

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Faculdade de Educação

**TRAJETÓRIAS DE
APRENDIZAGEM DE ALUNOS DE
ENSINO MÉDIO: PRODUÇÃO DE
SIGNIFICADOS EM UM CURSO
INTRODUTÓRIO DE FÍSICA
TÉRMICA**

Gabriel Dias de Carvalho Júnior

Belo Horizonte – MG
2005

Gabriel Dias de Carvalho Júnior

**TRAJETÓRIAS DE APRENDIZAGEM DE ALUNOS DE ENSINO
MÉDIO: PRODUÇÃO DE SIGNIFICADOS EM UM CURSO
INTRODUTÓRIO DE FÍSICA TÉRMICA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação da Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito para obtenção do título de Mestre em Educação.
Linha de Pesquisa: Espaços Educativos, Produção e Apropriação de Conhecimentos.
Orientador: Prof. Dr. Orlando Gomes Aguiar Júnior.

**Universidade Federal de Minas Gerais
Faculdade de Educação
Belo Horizonte – MG
2005**

FOLHA DE APROVAÇÃO

Autor: Gabriel Dias de Carvalho Júnior

Título: Trajetórias de Aprendizagem de Alunos de Ensino Médio

Subtítulo: Produção de Significados em um Curso Introdutório de Física Térmica

Tipo de Trabalho: Dissertação de Mestrado

Banca Examinadora:

Nome: Professor Doutor João Antônio Filocre Saraiva

Nome: Professor Doutor Antônio Tarcísio Borges

Nome: Professor Doutor Orlando Gomes Aguiar Júnior (Orientador)

PARECER:

Grau aprovado (X) reprovado () reformular ()

Local: Belo Horizonte Data: 24/02/2005

Assinatura dos Examinadores:

Prof. Dr. João Antônio Filocre Saraiva

Prof. Dr. Antônio Tarcísio Borges

Prof. Dr. Orlando Gomes Aguiar Júnior

DEDICATÓRIA

Essa pesquisa, e tudo o mais que já consegui e irei conseguir, é dedicada às duas pessoas que sempre estão ao meu lado e que me apóiam e, principalmente, me amam de forma incondicional. Seria por demais repetitivo se tivesse que enumerar os momentos em que abri mão do convívio com elas para me dedicar ao estudo dos livros e textos, à análise dos dados e à redação desse texto. Foram mais momentos assim do que de interação com elas nesses dois anos.

Sem que pudesse perceber, me vi envolvido por fitas, textos, teorias e vídeos. E quanto mais entrava no universo da pesquisa, mais me afastava do universo dessas duas pessoas. Acabei por fazer uma troca.

Por isso, dedicar esse trabalho a Andressa e Gabriel Henrique parece um pedido de desculpas. Mas, não é. Não há desculpas para o tempo que passou.

Dedicar esse trabalho a Andressa e Gabriel Henrique é reconhecer que se vocês não estivessem ao meu lado, mesmo que eu não notasse às vezes, eu não teria conseguido.

Obrigado por serem Andressa e Gabriel Henrique!

Amo vocês!

AGRADECIMENTOS

Não é possível estabelecer uma ordem para as pessoas que aparecerão nesta lista de agradecimentos, pois não há como medir o nível de gratidão para com elas.

Agradeço por ter Andressa e Gabriel Henrique e pela resignação com que abriram mão da minha companhia nesses dois anos.

Obrigado Orlando, pelos ensinamentos, puxões de orelha e por apontar caminhos e me deixar segui-los. Os exemplos de dedicação profissional, ética e doação vão ficar para sempre marcados em minha trajetória pessoal. Orlando encarna aquilo que podemos chamar de “mestre”. Para mim, foi um grande privilégio poder ter sido seu orientando!

Agradeço ao professor Dr. Antônio Tarcísio Borges pelas considerações apresentadas na avaliação do projeto de pesquisa.

Valeu Pai, Mãe, Lara e Fabrício pelos bons fluidos que me colocavam no prumo.

Valeu Arcanjo, Zelinha e toda a família Zinato por me acolherem como alguém da família e sentirem as alegrias e angústias desses anos.

A todos alunos do 2ºD de 2003 do Marista pela devoção e disposição com que atenderam ao meu chamado.

Aos alunos do 3º ano do Marista de 2002 que em muito me ajudaram na pesquisa exploratória.

Aos professores do departamento de física do Marista que contribuíram de uma forma ou de outra para a condução da pesquisa.

Obrigado Irmão Afonso Murad, Franco Nápoli, Roberto Gameiro, Jaqueline de Jesus e Solange Fonseca por me apoiarem, confiarem em mim e abrirem o Marista para que eu pudesse conduzir a minha pesquisa.

Valeu Evandro Nascimento, Guilherme Roedel pela solicitude com que vocês atenderam aos meus pedidos.

Valeu Fernando Gibi, pela dedicação apresentada na condução dessa pesquisa.

Meus agradecimentos aos professores Dr. João Antônio Filocre Saraiva e Dr. Antônio Tarcísio Borges pela disponibilidade em nos atender para compor a banca examinadora.

Meu muito obrigado a todos os que colaboraram direta ou indiretamente para que essa pesquisa pudesse ser feita.

Valeu!

Resumo

O objetivo dessa pesquisa é acompanhar os caminhos seguidos por estudantes de Ensino Médio, aqui chamados de “trajetórias de aprendizagem”, em um curso introdutório de Física Térmica. Queríamos investigar, (1) o papel que os modelos explicativos construídos pelos estudantes ao longo de uma intervenção didática cumprem na aprendizagem dos conceitos e das relações da Física Térmica e (2) a função que o modelo cinético-molecular desempenha no entendimento das relações conceituais da Física Térmica.

A hipótese central é a de que, durante o processo formal de ensino-aprendizagem, o estudante constrói e modifica seus modelos explicativos sobre o assunto abordado. Tais modelos servem de base para a construção de novos significados durante todo o processo, apoiando ou criando obstáculos às aprendizagens subsequentes. Portanto, procuramos investigar a evolução dos modelos explicativos construídos pelos estudantes em situações reais de sala de aula.

O marco teórico fundamental dessa pesquisa é a teoria dos campos conceituais de VERGNAUD (1990, 1993 e 1998), porque essa é uma teoria que, ao nosso ver, melhor apresenta elementos para se analisar o sujeito-em-ação, foco de nossa investigação. Para esse autor, o conhecimento está organizado em campos conceituais cujo domínio, por parte do aprendiz, vai acontecendo ao longo de um extenso período de tempo, por meio da experiência, maturidade e aprendizagem (MOREIRA, 2002).

Construímos e pré-testamos uma seqüência de ensino orientada para responder às características dessa pesquisa. A aplicação de tal seqüência ocorreu ao longo dos meses de agosto a outubro de 2003, em uma sala de aula de segunda série do ensino médio. Os alunos estavam divididos em grupos e escolhemos um dos grupos, com 7 alunos, para um acompanhamento mais intenso. Em dois momentos ao longo do processo, os estudantes responderam, individualmente, às questões sobre os assuntos tratados. As aulas foram filmadas

e, após a transcrição, cada atividade e as trocas entre os alunos eram avaliadas. Após 7 meses do final da aplicação da seqüência de ensino, conduzimos entrevistas com os alunos pesquisados.

Portanto, contamos as seguintes fontes para coleta de dados: (1) respostas dadas pelos estudantes às questões e aos problemas constantes na seqüência de ensino; (2) registros escritos das construções coletivas do grupo acompanhado que eram recolhidos após cada atividade aplicada; (3) momentos de interação entre os estudantes do grupo e entre eles e o professor, obtidos por meio das filmagens das aulas e (4) registros em áudio e vídeo das entrevistas com os alunos do grupo acompanhado.

A partir da teoria de campos conceituais de Vergnaud, procuramos, nos conceitos-em-ação e teoremas-em-ação construídos pelos estudantes, os elementos que permitiram compor as trajetórias de aprendizagem deles.

