurou investigar neste estudo.

A inclusão da RRD como um passo preparatório, além de toda a seqüência de passos que se estruturou, permite dizer que o presente estudo apresenta uma nova estratégia racional de ensino inspirada em Lakatos (1970, 1971, 1978). Os resultados analisados da aplicação desta estratégia mostram as possibilidades alcançadas nesta ocasião, cuja finalidade contribui com uma reflexão sobre uma alternativa para aquele educador construtivista que considera as concepções alternativas dos estudantes e que se importa com a inspiração aqui realizada, no critério racional lakatosiano de comparação de teorias rivais¹⁴⁷, ao procurar uma estratégia racional de ensino.

Um aviso ao educador que venha utilizar a presente proposta é de que esta se fundamenta na premissa de que sempre que uma ciência é ensinada, uma filosofia, até certo ponto, também é ensinada (Mathews, 1994). E, conforme se procurou mostrar aqui, na medida em que a história distorcida da ciência é empregada com uma filosofia implícita orientada pelo educador, uma racionalidade, até certo ponto, também pode ser alcançada na aprendizagem. Entretanto, ainda é preciso discutir neste momento um pouco sobre a racionalidade humana. Os filósofos iluministas, bem como os clássicos gregos, davam grande importância a princípios matemáticos e lógicos, como características definidoras de uma razão bem formada. Ser racional correspondia a ter uma habilidade para seguir regras lógicas e precisas, de modo consistente e coerente. A dificuldade que muitas pessoas exibem quando enfrentam as exigências formais sempre foi atribuída à ignorância, cujo melhor remédio esteve em alcançar reflexões por meio da

¹⁴⁷ Ou, se quiser, de concepções diferentes que concorrem em termos explicativos no ambiente de sala de aula.

lógica. Fatores relacionados com o conteúdo do raciocínio, tais como contexto vivido, familiaridade com o assunto, sentimentos e emoções, eram deixados de lado do processo cognitivo, a fim de proporcionar uma generalização capaz de apontar a verdade universal das inferências lógicas. Contudo, muitos problemas cotidianos, quem sabe a maioria, são resolvidos por grande parte da população sem o recurso de uma formulação rígida, por vezes incompreensível da lógica. Talvez alguns estudiosos arrisquem dizer que, por mais paradoxais que sejam as escolhas humanas, elas procedem de uma cadeia de pensamentos que não seria necessariamente aquela imaginada pelos especialistas em regras e que, nem por isso, deixam de apresentar uma certa racionalidade ao manter sua espécie até então bem sucedida na luta pela sobrevivência. Mesmo se assim for, o presente estudo apontou que um aprimoramento de lógica¹⁴⁸ (na qual podem estar envolvidos regras metodológicas e critérios) nos alunos pode vir a auxiliá-los na maneira como eles aprendem os conteúdos científicos estudados por uma estratégia de ensino lakatosiana. A saber: a lógica inspirada nas heurísticas de Lakatos (1970), na qual a criação das hipóteses auxiliares obedece à regra, para serem reconhecidas como tais, de serem formuladas por compatibilidade com as hipóteses nucleares (ou postulados de um programa); a regra de selecionar uma teoria entre rivais pelo critério do número de explicações validadas que cada uma apresenta¹⁴⁹.

A respeito da genérica seqüência de passos desta estratégia, proposta na primeira seção do quinto capítulo, é interessante dizer que ela pouco se diferencia da seqüência de passos aqui estabelecida. Como é possível notar, em razão da necessidade de se investigar os resultados obtidos pela RRD (passo 4), houve a inserção de uma nova avaliação antes do passo 5 da seqüência vista no quinto capítulo. Essa inserção foi, nesta metodologia, chamada de passo 5, que se diferencia do passo 5 da proposta. Os passos 5 e 6 da proposta foram então fundidos no que se determinou, nesta metodologia, de passo 6. É preciso dizer que a não inserção do passo avaliativo para investigar os resultados da RRD, que se adaptou aqui propositadamente de acordo com o objetivo da pesquisa, não alteraria os resultados do processo educacional por tal estratégia; passo este que pode ou não ser adaptado por um educador conforme o tempo disponível ou número de

¹⁴⁸ Admitindo a acepção da palavra lógica como sendo o “*encadeamento coerente de alguma coisa que obedece a certas convenções ou regras*” (Houaiss e Villar, 2001).

¹⁴⁹ Inspiração no critério de Lakatos para falsear uma teoria científica: Uma teoria só será falseada se outra teoria tiver sido proposta com um excesso de conteúdo empírico em relação à primeira (fatos novos e fatos improváveis ou proibidos pela rival), em que a teoria vencedora é assim por explicar o êxito da rival e apresentar um excesso de conteúdo corroborado (Lakatos 1970, p. 142).

aulas que vê determinado a trabalhar com seus alunos. Diante das evidências deste estudo e da única diferença acima discutida, entre o que foi feito nesta metodologia e a seqüência de passos proposta no quinto capítulo, conclui-se que, por esta última tentativa, o professor parte da pressuposição de que é melhor usar a RRD antes dos debates racionais sugeridos em Rowell (1989) e Niaz (1998) do que não usá-la.

Ademais, algumas conseqüências interessantes para o processo de ensino e de aprendizagem também podem ser destacadas pela RRD, ingrediente inovador desta estratégia. Como se propôs aqui, a RRD procurou escapar de uma crítica maior, quando chamada de pseudo-história, por apresentar uma função bem específica. Conseqüentemente, os professores podem ‘manipular’ racionalmente episódios históricos baseados na metodologia normativa aqui fornecida, inspirada em Lakatos (1970 e 1971), para elaborar *suas* RRDs. Porém, é preciso lembrar que a RRD não deixa de ser pseudo-história em essência, mas se diferencia desta quando é elaborada propositadamente a serviço da instrução racional de conceitos científicos. Há sensatez na proposta por uma tendência atual nesse sentido, conforme os entendimentos discutidos de Mäntylä e Koponen (2007), Valente (2005), Izquierdo-Aymerich e Adúriz-Bravo (2003), Niaz e Rodriguez (2002) e Dobson (2000).

No que se conseguiu investigar a respeito da concepção de ciência pela influência da RRD¹⁵⁰, pode-se concluir, pelos comentários dos alunos analisados, que, em maioria, foram alcançados entendimentos favoráveis a posições contrárias à visão positivista da ciência. É necessário dizer que este estudo não carrega o objetivo de reverter a situação da predominante e repreendida postura de tendência positivista dos professores e, por conseqüência, dos estudantes de ciências. Pode-se concluir que, embora pelos poucos comentários individuais obtidos dos estudantes, a adoção implícita que se fez de uma postura filosófica inspirada no referencial lakatosiano¹⁵¹ é um exemplo de uma tentativa para iniciar uma mudança sobre essa comum concepção de ciência no ambiente de sala de aula tão criticada na literatura. Tal mudança está coerente com a recomendação da literatura pertinente de se adotar, quando possível, uma postura pós-positivista no ensino de ciências.

¹⁵⁰ Em ressonância com a afirmação de Allchin (2004, p. 188): “*Toda história da ciência ensina uma natureza da ciência*”.

¹⁵¹ Afirmação que pode não ser limitada apenas ao referencial lakatosiano, mas para os referenciais pós-positivistas.

Todavia, referindo-se à Filosofia da Ciência, pode-se dizer que se apresentou um ponto fraco por sua inserção implícita e limitada. Talvez a melhor inserção filosófica neste processo seja de maneira mais direta, ensinando a Epistemologia de Lakatos em seus próprios termos para auxiliar o entendimento de discussões racionais entre concepções rivais e, igualmente, da escolha de teorias por aqueles critérios. De outra maneira, este estudo optou pela postura filosófica implícita e análoga em favor do ponto de vista de que muitos detalhes específicos de uma Epistemologia devem ser ensinados na disciplina de Filosofia, resultando na maior viabilidade de aplicação desta proposta, pois um professor de ciências não dependerá de um professor de filosofia, mesmo que os alunos não aprendam a verdadeira filosofia lakatosiana.

Vale dizer que a RRD que se elaborou (apêndice 4) pode conter erros na coerência aos princípios propostos aqui para sua elaboração. Ainda que tais erros existam, é importante reconhecer que qualquer elaboração está sujeita a críticas, 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 elabora¹⁵². 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.

Para o aprendizado dos conceitos de calor e de temperatura no nível em que se procurou ensiná-los, foi possível apontar evoluções conceituais que variaram nos estudantes, mas que a maioria deles caracterizou construções válidas desse conhecimento científico. É importante frisar que se estabeleceu um limite para esta aplicação, na qual se almejou como ponto principal estudar os efeitos da RRD em proporcionar uma preparação aos estudantes em relação ao conhecimento de critérios de avaliação de teorias rivais. Caso a intenção seja melhorar ainda mais o aprendizado racional dos alunos no sentido lakatosiano, um professor pode continuar provocando os debates racionais como as estratégias de Niaz (1998) e Rowell (1989) já propõem.

¹⁵² O que é válido também para as avaliações em apêndices.

Ultrapassando os limites desta aplicação, é possível dizer que a presente estratégia também pode ser adaptada ao ensino de outros conceitos de Física¹⁵³ pelo fato da história da Física possuir vários episódios que podem ser ‘reconstruídos’ com muitas controvérsias interessantes para estimular/convidar o adolescente para pensar (Dobson, 2000; Niaz e Rodrigues, 2002). Por essa característica, a inserção da história distorcida da ciência em forma de RRD, da maneira específica como sugere este trabalho, é de amplo emprego ao ensino de Física. Nesta sugestão, mas em outros conteúdos, o educador deve inicialmente escolher pelo menos dois programas de pesquisa rivais da história da Física. A partir daí, ele deve apresentar os modelos e explorar seus postulados básicos, apresentando-os como invioláveis, cuja filosofia implícita entende como concepções centrais, núcleos de programas de pesquisa na analogia com a heurística negativa. Posteriormente, o educador poderá ‘abusar’ de sua criatividade para ilustrar de forma racional (por inspiração no falseamento lakatosiano) como um programa de pesquisa tornou-se progressivo diante de seu rival, então, degenerativo, por analogia ao sinal típico de degeneração de um programa que se realizou nesta aplicação. Para isso, ele pode ser auxiliado por uma RRD propositadamente elaborada para auxiliar o entendimento de seus alunos em relação à racionalidade que direciona a tomada de decisão em escolher a teoria vencedora. Dessa maneira, quando em próximos passos da estratégia confrontar as concepções alternativas dos alunos com as científicas (então vencedoras na RRD), ficará mais fácil energizar aquela racionalidade inicialmente discutida para auxiliar o aprendizado racional como sugerem Niaz (1998) e Rowell (1989).

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 escolares¹⁵⁴) com uma amostra específica de alunos e, acima de tudo, por um professor específico (pesquisador), 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 ‘receita’, o ‘bolo’ pode não

¹⁵³ Como também de química.

¹⁵⁴ 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).

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.

Por fim, esta estratégia de ensino lakatosiana pode ser inclusa como parte do conteúdo programático das disciplinas de práticas de ensino de ciências naturais, na formação de professores ou mesmo em cursos de formação continuada de professores, que se interessam pelas analogias realizadas entre as idéias de Imre Lakatos (1978) e o processo de ensino e de aprendizagem de conceitos científicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBAGNANO, N. **Dicionário de Filosofia**. Editora Martins Fontes. São Paulo, 2000.
- AGUIAR Jr., O. Calor e temperatura no ensino fundamental: relações entre o ensino e a aprendizagem numa perspectiva construtivista. **Investigações em Ensino de Ciências**. Vol. 4, n. 1, mar. 1999.
- AGUIAR Jr. O; FILCLORE, J. O planejamento do ensino a partir de um modelo para mudanças cognitivas: um exemplo na Física Térmica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.19, n. 3, pp. 314-340, dez. 2002.
- ALLCHIN, D. “How not to teach history in science”. **Journal of College Science Teaching** 30: 33-37 (2000). Site: <http://www.pantaneto.co.uk/issue7/allchin.htm>. Último acesso em 5 de setembro de 2007.
- ALLCHIN, D. Pseudohistory and pseudoscience. **Science & Education**, 13: 179-195, 2004.
- ANDERSSON, G. ¿Son Compatibles Falsacionism y Falibilism? In Feyerabend, P.; Radnitzky, G.; Stegmüller, W.; y otros: **“Estructura y desarrollo de la ciencia”**. p. 215-232, Alianza Editorial. Madrid (1984).
- ASSIS, Jesus de Paula. Kuhn e as ciências sociais. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 7, n. 19, 1993. Available from: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40141993000300004&lng=en&nm=iso>. Access on: 17 Oct 2006. doi: 10.1590/S0103-40141993000300004.
- BACHTIN, M. V. Marxismo e Filosofia da Linguagem. São Paulo: **Hocitec**, pp 131-132 (1992).
- BARRA, E. S. O. Modelos da mudança científica: subsídios para as analogias entre história da ciência e ensino de ciências. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.10, n. 2: p. 118-127, ago. 1993.
- BOGDAN, R.; BIKLEN, S. **Investigação qualitativa em educação (uma introdução à teoria e aos métodos)**. Porto Editora, Portugal (1994).
- BRUSH, S. G. ‘Should the History of Science be Rated X?’. **Science**, 18, 1164-1172 (1974).
- BUNGE, M. **Filosofia da física**, Edições 70. O Saber da Filosofia, Lisboa, 1973.
- BLANCO, R.; NIAZ, M. Baroque tower on gothic base: a lakatosian reconstruction of students’ and teachers’ understanding of structure of the atom. **Science & Education**, 7,327-360, 1998.