Esperamos que os resultados obtidos por essa pesquisa possam servir de inspiração para novas investidas por outros professores, em outros tópicos de conteúdo das ciências. Esse fato pode contribuir para que o ensino com bases construtivistas atinja em cheio no chão da sala de aula, permitindo aos alunos maneiras mais significativas de se aproximar dos objetos de conhecimento.

Abstract

The objective of this research is to accompany the ways that are followed for secondary level students, here they are designated “learning trajectories”, in a Thermic Physics introductory course. We have wished to investigate, (1) the role that explanatory models are elaborated by students alongside of didactic intervention they fulfill on Thermic Physics concept and relation learning and (2) the function which kinetic-molecular model perform on understanding of the Thermic Physics conceptual relations.

Our fundamental hypothesis is one of that, during the teaching and learning formal process, student elaborates and modifies his explanatory models about the subject on discussion. These models serve as base for new meaning construction during all process, supporting or creating obstacles to the following learning. Therefore, we look for searching the evolution of explanatory models that are elaborated by students in class-room actual situations.

The fundamental theoretical mark from that research is the conceptual field theory by VERGNAUD (1990, 1993 and 1998), because it is a theory which, we can see, better and better presents elements in order to analyze the subject-in-action, focus of our search. For that author, the knowledge is organized on conceptual fields, which on the part of learner, it goes on happening alongside of an extensive period of time, by means of experience, maturity and learning (MOREIRA, 2002).

A pre-tested teaching sequence has been guided in order to answer to the characteristic of that research. The application of this sequence has occurred alongside of months from 2003 August to October in a high school second year classroom. Students were divided into groups and one of the groups was chosen, with seven students, for a more intensive accompaniment. In two moments alongside of process, students have individually answered to the questions about the subjects in discussion. Classes were filmed and, after transcription, each activity and exchanges among students were evaluated. After seven months at the

end of teaching sequence application, interviews were led with the researched students.

Therefore, we count the following sources for collection of data: (1) answers have been given by students to the constant questions and problems on teaching sequence; (2) in writing registration after each applied activity of the accompanying group collective constructions which were gathered each applied activity; (3) interaction moments among students of group and between them and the teacher, they are obtained by means of class filming and (4) audio and video registers of the interviews for the students of accompanying group.

Using Vergnaud's conceptual field theory, we seek, on concepts-in-action and theorems-in-action elaborated by students, the elements allowed to compose their learning trajectories.

We hope obtained results from that research can serve as inspiration for new thrusts for other teachers on other science contents topics. This fact can contribute in order that teaching with constructivism bases reach fully in classroom background, allowing more significant methods to the students for approximating of the knowledge objects.

*“não vou me deixar embrutecer,
eu acredito nos meus ideais
podem até maltratar o meu coração
que o meu espírito ninguém vai conseguir quebrar”
(Renato Russo)*

Sumário

Resumo	6
Abstract	8
Sumário	11
Lista de Figuras	14
Lista de Tabelas	15
Lista de Quadros	16
Introdução	17
1. Justificativa	21
2. Objetivos	29
3. Delimitação do Objeto	30
4. Formulação do Problema	30
5. Estrutura da Dissertação	32
Capítulo 01 – Referenciais Teóricos	35
Introdução	35
1.1 – Questões Relacionadas com o Processo Ensino-Aprendizagem	36
1.2 – Processos de Modelagem no Ensino e na Aprendizagem em Ciências ...	41
1.3 – Os Campos Conceituais de Vergnaud	47
1.4 – Os Estilos de Aprendizagem	55
Capítulo 02 – O Desenho da Pesquisa	61
2.1 – Uma Postura Inspirada na Etnometodologia	61
2.2 – Caracterização do Espaço da Pesquisa	64
2.3 – Planejamento das Atividades	67
2.4 – Momentos para a Caracterização das Trajetórias de Aprendizagem	69
Capítulo 03 – Construção dos Instrumentos de Pesquisa	71
Introdução	71
3.1 – A Física Térmica como um Campo Conceitual	72
3.1.1 – Conjunto de situações a compreender e a tratar	73
3.1.2 – Os conceitos-em-ação	74
3.1.3 – Os teoremas-em-ação	76
3.2 – Uma Breve Revisão de Estudos sobre Ensino e Aprendizagem de Calor e Temperatura	77
3.3 – Construção da seqüência de ensino	80
3.4 – O Estudo Exploratório	88
3.5 – Construção de instrumentos para a caracterização das trajetórias de aprendizagem	92
3.5.1. Pré-Teste	92
3.5.2. Teste 1	93
3.5.3. Teste 2	95
3.5.4. Entrevistas	96
Capítulo 04 – Apresentação e Análise dos Resultados	102
Introdução	102
4.1 – O Desenvolvimento da Seqüência de Ensino em Sala de Aula	103
4.1.1 – Aula 01 – 29/08/2003	104
4.1.1.1 - Atividade 01	105
4.1.1.2 - Leitura 01	109

4.1.2 – Aula 02 – 01/09/2003	110
4.1.3 – Aula 03 – 08/09/2003	112
4.1.3.1 - Episódio 01	112
4.1.4 – Aula 04 – 12/09/2003	120
4.1.4.1 - Episódio 02	120
4.1.5 – Aula 05 – 15/09/2003	124
4.1.5.1 - Episódio 03	125
4.1.6 – Aula 06 – 19/09/2003	126
4.1.7 – Aula 07 – 22/09/2003	128
4.1.8 – Aula 08 – 26/09/2003	129
4.1.9 – Aula 09 – 29/09/2003	130
4.1.10 – Aula 10 – 03/10/2003	130
4.1.10.1 - Episódio 04	131
4.1.11 – Aula 11 – 06/10/2003	136
4.1.12 – Aula 12 – 10/10/2003	137
4.1.13 – Aula 13 – 17/10/2003	137
4.1.14 – Aula 14 – 20/10/2003	138
4.2 – Construção das Categorias de Análise	138
4.3 – Caracterização das Trajetórias de Aprendizagem	140
4.3.1 – Ana Paula	142
4.3.1.1 – Perfil do aluno	142
4.3.1.2 – Pré-Teste	142
4.3.1.3 – Teste 1	143
4.3.1.4 – Teste 2	144
4.3.1.5 – Entrevista	145
4.3.1.6 – Quadro comparativo	147
4.3.2 – Carla	148
4.3.2.1 – Perfil do aluno	148
4.3.2.2 – Pré-Teste	148
4.3.2.3 – Teste 1	149
4.3.2.4 – Teste 2	149
4.3.2.5 – Entrevista	150
4.3.2.6 – Quadro comparativo	152
4.3.3 – Cleiton	153
4.3.3.1 – Perfil do aluno	153
4.3.3.2 – Pré-Teste	154
4.3.3.3 – Teste 1	154
4.3.3.4 – Teste 2	155
4.3.3.5 – Entrevista	156
4.3.3.6 – Quadro comparativo	157
4.3.4 – Eduardo	158
4.3.4.1 – Perfil do aluno	158
4.3.4.2 – Pré-Teste	158
4.3.4.3 – Teste 1	159
4.3.4.4 – Teste 2	159
4.3.4.5 – Entrevista	160
4.3.4.6 – Quadro comparativo	161
4.3.5 – Flávia	162