- BREWER, W. F.; SAMARAPUNGVAN, A. Children's theories vs. scientific theories: differences in reasoning or differences in knowledge? In R. R. Hoffman e D. S. Palermo (Eds.), **Cognition and symbolic process: Applied and ecological perspectives** (pp. 209-232). Hillsdale, NJ: Erlbaum. (1991).
- BROWN, H. I. Judgment and Reason: responses to Healy and Reiner and beyond, **The Electronic Journal of Analytic Philosophy** 2:5, 1994.
- BROWN, H. I. More about Judgment and Reason. **Metaphilosophy**, vol. 37, no. 5, ps. 646-651, October 2006.
- BUTTERFIELD, H. **The Origins of Modern Science**. Editado por Macmillan Paperbacks – New York (1960).
- CALLEN, H. B. **Thermodynamics and an Introduction to Thermostatistics**. Second edition. John Wiley e Sons, 1985.
- CALOR - uma viagem ao mundo das moléculas. Produtores: **Jorge Teixeira e Rosa Ramos**. Direção e 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 (Fundação Brasileira para o Desenvolvimento do Ensino de Ciências S. A. Videocassete (11min.): VHS, Ntsc, son., color., sem legendas, Port.
- CAREY, S. **Conceptual change in childhood**. Cambridge: MA. MIT Press (1985).
- CHALMERS, A. F. **A Fabricação da Ciência**. Editora Unesp, São Paulo, 1994.
- CHALMERS, A. F. **O que é ciência afinal?** São Paulo: Editora brasiliense, 2000.
- CHI, M. T. H. Conceptual change within and across ontological categories: Examples from learning and Discovery in science, in R. Giere (ed.). **Cognitive Models of Science: Minnesota Studies in the Philosophy of Science**, University of Minnesota Press, Minnesota. (1991).
- CHINN, C. A.; BREWER, W. F. The role of anomalous data in knowledge acquisition: a theoretical framework and implications for science instruction. **Review of Educational Research**, 63, 1, 1-49 (1993).
- CHINN, C. A.; BREWER, W. F. An empirical test of a taxonomy of responses to anomalous data in science, **Journal of Research in Science Teaching**, 35, 6, 632-654, 1998.
- CINDRA, J. L.; TEIXEIRA, O. P. B. Uma discussão conceitual para o equilíbrio térmico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 21, n. 2: p. 176-193, ago. (2004a).

- CINDRA, J. L.; TEIXEIRA, O. P. B. Calor e temperatura e suas explicações por intermédio de um enfoque histórico. In: Martins, R. A.; Martins, L. A. C. P.; Silva, C. C.; Ferreira, J. M. H. (eds.). **Filosofia e história da ciência no Cone Sul: 3º encontro**. Campinas. AFHIC, pp. 240-248 (2004b).
- CLEMENT, J. Students' preconceptions in introductory physics. **American Journal of Physics**, 50: 66-71, 1982.
- CUYPERS, S. E. Critical thinking, autonomy and practical reason. **Journal of Philosophy of Education**, vol. 38, feb. 2004.
- DANCY, J. "Epistemology, Problems of," in **The Oxford Companion to Philosophy**, ed. Ted Honderich (New York: Oxford University Press, 1995). Tradução de Eliana Curado das páginas 809-812. <http://www.interpretacao.ufba.br/DANCY-Problemasdaepistemologia.rtf>. Último acesso em 12 de abril de 2007.
- DELIZOICOV D. Editorial – Sobre a produção do conhecimento científico. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.13, no 3: p. 182-183, dez. 1996.
- diSESSA, A. *Knowledge in pieces*. In: G. Forman and P. B. Pufall (eds.), **Constructivism in the Computer Age**. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ.: 49-70. (1988).
- DOBSON K. Is physics debatable? **Physics Education**. 35 1 (2000).
- DRIVER, R.; GUESNE, E.; TIBERGHIE, A. **Children's ideas in science**, Open University Press (1985).
- ENEM. **Notas Médias do Enem por Município e por Escolas dos Alunos Concluintes do Ensino Médio em 2006**. Site para consulta: <http://www.inep.gov.br>. Último acesso em 25 de abril de 2007.
- FUNBEC (Fundação Brasileira para o Desenvolvimento do Ensino de Ciências). **Laboratório portátil – 2º grau – manual de experimentos para o professor**. EDART – São Paulo Livraria Editora Ltda (1977).
- GERTHSEN, C.; KNESER; VOGEL, H. **Física**. 2ª edição. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa, 1998.
- GRECA, I. M.; MOREIRA, M. A. Modelos mentales, modelos conceptuales y modelización. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, 15, 2, 107-120, 1998.
- HALLIDAY, D.; HESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física 2 – Gravitação, Ondas e Termodinâmica**. 4ª edição. LTC – Livros Técnicos e Científicos S.A. Rio de Janeiro (1993).

HEALY, P. "Rationality, Judgment, and Critical Inquiry". **The Electronic Journal of Analytic Philosophy** 1:3, 1993.

HOUAISS, A.; VILLAR, M. S. **Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa**, Rio de Janeiro: Objetiva, 2001.

IZQUIERIDO-AYMERICH, M.; ADÚRIZ-BRAVO, A. Epistemological Foundations of School Science. **Science & Education** 12, 27-43 (2003).

JENKINS, E. W. Constructivism in school science education: powerful model or the most dangerous intellectual tendency? **Science & Education**, 9, 599-610, 2000.

KELLER, F. J.; GETTYS, W. E.; SKOVE, M. J. **Física – volume 1**. Makron books do Brasil Editora Ltda (1999).

KUHN, D. Science as argument: implications for teaching and learning scientific thinking. **Science Education**, 77, 3, 319-337 (1993).

KUHN, T. **The Structure of Scientific Revolutions**, University of Chicago Press, Chicago (1962).

KUHN, T. Lógica da descoberta ou psicologia da pesquisa? In Lakatos e Musgrave (Eds.): **A Crítica e o Desenvolvimento do Conhecimento**. Cultrix/EDUSP, p. 5-32, São Paulo, 1970a.

KUHN, T. S. Reflexões sobre meus críticos. In Lakatos e Musgrave (Eds.): **A Crítica e o Desenvolvimento do Conhecimento**, 285-343. Cultrix/EDUSP, São Paulo, 1970b.

KUHN, T. S. 'Notas sobre Lakatos'. In Lakatos, Imre et al – **História de la ciencia y sus reconstrucciones racionales**, 79-95. Tecnos: Madrid, 1974.

KUHN, T. S. **A Tensão Essencial**. Edições 70 Ltda. Lisboa, 1989.

KUHN, T. S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. 3ª Edição, Editora Perspectiva S.A. São Paulo (1994).

LABURÚ, C. E.; ARRUDA, S. M. Um Instrumento Pedagógico para Situações de Controvérsia e Conflito Cognitivo. **Revista Brasileira de Ensino de Física** vol. 20, no. 3, Setembro, 1998.

LABURÚ, C. E.; ARRUDA, S. M.; NARDI, R. 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, 1998.

LABURÚ, C. E.; CARVALHO, M. **Educação Científica – Controvérsias Construtivistas e Pluralismo Metodológico**. Londrina: Eduel – Editora da Universidade Estadual de Londrina, 2005.

- LABURÚ, C. E.; CARVALHO, M.; BATISTA, I. L. Controvérsias construtivistas. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 18, n. 2, p. 152-181, agos. 2001.
- LABURÚ, C. E.; NIAZ, M. A Lakatosian Framework to Analyze Situations of Cognitive Conflict and Controversy in Students' Understanding of Heat Energy and Temperatura. **Journal of Science Education and Technology**, vol. 11, nº 3, September, 2002.
- LABURÚ, C. E.; SILVA, O. H. M. Uma leitura lakatiana para a análise de situações de controvérsias e conflitos cognitivos (uma aplicação durante a aprendizagem de cinemática angular). **Trabalho apresentado no XIV Simpósio Nacional de Ensino de Física**, realizado no período de 02 de 06 de julho em Natal/RN – 2001.
- LAKATOS, I. O Falseamento e a Metodologia dos Programas de Pesquisa Científica. In Lakatos e Musgrave (Eds.): **A Crítica e o Desenvolvimento do Conhecimento**, 109-243. Cultrix/EDUSP, São Paulo, 1970.
- LAKATOS, I. History of Science and its Rational Reconstruction – In R. C. Buck e R. S. Cohen (Eds.), **Boston Studies in the Philosophy of Science** (Vol. VIII, pp. 91-136). Dordrecht, Holland: Reidel (1971).
- LAKATOS, I. **The methodology of scientific research programmes**. Philosophical Papers Volume 1. Cambridge: Cambridge University Press (1978).
- LAWSON, A. E. The acquisition of biological knowledge during childhood: cognitive conflict or tabula rasa? **Journal of Research in Science Teaching**, 25, 185-199, 1998.
- LEE, J. F.; SEARS, F. W. **Termodinâmica**. Ao Livro Técnico S. A. e Editora da Universidade de São Paulo, Rio de Janeiro (1969).
- MÄNTYLÄ, T.; KOPONEN, I. T. 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 (2007).
- MARTINS, R. A. Como Não Escrever Sobre História da Física – um Manifesto Historiográfico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 23. no. 1, março, 2001.
- MARTINS, R. A. Ciência versus historiografia: os diferentes níveis discursivos nas obras sobre história da ciência, p. 115-146. In: **Escrevendo a história da ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas**. EDUC (Editora da PUC-SP), São Paulo (2004).
- MATTHEWS, M. R. Science Teaching – **The role of history and philosophy os science**. New York: Routledge (1994).

- MATTHEWS, M. R. História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.12, no 3: p. 164-214, dez. 1995.
- McCARTHY, C. Why be critical? (ou rational, or moral?) On the justification of critical thinking. **Philosophy of Education** (1992).
- McCLOSKEY, M.; CARAMAZZA, A.; GREEN, B. Curvilinear motion in the absence of external forces: naïve beliefs about the motion of objects. **Science**, 210: 1139-1141, 1980.
- MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa**. Editora UnB (1999).
- MORTIMER, E. F. **Evolução do atomismo em sala de aula: mudança de perfis conceituais**. Tese apresentada para a obtenção do título de doutor em educação. Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. (1994).
- NERSESSIAN, N. C. Conceptual change in science and in science education. **Synthese**, 80, 163-183, 1989.
- NIAZ, M. Más allá del positivismo: una interpretación lakatosiana de la enseñanza de las ciencias. **Enseñanza de las ciencias**, 12 (1), 97-100, (1994).
- NIAZ, M. Progressive Transitions from Algorithmic to Conceptual Ability to Solve Chemistry Problems: A Lakatosian Interpretation. **Science Education** 79(1): 19-36 (1995).
- NIAZ, M. 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: 107-127, 1998.
- NIAZ, M. Can the Study of Thermochemistry Facilitate Students' Differentiation between Heat Energy and Temperature? **Journal of Science Education and Technology**, Vol. 15, No. 3, October 2006.
- NIAZ, M. Facilitating Chemistry Teachers' Understanding of Alternative Interpretations of Conceptual Change. **Interchange**, Vol. 37/1-2, 129-150, 2006b.
- NIAZ, M.; RODRÍGUEZ, M. A. Improving learning by discussing controversias in 20th century physics. **Physics Education**, 59-63, jan. 2002.
- NOLA, R. Constructivism in science and science education: a philosophical critique. **Science & Education**, 6, 1-2, 55-83 (1997).
- NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica (2 – Fluidos; Oscilações e Ondas; Calor)**. 2ª edição – Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo (1990).

- OGBORN, J. Constructivism metaphors of learning science. **Science & Education**, 6, 1-2, 121-133 (1997).
- OREAR, J. **Física – 2ª edição**. Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, Rio de Janeiro (1971).
- OREAR, J. **Fundamentos da Física 1 – LTC** (Livros Técnicos e Científicos S. A.), Rio de Janeiro (1981)
- OSBORN, J. F. Beyond constructivism. **International Journal of Science Education**, 80, (1), 53-82 (1996).
- OSTERMANN, F. A Epistemologia de Kuhn. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, vol.13, n. 3: p. 184-196, dez. 1996.
- PARANÁ, D. N. **Paraná – Física: terminologia, óptica e Ondulatória**. Volume 2. Editora Ática, São Paulo, 1999.
- PEREIRA, A. I.; AMADOR, F. A história da ciência em manuais escolares de ciências da natureza. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias** Vol. 6 Nº 1 (2007).
- POPPER, K. R. A ciência normal e seus perigos. In Lakatos e Musgrave (Eds.): **A Crítica e o Desenvolvimento do Conhecimento**, 63-71. Cultrix/EDUSP, São Paulo, 1970.
- POPPER, K. R. **A Lógica da Pesquisa Científica**. Editora Cultrix. São Paulo (1972).
- POSNER, G., STRIKE, K., HEWSON, P., e GERTZOG, W. ‘Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change’, **Science Education** 66(2): 211-227, 1982.
- POZO, J.; PERÉZ ECHEVERRÍA, M.; SANZ, A.; LIMÓN, M. Las ideas de los alunos sobre la ciencia como teorías implícitas. **Enseñanza y Aprendizaje**, 57: 3-22 (1992).
- PROJECTO FÍSICA. **Unidade suplementar A. Partículas elementares**. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa (1971).
- REINER, R. “The Rationality of Authority: Healy and Brown on Expertise”. **The Electronic Journal of Analytic Philosophy** 2:3, 1994.
- ROWELL, J. A. Piagetian Epistemology: Equilibration and the Teaching of Science. **Synthese** 80, p. 141-162, 1989.
- SANTOS, W. L. P.; MORTIMER, E. F.; SCOTT, P. H. A argumentação em discussões sócio-científicas: reflexões a partir de um estudo de caso. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, (1): 140-152, 2001.
- SEARS, F. W.; ZEMANSKY, M. W. **Física**. Ao Livro Técnico e SEGREDA – Sociedade Editora e Gráfica LTDA, Rio de Janeiro (1959).

- SEARS, F; ZEMANSKY, M. W.; YONG, H. D. **Física 2 – Mecânica dos Fluidos, calor e Movimento Ondulatório**, 2ª edição. LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., Rio de Janeiro (1984).
- SIEGEL, H. On the Distortion of the History of Science in Science Education. **Science Education** 63(1): 111-118 (1979).
- SIEGEL, H. Critical Thinking as an Educational Ideal. **The Educational Forum**, v. 45: 7-23, nov. 1980.
- SIEGEL, H. Rationality and Judgment. **Metaphilosophy**, v. 35, n. 5: 597-613, october, 2004.
- SILVA, O. H. M.; LABURÚ, C. E. Aplicação de um instrumento analítico-pedagógico baseado numa analogia com os programas de pesquisa de Lakatos (um teste no conteúdo de cinemática angular). **Revista Ciências Exatas e Naturais**, vol. 4, no 2, jul/dez 2002.
- SILVEIRA, F. L. A filosofia da ciência de Karl Popper e suas implicações no ensino de ciência. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.6, no 2: p. 148-162, ago. 1989.
- SILVEIRA, F. L.; OSTERMANN, F. A insustentabilidade da proposta indutivista de “descobrir a lei a partir de resultados experimentais”. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, vol. 19, número especial: p. 7-27, jun. 2002.
- STIPCICH, S.; TOLEDO, B. Una analogía estructural entre Toulmin y Vigotsky como aporte para desarrollar diseños curriculares. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 18, no 1: p. 41-51, abr. 2001.
- STRIKE, K. A.; POSNER, G. J. A Revisionistic Theory of Conceptual Change. In Duschl e Hamilton (Eds.): *Philosophy of Science, Cognitive Science and Educational Theory and Practice*, 147-176. Albany, NY, SUNY Press (1992).
- TEIXEIRA, O. P. B. **Desenvolvimento do conceito de calor e temperatura: a mudança conceitual e o ensino construtivista**. Tese apresentada para a obtenção do título de doutor em didática. Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. (1992).
- TIPLER, P. A. **Física – volume 1**. Editora Guanabara Dois S. A. Rio de Janeiro (1978).
- TIPLER, P. A. **Física – volume 1b**. Segunda edição. Editora Guanabara Dois S. A. Rio de Janeiro (1984).
- VALENTE, M. Contributo da história e filosofia das ciências para o desenvolvimento do gosto pelo conhecimento científico. **Enseñanza de las ciencias**, número extra, VII Congresso (2005).
Site:

http://ensciencias.uab.es/webblues/www/congres2005/material/comuni_orales/1_ense_ciencias/1_3/Valente_865.pdf. Último acesso em 9 de agosto de 2007.

VÁSQUEZ, A. Á.; MANASSERO, M. A. M. Características del conocimiento científico: creencias de los estudiantes. **Enseñanza de las ciencias**, 17 (3), 377-395, 1999.

VIENNOT, L. Spontaneous reasoning in elementary dynamics. **European Journal of Science Education**, 1: 205-221 (1979).

VIGOTSKI, L. S. **Pensamento e Linguagem**. Martins Fontes, São Paulo (1996).

VILLANI, A. Filosofia da ciência e ensino de ciência: uma analogia. **Ciência e Educação**, v. 7, n. 2: 169-181, 2001.

VILLANI, A.; BAROLLI, E.; CABRAL, T. C. B.; FAGUNDES, M.; YAMAZAKI, S. C. Filosofia da ciência, história da ciência e psicanálise: analogias para o ensino de ciências. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 14, n. 1: 37-55, abr. 1997.

WANDERSEE, J., H. Can the history of science help science educators anticipate students' misconceptions? **Journal of research in science teaching**, 23 (7): 581-597, 1986.

WERTSCH, J. V. **Voices of the mind: a sociocultural approach to mediated action**. Cambridge, MA. Harvard University Press. (1991).

WHITAKER, M. A. B. 'History and Quasi-history in Physics Education Pts I, II', **Physics Education** 14, 108-112, 239-242 (1979).

WILLIAMS, L. P. Ciência normal, revoluções científicas e a história da ciência. In Lakatos e Musgrave (Eds.): **A Crítica e o Desenvolvimento do Conhecimento**, 60-62. Cultrix/EDUSP, São Paulo, 1970.

APÊNDICES

APÊNDICE A – PRÉ-AVALIAÇÃO (PASSO 1)

Nome: _____ Turma: _____

Responda:

1. O que é calor?
2. O que é temperatura?
3. Pelo que respondeu acima, qual é a diferença entre calor e temperatura?
4. Como você explica o fenômeno de duas amostras de água, inicialmente a temperaturas diferentes, atingirem, após se misturarem, a mesma temperatura?
5. Quando estamos com frio, é comum aquecermos as mãos, atritando-as. Por que ao esfregar as mãos, elas aquecem?

APÊNDICE B – TEORIAS RIVAIS¹⁵⁵

Registros históricos conduzem à conclusão de que duas principais teorias rivais influenciaram o entendimento humano sobre os conceitos de calor e de temperatura nos últimos séculos. São elas:

Teoria do Calórico - Concebe o calor como um fluido invisível e sem peso, chamado calórico, que passa pelas partículas dos corpos em perfeita liberdade (Dampier, 1945, p. 266). Nessa teoria, quanto maior é a temperatura de um corpo, maior é a quantidade de calórico em seu interior (Máximo e Alvarenga, 2000, p. 117). A teoria é baseada em dois postulados: 1) o fluido calor (calórico) não pode ser criado ou destruído; 2) a quantidade do fluido calor transferido ou cedido de um corpo para outro é proporcional à sua massa e à variação de temperatura, sempre transita no sentido do corpo mais quente para o mais frio.

Teoria Cinético-Molecular - Os físicos que a elaboraram consideraram dois postulados: 1) a matéria no estado gasoso é formada de minúsculas partículas denominadas moléculas, com tamanho da ordem de 10^{-8} cm; 2) no estado gasoso, as moléculas estão em movimento aleatório ou desordenado. Inicialmente a Teoria Cinético-Molecular procurava explicar a constituição da matéria no estado gasoso e como ela está organizada. Posteriormente, ela possibilitou compreender a organização da matéria nos estados líquido e sólido. Essa Teoria interpreta o calor como a transferência de energia de um corpo para outro decorrente, exclusivamente, da diferença de temperatura entre eles. A teoria fundamentou-se na idéia de que um corpo mais aquecido possui maior quantidade de energia interna, e não maior quantidade de calórico (Máximo e Alvarenga, 2000, p. 117). A variação da temperatura de um corpo é variação de sua energia interna, referindo-se à variação da energia cinética das moléculas (energia cinética de translação, energia de rotação, de vibração, etc) (Dampier, 1945, p. 119). Logo, quanto maior é a temperatura, maior é o nível de agitação das moléculas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DAMPIER, W. C. **História da Ciência – e das suas relações com a filosofia e a religião**. 2ª edição. Editorial Inquérito Limitada – Lisboa (1945).
- MÁXIMO A. e ALVARENGA B. (2000). **Curso de Física/ volume 2**. 5º edição. Editora Scipione (2000).

¹⁵⁵ Para os alunos, as referências do texto foram excluídas do mesmo.

APÊNDICE C – PRIMEIRA AVALIAÇÃO (PASSO 3)

Nome: _____ Turma: _____

Responda:

1. Quais são os postulados da Teoria do Calórico?
2. O que é calor e o que é temperatura nesta última teoria?
3. Quais são os postulados da Teoria Cinético-Molecular?
4. O que é calor e o que é temperatura nesta última teoria?
5. Pelo que se discutiu em classe, quais são as explicações que cada uma dessas teorias fazem para o fenômeno de dois corpos a diferentes temperaturas atingirem, após um tempo de contato físico, a mesma temperatura?

APÊNDICE D – RRD¹⁵⁶**CALOR E TEMPERATURA**

As duas teorias rivais permearam as visões de vários cientistas.

Primeiramente, podemos citar alguns cientistas que apresentaram concepções que caminhavam em direção à aperfeiçoada Teoria Cinético-Molecular. São eles: Robert Boyle e Daniel Bernoulli. Boyle, em meados de 1650, iniciou discussões sobre o calor e movimento molecular. Mais adiante, em 1738, Daniel Bernoulli mostrou que, se considerar que um gás é constituído por moléculas que se movem em todas as direções, o choque das moléculas sobre as paredes do recipiente em que aquele está contido explicaria a pressão que ele exerce, e a pressão deveria aumentar proporcionalmente com a compressão a que se sujeitasse o gás ou o aumento de temperatura, como a experiência mostrara (Dampier, 1945, p. 294). No entanto, isso não era suficiente para intimidar os adeptos da Teoria do Calórico.

Por sua vez, a origem da Teoria do Calórico deve-se aos gregos, mas sua formulação completa foi apresentada por William Cleghorn, em 1779. O químico Joseph Black (1728-1799) observou a tendência de muitas matérias (em várias quantidades e tipos) a diferentes temperaturas alcançarem uma mesma temperatura, quando colocadas em contato. Black também estudou as transformações nas matérias (mudanças de estado) enquanto calor “entrava” e “saía” delas e, a partir de seus estudos e de outros cientistas, houve o fortalecimento na Teoria do Calórico, reforçando a crença na existência do fluido invisível que fluía pelas substâncias e alterava suas temperaturas. Entendia-se que quanto maior fosse a temperatura de um corpo, maior seria a quantidade de calórico em seu interior. A situação em que dois corpos de diferentes temperaturas, depois de um tempo de interação mútua, atingem uma temperatura comum, foi definida de equilíbrio térmico. A Teoria Calórica explicava o equilíbrio térmico, admitindo que, quando dois corpos a temperaturas diferentes eram colocados em contato, haveria passagem de calórico do corpo mais quente para o mais frio, acarretando uma diminuição na temperatura do primeiro e um aumento na temperatura do segundo corpo. O equilíbrio térmico ocorre quando cessa o fluxo de calórico e, por isso, atingem a mesma temperatura. (Máximo e Alvarenga, 2000, p. 117).

Alguns problemas existiram no início da formulação da Teoria do Calórico. Seus adeptos foram obrigados a admitir que o fluido calórico não tinha massa, pois mesmo objetos muito aquecidos não apresentavam maior massa do que quando a uma temperatura menor. Todavia, essa Teoria do Calórico foi explicando muitos fenômenos elementares conhecidos. O desenvolvimento de calor pelo atrito, por exemplo, era explicado pelos adeptos da teoria do calórico, de modo que o calor era, por assim dizer, espremido da substância, revelando-se no processo (Dampier, 1945, p. 294). Como a intenção de toda teoria física é explicar satisfatoriamente a maior quantidade de fenômenos (Gonçalves e Toscano, 1997, p. 20), muitos cientistas ainda se mantinham insatisfeitos com aquela explicação do desenvolvimento de calor por atrito, dada pela Teoria do Calórico. Principalmente, os cientistas que se simpatizavam com a

¹⁵⁶ Para os alunos, as referências deste texto foram excluídas do mesmo.

idéia sobre calor associada à agitação vibratória das partículas dos corpos (Teoria Cinético-Molecular).

Um deles, Benjamim Thompson, trabalhava numa fábrica de canhões e verificou que, ao furar canos de canhões, produzia-se um grande aquecimento, significando que a quantidade de calórico deveria, então, estar aumentando nas peças. Assim, questionou a explicação de que todo aquele calórico já estivesse nas peças (sendo espremido delas durante o processo), revelando que tal explicação era contraditória, e levaria à conclusão de que um canhão deveria derreter antes mesmo de iniciado o furo. Diante disso, em 1978, Thompson fez o seguinte comentário:

“Que é calor? Não pode ser substância material. A mim parece difícil, se não assaz impossível, imaginar o calor como outra coisa que não o que nesta experiência foi continuamente suprido à peça de metal: movimento” (Basso e Fasolo, 1968, p. 98).

Com a intenção de defender a teoria vibratória, associando a energia mecânica ao calor produzido, realizou várias experiências de atrito e mostrou que em todas elas o suprimento de calor parecia inesgotável, colocando em dúvida a idéia de calor como um fluido (Ronan, 1987, p. 45). Se parecia inesgotável, intuitivamente parecia estar sendo criado, o que contrariava o primeiro postulado da Teoria Calórica, pois o calor era algo que não podia ser criado ou destruído.

Ainda assim, os defensores do calórico levantavam uma hipótese questionável ‘*de que o calórico poderia, talvez, não provir do movimento, mas sim de alguma forma ainda desconhecida do meio ambiente*’ (Basso e Fasolo, 1986, p. 98). Tal hipótese era provável, pois era curiosa a impressão que se tinha de, ao toque, um metal parecer estar a uma temperatura menor do que, por exemplo, a de uma madeira, quando estes são encontrados a uma mesma temperatura ambiente. Por isso, de alguma forma desconhecida, o meio ambiente talvez pudesse fornecer calórico ao cano do canhão nessa situação. Mas nunca se descobriu experimentalmente o que estaria transferindo tanto calórico naquele atrito, e todas as explicações que visavam proteger a Teoria Calórica nesse sentido começaram a se tornar insatisfatórias.

Além disso, outras experiências enfraqueceram a hipótese do meio ambiente fornecer calórico numa situação de atrito entre dois corpos que inicialmente se encontram com a mesma temperatura do ambiente. Num dia de inverno de 1800, a temperatura estava alguns graus abaixo de zero. Nesse dia, um estudioso chamado Danyel utilizou tenazes e dois pedaços de gelo, e realizou a experiência de friccioná-los, um gelo no outro. Com o movimento e o atrito existente entre as superfícies de contato, os pedaços de gelo começaram a derreter. Nessa ocasião, porém, Danyel fez uma decisiva consideração para as pessoas que lá estavam: *“o dia está extremamente frio e a temperatura ambiente é inferior à temperatura de fusão do gelo”* (ibid.). A explicação dos defensores do calórico de que o fato ocorria devido ao meio ambiente fornecer calor (calórico) ao gelo, enfraquecia a base da Teoria Calórica. Enfraquecia de duas formas: teoricamente e empiricamente. Teoricamente, enfraquecia por se tornar incompatível com o postulado que diz não ser possível que o calor (calórico) passe do meio ambiente (mais frio) para um mais quente (ou menos frio). E, empiricamente, porque a experiência de Danyel mostrava que a hipótese questionável era falsa.