4.3.5.1 – Perfil do aluno	162
4.3.5.2 – Pré-Teste	162
4.3.5.3 – Teste 1	163
4.3.5.4 – Teste 2	163
4.3.5.5 – Entrevista	163
4.3.5.6 – Quadro comparativo	165
4.3.6 – Lara	166
4.3.6.1 – Perfil do aluno	166
4.3.6.2 – Pré-Teste	167
4.3.6.3 – Teste 1	167
4.3.6.4 – Teste 2	167
4.3.6.5 – Entrevista	168
4.3.6.6 – Quadro comparativo	170
4.3.7 – Samuel	171
4.3.7.1 – Perfil do aluno	171
4.3.7.2 – Pré-Teste	171
4.3.7.3 – Teste 1	172
4.3.7.4 – Teste 2	173
4.3.7.5 – Entrevista	173
4.3.7.6 – Quadro comparativo	175
4.4 – Síntese Final do Capítulo	176
Capítulo 05 – Considerações Finais	179
5.1 – Em busca de respostas	180
5.1.1 – Construindo na diversidade	180
5.1.2 – Análise das questões de pesquisa	182
5.2 – Reflexões acerca do processo ensino-aprendizagem	187
5.2.1 – A distinção entre calor e temperatura e o modelo cinético- molecular	187
5.2.2 – Os diferentes estilos de aprendizagem	188
5.2.3 – A avaliação de aprendizagens e a nota	189
5.2.4 – Os campos conceituais de Vergnaud	190
5.3 – Questões em aberto	191
5.4 – À guisa de conclusão	192
Bibliografia	194
Anexo I – A Seqüência de Ensino	199
Anexo II – Testes 1 e 2	231
Anexo III – Planejamento das atividades da seqüência de ensino	234
Anexo IV – Questões para a entrevista	236
Anexo V – Respostas dos alunos do grupo acompanhado	239
Anexo VI – Entrevistas – 1º semestre de 2004	247
Aluna: Ana Paula	248
Aluna: Carla	251
Aluno: Cleiton	253
Aluno: Eduardo	256
Aluna: Lara	258
Aluno: Samuel	262

Lista de Figuras

Figura 1.1 - Relação entre o modelo e os domínios Fonte e Alvo	43
Figura 1.2 - Diagrama dos estilos de aprendizagem desenvolvido por LITZINGER e OSIF (1992, p.79)	60
Figura 3.1 - Mapa conceitual para a Física Térmica elaborado pelo GEF.....	72
Figura 3.2 - O balão com água dentro não estoura facilmente.....	99
Figura 3.3 - Ebulidor de Franklin	100
Figura 3.4 - Pássaro sedento	101

Lista de Tabelas

Tabela 1.1 - Os conceitos de calor e temperatura, segundo as categorias propostas por Vergnaud	52
Tabela 3.1 - Conceitos físicos e suas interpretações mais comuns pelos sujeitos, segundo CASTIÑERAS, BUENO E FERNANDEZ (1998, p.462)	79
Tabela 3.2 - Apresentação das atividades propostas na seqüência de ensino e as respectivas categorizações	83
Tabela 3.2 - Tendências do pensamento comum como obstáculos ao pensamento termodinâmico	84

Lista de Quadros

Quadro 1.1 - Especificação das estruturas de um modelo segundo HESTENES (1996)	44
Quadro 3.1 - Respostas dos alunos às perguntas 07 e 08 da atividade de abertura na pesquisa piloto.....	89

INTRODUÇÃO

O ensino de ciências tem apresentado, nas últimas décadas, um notável progresso com relação à necessidade de se dar ouvidos aos estudantes, percebendo suas motivações pessoais, seus conhecimentos prévios, sua relação com o saber e suas formas peculiares de construção do saber. Os educadores podem se valer de uma vasta literatura que indica desde estratégias de ensino até modelos de planejamento mais abertos, que procuram facilitar o estabelecimento de um diálogo mais profundo entre os estudantes e os objetos de conhecimento. Há, também, uma comunidade de pesquisa atuante que promove congressos, encontros e simpósios, como o Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF) e o Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF), onde são discutidas questões relativas ao ensino de Física e resultados de pesquisas são apresentados.

Como consequência, há um aumento nas tentativas de construção de diferentes formas de ensinar, com o foco na aprendizagem dos conceitos e das relações de cada disciplina. Esse movimento encontra eco e se reforça nos documentos oficiais da educação brasileira, principalmente a partir da promulgação, em 1996, da Lei de Diretrizes e Bases para a Educação número 9394 (BRASIL, 1996).

Particularmente no que diz respeito ao ensino de Física, os esforços feitos no sentido de se mapear as concepções alternativas permitiram localizar razoavelmente bem os pontos de tensão entre os modelos de funcionamento que um determinado sujeito constrói acerca do mundo físico e o conhecimento que se quer ensinar. Esse fato dá aos professores a possibilidade de construir atividades que tentem dar conta de minorar ou desfazer tais tensões.

No entanto, a transposição desses esforços para a realidade de sala de aula é ainda tímida nas escolas de ensino médio do Brasil. Há algumas experiências de reformulação curricular em curso, com produção de material dirigido a professores e estudantes. Uma iniciativa que merece destaque é a do

Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (GREF), grupo de pesquisa ligado à Universidade de São Paulo (USP), que tem a sua linha de atuação calcada na teoria de Paulo Freire. O GREF tem feito, nos últimos anos, uma releitura dos conteúdos e dos métodos de ensino do Ensino Médio, criando formas originais de trabalho em sala de aula e capacitando professores da rede pública.

A necessidade de buscar formas mais eficientes de condução do processo de ensino-aprendizagem tem se intensificado, em minha prática pedagógica, a partir de 1998, quando ingressei no Colégio Marista Dom Silvério de Belo Horizonte – MG. Nesse colégio, tive a oportunidade de estar mais intimamente ligado às questões do cotidiano da sala de aula e discutir os aspectos levantados anteriormente. Desde essa época ficou clara a necessidade de uma reformulação na condução do processo ensino-aprendizagem dos conhecimentos físicos, com uma abordagem experimental e que esteja embasada no constante diálogo entre os atores do processo educativo, com orientações construtivistas nas abordagens didáticas.

Em 1999, assumi a coordenação da área de Física no Colégio Marista Dom Silvério, o que me tem permitido conduzir, com a equipe de professores da área, discussões acerca das concepções de ensino de Física. Em trabalho de equipe, temos elaborado um novo modelo de intervenção didática, embasado nos resultados de pesquisas conduzidas no campo da educação em ciências. Uma das mudanças já efetuadas diz respeito ao livro texto adotado e, por conseguinte, à forma da condução das aulas. Utilizamos, desde o ano de 2000, a coleção “Física e Realidade” dos autores Gonçalves e Toscano, dois educadores paulistas que já fizeram parte do GREF, cujo texto apresenta uma proposta conceitual e metodológica diferenciada em relação à maioria dos livros didáticos de Física disponíveis.

Durante a análise de livros texto, que culminou na adoção do citado livro, chamou-nos à atenção o tratamento dado à Física Térmica, que se inicia pela teoria cinético-molecular, com a conceituação da energia interna para, em seguida, apresentar os conceitos de temperatura e calor. O citado texto apresenta um enfoque metodológico claramente embasado em orientações construtivistas e

prima pela correção conceitual. A condução das aulas sobre Física Térmica, desde então, tem se revelado, em uma análise pessoal e sem embasamento em pesquisas sistemáticas, mais eficiente no tocante às aquisições conceituais dos estudantes.

Ao longo dos anos de 2001 e 2002, fiz um estudo mais centrado nas questões relacionadas com o processo ensino-aprendizagem e avaliação. Esses estudos ocorreram nas dependências do Colégio Dom Silvério, em um projeto de Formação Continuada denominado CAP. O projeto envolveu estudos teóricos e avaliações de situações cotidianas presentes na prática de professores, de modo a buscar uma simetria entre teoria e prática, por meio de estudos coletivos.

O primeiro módulo do curso versou sobre a Física Térmica, com ênfase na abordagem didática dos conceitos estruturadores da Termodinâmica. É possível estabelecer uma polarização entre duas correntes no que diz respeito às formas de desenho curricular dessa área da Física. Uma primeira corrente se apóia somente na questão conceitual como ponto central da prática pedagógica. Para essa corrente, é de fundamental importância que os conceitos físicos sejam tratados com o máximo de rigor nos cursos de Física de nível médio. A segunda linha, sem abrir mão da questão conceitual, defende que a construção de uma prática pedagógica que esteja em consonância com as necessidades e possibilidades dos alunos somente será atingida se se levarem em conta aspectos epistemológicos, ontológicos, psicológicos e sociais (AGUIAR JR, 2001). Creio que a segunda linha de pensamento está mais próxima do que se percebe em sala de aula e, por isso, deve ser incentivada nos cursos de formação inicial e continuada de professores. Desde então, tenho pesquisado a respeito da evolução histórica do conceito de calor e suas implicações na construção da Termodinâmica como campo teórico.