Apesar disso, a Teoria do Calórico não foi abandonada e sobreviveu até que a Teoria Cinético-Molecular aderiu ao princípio da conservação da energia e superou a rival Calórica (Dampier, 1945, p. 267). Esse princípio diz que uma forma de energia pode se transformar em outra e que a soma das quantidades das diferentes formas de energia é constante. A Teoria Cinética apresentou, no final do século XIX, as atuais concepções sobre calor e temperatura. O calor passou a ser entendido não mais como uma substância, mas apenas como um processo que existe somente quando dois corpos de diferentes temperaturas trocam energia. E a temperatura relaciona-se à medida do grau da energia interna do corpo no que se refere à média da energia cinética total das partículas do corpo (energia de vibração, de translação, de rotação, etc). Assim, qual é a explicação atual para o aquecimento de dois corpos em atrito? Segundo a Teoria Cinético-Molecular, o trabalho realizado por uma força externa transfere energia para o movimento dos corpos que, então, atritam entre si. Uma parte da energia cinética desses corpos é convertida para a energia cinética das partículas (moléculas) de suas superfícies em atrito. Isso acarreta no aumento da energia interna desses corpos e, portanto, de suas temperaturas.

Comparando as duas teorias rivais, a Teoria Cinético-Molecular obteve maior sucesso explicativo diante da rival Teoria Calórica. Conseqüentemente, muitos partidários da Teoria Calórica reconheceram o progresso explicativo da Cinético-Molecular. Assim, o calor não é substância invisível de massa desprezível chamada calórico. O calor é uma transferência de energia, que ocorre somente quando dois corpos de diferentes temperaturas interagem.

O que se pode entender por essa história?

1. Que as teorias do Calórico e Cinético-Molecular apresentam diferentes conceitos de calor e de temperatura.
2. Que podem ser desenvolvidas mais do que uma teoria para tentar explicar uma mesma variedade de fenômenos e que, assim, as teorias são rivais, e seus sucessos explicativos podem ser comparados para escolher uma vencedora.
3. Que uma teoria encontra problemas durante a sua formulação, e que estes procuram ser solucionados, ajustando a base da teoria. Como foi o caso da Teoria Calórica ter de admitir o calórico como sem massa, pois objetos muito aquecidos não apresentavam variação da massa.
4. Que as Teorias, como no caso da Teoria Calórica, oferecem várias explicações diante das dificuldades experimentais, como a constatação do aumento de temperatura de corpos em atrito.
5. Que as explicações auxiliares só protegem satisfatoriamente uma Teoria por estarem coerentes com seus postulados e serem comprovadas pela experiência.
6. Que a Teoria do Calórico somente foi abandonada porque uma outra melhor estava disponível, a Teoria Cinético-Molecular.
7. Que a Teoria Cinético-Molecular apresentou-se como melhor que, e superou, a Teoria Calórica, porque explica com satisfação os fenômenos que a Teoria Calórica explicou e mais os que não explicou satisfatoriamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BASSO D. e FASOLO P. **Física um – novo programa para o ensino de física**. Editora Sulina, Porto Alegre – RS (1968).
- DAMPIER, W. C. **História da Ciência – e das suas relações com a filosofia e a religião**. 2ª edição. Editorial Inquérito Limitada – Lisboa (1945).
- GONÇALVES A. E TOSCANO C. (1997). **Física e realidade. Volume 2 – Física térmica e óptica**. Editora Spione – São Paulo.
- MÁXIMO A. e ALVARENGA B. (2000). **Curso de Física/ volume 2**. 5ª edição. Editora Scipione (2000).
- RONAN, C. A. (1987). **História Ilustrada da Ciência da Universidade de Cambridge**. Volume IV: a ciência dos séculos XIX e XX. Jorge Zahar Editor, Rio de Janeiro/RJ (1987).

APÊNDICE E – SEGUNDA AVALIAÇÃO (PASSO 5)

Nome: _____ Turma: _____

1. Como a teoria do calórico explica o equilíbrio térmico atingido, após a mistura, entre duas amostras de água, inicialmente a temperaturas diferentes? Explique também pela Teoria Cinético-Molecular?
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.
6. Pelo que você notou nas discussões históricas, as explicações científicas:

() baseiam-se em modelos que vão se aprimorando;

ou

() representam verdades inquestionáveis sobre a realidade?

Justifique.

7. Pelo que a História da Ciência retratou é possível afirmar:

() que as teorias físicas podem ser substituídas por outras que apresentam explicações para um maior número de fenômenos.

() uma teoria física não pode ser substituída.

Justifique sua escolha.

APÊNDICE F – TERCEIRA AVALIAÇÃO (PASSO 7)

Nome: _____ Turma: _____

1. O que é calor e o que é temperatura na Teoria Cinético-Molecular?
2. Explique as questões abaixo pela Teoria Cinética-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?
 - 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 o aquecedor (ou o fogo) elevou a temperatura da água a um limite próximo dos 100°C que é o ponto de ebulição da água. 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 acima, utilizando as suas idéias de calor e temperatura que apresentou na primeira avaliação.
4. Qual critério você utiliza para comparar se as explicações feitas por suas idéias iniciais são ou não são melhores que as explicações feitas pela Teoria Cinético-Molecular?
5. Pelo critério que você mencionou acima, quais explicações são melhores, aquelas de suas idéias iniciais sobre calor e temperatura ou as da Teoria Cinético-Molecular? Justifique.

ANEXOS

ANEXO A – EXPERIMENTO COMERCIALIZADO PELA FUNBEC¹⁵⁷

Fotografia – Experimento usado em sala de aula para demonstrar, por analogia, o comportamento das partículas de um gás.

FUNBEC (1977).

ANEXO B - DADOS BRUTOS

Abaixo são apresentadas as respostas individuais dos alunos para cada uma das questões dos quatro passos avaliativos. Os números referem-se às questões em que as respostas correspondem em determinado passo. As respostas estão mantidas sem nenhuma alteração ou correção. É possível notar que existem casos nos quais um aluno tenha especificado uma única resposta para duas perguntas.

ALUNO 1

Respostas do primeiro passo: “1. Calor é uma sensação térmica, medida pela temperatura; 2. Temperatura é o que possibilita medir o calor; 3. Temperatura é o que mede o calor; 4. Porque ao misturar-se as duas amostras, há uma troca de calor entre ambas até que a temperatura se iguale; 5. Porque o atrito entre elas gera calor e aumenta a temperatura”.

Respostas do terceiro passo: “1 e 2. Calor é um fluido invisível e sem massa que transita livremente entre os corpos. Temperatura é o que mede o grau do calor. Quanto maior o calórico, maior a temperatura; 3 e 4. Calor é a transferência de energia entre os corpos. Temperatura é o que mede o grau de vibração das moléculas que compõem um corpo. Quanto maior o grau de vibração das moléculas, maior a temperatura; 5. Teoria do Calórico: se dois corpos com temperaturas diferentes estiverem em contato, o calórico que é maior no corpo mais quente, será em parte, transferido para o corpo mais frio, para que os níveis de calórico entre os dois se igualem, igualando também a temperatura. Teoria Cinético-Molecular: em um corpo mais quente, as moléculas que o compõem estão em maior vibração do que as do corpo mais frio. Quando os dois corpos entram em contato há uma transferência de energia entre os corpos através do calor. A transferência dessa energia faz com que o grau de vibração das moléculas dos dois corpos se igualem, igualando também a temperatura”.

Respostas do quinto passo: “1. Teoria do calórico: a amostra com temperatura maior tem mais calor (fluido calórico) que a outra. Ao misturar-se, o fluido calórico passa de uma à outra até que haja o equilíbrio. Teoria cinético-molecular: na amostra com temperatura maior as moléculas estão em maior vibração que na outra. Ao misturar-se, as partículas em maior vibração fazem com que as com menor vibração comecem a vibrar, até que haja equilíbrio térmico; 2. Sim, pois ela começou a ser contraditória, como no caso da perfuração dos canhões, onde não seria possível que houvesse tanto calor dentro do canhão, pois se houvesse ele já teria derretido; 3. Não. Segundo a teoria do calórico, o calórico já estaria nos corpos. Porém, na perfuração dos canhões, observou-se que a temperatura se elevasse muito, não sendo possível que o canhão já tivesse esse calor, pois derreteria. Para a teoria cinético-molecular, o atrito gera a produção de energia, que gera um aumento na temperatura; 4. Qual explica melhor os fatos sem se contradizer ou não ter respostas; 5. A teoria cinético-molecular tem maior sucesso porque explica o que a teoria do calórico explica e outras coisas que ela não explica. Sendo assim, ela pode superar; 6. São modelos que vão se aprimorando. A partir do momento que ela

se contradiz e começa a surgir outra que possa superá-la, ela começa a perder seu valor. Se uma teoria fosse verdade absoluta não surgiriam outras que a superassem; 7. Sim. A teoria cinético-molecular, por exemplo, por explicar mais fenômenos que a teoria do calórico, passou a substituí-la”.

Respostas do sétimo passo: 1. Nada consta; “2. (a) Porque esse atrito faz com que a movimentação das moléculas se intensifique e, conseqüentemente, a temperatura aumente; (b) Porque esse choque faz com que a movimentação das moléculas se intensifique e, conseqüentemente, a temperatura aumente; (c) Porque ao flexioná-lo, faz com que a agitação das partículas se intensifique e a temperatura aumente; (d) A teoria do calórico não explicaria esse caso, pois o fluido transmitido do aquecedor à água não estaria tendo efeito e, não haveria mais como se igualar a temperatura. 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 quebrem e estas se desprendam, evaporando como vapor d’água; 3. (a) Porque o atrito gera calor e aumenta a temperatura; (b) Porque o choque gera calor e aumenta a temperatura; (c,d) Não sei explicar pelas minhas idéias iniciais; 4. As respostas coerentes e se são capazes de responder todas as perguntas; 5. Teoria cinético-molecular, pois é capaz de explicar todas as situações e apresenta coerência”.

ALUNO 2

Respostas do primeiro passo: “1. Calor é a transferência de energia de um corpo para o ambiente e/ou de um corpo para outro; 2. É a medida de calor em um determinado corpo; 3. Calor é a transferência de energia térmica e temperatura é a medida de calor resultante dessa transferência; 4. Isso pode ser explicado devido ao fenômeno do equilíbrio térmico. Os corpos podem atingir uma temperatura ‘média’ entre eles: água quente reage com água fria formando água morna; 5. Isso ocorre basicamente porque o atrito gera energia térmica. Um outro exemplo que é sábio lembrar é o fato dos povos pré-históricos atritarem certos objetos, produzindo fogo. A propósito, devemos citar o fato de 2 objetos de materiais diferentes produzirem magnetismo, mas aí já é outra história”.

Respostas do terceiro passo: “1 e 2. O calor, na primeira teoria, é entendido como calórico, que por sua vez, é invisível e não tem massa. Já temperatura é a medida da ‘quantidade’ de calórico em um determinado corpo; 3 e 4. 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). Enquanto temperatura está intimamente relacionada com a medida de agitação das moléculas, ou seja, da energia interna de um determinado corpo. É importante salientar que, nessa teoria, o que está presente em um corpo não é calórico, mas energia cinética (ou térmica). Além disso, essa teoria explica a dilatação térmica; 5. Teoria do Calórico: 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. Teoria cinético-molecular: o corpo mais quente possui maior vibração. Quando dois corpos em diferentes temperaturas se unem, a agitação do ‘mais quente’ diminui e a do corpo mais frio se eleva,

atingindo assim não só a mesma temperatura, mas também a mesma intensidade de energia cinética. Portanto $\Delta\text{agitação} = \Delta\text{temperatura}$ ”.

Respostas do quinto passo: “1. Na teoria do Calórico, o calor é transferido do corpo mais quente para o mais frio. Ou seja, se o corpo mais quente possui 60°C e o mais frio 20°C , os corpos tendem a atingir uma temperatura igual, podendo ser estabelecida uma média (por exemplo, 40°C). Vale lembrar que se varia a temperatura, altera-se também o calórico, uma vez que $\Delta\text{temperatura} = \Delta\text{calórico}$. Na teoria cinético-molecular o corpo mais quente possui mais energia cinética (ou térmica). Nesse caso, duas amostras de água, a amostra mais quente perderá parte de sua energia cinética (‘vibrará menos’), enquanto a mais fria ‘receberá’ tal energia cinética (‘vibrará um pouco mais’). Assim sendo, a energia térmica varia, e a temperatura também, ficando iguais, lembrando que $\Delta\text{temperatura} = \Delta\text{energia cinética}$; 2. Sim, pois não explicou satisfatoriamente o aquecimento pelo atrito e diversos outros fenômenos; 3. A teoria do calórico não conseguiu explicar tal fenômeno. Se assim o fizesse, acabaria por contradizer seu postulado que diz que o corpo mais quente cede calor para o mais frio. Além disso, disseram que o calórico obedecia uma trajetória centrífuga e atingiria a palma da mão, esquentando-a. Já a teoria cinético-molecular a explicou satisfatoriamente, inclusive utilizando adequadamente suas concepções e seus postulados, dizendo que o atrito entre as mãos gera energia cinética e aquece o corpo; 4. A teoria deve responder e explicar satisfatoriamente ao maior número possível de fenômenos, daí o motivo de serem rivais; 5. A teoria cinético-molecular é a melhor porque explica todos os fenômenos que a teoria do Calórico também explicava e ainda os que esta não conseguiu explicar. Porém, para avaliar adequadamente 2 teorias é necessário que se leve em consideração seus notáveis e respectivos fundamentos; 6. Em modelos que se aprimoram, uma vez que o mundo vive em intensa instabilidade e o homem, por sua vez, é um ser dotado de intelectualidade e capacidades psíquicas que lhe permitem uma nova reflexão a respeito desse mundo; 7. Sim. Para provar isso, é sábio uma reflexão: algum dia, possivelmente haverá um fenômeno que a teoria cinético-molecular não saberá responder. Daí, haverá a necessidade de se estabelecer por intensos estudos uma nova teoria”.