Essa trajetória pessoal me levou a propor um desenho de pesquisa que estivesse focado no chão da sala de aula e que pudesse revelar as formas de entendimento reveladas pelos estudantes durante o trabalho docente. Uma primeira questão que se colocava, a partir de minha prática docente, era a da relação entre modelos macro e microscópicos no aprendizado dos conceitos

fundamentais da termodinâmica. Assim, para construir o projeto de pesquisa, efetuei a leitura de duas teses (AGUIAR, JR, 2001; SILVA, 1995) e uma dissertação (AURANI, 1985).

Esses trabalhos têm em comum o fato de versarem sobre a Física Térmica. AGUIAR, JR (2001) apresenta uma forma de se pensar no planejamento das atividades de ensino-aprendizagem, levando-se em consideração níveis de elaboração de conceitos e modelos na aprendizagem dos estudantes. SILVA (1995) trabalha em uma linha focada no acompanhamento das construções conceituais conseguidas pelos estudantes ao longo do processo ensino-aprendizagem. AURANI (1985) faz um estudo histórico acerca da evolução dos conceitos de calor e temperatura e sua implicação no ensino. A leitura do trabalho de SILVA (op. cit.) me permitiu a idealização de um desenho de pesquisa que pudesse revelar as trajetórias de aprendizagem dos alunos, em um movimento que privilegiasse a participação ativa dos estudantes nas atividades propostas.

As leituras me remeteram a diversos outros autores que exploram desde os elementos mais gerais sobre a concepção e o desenho de currículos de ciências (BEN-ZVI, 1999 e MILLAR, 1986) até questões mais centradas nos obstáculos ao aprendizado de ciências (VOSNIADOU, 1994), passando por atividades de modelagem em ciências (WELLS, HESTENES e SWACKHAMER, 1995, DUIT e GLYNN, 1996 e BORGES e GILBERT, 1999).

Nesse ponto, fiz um estudo a respeito da construção e aplicação de seqüências de ensino, por meio dos trabalhos de LEACH e SCOTT (2002) e TIBERGHIE (2000), que permitiram planejar as atividades a serem desenvolvidas com os estudantes.

Posteriormente, conheci os trabalhos de MOREIRA (2002) e GREGA e MOREIRA (2002), que exploram a teoria dos *campos conceituais*, o que me levou a estudar as idéias de VERGNAUD (1990 e 1993). Esses trabalhos me forneceram as justificativas e o embasamento teóricos necessários para a análise de dados da pesquisa, uma vez que, para Vergnaud, o importante é o estudo do sujeito-em-ação, foco principal de nossa investigação.

Ao longo de todo esse processo, fiz um estudo da teoria da Epistemologia Genética de Jean Piaget (PIAGET, 1985 e 2002, PIAGET e GARCIA, 1984) e seus desdobramentos (GARCIA, 2002).

1 . JUSTIFICATIVA

Os pesquisadores da área de ensino de ciências conseguiram identificar, ao longo dos últimos anos, as concepções alternativas que fazem parte do pensamento dos sujeitos antes de serem submetidos às situações de ensino e em resposta ao ensino formal. Também se tem como razoavelmente estabelecido os modelos científicos que compõem os diversos tópicos de conteúdo escolares. No entanto, não temos respostas definitivas acerca da maneira como evoluem as aprendizagens dos estudantes que são submetidos a uma atividade de ensino. Portanto, o problema de acompanhar as trajetórias de aprendizagem dos alunos, evidenciando as suas concepções alternativas, seus esquemas de resolução de problemas e buscando os modelos explicativos por eles construídos é atual e se reveste de grande importância para o ensino de ciências em geral. Investigações realizadas com essa perspectiva podem inspirar outras pesquisas com a utilização de outros referenciais teóricos.

As rotas de construção de conhecimento dos alunos não são padronizadas, o que significa dizer que cada estudante percorre um caminho pessoal e distinto ao longo de uma atividade de intervenção didática. Os compromissos com a própria aprendizagem, as concepções alternativas, os estilos de aprendizagem e as motivações pessoais guiam um dado sujeito enquanto estiver submetido ao processo de ensino. Isso tem profundas implicações para o ensino, que vão desde o estabelecimento de diferentes ritmos e processos de aprendizagem dos estudantes até a definição do nível de profundidade no tratamento dos conteúdos de ensino.

Toda essa diversidade que se manifesta em sala de aula possui um caráter dual: impede o estabelecimento de um padrão para a condução das atividades de

ensino e, ao mesmo tempo, oferece um solo rico para que a diversificação de estratégias encontre eco nas expectativas dos estudantes. Dessa maneira, quanto mais trajetórias de aprendizagem forem identificadas, maior a chance de se conseguir construir formas de abordagens didáticas que atendam a toda essa diversidade.

O conhecimento das trajetórias de aprendizagem dos alunos em uma situação de sala de aula pode, portanto, proporcionar novos caminhos para o desenho de atividades que consigam guiar os alunos para a construção dos conhecimentos e das habilidades que foram planejados. Segundo SILVA

“não nos importa, somente, como é o objetivo do professor, que o aluno entenda os conceitos em questão, mas, como pesquisador, queremos saber qual é a natureza dessa aprendizagem em termos de seu universo de variáveis qualitativamente observadas, para que, então, de posse de uma teoria explicativa, o mesmo professor desempenhe melhor o seu papel de ensinar.” (SILVA, 1995, p.14).

Uma atividade de ensino que pretenda contribuir para que os estudantes obtenham uma aprendizagem significativa e duradoura deve permitir que os mesmos reconheçam as novidades (e o maior poder explicativo e generalizante) que os conceitos e modelos científicos apresentam em relação às suas concepções prévias. Ao mesmo tempo, os alunos podem ser apresentados aos modos de pensar da ciência, com a explicitação dos modelos explicativos utilizados e da organização interna das teorias científicas.

Os estudantes podem ir testando seus modelos acerca dos conceitos envolvidos e, por meio de sucessivas aproximações, construir relações entre os conceitos científicos e as suas representações, modificando seus esquemas, em um processo contínuo de adaptação que pode conduzir dos modelos pessoais aos científicos. Nesse processo, a utilização de diversas situações para a abordagem de um dado conceito ou modelo é importante para que o estudante possa testar seus conhecimentos. Dessa forma, o caráter recursivo das atividades de ensino deve ser ressaltado.

Encontrei na Física Térmica um conteúdo com as características necessárias. Nela, são discutidos desde conceitos elementares de calor, temperatura e equilíbrio térmico até os princípios mais gerais de conservação e degradação da energia. A Física Térmica revela uma complexa teia de relações, cujos conceitos estão presentes no cotidiano das pessoas, com implicações tecnológicas e questões como isolamento, refrigeração e rendimento de motores. A estruturação interna dos conceitos de calor, trabalho, energia interna, temperatura e equilíbrio térmico permite evidenciar o estatuto que os conceitos e modelos têm na integração de uma teoria científica, possibilitando que os estudantes construam uma visão de ciência como construção humana. As discussões conduzidas no âmbito escolar podem fornecer elementos para que os estudantes construam, ao longo do tempo, um conjunto de relações que permitam a eles um diálogo mais consistente com as formas de pensar da ciência.

O contato com fenômenos térmicos como o aquecimento dos materiais, o uso de cobertores e agasalhos e a utilização do tato na avaliação de temperatura de objetos e ambientes vão fornecendo elementos para que o sujeito elabore representações sobre os conceitos de calor e temperatura e as relações entre eles. Essa construção se inicia na infância e vai ocorrendo ao longo da vida do sujeito.

Segundo VOSNIADOU (1994), as bases dessas concepções são estabelecidas na infância e representam “teorias de base” (“naive framework theory of physics”) que conduzem as maneiras de interpretar o mundo pois estabelecem os pressupostos ontológicos e epistemológicos básicos que sustentam as crenças do sujeito. De acordo com a autora, essas “teorias de base” são profundamente arraigadas no sujeito e resistem fortemente à mudança. Ao contrário dessas, as “teorias específicas”, assim chamadas por estarem relacionadas com aspectos mais particulares de uma teoria, permitem descrever a estrutura interna de um dado domínio conceitual e possuem uma maior flexibilidade, adaptando-se às situações e às informações culturais que vão sendo disponibilizadas ao sujeito. Para Vosniadou, o processo de aprendizagem é

conduzido por uma gradual modificação dos modelos mentais do sujeito acerca do mundo físico, que pode ser dada por enriquecimento ou por revisão. O enriquecimento se dá quando ocorre a adição de informação a uma estrutura conceitual já existente. A revisão, por sua vez, envolve mudanças em crenças ou suposições ou mudanças na estrutura da teoria. Essa revisão ocorre mais facilmente nas “teorias específicas” do que na “teorias de base”. Nesse contexto, as concepções alternativas (misconception) são visões dos estudantes geradas a partir de suas “teorias de base”, cujas informações estão total ou parcialmente em desacordo com as teorias científicas.

Com relação à mecânica, por exemplo, há uma concepção alternativa, muito comum entre estudantes, relacionada com a necessidade de uma força para a manutenção do movimento. A interação, desde a infância, com os objetos do mundo físico e a necessidade da aplicação de forças para que tais objetos permaneçam em movimento conduzem à construção de uma “teoria de base” que afirma ser necessária a ação de uma força para que exista movimento. Nesse caso, é possível perceber, inclusive, certa indistinção entre os conceitos de força e velocidade. No momento em que é apresentado às leis de Newton em um contexto escolar, o estudante é colocado frente a diversas formulações diferentes daquelas que fazem parte de seu repertório cognitivo, o que pode ser percebido pelas concepções alternativas referentes à mecânica clássica. As suas teorias específicas sobre a relação entre força e movimento podem ser mais facilmente reformuladas. Ele pode, por exemplo, enunciar a diferença entre os conceitos de força e velocidade ou reconhecer a inércia em diversas situações práticas, sobretudo naquelas situações que já foram abordadas nas atividades de ensino. No entanto, haverá uma maior dificuldade em apresentar respostas condizentes com os modelos científicos para situações que o estudante desconhece, uma vez que sua teoria de base conduz a construção de modelos explicativos cuja lógica central é a força como condição para o movimento. Nesse caso, a teoria de base citada anteriormente pode representar um obstáculo ao aprendizado da mecânica newtoniana como corpo teórico. Portanto, as atividades de intervenção didática devem dar mais atenção, segundo Vosniadou, aos aspectos constitutivos das

teorias de base para que seja possível agir sobre os elementos mais arraigados no sujeito.

Essa posição é compartilhada por HESTENES (1996), que advoga a existência de concepções alternativas mais fundamentais, que se aproximam do que Vosniadou identifica como as “teorias de base”. Essas concepções estão por demais assentadas nas formas de pensar dos estudantes e são amplamente utilizadas por eles para a construção de modelos explicativos. O autor afirma que uma atividade de ensino deve dar conta de solucionar essas concepções mais arraigadas para obter êxito. Seguindo o exemplo mostrado no parágrafo anterior, HESTENES insiste que as atividades de ensino devem agir sobre a concepção de que o movimento requer a aplicação de força, por meio de atividades que coloquem tal crença em xeque. Uma vez modificada, as questões mais periféricas, como a distinção entre força e velocidade, serão mais facilmente resolvidas.

Na mesma linha de argumentação, GRECA e MOREIRA (2002), utilizam a noção de esquema de Piaget e Vergnaud e a evolução dos modelos mentais dos estudantes para interpretar a aprendizagem escolar em ciências. Para os autores, os invariantes operatórios, que são os conhecimentos contidos nos esquemas, *“dirigem a busca da informação pertinente para a detecção de metas e das regras adequadas à ação e são indispensáveis à articulação entre teoria e prática”* (GRECA e MOREIRA, 2002). Para eles, os pressupostos pessoais mais fundamentais do sujeito acerca do funcionamento do mundo físico (o que se aproxima das “teorias de base”), ou seja, as concepções mais arraigadas no sujeito, são os núcleos dos modelos mentais que os estudantes geram para explicação e predição de situações concretas e para a compreensão dos conceitos físicos. Assim, o processo de aquisição de conhecimento se dá a partir de sucessivas construções e re-elaborações dos modelos mentais dentro de uma mesma classe de modelos. Se a informação à qual o estudante deve dar significado não lhe permitir a construção de modelos mentais adequados, não haverá a construção de tais modelos e a informação será memorizada na forma de proposições não significativas.

Um estudante que utilize um modelo explicativo de acordo com o qual a força mantém o movimento pode concluir que a intensidade da força é proporcional à velocidade e, com isso, a enunciar a segunda lei de Newton como sendo “força = massa x velocidade”. A partir desse modelo, o estudante efetua previsões sobre o resultado de colisões entre objetos de massas muito diferentes. Para ele, o objeto de menor massa deve aplicar uma força de menor intensidade, enquanto que o de maior massa deve aplicar uma força mais intensa, o que é reforçado pelos observáveis, uma vez que, após uma colisão, o objeto de maior massa adquire uma velocidade de menor intensidade do que o de menor massa. Uma atividade de ensino que seja por demais centrada na transmissão de conhecimentos encontrará dificuldades para modificar essa “teoria de base” dos sujeitos. A diversificação de atividades de ensino, com a possibilidade da aplicação dos modelos mentais gerados em diversas situações pode contribuir para a superação dessa “teoria de base” e a construção de um modelo explicativo mais próximo dos modelos conceituais da mecânica.

Os pressupostos mais fundamentais são pessoais e representam a base do pensamento dos estudantes (se constituindo, então, em modelos pessoais de funcionamento do mundo). Eles podem, assim, se contrapor aos conceitos apresentados durante o processo de ensino, se constituindo em obstáculos epistemológicos ao aprendizado (BACHELARD, 1996). Essa oposição nem sempre é posta à mostra em um processo de investigação, por representar uma atividade interna ao sujeito. Sobre esse fato, ASTOLFI e DEVELAY (1991) afirmam que *“esses obstáculos constituem o que se opõe ao progresso da racionalidade de uma maneira obscura e indireta, porque surge no âmbito do inconsciente coletivo”*. Portanto, o ensino de ciências deve fomentar situações nas quais esses obstáculos possam ser identificados e problematizados com os estudantes.

A literatura na área de educação científica revela a existência de várias concepções alternativas acerca dos conceitos de temperatura e calor, o que pode dificultar o seu entendimento (GUESNE, TIBERGHIE e DELACOTE, 1978; LABURÚ et al, 2000). Na revisão de literatura de sua tese, AGUIAR JR (2001)

apresentou uma completa e profunda discussão acerca das concepções alternativas dos alunos no campo da Física Térmica que serviu como uma das bases do nosso levantamento dos obstáculos ao aprendizado dos conceitos da termodinâmica.

Pesquisas, como aquela desenvolvida por ERICKSON e TIBERGHIE (1989), apontam que, mesmo após o estudo formal da Física Térmica no Ensino Médio, muitos estudantes não conseguem superar suas concepções alternativas, nem tampouco se distanciar criticamente delas. Essa dificuldade em se aprender os modelos científicos apresentados pela Física Térmica, ao nosso ver, possui causas variadas que podem estar relacionadas à motivação, ao compromisso com o aprendizado ou à falta de esquemas necessários à assimilação dos novos conceitos.

CARDEÑAS e LOZANO (1996), a partir da análise das formas de explicação homogênea, heterogênea e batígena, propostas por HALBWACHS (1974, 1977)¹, afirmam que esta última forma explicativa se revela mais adequada no trato dos fenômenos térmicos e encontra eco nas expectativas dos estudantes, apesar do fato de que os modelos gerados pelos sujeitos não estarem, em geral, em total concordância com o modelo científico.