Respostas do sétimo passo: 1. Nada consta; “2. (a) Com o atrito, aumenta-se a energia cinética dos materiais, assim sendo, eleva-se a temperatura, uma vez que $\Delta\text{energia cinética}$ é proporcional à $\Delta\text{temperatura}$; (b) Podemos exemplificar pelo jogo de sinuca. O martelo, interagindo com a nossa força muscular, tem uma energia cinética maior. Ao se chocar com o prego, é suficiente para que essa energia seja transferida para ele. Assim sendo, o prego eleva a temperatura e sua energia cinética; (c) Com a agitação das moléculas no local flexionado, há aumento de temperatura e um rompimento das moléculas desse material, devido ao aumento da energia cinética associado à nossa força muscular; (d) Não. A teoria do calórico não conseguiria explicar satisfatoriamente esse fenômeno, sem romper seus postulados, pois parte do fenômeno seria explicado (aumento da temperatura), outra parte, não (porque a estabilização ocorre). Já a teoria cinético-molecular explica satisfatoriamente, dizendo que a água, atingindo os 100°C , não tendo com aumentar a temperatura e com a ‘vibração’ na intensidade máxima, romperia a ligação interativa das moléculas, originando água no estado gasoso (vapor); 3. Minha concepção primária de calor e temperatura não seria eficaz na explicação de tais fenômenos, uma vez que não são coesas; 4. A teoria cinético-molecular explica uma variedade muito maior de fenômenos em relação à minha teoria; A teoria cinético-molecular, pois minhas

explicações não têm o mínimo fundamento e não daria conta de explicar os fenômenos que a teoria cinético-molecular o faz coerentemente”.

ALUNO 3

Respostas do primeiro passo: “1. Calor é uma temperatura quente e/ou a energia liberada por um corpo; 2. Temperatura diz respeito a algo ser quente, frio, morno. Ela é um nome qualificativa desses elementos; 3. Calor é classificado como uma temperatura, é só uma parte da ‘área’ da temperatura, dentro dela existe o frio, morno, etc; 4. Porque ao se misturarem elas irão se equalizar para possuir uma temperatura igual juntando a temperatura que cada uma possuía e atingindo uma temperatura média entre os dois líquidos; 5. Porque o ato de esfregar as mãos impede que o ar frio passe entre elas, assim as mãos se aquecem”.

Respostas do terceiro passo: “1. Na Teoria do Calórico nada é criado e nem destruído, o calor é uma substância que flui do corpo com mais calórico para o com menos calórico afim de obter o equilíbrio de temperatura entre os dois; 2. Calor é uma substância se massa e invisível que existe nos corpos, a temperatura mediria essa quantidade de calor; 3. Na Teoria Cinético-Molecular a energia do corpo ocorre de acordo com o movimento de suas moléculas. Quanto maior o movimento dessas partículas maior é a energia; 4. Calor é a energia liberada pelo movimento das moléculas e a temperatura é o que mede a quantidade de energia do corpo em questão; 5. A Teoria Calórica explicaria que o corpo com maior quantidade calórico transferiu seu calor para o corpo com menos calórico até que os dois obtivessem a mesma temperatura, ou seja, quantidade de calórico. A Teoria Cinético-Molecular explicaria que o corpo com menos energia em contato com um corpo com mais energia aumentaria, conseqüentemente o movimento das suas moléculas através da transferência de calor que a vibração das partículas do corpo com mais energia transmite”.

Respostas do quinto passo: “1. A teoria do calórico explica que o líquido de maior temperatura ao entrar em contato com o líquido de menor temperatura, transfere seu calor para a outra substância até que as duas atinjam a mesma temperatura. Pela teoria cinético-molecular o equilíbrio térmico seria explicado pelo movimento das moléculas. A substância de maior temperatura (e agitação de partículas) transferiria energia p/ a substância de menor temperatura elevando a vibração das moléculas destas, assim as duas substâncias encontrariam equilíbrio térmico; 2. Sim, se o calor era uma substância já existente no corpo, sem ser criado, como essa teoria poderia explicar o fato de dois gelos da mesma temperatura quando em atrito derreterem? O cientista Thompson observou que ao furar um canhão a temperatura deste aumentava excessivamente, mas não havia a presença de calor ali pois se houvesse o canhão derreteria antes de ser furado o que sugeria que o ‘calor’ havia sido criado e na teoria do calórico nada é criado. Enfim, essa teoria encontrou limitações e não conseguia mais explicar tantos fenômenos de forma coerente; 3. A Teoria do Calórico explicava que o aumento da temperatura entre dois corpos em atrito se dava pelo calor ambiente, ou seja, o meio ambiente fornecia o calor que aquecia estes corpos. Já a Teoria Cinético-Molecular explica que dois corpos quando estão em atrito e movimento aumentam a vibração de suas moléculas aumentando sua temperatura; 4. Observo qual consegue explicar o maior número de fenômenos

de forma coerente; 5. A Teoria Cinético-Molecular porque ela explica mais fenômenos que a Teoria do Calórico e de forma mais coerente quando permite que o calor não seja considerado uma substância mas o efeito da maior agitação das partículas. Eu acho que a melhor teoria é a que explica mais fenômenos; 6. As teorias são colocadas em cheque conforme novas descobertas são feitas, então elas devem ser aprimoradas e caso encontrem limitações para isso, novas teorias devem ser formuladas; 7. Teorias incoerentes ao explicar fenômenos não têm muita utilidade para o homem. Teorias que explicam o maior número de fenômenos satisfazem mais nesta incessante busca de respostas”.

Respostas do sétimo passo: “1. Calor é a energia transferida de um corpo para outro durante a intensa atividade das partículas. Temperatura é o que mede energia; 2. (a) Porque o movimento exercido ao atritar esses materiais estimula o aumento do movimento das moléculas desses corpos; (b) Porque o choque provoca um impacto que aumenta a agitação das partículas do prego, assim ele se aquece; (c) Porque o movimento realizado para que o arame se rompa leva a um leve aquecimento deste material o que proporciona que ele se rompa a partir da força exercida por nosso movimento; (d) A Teoria do Calórico não explica este fenômeno pois a água se estabiliza em uma temperatura mesmo quando ainda é fornecido calor a ela através do fogo que se encontra numa temperatura muito mais elevada que a da água. A Teoria Cinético-Molecular explica que com o aumento do movimento das partículas chega um ponto que a energia potencial de interação 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 que mesmo o fogo tendo uma temperatura mais elevada que a da água a Teoria Cinético-Molecular explica o fenômeno; 3. (a) Porque o ato de esfregar as mãos impede que o ar frio passe entre elas, assim as mãos se aquecem; (b) Porque o choque desprende energia e gera calor; (c) Devido ao movimento repetitivo que realizamos com o arame; (d) A água chega a uma certa temperatura e entra em ebulição começando a evaporar, por isso a temperatura no recipiente com água não sobe mais; 4. A Teoria Cinético-Molecular explica os fenômenos com muito mais coerência do que minhas idéias que se limitam a não explicar quase nada e de forma que ainda existam fatos a ficarem se explicação; 5. A Teoria Cinético-Molecular, pois ela explica os fenômenos de forma científica e eu, uma leiga, explico quase de forma mística sem que o fenômeno seja compreendido”.

ALUNO 4

Respostas do primeiro passo: “1. Calor é a temperatura que um corpo passa para outro. Calor é armazenado. Ex. – a blusa de frio, ela não esquenta mas conserva a temperatura do seu corpo. Quando você encosta na panela quente e se queima; 2. É o calor do ambiente. Cada corpo tem uma temperatura diferente conforme o calor que recebe a cada ambiente. Ex. – O corpo humano tem a média de temperatura 36° graus, mas quando você encosta em alguém você passa calor, podendo esquentá-la, esfriá-la ou até igualar a temperatura do outro corpo com você; 3. Temperatura é do ambiente e o calor é o que passa; 4. Porque teve transferência de calor entre as duas amostras de água; 5. Porque passa calor de uma para outra”.

Respostas do terceiro passo: “1. 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 ou destruída e sim transferida de um corpo para outro. Quanto maior a quantidade de calórico maior a temperatura; 2. Temperatura é a análise do grau de medida de calórico em um determinado corpo. Calor é um fluido de massa desprezível denominado calórico, que pode ser transferido de um corpo para outro; 3. O calor é a transferência de energia dado pelos movimentos das moléculas quando dois corpos têm diferentes temperaturas. Quanto maior a cinéticas das moléculas maior a temperatura. Ao contrário da outra teoria, um corpo não pode possuir calor individualmente; 4. Calor é a transferência de energia de um corpo para outro em diferentes estados de temperatura. Temperatura é a análise do grau de medida do movimento das moléculas; 5. 1ª Teoria do Calórico – quando dois corpos de temperaturas diferentes se encostam, ocorre o fenômeno de equilíbrio que é a transferência de calórico de um corpo para o outro até que se igualem a temperatura. 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. 2ª Teoria Molecular – quando dois corpos com temperaturas diferentes (isso é quando um corpo tem mais movimento molecular que o outro) se encosta, e assim ocorre a transferência de energia, já que a molécula com mais movimento esbarra na outra gerando mais movimento, assim igualando as movimentos dando a mesma temperatura”.

Respostas do quinto passo: “1. O equilíbrio térmico explicado pela teoria do calórico é pelo fato da substância calor se transferir para outro corpo, equilibrando, deixando o mais quente mais frio e o mais frio mais quente. O equilíbrio térmico explicado pela teoria da cinética molecular é pela transferência de energia de um corpo para o outro, as moléculas do corpo mais quente choca com as moléculas do corpo mais frio dando pressão logo no movimento, as moléculas do corpo mais frio começam a se movimentar mais graças a transferência de energia, igualando a temperatura do corpo mais frio; 2. A primeira dificuldade foi a do calor por atrito, pois a transferência de fluido era inesgotável, quanto mais atrito maior ficava a temperatura. Mas essa conseguiram explicar, não muito satisfatoriamente que a substância ficava espremida e assim aquecia. A segunda foi da broca e do canhão. Conforme a teoria do calórico, se o canhão já tivesse todo aquele calórico para transferir, ele teria furado antes de ser perfurado com a broca. A terceira foi questionada em um dia que a temperatura tava abaixo de zero e o gelo derreteu quando foi atritado, colocando em dúvida sobre a transferência de calórico do meio ambiente, já que a temperatura estava abaixo do ponto de fusão; 3. O fluido fica espremido entre os dois corpos gerando calor conforme a teoria do calórico. Enquanto a teoria da cinética molecular afirma que, o calor obtido é pelo constante movimento das moléculas, quanto mais movimento, maior será o choque entre elas, maior será a pressão e a transferência de energia; 4. Se a teoria explica melhor e de maneira mais convincente os fenômenos do que a outra; 5. A teoria cinético-molecular obteve melhor desempenho por conseguir explicar mais claramente todos os fenômenos. Sim. Apesar do calor ser um tema muito abrangente e difícil de comprovar com certeza por ser uma coisa que não podemos exatamente ver, mas pode existir uma teoria melhor que a outra que é aquela que explica de forma mais lógica os fenômenos ocorridos; 6. Pelas dúvidas da teoria do calórico que surgiu a teoria da cinético molecular. As teorias são reformuladas conforme os fenômenos e conforme as experiências com os resultados obtidos; 7. Mesmo que a Teoria da cinética molecular explica de forma mais abrangente os fatos, a Teoria do calórico, não foi esquecida, até porque estou estudando as duas teorias agora”.

Respostas do sétimo passo: “1. Calor é a transferência de energia dada pelos movimentos da molécula que interage entre dois corpos de temperatura diferente. Temperatura é a análise do grau de medida de energia; 2. (a) Porque ao atritar você dá às moléculas um movimento contínuo e crescente, assim cada vez mais aumenta a temperatura. Isso acontece por causa dos choques das moléculas que transfere energia de uma molécula para outra; (b) Por causa da pressão dada pelo impacto dado pelo martelo ao bater no prego. Essa pressão faz que ocorra agitação entre as moléculas, assim aquecendo-o; (c) Por causa do movimento. Ao flexionar um pedaço de arame você também está provocando movimento nas moléculas. Quanto mais flexionar, maior será a agitação delas e maior será a temperatura deixando o metal mais fraco a ponto que se rompa; (d) Não. Porque conforme a Teoria do Calórico, a diferença de temperatura entre dois corpos sofre o equilíbrio térmico. Então, quanto mais calor um corpo ter, mais calor ele irá transferir para o corpo mais frio, assim aquecendo cada vez mais até tiver o equilíbrio térmico ou interromper a transferência da substância. Esse fenômeno do ponto de fusão da água entre em contradição porque mesmo com a transferência constante de calor a água não altera a temperatura depois de 100°C. A teoria molecular explica que, para que a água mude de temperatura e ultrapasse os 100°C é preciso que todas as moléculas presentes no corpo estejam na mesma condição. As moléculas da água em forma líquida estão mais ligadas e agrupadas do que na forma de vapor. Com o aquecimento da água líquida essas ligações se rompe, dando pouco a pouco a organização de vapor. Até todas as moléculas não ter essas ligações rompidas não ocorre a mudança de estado e também a mudança de temperatura; 3. Não é possível porque as minhas concepções da primeira avaliação são insuficientes e entram em contradição, já que a teoria que escrevi se assemelha com a teoria do calórico que não cobre as explicações destes fenômenos; 4. São piores porque além de serem menos elaboradas não cobre a explicação lógica de todos os fenômenos como a teoria da cinética molecular cobre. Meu critério para comparar as duas teorias é quem explica mais fenômenos de forma mais coerente; 5. Cinética molecular – porque ela explica maior quantidade de fenômenos de forma mais coerente”.