Concordamos com VOSNIADOU (1994), HESTENES (1996) e GREGA e MOREIRA (2002) quando eles postulam a existência de pressupostos pessoais mais resistentes às mudanças que podem obstruir a evolução conceitual do sujeito. Além disso, diversos problemas de aprendizado apresentados pela literatura sugerem que haja problemas na compreensão e utilização coerente do modelo cinético-molecular como fonte de explicação dos fenômenos térmicos. Não negamos as conclusões de Cardeñas e Lozano, acerca dos modelos

¹ HALBWACHS apresenta modos diferentes de explicação da realidade, que são: (a) homogênea, que analisa os fenômenos do ponto de vista de algumas propriedades intrínsecas, sem se reportar a agentes externos como, por exemplo, a filosofia natural de Aristóteles; (b) heterogênea, em que há, em geral, um agente e um paciente, uma causa e um efeito, existindo uma ação do mundo exterior sobre o sistema físico como, por exemplo, o teorema trabalho-energia e (c) batígena, que procura explicar a realidade a partir de estruturas subjacentes, em que o comportamento do mundo macroscópico é condicionado às relações microscópicas como, por exemplo, a teoria cinético-molecular.

explicativos batígenos. Mas afirmamos que o modelo cinético-molecular é de difícil apropriação por parte dos estudantes. Como todo modelo, não pode ser diretamente inferido de observações macroscópicas. Para além disso, as entidades do modelo de partículas não se apóiam em objetos observáveis e apresentam propriedades distintas àquelas dos objetos macroscópicos.

Em geral, os estudantes se prendem aos fenômenos observáveis para produzir modelos explicativos acerca dos fenômenos térmicos. É comum, por exemplo, a crença de que as partículas da matéria somente se movem enquanto houver uma fonte térmica que forneça energia para elas. Do contrário, tais partículas tendem ao repouso, que é caracterizado por uma temperatura baixa. É possível que essa crença esteja em consonância com a teoria de base que afirma ser necessária a ação de uma força para manter o movimento. Em geral, a transposição das características observáveis dos objetos macroscópicos para as partículas da matéria é comum na forma normal de pensamento dos sujeitos. Para eles, assim como uma bola pára após ser lançada em um campo de futebol, uma partícula deve ir, lentamente, ao repouso, o que não acontecerá somente se houver uma força (no caso, a energia térmica) agindo sobre elas. Apesar de não ser possível a apresentação de experimentos nos quais o movimento constante das partículas é diretamente observado, podemos dispor de situações nas quais há evidências de tal movimento como, por exemplo, o movimento browniano.

Apesar da dificuldade inerente à apropriação desse modelo ele possui, a nosso ver, importância crucial no desenvolvimento conceitual no campo da física térmica. A nosso ver, as explicações baseadas no modelo de partículas podem contribuir para que seja possível trabalhar, com maior efetividade, as “teorias de base” dos estudantes, por permitir a análise de características gerais do comportamento das partículas da matéria e sua relação com o que pode ser observado macroscopicamente. Além disso, o modelo de partículas evidencia uma construção teórica baseada em evidências macroscópicas mas não derivada diretamente de observações. Esse fato contribui para que o estudante possa, a partir de observações experimentais, construir modelos e refiná-los em um processo de modelagem do mundo físico.

Para que se possa verificar a evolução temporal dos modelos explicativos dos sujeitos é necessária a construção de uma seqüência de atividades de ensino em Física Térmica que seja orientada para a superação das dificuldades apresentadas pelos estudantes e que esteja em consonância com quadro conceitual dos fenômenos térmicos. Essa seqüência deve permitir

- (1) a discussão dos aspectos teóricos e empíricos da ciência, para que o sujeito possa testar seus modelos por meio da comparação entre resultados esperados pelos seus modelos explicativos e os que são obtidos por meio de experimentos e pela comparação entre a sua forma de pensar e as concepções científicas;
- (2) a existência de momentos de interação entre os estudantes para debates e construções coletivas e de atividades individuais, criando-se um ambiente que favoreça a elaboração de novos significados a serem examinados pelos sujeitos;
- (3) a apresentação de conceitos por meio de textos e de recursos audiovisuais, que auxiliam nas atividades de modelagem do mundo físico;
- (4) o trabalho com as relações conceituais mais gerais que permitam entender aspectos mais específicos e vice-versa, fornecendo condições para que os sujeitos construam uma visão integradora acerca dos fenômenos térmicos, o que permite a compreensão da termodinâmica a partir de seus princípios e leis mais gerais.

Uma seqüência de ensino assim construída pode dar suporte ao levantamento dos dados acerca das trajetórias de aprendizagem dos alunos para posterior análise dos modelos explicativos construídos por eles ao longo das atividades de intervenção didática.

2 . OBJETIVOS

- Acompanhar as diferentes trajetórias de aprendizagem de alunos do ensino médio em uma seqüência de ensino de Física Térmica com vistas a identificar as rotas de construção de significados por eles utilizadas na aprendizagem de novos conceitos.
- Verificar o papel que os modelos explicativos construídos pelos estudantes ao longo de uma intervenção didática cumprem na aprendizagem dos conceitos e das relações da Física Térmica.
- Investigar a função que o modelo de partículas desempenha no entendimento das relações conceituais da Física Térmica.

3 . DELIMITAÇÃO DO OBJETO

O objeto desta pesquisa é a análise do processo de ensino-aprendizagem em um curso introdutório de Física Térmica para alunos de ensino médio. Procuramos investigar como e se os modelos explicativos dos estudantes evoluem à medida que eles são submetidos a uma intervenção didática intencional, calcada na experimentação ativa e na discussão entre os pares. Além disso, pretendemos verificar a função que os modelos intermediários de entendimento cumprem na produção de significados ao longo do desenvolvimento de uma seqüência de ensino da Física Térmica, com análise das trajetórias de aprendizado seguidas pelos alunos, utilizando, como marco teórico fundamental, a teoria dos campos conceituais de Vergnaud.

4 . FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Ao longo da instrução formal, os alunos interagem com os objetos de conhecimento, com os professores e com os seus pares, de tal forma a permitir-lhes a construção de modelos explicativos para os fenômenos que os cercam. Tais construções são internas ao sujeito, mediadas por fatores exógenos (troca

de experiências com colegas, resultados de atividades práticas, informações obtidas por meio de leitura de textos, intervenções do professor) e endógenos (crenças pessoais, estruturas cognitivas desenvolvidas, conceitos prévios).

Os modelos explicativos desenvolvidos por um aprendiz podem ser a base para a construção de novos significados durante atividades de ensino-aprendizagem e/ou criam obstáculos epistemológicos e ontológicos à aprendizagem subsequente. Ao ser colocado frente a uma nova situação, um aluno necessita reorganizar o seu sistema cognitivo para conseguir incorporá-la, com a construção e testagem de diversos modelos mentais. Esse processo de reorganização segue caminhos distintos em cada pessoa, sendo, portanto, pessoal a trajetória de aprendizagem em busca de novos conhecimentos.

Para o ensino de ciências, é importante que os mecanismos utilizados pelos estudantes para construir as relações entre os conceitos que estão sendo ensinados sejam explicitados em diversos contextos de aprendizagem. O entendimento das preferências apresentadas pelos estudantes em relação às atividades de ensino e os resultados fornecidos pelas diversas pesquisas desenvolvidas na área podem servir como parâmetros para que os planejamentos de intervenções didáticas atinjam um maior êxito.

Dessa forma, esta pesquisa se propõe a analisar os caminhos desenvolvidos pelos aprendizes na construção de significados (trajetória de aprendizagem) em um contexto real de sala de aula com a intenção de se levantarem as possibilidades de desenhos curriculares que atendam à diversidade de compromissos, intenções e habilidades desses aprendizes ao longo das atividades de intervenção didática. Queremos, portanto, conhecer essa diversidade que está presente em sala de aula e compreender como ela se manifesta na aprendizagem dos conteúdos específicos da Física Térmica para que seja possível repensar os dispositivos de diferenciação no planejamento e nas intervenções do ensino.