ALUNO 5

Respostas do primeiro passo: “1. Calor seria a capacidade de aquecimento ou resfriamento de algo?; 2. É a variação do calor?; 3. A temperatura depende do calor. Porém a temperatura é medida o calor não; 4. Por elas estarem diferentes, quando ocorre a mistura, uma aquece a outra, e esta por sua vez é resfriada, fazendo com que as duas igualem sua temperatura; 5. Pois, as mãos já possuem um calor próprio, e quando ocorre o atrito deve se aumentar o calor por serem duas mãos, e não mais uma só”.

Respostas do terceiro passo: “1. De acordo com a Teoria do Calórico o calor é uma substância chamada calórico que possui massa desprezível e é invisível presente em um corpo. A temperatura mede a quantidade de calórico que um determinado corpo possui. Quando se junta 2 corpos com diferentes temperaturas, ou seja, com diferente quantidade de calórico, há uma transferência de calórico do corpo mais quente para o corpo mais frio e assim, iguala-se a temperatura; 2. Calor é uma substância chamada calórico que possui massa desprezível (pois o

mesmo corpo quente ou frio, não varia a massa) e invisível (pois ninguém nunca conseguiu ver o calórico). Temperatura é a quantidade de calor que um determinado corpo possui; 3. Na teoria cinético-molecular, o calor é a transferência da energia cinética. A temperatura mede o grau de agitação das partículas, ou seja, o grau da energia cinética. Nessa teoria não existe transferência de substância e sim transferência de energia de um corpo para o outro; 4. Calor é a transferência de energia cinética decorrente da temperatura existente nos corpos. Temperatura mede o grau da agitação das partículas; 5. Na Teoria do Calórico, existe passagem de calórico do corpo mais quente para o corpo mais frio. O corpo mais quente, por passar calórico para o mais frio perde calórico e assim iguala-se a temperatura, ou seja, a quantidade de calórico existentes nos dois. Na teoria do cinético molecular, há transferência de energia, ou seja, o movimento das partículas é igualado. O corpo em que suas partículas tem movimento menor, o movimento aumenta, e o corpo em que suas partículas tem movimento maior, o movimento diminui e assim ocorre o equilíbrio térmico”.

Respostas do quinto passo: *“1. De acordo com a Teoria do Calórico, quando essas duas amostras de água entram em contato, há uma transferência de calórico da água mais quente para a mais fria, e assim, se iguala o número de calórico, havendo um equilíbrio térmico entre essas amostras de água. A teoria cinético-molecular diz que não há transferência de uma substância, e sim vibrações de moléculas, e que quando uma amostra quente (com bastante vibração entre as moléculas) entra em contato com uma amostra fria (pouca vibração entre as moléculas), elas começam a entrar em um mesmo ritmo de vibração, havendo assim um equilíbrio térmico; 2. Sim, pois apesar de dar conta de explicar vários fenômenos, foram surgindo questões que a Teoria do Calórico não conseguiu dar uma boa explicação. Um exemplo foi o canhão, que quando foi furado, houve um aquecimento grande e questionaram de onde veio aquela quantidade de calórico, pois se estivesse no canhão, este já teria derretido antes mesmo de ser furado. A explicação foi do calórico vir do meio ambiente, porém foi realizada outra experiência em um dia em que a temperatura estava alguns graus abaixo de zero e foi colocado gelo em atrito, e este começou a derreter, e não tinha como o calórico surgir do meio ambiente pois a temperatura estava abaixo da de fusão da água, e isso a teoria do calórico não deu conta de explicar; 3. Sim, de acordo com a Teoria do Calórico, quando objetos estão em atrito, grande transferência de calórico poderia vir também ao meio externo. A Teoria Cinético-Molecular diz que a energia vai para as partículas da superfície do corpo e assim quando entra em atrito há uma grande transferência de energia e aumento da temperatura; 4. Verificando se essas teorias conseguem explicar os fenômenos através de experiência de uma forma satisfatória. A mais convincente e que seus resultados se mostram mais aceitáveis é adquirida (para estudos por exemplo); 5. A cinético-molecular é mais convincente, pois a Teoria do Calórico não deu conta de explicar fenômenos que a cinético-molecular deu (exemplo: Danyel no frio); 6. As teorias vão tentando cada vez mais explicar fenômenos ocorridos. E podem se aprimorar por conseguir explicar de forma satisfatória esses fenômenos; 7. Pois uma teoria é certa até que entre outra, com resultados mais aceitáveis e contrarie essa teoria. Um exemplo é a cinético-molecular substituir a Teoria do Calórico”.*

Respostas do sétimo passo: *“1. Calor é energia que se dá pela vibração de partículas de um determinado corpo. A temperatura mede o grau de agitação dessas partículas; 2. (a) Pois quando esses dois corpos se atritam, há uma agitação das partículas, e assim, variação da temperatura, ou seja, ela se aquece; (b) Pois com o choque, o martelo está fazendo com que as*

partículas do ferro começam a vibrar, e isso conseqüentemente causa um aquecimento; (c) Quando se flexiona o arame, suas partículas começam a se movimentar, e com isso, pode acontecer de se romper o ligamento das partículas, isso acontecendo, faz com que o arame se rompa; (d) Teoria do Calórico: não, pois o fogo não deixa de transmitir calórico para a água, e esta não continua aquecendo. Teoria Cinético-Molecular: quando a água chega a aproximadamente 100°C, as suas partículas chegam a um nível de vibração, e que é o máximo no estado líquido. A partir daí, podem haver quebra nas ligações das moléculas e assim essas partículas voltam a vibrar, porém em um estado gasoso; 3. (a) Porque no atrito, há bastante acúmulo de calor e assim há um aquecimento; (b) Pois o martelo passa um pouco do seu calor para o prego e como este já possui um calor próprio, ele se aquece; (c) Porque parte do calor se concentra no local em que está sendo flexionado, e pode acontecer que o que está flexionando, passe um pouco de calor para o arame, assim com o aquecimento, ele vai se rompendo, como se estivesse começando a mudar seu estado físico; (d) Cada corpo teria um nível máximo de calor possível, então por mais que o fogo continue passando o seu calor para a água (líquida), esta já chegou no seu nível máximo, e o calor passa a ir para o meio ambiente; 4. Se elas dão conta de explicar de forma convincente os fenômenos que ocorrem, através de experiências; 5. A Teoria Cinético-Molecular consegue explicar os fenômenos provando através de experiências. A ‘teoria’, ou a idéias que eu tinha eu não pude experimentar para poder defendê-la. Então, não dá para dizer que uma é melhor que a outra, o que ocorre é que por enquanto a Teoria Cinético-Molecular consegue dar explicações convincentes e satisfatórias para os fenômenos”.

ALUNO 6

Respostas do primeiro passo: “1. Calor é a energia; 2. Temperatura é escala de medida da variação do calor; 3. Calor é a energia e a temperatura é o grau dessa energia; 4. Elas atingem a mesma temperatura pois ao se misturarem elas se tornam homogênea; 5. Elas aquecem por causa do movimento que gera calor”.

Respostas do terceiro passo: “1. Postulados da Teoria do Calórico: calor é uma substância invisível e sem peso; temperatura mede o grau de calor; o calor passa do mais quente para o menos quente; o calor não pode ser criado nem destruído; 2. Calor é uma substância invisível e sem peso. Temperatura mede o grau de calor; 3. Postulados da Teoria Cinético-Molecular: O corpo não tem calor, só energia; Calor é a transferência de energia; Temperatura é o grau de vibração das moléculas do corpo; 4. Calor é a transferência de energia; 5. Na teoria do calórico é explicado da seguinte maneira: Um corpo ao se aproximar de outro corpo com temperatura diferente é doado calor do mais quente para o mais frio até se igualarem. Na teoria Cinético-Molecular é explicado da seguinte maneira: um corpo ao se aproximar de outro corpo transfere a energia até atingirem a mesma vibração”.

Respostas do quinto passo: “1. A teoria do calórico diz que a temperatura atinge o equilíbrio pois o calor é um fluido que vai passando do mais quente para o mais frio até atingirem a mesma temperatura. Já a teoria cinético-molecular diz a temperatura atinge o equilíbrio pois ocorre uma agitação das moléculas que é transferido do mais quente para o mais frio; 2. A teoria do calórico teve problemas explicativos pois viu que na verdade o calor não tem massa, entrou em

contradição pois disse que o calor não podia ser criado. Ela não deu conta de explicar todos os fenômenos; 3. A teoria do calórico explicava esse aquecimento acontecia pois o calor estava distribuído dentro do objeto e ao entrar em atrito ele ia para a superfície. Mas um cientista questionou isso dizendo que se esse calor estivesse todo lá dentro, o objeto derreteria antes mesmo de entrar em atrito. O calórico se defendeu dizendo que na verdade o calor vinha da temperatura ambiente, mas assim ele entrava em contradição pois disse que o calor não podia ser criado; 4. Para verificar que uma teoria é melhor do que a outra temos que ver qual explica de forma mais clara o fenômeno, ver se a teoria da conta de explicar todos os fenômenos; 5. Eu acho que sim, pois a teoria do calórico entrou em contradição e não deu conta de explicar alguns fenômenos; 6. Elas baseiam-se em modelos que vão se aprimorando pois a cada teste eles descobrem coisas novas e que tem que se adaptar a teoria a essas novas descobertas; 7. É possível ser substituída pois se ela explica um maior número de fenômenos ela é mais aceita pois convence melhor as pessoas”.

Respostas do sétimo passo: “1. Calor é a agitação das moléculas. Temperatura é o grau de agitação das moléculas; 2. (a) Eles aquecem pois mesmo tendo a mesma temperatura ao se atritarem, produzem uma certa agitação, com essa agitação a temperatura aumenta, pois a vibração é maior; (b) Eles aquecem pois mesmo tendo a mesma temperatura ao se atritarem, produzem uma certa agitação, com essa agitação a temperatura aumenta, pois a vibração é maior; (c) Ao flexionarmos um pedaço de arame ele aquece porque as moléculas se movimentam com esse movimento a temperatura aumenta. Ele se rompe por causa da força exercida sobre o material; (d) A teoria do calórico não consegue explicar pois segundo essa teoria o calor deveria continuar aumentando pois se o calor é um fluido que passa do mais quente para o mais frio e a temperatura do aquecedor continuava aumentando a água também deveria continuar aumentando. A teoria cinético molecular explica dizendo que ao alcançar uma certa temperatura as moléculas que estão vibrando começam a se quebrar, então ao invés de a temperatura aumentar por causa das vibrações ela se mantém para quebrar as ligações das moléculas. Depois que essas moléculas são quebradas e a água entra em ebulição a temperatura continua aumentando; 3. Calor é a energia. Temperatura é a escala de medida da variação do calor; (a) Eles aquecem pois ao se atritarem a energia é produzida e aumenta; (b) Quando realizamos choques há uma mudança de temperatura pois é produzida uma energia; (c) Ao flexionarmos uma energia é produzida, fazendo com que a temperatura aumente; (d) A temperatura para de subir pois a energia chega num ponto daquela fase que ela não pode ser aumentada, só aumentando novamente quando em estado de ebulição; 4. Para comparar eu tentei ver qual teoria dava conta de explicar mais coisas. Vendo isso cheguei a conclusão de que a Teoria Cinético-Molecular é melhor, pois não há uma explicação convincente da minha teoria sobre o fato da temperatura a 100°C não subir mais; 5. A Teoria Cinético Molecular é melhor pois ela deu conta de explicar mais coisas como por exemplo o fato da temperatura da água a 100°C não subir mais”.

ALUNO 7

Respostas do primeiro passo: “1. Calor é uma energia formada pelo atrito; 2. É o termo usado para distinguir o nível de calor ou de frio de um corpo; 3. A diferença entre os dois é que a

temperatura engloba o calor e o frio e atribui um grau de temperatura a eles, enquanto o calor é apenas uma parte da temperatura; 4. Ao se misturar com a amostra de água fria, a quente irá resfriar. Porém, a fria irá se aquecer com o calor emitido pela água quente. Quando ambas as amostras chegarem na mesma temperatura, elas vão se estabilizar e manter a temperatura; 5. Porque o atrito causado quando esfregamos as mãos libera energia, e essa energia é o calor que aquece as mãos”.

Respostas do terceiro passo: “1. O primeiro é que o calor é um fluido invisível e de massa desprezível que é transferido de um corpo para outro quando esses dois corpos se interagem. A segunda é que esse fluido não pode ser criado nem destruído, apenas transferido de um corpo para o outro quando há interação entre eles; 2. O calor é um fluido invisível e de massa desprezível que é transferido de um corpo para outro quando esses dois corpos se interagem, e a temperatura mede a quantidade desse fluido (calor) nos corpos; 3. Calor é a energia transferida de um corpo para outro que provém da movimentação e/ou vibração das moléculas desse corpo; 4. Calor é a energia cinética transferida de um corpo para outro que provém da movimentação das moléculas desse corpo. Essa energia cinética é formada pela colisão das moléculas desse corpo entre elas mesmas e nas ‘paredes’ desse corpo. A temperatura mede a quantidade de energia cinética que um corpo possui; 5. Teoria do calórico: quando dois corpos interagem (um com mais calórico e o outro com menos) ocorre uma troca desse fluido invisível e sem massa, sempre do corpo com mais calórico para o corpo com menos calórico, até eles atingirem a mesma temperatura. Teoria Cinético-Molecular: quando dois corpos interagem (um com mais movimentação de suas moléculas e outro com menos), o com mais movimentação transfere energia cinética para o com menos movimentação, até eles atingirem a mesma vibração e se estabilizarem”.

Respostas do quinto passo: “1. Pela teoria do calórico, é explicado da seguinte maneira: a amostra de água mais quente passa calórico para a amostra de água mais fria, até ambas ficarem com a mesma temperatura. Pela teoria cinético-molecular, explica-se dizendo que as moléculas de água quente se movimentam mais que a da água mais fria, e, quando se misturam, as moléculas da água quente transferem energia cinética para a água mais fria, aumentando sua temperatura até que ambas se iguale; 2. Pela evolução do pensamento, bem como pela competição entre teorias rivais, vários testes foram realizados para testar os postulados da teoria do calórico e da cinético-molecular. Por meio desses testes, constatou-se que a teoria do calórico não explicava satisfatoriamente o fenômeno do calor, tendo seus postulados básicos sendo contraditórios; 3. Sim, ela diz que quando dois corpos entram em atrito, ocorre uma transferência de calórico (visto como um fluido invisível e sem massa) de um corpo para o outro. A do cinético-molecular explica que, quando ocorre o atrito, a agitação das moléculas gera energia cinética, que é transferida de um corpo para outro, aumentando a temperatura; 4. Para constatar qual das teorias é melhor, devemos levar em consideração a capacidade e a eficiência na explicação de ambas as teorias. Quando as explicações de uma teoria começam a ser contraditórias, ela vai perdendo força, até que é substituída por outra teoria que explica melhor o fenômeno; 5. A do cinético-molecular, pois a do calórico é contraditória em vários pontos, como por exemplo: em um dos postulados da teoria do calórico é dito que o calórico é um fluido que pode passar do ambiente para o corpo por um processo ainda desconhecido, porém, se esfregarmos dois cubos de gelo num ambiente mais frio que o cubo de gelo, os cubos derreterão. Isso contradiz esse postulado, e fortalece a teoria cinético-molecular que explica com sucesso

esse fenômeno; 6. Os modelos vão sempre se aprimorando, pois começam a surgir novas perguntas e novos testes e, se uma teoria não dá conta de explicar esses testes e perguntas, essa teoria deve ser aprimorada ou substituída por outra que explique; 7. Essas teorias sempre estão sujeitas a mudanças, quando não conseguem explicar satisfatoriamente um fenômeno elas vão enfraquecendo, e se surgir outra teoria que explique esse fenômeno satisfatoriamente, ou que explique mais fenômenos, essa teoria substitui a primeira”.

Respostas do sétimo passo: “1. Pela teoria cinético-molecular, calor é a energia transferida de um corpo para outro, quando há contato entre eles. Essa energia aumenta a vibração das moléculas. A temperatura mede a quantidade dessa energia transferida; 2. (a) Pois, com o atrito, é liberada energia, que aumenta a vibração das moléculas de ambos os corpos, aquecendo-os; (b) Pois a energia resultante da colisão entre dois corpos aumenta a vibração das moléculas desses corpos; (c) Porque há um aumento da movimentação das moléculas do arame no local onde há maior movimentação, onde aumenta a temperatura. Com a força que você está utilizando para movimentar esse arame ele se rompe, não pelo aumento de temperatura, mais sim pela baixa resistência sobre a força imprimida; (d) Na minha opinião, a teoria do calórico não é capaz de explicar esse fenômeno, pois nessa teoria sempre o corpo com mais calórico transfere esse calórico para o com menos, não explicando como a temperatura pode se manter. Já a do Cinético-Molecular explica que, ao atingir os 100°C, a água usa energia que recebe para quebrar algumas ligações de suas moléculas, sendo transferida para outro estado físico (gasoso), podendo haver o aumento de temperatura depois dessa transferência; 3. (a) Eu acreditava que, com o atrito aumentava o calor pela formação de energia, aumentando a temperatura dos corpos; (b) Com os choques, era formada energia que aquecia os corpos; (c) O movimento feito pelo arame libera energia, e essa energia aquece o corpo. Eu não conseguiria explicar o motivo do rompimento desse arame; (d) O que eu acreditava que era calor não dá conta de responder essa pergunta, pois se está sendo fornecido calor para água, sua temperatura continuaria a subir; 4. Eu utilizo a quantidade de fenômenos que cada uma explica, e a teoria do cinético-molecular explica mais fenômenos e de uma maneira mais satisfatória; 5. A do Cinético-Molecular, pois explica mais fenômenos que minhas idéias iniciais, e de uma maneira mais satisfatória que minhas idéias também”.

ALUNO 8

Respostas do primeiro passo: “1. Quando o tempo está muito quente, o sol está forte conseqüentemente estará calor; 2. A temperatura é usada para sabermos quanto que mede o tempo de um determinado ambiente; 3. A diferença é que se o tempo está quente vai estar calor. Já a temperatura vai medir o quanto de calor está num determinado ambiente; 4. Se em uma amostra de água está frio e na outra quente, misturando-as, elas vai ficar estáveis, a temperatura num vai ficar nem baixa e nem alta; 5. Porque elas transmitem calor”.

Respostas do terceiro passo: “Quanto maior a temperatura de um corpo, maior a quantidade de calórico em seu interior. O fluído calórico não pode ser criado ou destruído; 2. Calor é uma substância chamada calórico, com massa desprezível. O fluído sempre vai do corpo mais quente para o mais frio. Temperatura mede a quantidade de calórico de uma substância; 3. Quanto

maior a velocidade maior a energia cinética. Quanto maior a temperatura maior a energia cinético-molecular; 4. Calor é a transferência de energia térmica de um corpo para o outro, decorrente unicamente da diferença de temperatura que eles representavam. Temperatura é o grau de agitação das partículas. Quanto maior a oscilação maior a temperatura; 5. Teoria do Calórico: o corpo A após atingir o corpo B, a temperatura vai ficar estável. Teoria Cinético-Molecular: o corpo A após atingir o corpo B, vai aumentar a agitação dessas partículas”.

Respostas do quinto passo: “1. Quando dois corpos se interagem, a temperatura vai ficar estável, passando do corpo mais quente para o corpo mais frio. Portanto o corpo quente vai esfriar e o frio vai esquentar, ficando com uma temperatura igualada. Já na teoria cinético-molecular, conforme os dois corpos se interagem o grau de agitação dessas moléculas vão aumentar; 2. Sim, essa teoria teve problemas explicativos. Porque ela falava que o calor não podia ser criado, então não sabia explicar o atrito; 3. Não consegue, pois quando atritados eles liberam calor, e essa teoria dizia que o calor não podia ser criado e nem destruído. Na teoria cinético-molecular quando é feito o atrito, ocorre a vibração das partículas formando o calor; 4. Fazendo várias experiências, comprovando o que está sendo falado. Uma teoria tem que explicar satisfatoriamente seus postulados; 5. A Teoria Cinético-Molecular pode ter maior sucesso explicativo, pois comprovam com suas experiências feitas satisfatoriamente. Sim pode ser melhor que a outra, tendo um número de fenômenos maiores e explicados de maneira satisfatória; 6. Porque as teorias novas elas pegam o que tem de bom na teoria anterior e apenas corrige os seus erros; 7. Porque a ciência sempre vai procurar uma teoria que tem mais capacidade de explicar seus fenômenos satisfatoriamente”.

Respostas do sétimo passo: “1. Calor é a transferência de energia. Temperatura é o grau de agitação das partículas; 2. (a) Porque há uma transferência de energia de um material para o outro, o grau de agitação das partículas vai aumentando e a temperatura vai se aquecendo cada vez mais; (b) Porque a agitação das partículas rompe os ligamentos; (c) Conforme vamos flexionando a temperatura daquele local tende aumentar, e com esse aquecimento ele se rompe; (d) Com a teoria do calórico não é possível explicar esse fenômeno porque diz que um corpo vai ficar estável, passando do corpo mais quente para o corpo mais frio. Já na Teoria Cinético-Molecular, se esta elevando a temperatura vai ocorrer um aumento da vibração das partículas; 3. (a) Porque transmite calor de um material para o outro; (b) Não é possível explicar; (c) Também não consigo explicar do modo que disse na 1ª avaliação; (d) Porque se estou elevando a temperatura da água, conseqüentemente a água vai aumentar sua temperatura; 4. Só o fato das experiências feitas pela Teoria Cinético-Molecular ser satisfatórias já é o suficiente para meus critérios; 5. Sem dúvidas a Teoria Cinético-Molecular. Pois eu não sei explicar de uma maneira satisfatória e convincente, sem contar que não tenho experiências a ser feitas”.

ALUNO 9

Respostas do primeiro passo: “1. É uma forma de energia, produzida por algo que se movimenta; 2. É a medição do calor e pode se feita através de aparelhos como termômetro; 3. A temperatura é uma conseqüência do calor; 4. Porque o calor passa de onde tem mais para onde tem menos, tendendo ao equilíbrio; 5. Porque o contato entre dois corpos, produz calor”.

Respostas do terceiro passo: “1. Na teoria do Calórico, o calor é entendido como uma substância que se movimenta de um corpo para outro, e depende da diferença de temperatura entre eles, ou seja, o calor está dentro dos corpos e passa de onde tem mais para onde tem menos; 2. Calor é um fluido invisível e com massa desprezível que ‘passa’ de um corpo para outro. Temperatura é a quantidade de calor existente num corpo; 3. Na teoria Cinético-Molecular o calor é uma transferência de energia, de um corpo para outro, de diferentes temperaturas. Nessa teoria o calor não existe no interior de um corpo, ‘ele’ (calor) só se dá quando há uma relação entre os corpos; Calor é a transferência de energia entre corpos de diferentes temperaturas. Temperatura é a medição da vibração das moléculas de um corpo. Quanto maior a temperatura maior o grau de agitação das moléculas, quanto menor a temperatura, menor é a agitação das moléculas; 5. Na teoria do Calórico o fluido existente nos corpos, passa de onde tem mais para onde tem menos, tendendo ao equilíbrio. Na teoria Cinético-Molecular as moléculas dos corpos começam a vibrar, transferindo energia de um corpo para outro, até atingirem a mesma temperatura”.

Respostas do quinto passo: “1. Que o calor passa da substância mais quente para a mais fria, como um fluido. Na teoria Cinético-Molecular, quando as substâncias têm temperaturas diferentes, as moléculas se agitam e há uma transferência de energia, até atingirem a mesma temperatura; 2. Sim, pois algumas experiências ‘derrubaram’ alguns de seus postulados, como que o calor não pode ser criado nem destruído e, que ele passa de onde tem mais para onde tem menos; 3. Sim. A teoria do Calórico diz que com o atrito, o calor contido nas substâncias é ‘espremido’, aquecendo a superfície da substância. A teoria Cinético-Molecular atribui esse aquecimento ao grau de agitação das moléculas; 4. Explicar os fenômenos que a outra teoria explica, e também os fenômenos que a outra não consegue explicar satisfatoriamente; 5. A teoria Cinético-Molecular, pois ela explica os fenômenos que a teoria do Calórico também explicavam e outros que não explica, de maneira satisfatória e, além disso conseguiu ‘derrubar’ os seus postulados. Uma teoria não é melhor que a outra, apenas se completam e se aprimoram; 6. A teoria Cinético-Molecular, só existe por causa da teoria do Calórico. É uma teoria mais detalhada. 7. Podem se substituídas, mas é sempre bom ter conhecimento das anteriores para saber como se chegou a atual”.

Respostas do sétimo passo: “1. Calor é uma transferência de energia, que se dá pela diferença de temperatura dos corpos. Temperatura mede o grau de agitação das moléculas; 2. (a) Porque ao entrarem em contato, as moléculas se agitam e a temperatura aumenta; (b) Porque quando os corpos se chocam, há uma pequena agitação das moléculas, que se aquecem, ao entrarem em contato; (c) Porque há uma transferência de energia da nossa mão para o arame, que aumenta a temperatura. O arame se rompe devido a força externa (força muscular) exercida sobre ele; (d) Não, porque a teoria do Calórico diz que o calor passa de onde tem mais para onde tem menos, e a temperatura do fogo é bem maior que a da água e essa não aquece mais do que os 100°C (pelo menos até mudar de fase). A teoria Cinético-Molecular diz que quanto maior a temperatura maior a agitação das moléculas. Quando a água chega aos 100°C a energia transferida pelo fogo é usada para romper a ligação entre as moléculas, até a mudança de estado. Depois a temperatura sobe até a molécula se desintegrar (no caso da molécula de água 1500°C); 3. (a) Atritar dois materiais e choques (b): eles se aquecem porque dois corpos em contato produzem calor; (c) arame: ao flexionarmos o arame ele se aquece, ao entrar em contato com nossas mãos, e se rompe pela força que exercemos sobre ele; (d) água: porque o calor

passa de onde tem mais para onde tem menos até chegar a um equilíbrio. Eu achava que o fogo estaria na mesma temperatura da água, ou seja, 100°C; 4. Não são melhores, porque as minhas idéias iniciais misturavam a teoria do Calórico e a teoria Cinético-Molecular e, não explicavam o fenômeno da água não aquecer-se depois de 100°C; 5. As explicações da teoria Cinético-Molecular, porque explicava melhor os fenômenos que ocorrem, e também outros que a minha concepção não explicaria”.

ALUNO 10

Respostas do primeiro passo: “1. Calor é um tipo de temperatura, ele é quente, faz com que transpiramos; 2. É a medida, temperatura ela mede o calor; 3. Calor é uma sensação, sentimos e temperatura ela apenas mede o calor; 4. Porque a maior temperatura estabelece ao se juntarem; 5. Porque uma se junta a outra, estando junta e se mexendo ela se esquenta, a temperatura esta em movimento e não parada”.

Respostas do terceiro passo: “1. Que o calor é um fluido, ele vai do mais quente pro mais frio, que a temperatura mede o grau de calor; 2. Calor é um fluido, sem peso, invisível, do mais quente pro mais frio. Temperatura mede o grau de calor; 3. Elas explicam calor e temperatura de modos diferentes. Onde calor se transita em diferentes temperaturas e a agitação das moléculas é a temperatura; 4. Calor é a energia em trânsito, em diferentes temperaturas. Temperatura é o grau de agitação das moléculas; 5. Teoria do Calórico: dois corpos com temperaturas diferentes ao se juntarem atingem a mesma temperatura, equilíbrio térmico. Teoria da Cinético Molecular: dois corpos com agitação das moléculas diferente, quando se encontram atingem a mesma agitação, equilíbrio térmico”.