As questões de pesquisa decorrentes deste problema são:

- (1) Há alguns caminhos preferenciais nas trajetórias de aprendizagem dos estudantes que permitam traçar tendências comuns de pensamento rumo ao modelo conceitual adotado pela ciência para a Física Térmica?
- (2) Qual a importância do modelo de partículas na construção de um modelo conceitual para a Física Térmica?
 - a. A apropriação do modelo de partículas contribui para a distinção entre calor e temperatura?
 - b. A não apropriação do modelo de partículas obstrui a possibilidade de um entendimento mais profundo da Física Térmica?
 - c. Quais as implicações de apropriação parcial do modelo de partículas, com lacunas e falsas atribuições, no entendimento da Física Térmica?
- (3) Que papel desempenham os modelos intermediários desenvolvidos pelos estudantes na compreensão dos conceitos relativos à Física Térmica?

5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Essa dissertação mostra a condução de uma pesquisa qualitativa realizada com alunos de ensino médio. Para isso, apresentamos, no capítulo 01, os referenciais teóricos que irão guiar a aquisição dos dados e a sua análise. Assim, são discutidas algumas questões relacionadas com o ensino de ciências, em geral, e com o de Física Térmica, em particular, as atividades de modelagem, a teoria dos campos conceituais de Vergnaud e uma breve discussão acerca dos estilos de aprendizagem.

O capítulo 02 apresenta o desenho da pesquisa, revelando a postura do pesquisador, segundo inspirações etnometodológicas. São levantadas as tensões presentes no processo ensino-aprendizagem, com a colocação dos diversos interesses em jogo em uma sala de aula. Em seguida, apresentamos os aspectos

que foram levados em conta para o planejamento das atividades de intervenção didática e para a coleta dos dados, com a caracterização da escola, da sala de aula e dos grupos analisados. Além disso, indicamos os momentos que foram utilizados para a obtenção dos dados.

No capítulo 03 são mostrados os instrumentos da pesquisa. Para isso, apresentamos a Física Térmica como um campo conceitual, a partir das situações, dos conceitos e dos teoremas em ação e uma breve revisão de estudos sobre ensino e aprendizagem de Física Térmica. Após essa apresentação, discutimos o processo de construção da seqüência de ensino que serviu de suporte para a coleta dos dados, com o relato dos pressupostos que marcaram a redação dos textos, da escolha dos experimentos e dos conteúdos que foram inseridos. Além disso, resultados do estudo exploratório são mostrados e discutidos. O último item do capítulo se destina a apresentar e justificar os instrumentos utilizados na pesquisa, ou seja, o Pré-teste, os Testes 1 e 2 e a Entrevista.

O desenvolvimento da seqüência de ensino em sala de aula, a construção das categorias de análise e a caracterização das trajetórias de aprendizagem dos alunos escolhidos são apresentados no capítulo 04. Nesse capítulo há a articulação entre a teoria apresentada no capítulo 01 e os dados coletados ao longo da pesquisa. Para a análise dos dados, utilizamos a teoria dos campos conceituais de Vergnaud, com a caracterização das formas de pensar dos alunos e dos conceitos utilizados na resolução de alguns problemas propostos na seqüência de ensino.

Nas considerações finais, são apresentadas algumas sínteses possíveis que podem inspirar a construção de novas abordagens dos conteúdos da Física no ensino médio que respeitem as formas de pensar dos estudantes e partam delas para condução das atividades em sala de aula. Há a apresentação de algumas respostas para as questões de pesquisa formuladas no início dessa dissertação. Essas respostas não pretendem ser fechadas, sendo somente reflexões acerca daquilo que foi possível formular a partir da análise dos dados obtidos.

Finalmente, nos anexos, são apresentados: (I) a seqüência de ensino; (II) as questões que compuseram os testes 1 e 2; (III) o planejamento das atividades, (IV) as questões utilizadas nas entrevistas; (V) as respostas dos alunos acompanhados aos problemas apresentados pela seqüência de ensino e (VI) as transcrições das entrevistas realizadas com os alunos do grupo que foi acompanhado.

CAPÍTULO 01 - REFERENCIAIS TEÓRICOS

*“se eu soubesse antes o que eu sei agora
erraria tudo exatamente igual.”
(Humberto Gessinger)*

Introdução

Esse capítulo apresenta os referenciais teóricos que nortearam a condução da pesquisa, desde o desenho das situações de ensino até a análise dos resultados. Optamos por apresentar tais referenciais teóricos em uma seqüência que pudesse privilegiar o movimento que vai do geral para o particular.

Dessa maneira, iniciamos a discussão sobre algumas questões relativas ao processo de ensino e aprendizagem em ciências, com a problematização das tensões existentes entre a intencionalidade do processo educativo e a liberdade necessária para que cada sujeito aprenda o que está sendo ensinado. Essa tensão, cremos, pode ser diminuída se conhecermos as maneiras que são utilizadas pelos sujeitos para a construção de significados. São apresentados, então, trabalhos que procuram dar conta do acompanhamento das aquisições dos estudantes.

Em seguida, são estudadas as atividades de modelagem no ensino e na aprendizagem em ciências. Nessa seção, discutimos alguns conceitos de modelo na aprendizagem em ciências e apresentamos uma metodologia de utilização de modelos nas intervenções didáticas, chamada de “método de modelagem” (“modeling method”), proposta por HESTENES (1996).

Essa discussão conduz à teoria dos campos conceituais de VERGNAUD (1990, 1993), apresentada no terceiro tópico desse capítulo. Nessa teoria, o foco de estudo é o sujeito-em-ação, ou seja, o sujeito quando submetido a tarefas para serem executadas. Nessa seção, apresentamos os principais elementos da Teoria dos Campos Conceituais, proposta pelo autor, e examinamos sua

adequação para análise de processos de ensino-aprendizagem em ciências.

O último tópico desse capítulo remete à discussão do conceito de “estilos de aprendizagem”, sua importância na configuração de ambientes e tarefas de aprendizagem, bem como a caracterização de perfis que definem diferentes estilos, segundo KOLB (1984) e FELDER e SALOMON (1998).

1.1 – Questões Relacionadas ao Processo Ensino-Aprendizagem

Nos últimos tempos, as atividades de ensino de ciências da natureza têm conhecido alternativas ao paradigma da transmissão de conhecimentos do professor para os alunos, o que se constitui em novos desafios ao trabalho docente e à pesquisa educacional. Como consequência, há a possibilidade de utilização de diferentes estratégias de ensino dos conteúdos de ciências, com base na participação ativa dos alunos nos processos de aprendizagem e de se reescrever os currículos de forma a torná-los mais próximos das necessidades atuais de formação de cidadãos ativos, que possam se posicionar frente às grandes questões científicas, tais como a disponibilidade energética ou a manipulação genética.

Acreditamos ser a Epistemologia Genética (PIAGET, 1985) uma forma de abordagem que aponta respostas significativas ao problema do conhecimento científico, com importantes desdobramentos para os processos de ensino-aprendizagem escolar. A Epistemologia Genética estuda os mecanismos de desenvolvimento dos conhecimentos, algo fundamental para o estabelecimento de qualquer programa de investigação em Educação e de vital importância para o desenho de situações de ensino. A importância dessa teoria para o campo educacional é destacada por GARCIA (2002).

“Com a criação da psicologia genética, cujo espetacular desenvolvimento tornou Piaget mais famoso que sua epistemologia, ficou constituído o campo experimental nos níveis elementares (do nascimento à adolescência), enquanto a história da ciência forneceria logo o material empírico (a experiência histórica) nos mais altos

níveis do conhecimento científico. A teoria do desenvolvimento cognitivo, proposta desde a epistemologia e baseada nos resultados empíricos da pesquisa psicogenética e na análise histórico-crítica dos conceitos e teorias, se constitui assim na primeira teoria do conhecimento, científica e integrada, na história do pensamento.” (GARCIA, 2002, p. 23)

Assim, a adoção do Construtivismo² como uma das bases para o planejamento e a condução das atividades de ensino que permitam a apropriação do conhecimento por parte dos aprendizes se tornou corrente nos meios educacionais. Esse fato conduziu a uma mudança na forma de organizar e dirigir as situações de ensino, em que o paradigma da transmissão é substituído pelo da construção ativa de significados por parte do sujeito (AGUIAR JR, 2001).