Respostas do quinto passo: Nada consta.

Respostas do sétimo passo: 1. Nada consta; “2. (a) Porque houve atrito entre eles; (b) Porque eles estão vibrando e aumentando a temperatura; (c) Porque a energia está aumentando, deixando-o mole e fazendo com que se rompa; (d) A teoria do calórico não consegue, por ela continuaria subindo, já a cinética molecular consegue, pois as moléculas vão estar vibrando; 3. Calor é energia. Temperatura mede a quantidade de calor; 4. Por elas vibraram a temperatura aumenta; 5. Calor e temperatura são vinculados uma necessita da outra”.

ALUNO 11

Respostas do primeiro passo: “1. É a parte quente da temperatura; 2. É o clima da terra, quando uma parte está virada para o sol a temperatura é quente e a parte que não está virada está fria; 3. O calor é apenas quente e a temperatura pode ser quente ou fria; 4. Porque elas precisam se estabilizarem; 5. Por causa do calor entre elas”.

Respostas do terceiro passo: “1. O calor é um fluido invisível e sem massa que ao encostar em um corpo deixa-o equilibrado com o corpo do calor; 2. Que o calor é uma substância real que existe em um corpo, ele é invisível e de massa desprezível, e temperatura por exemplo, se um corpo tem 100°C e outro tem 20°C quando eles se encontram fica equilibrado a temperatura em 60°C, quanto maior o calor maior a temperatura; 3. O calor não existe, ele transfere energia de um corpo para outro; 4. Temperatura mede o grau das partículas e o calor é energia, calor é a transferência de energia; 5. Calórico – se dois corpos possuem temperaturas diferentes, eles têm que se encostar pra ocorrer um equilíbrio. Cinético-Molecular – um corpo passa calor para o outro, assim aumenta a temperatura de um e diminui a do outro”.

Respostas do quinto passo: nada consta.

Respostas do sétimo passo: “1. É o movimento das moléculas que são ligadas umas as outras e temperatura mede a quantidade de calor; 2. (a) Porque as moléculas ficam agitadas; (b) Pelo mesmo motivo, as moléculas se agitam, mais é bem pouco; (c) Por bastante movimentos ele se aquece e se rompe; (d) Porque 100°C é o limite, daí quando chega nessa temperatura muda de fase porque já está muito quente; 3. (a) Porque a temperatura de um material se junta com a do outro material, daí fica mais quente; (b) Mesma coisa da resposta acima; (c) Acho que é mais pela força muscular mesmo; (d) Porque 100°C é o limite daí quando chega nessa temperatura muda de fase porque já está muito quente; 4. A lógica; 5. A da Teoria Cinético-Molecular porque tenho certeza que é melhor do que a minha, mas a minha sobre o arame acho que tá mais certa”.

ALUNO 12

Respostas do primeiro passo: “1. Calor é uma forma de energia gerada por atritos e reações físicas; 2. Temperatura é algo instável e varia de um lugar para o outro, devido fatores como clima, estações e reações; 3. Temperatura é algo instável e pode variar conforme alguns fatores, já o calor é algo gerado por certos fatores produzindo a energia; 4. Quando nós misturamos água quente com água fria, teremos uma reação parecida com ambas, a temperatura da água quente vai esfriar em contato com a água fria, e o mesmo acontece com a água fria que tende a esquentar, assim ambas atingem a mesma temperatura; 5. Porque o atrito de nossas mãos geram o calor, que por sua vez nos esquentam”.

Respostas do terceiro passo: “1. A teoria do calórico afirma que a temperatura de um corpo refere-se a quantidade de calórico que ele possui, e quando existe um contato com um corpo de diferentes temperaturas é transferido uma quantidade de calórico do mais quente para o mais frio. O calor não tem peso e é invisível; 2. Calor é a quantidade de calórico de um corpo e a temperatura mede essa quantidade de calórico; 3. A teoria cinético-molecular afirma que a temperatura de um corpo refere-se a agitação das moléculas, quanto maior essa agitação maior a sua energia, quando entra em contato com outro corpo essa energia que é transferida recebe o nome de calor, porém só ocorre quando as temperaturas são diferentes; 4. Calor é a energia transferida de um corpo para o outro, quanto maior a agitação das moléculas, maior a energia. Temperatura é medição da agitação das partículas; 5. Segundo a teoria do calórico quando dois

corpos de diferentes temperaturas entram em contato o que possui maior calórico transfere uma certa quantidade até os dois corpos atingirem a mesma temperatura. Segundo a teoria cinético-molecular quando um corpo entra em contato com outro a uma transparência de energia, que é a agitação das partículas, ocorre essa transferência até os dois corpos atingirem a mesma temperatura”.

Respostas do quinto passo: “1. Na teoria do calórico, a água que esta mais aquecida possui mais calórico, e em contato com a água fria ocorre uma transferência desse calórico igualando as temperaturas. Na teoria cinético-molecular a temperatura da água se dá pela agitação das moléculas, a água quente quando em contato com a água fria equilibra a agitação dessas moléculas; 2. Ela teve problemas porque se contradisse quando afirmou que existia calórico dentro da substância uniformemente e no processo de perfuração do canhão a temperatura era alta e o atrito produzia mais calor, segundo essa teoria o canhão se produzisse mais calórico deveria se fundir, então foi provado que essa teoria estava errada pois o canhão estaria recebendo uma quantidade de calórico que o derreteria; 3. A teoria do calórico não conseguia explicar porque ele afirmava que um corpo possuía uma quantidade uniforme de calórico e que ele só seria transferido se entrasse em contato com uma substância de diferente temperatura, e esse atrito conseqüentemente produzira mais calórico. A teoria cinético-molecular consegue, pois ela afirmava que o calor é a energia transferida de um corpo para o outro, ou seja, o atrito produz esse calor, não a substância em si; 4. e 5. Eu avalio uma teoria segundo a maior quantidade de fenômenos explicados por ela. A teoria do calórico se contradiz em explicar o fenômeno do atrito, já a cinético-molecular deixa claro esse fenômeno pois a base de sua explicação é a transferência de energia que produz o calor, ao contrário da teoria do calórico, que diz que o calórico está distribuído na substância; 6. e 7. As teorias se baseiam em modelos que vão se aprimorando, pois ela pode encontrar fenômenos que não podem ser explicados, então ela vai se aprimorando até satisfazer a explicação de todos fenômenos ocorridos ou da maioria. As teorias que explicam maior número de fenômenos é considerada a melhor, como no caso da teoria do calórico e da cinético-molecular. A teoria do calórico explica até um certo ponto e a cinético-molecular consegue supri-la, assim sendo considerada a mais apropriada”.

Respostas do sétimo passo: “1. Calor é a transferência de energia de um corpo para o outro e a temperatura mede o grau de agitação das moléculas; 2. (a) Porque ocorre a agitação das moléculas e ocorre a transferência da energia cinética para a energia térmica; (b) Porque quando se atritam as moléculas aumentam seu grau de agitação, conseqüentemente gerando o aquecimento; (c) Porque as moléculas se aquecem devido a agitação e o movimento de flexão, e se rompem devido a força exercida sobre o arame que separam as moléculas; (d) A teoria do calórico não consegue explicar o fenômeno da evaporação pois ela afirma que o calor é uma substância e devido a isso não explica esse fenômeno, já a teoria cinético-molecular diz que as moléculas se agitam até certo ponto, quando ocorre o seu rompimento e a mudança de estado físico; 3. As minhas idéias anteriores não possuem fundamentos nem base para explicar os fenômenos citados pois antes eu não possuía a noção de calor e temperatura que as aulas de física me proporcionaram; 4. e 5. O critério de que na teoria cinético-molecular apresenta um maior número de fenômenos explicados e com certeza é mais favorável que as minhas antigas idéias, pois ela é capaz de explicar fenômenos antes não compreendidos por mim”.

ALUNO 13

Respostas do primeiro passo: “1. É uma sensação de algo quente. Esta sensação é maior no verão, pois o nosso corpo mantém uma certa temperatura interna, e a temperatura externa é maior causando o calor que tanto falamos (e também a temperatura externa influencia na interna); 2. Bom esta palavra temperatura lembra outras 3 (três): tempero ou temporário ou tempo. Então temperatura deve ser uma mistura de climas (tempero) que é temporário (por algum tempo) e que representa através de números se a sensação (não só climática) está fria e calor; 3. Calor pode-se dizer que é um clima, sensação e um tipo de força e temperatura é algo que mede esta sensação e mostra a partir de quantos ou do que já é o calor. (ah... tá confuso, né?!); 4. Bom, é como se fosse uma conta de menos, temperatura maior menos a menor, ainda sim ia sobra mais depois o restante atingiria a temperatura ambiente do local; 5. Porque são corpos e em atritos produzem calor, assim como bater um pedaço de ferro no asfalto”.

Respostas do terceiro passo: “1. e 2. Calor é uma substância, fluido, invisível, sem massa e que passa do corpo mais quente para o mais frio. A temperatura é a medida deste calor. Quanto mais calórico maior é a temperatura, menos calórico, menos temperatura; 3. e 4. Calor é uma energia e temperatura é o grau de movimento desta energia. No caso de um corpo sólido, onde as moléculas estão organizadas, ao receber esta energia elas vão começar a se movimentar e acabam se batendo em outras que também vão se movimentar, quanto maior o movimento maior é a temperatura, menor movimento menor temperatura; 5. Calórico: o corpo mais calórico, ao estar junto com um menos calórico atingem a mesma temperatura pois esta substância invisível (o calor) flui do corpo mais quente para o corpo mais frio. Cinético-molecular: a energia de um corpo é transferida ao outro, fazendo com que ambos se movimenta. O que tem mais energia ao transferir perde um pouco de movimento e o outro que tinha pouco ganha mais, sendo assim, os dois ficam estáveis. Do mais quente para o mais frio”.

Respostas do quinto passo: “1. Teoria do calórico – as amostras chegam a um equilíbrio, pois um fluido parte da substância mais quente para a mais fria, mantendo temperaturas parecidas. Teoria do Cinético – as amostras chegam a um equilíbrio, pois a energia em transito movimenta as moléculas, fazendo com que elas possam atingir uma mesma temperatura; 2. Sim, porque em alguns modelos a idéia não se coincidia com os postulados, ou até dava possibilidades sem uma certa explicação ou comprovação. E que em certos casos tiveram que reconhecer que a idéia não era a mais apropriada para uma tentativa de explicação do calor; 3. Não, porque segundo o calórico o aquecimento obtido pelo atrito é causado pela pressão exercida sobre o corpo, que por sua vez empurra o calórico p/ fora. Sendo assim não saberia explicar porque no atrito o calórico é bem maior do que já tinha no corpo (ex: canhão). Na Teoria do cinético o atrito que é uma força cinética é transformada em força térmica, causando assim um aquecimento maior ou menor, dependendo da força aplicada no corpo; 4. Verificaria se as teorias apresentadas chegariam o mais perto daquilo eu estou presenciando, e também teria que me convencer, e verificaria as que tivesse menos falhas. No caso do gelo em atrito a teoria calórica dizia que o gelo não derreteria por estar no ambiente frio, fazendo a experiência se percebe que derrete, e a previsão da teoria calórica neste caso falhou. Um ponto a menos na minha avaliação; 5. Para mim a melhor teoria seria a do cinético, pois as decorrer de seus estudos foi a que menos demonstrou falhas, também mostrou modelos mais exatos e não deixou a desejar. E acho sim que

uma teoria pode ser melhor que a outra, porque elas estudam idéias e modelos que realmente possa ser o 'melhor'; 6. Apresenta modelos que vão se aprimorando. Acredito que se eles descobrirem mais alguma coisa sobre as suas idéias com certeza vão adotar para fortalecer as duas teorias; 7. Sim, neste caso a cinética substitui a calórica por apresentar melhores explicações para mais fenômenos e a qualquer momento ela também pode ser substituída”.

Respostas do sétimo passo: 1. Nada consta; “2. (a) Porque quando os dois se atritam causa um movimento nas moléculas, este movimento provoca o aquecimento entre ambas as partes; (b) Porque esta sendo aplicada uma força, e neste impacto há uma transição de energia, esta energia em transito faz as moléculas se movimentarem, se movimentando existe o aquecimento; (c) Porque você está dando a ele movimento, e o movimento faz as moléculas se mexerem, fazendo com que a energia em transito quebre-as, distribuindo a sua estrutura; (d) A teoria do calórico explica este fenômeno em partes. Para ser um aquecedor, seria necessário que ele tivesse em seu interior muito calórico, que já que não é destruído ou criado seria transformado tendo como sua matéria prima a energia elétrica. Pelo fato de que o calórico flui do corpo mais quente para o frio, aqueceria a água chegando a um determinado limite. Por ser uma substância e que flui para uma outra (porque água é uma substância) podemos considerar que existe um choque entre ambas que fizesse quebrar essas pontes. Isto só ocorreria pelo tanto de calórico que flui de uma vez só. (Faz de conta!). A teoria do cinético com certeza explica. A água após entrar em estado de ebulição aonde todas as duas moléculas já estão em agitação começa a evaporar pois neste movimento causa a quebra entre elas; 3. Nem vou tentar explicar pois a minha possível teoria é bem pior do que a do calórico, não chega a explicar nenhum fenômeno. Então deixa quieto! Fora de cogitação!; 4. 1º convence ou não, 2º a que possui menos falhas, 3º a que mais chega perto daquilo que presencio; 5. A cinético molecular. Sem comparações, lê a minha suposta teoria da primeira avaliação que você vai entender”.