Um dos problemas do Construtivismo está relacionado com a forma de se desenhar situações de ensino que respeitem as características dos estudantes (seus conhecimentos prévios, suas crenças, suas motivações, seus estilos e seus anseios) e os auxiliem na construção dos conceitos científicos escolares. Há, portanto, uma tensão entre a liberdade necessária para a construção dos conhecimentos por parte do aprendiz e a intencionalidade das práticas educativas. Por um lado, deve-se garantir que, em função das características individuais dos sujeitos, cada um deles trilhe uma rota própria de aprendizado. Por outro lado, os modelos científicos que devem ser ensinados são estabelecidos pelo currículo e, assim, apresentados pelo professor. Isso implica na seleção de conteúdos e relações, que, espera-se, sejam assimilados pelos estudantes ao longo da unidade de ensino, o que revela as crenças do professor e da instituição de ensino.

Para se tentar diminuir essa tensão, é necessária a criação de instrumentos para o acompanhamento das maneiras utilizadas pelos estudantes

² GARCIA (2002), apresenta o termo “Epistemologia Construtivista” ao invés de utilizar “Epistemologia Genética”. A idéia central que está relacionada com o Construtivismo é que o aprendiz é ativo na construção de significados, sendo, portanto, fundamental que se ouçam as suas concepções, suas crenças, sua motivação e seus conceitos prévios. Entendemos que o Construtivismo seja uma “postura teórico-metodológica frente ao conhecimento, que permite reler os processos de ensino, bem como as concepções que se tem sobre o objeto deste” (SILVA, 1995. p.57).

na elaboração interna dos conceitos científicos ensinados, ou seja, na produção de significado por parte do aluno. Alguns trabalhos, recentemente desenvolvidos, dão atenção à evolução temporal dos conceitos em contextos de sala de aula. Utilizando metodologias e formas de análise dos resultados distintos, três trabalhos chamam a atenção pela extensão de suas conclusões e por apresentarem análises que se ajustam à proposta desta pesquisa.

O trabalho desenvolvido por SILVA (1995) apresenta uma análise de “trajetórias cognitivas” de alunos do ensino médio, quando do ensino da distinção entre os conceitos de calor e temperatura. Neste trabalho, fortemente influenciado pela Epistemologia Genética de PIAGET (1985), Silva procura identificar algumas rotas de construção de conceitos à medida que as atividades de ensino iam se sucedendo. O autor concluiu que a diversificação das estratégias de ensino é decisiva para a aquisição dos conceitos científicos (CARVALHO et al, 1998).

AGUIAR, JR (2001), trabalhando com alunos do ensino fundamental, utiliza a ordenação do conhecimento segundo as etapas intra, inter e trans-objetais, propostas por PIAGET e GARCIA (1984) para o planejamento das atividades. Assim, o autor indica possibilidades de desenho e organização das intervenções didáticas que podem contribuir para a compreensão da forma como os conceitos vão sendo adquiridos pelos aprendizes.

MOREIRA (2003) apresenta uma análise acerca dos procedimentos característicos de uma sala de aula, compreendida como um *locus* no qual há uma prática social específica, e a articulação com as práticas de interpretação dos alunos, quando em atividades que envolvem representação de modelos físicos. Para isso, o autor recorre à etnometodologia, à fenomenologia e às características situada e distribuída da cognição.

A interpretação dos resultados dessas e de outras pesquisas realizadas no âmbito escolar nos permite concluir não haver um caminho único para se planejar intervenções didáticas, ou seja, não há uma maneira perfeita de se trabalhar os conteúdos relativos à ciência. No entanto, um maior conhecimento acerca dos processos de aprendizagem permite a proposição de atividades que se adequem

ao estilo de cada aluno e às estratégias por eles utilizadas na compreensão de conceitos e processos científicos. Assim, o ensino orientado e organizado em função dos estilos de aprendizagem dos estudantes aumenta as possibilidades de que as intervenções didáticas sejam mais efetivas em sua intenção formativa.

“as pesquisas em didática têm assim explorado de maneira sistemática diversos campos conceituais das ciências experimentais, tais como respiração, reprodução, energia, calor e temperatura, fotossíntese ... e esclareceram dados com os quais todo projeto de aculturação científica deve, de uma maneira ou de outra, compor. De tal forma que ensinar um conceito de biologia, física ou química, não pode mais se limitar a um fornecimento de informações e de estruturas correspondendo ao estado da ciência do momento, mesmo se estas são eminentemente necessárias. Pois esses dados só serão eficazmente integrados pelo docente se chegarem a transformar de modo durável suas concepções. Ou seja, uma verdadeira aprendizagem científica se define, no mínimo, tanto pelas transformações conceituais que produz no indivíduo quanto pelo produto de saber que lhe é dispensado.” (ASTOLFI e DEVELAY, 1991, p.36).

Dessa forma, os educadores que trabalham no paradigma construtivista necessitam assumir uma postura de constante investigação, utilizando os resultados apresentados pela pesquisa na área para o desenho de atividades que possam contribuir mais efetivamente para os processos de construção de significado por parte dos estudantes. Nesse contexto, SILVA afirma que:

“a nova postura [do professor], revestida de uma prática dialética³, deve ser capaz de estabelecer conexões entre o conhecimento que será objetivamente ensinado e as condições endógenas através da qual o aluno vai construir sua aprendizagem.” (SILVA, 1995, p.59)

A utilização das seqüências de ensino, construídas com base nos resultados de pesquisas na área de ensino de ciências pode se constituir em *“uma importante ferramenta para que os educadores da atualidade possam*

³ O termo “prática dialética”, tal como entendido pelo autor, está relacionado com instauração e a manutenção de uma atitude de constante diálogo entre os estudantes e entre o professor e a classe.

aperfeiçoar o aprendizado dos alunos em alguns conceitos específicos” (LEACH e SCOTT, 2002, p.1). Assim, podemos planejar situações de ensino de forma a melhorar (1) a aquisição de novos saberes por parte dos aprendizes, (2) a construção de relações entre os conceitos de cada disciplina escolar e (3) o desenvolvimento de habilidades cognitivas para a extrapolação dos saberes aprendidos na Escola. Dessa forma, a análise da evolução das representações⁴ dos estudantes ao longo da seqüência aplicada pode revelar as trajetórias de aprendizagem e apontar pistas para o desenho de intervenções em sala de aula que respondam melhor às necessidades dos aprendizes.

Essas trajetórias reveladas pelos estudantes, segundo CLEMENT (2000), se consubstanciam em um processo com diversas etapas (chamadas de modelos intermediários) que conduzem das concepções prévias⁵ dos estudantes até ao modelo alvo (que representa o conhecimento que se pretende ensinar). O processo de aprendizagem indicado possibilita que cada aluno trilhe uma trajetória pessoal de significação rumo ao modelo-alvo, uma vez que as concepções alternativas e as formas de raciocínio diferem entre os estudantes e influenciam fortemente em seu aprendizado. Assim, CLEMENT utiliza o conceito de “Ecologia Conceitual”⁶ para se referir à forma de pensar dos estudantes que entram em sala de aula, que é idiossincrática, possibilitando que haja uma trajetória de aprendizagem para cada estudante.

É importante, no entanto, se ter cuidado ao analisar as trajetórias de aprendizagem, uma vez que nem todos os alunos conseguem trilhar um caminho

⁴ A idéia de representação está relacionada com o fato de que a aprendizagem “vem interferir com um já-existente conceitual que, ainda que falso no plano científico, serve de sistema de explicação eficaz e funcional para o docente”. (ASTOLFI e DEVELAY, 1991, p.35)

⁵ Concepções prévias ou alternativas são os modelos pessoais construídos pelos sujeitos como resultado das interações com os objetos do conhecimento e com os pares. Essas concepções podem ser conflitantes com os conceitos estabelecidos pela ciência ou estar em consonância com os modelos científicos.

⁶ “Ecologia Conceitual” abarca todo o conhecimento e as crenças que o aprendiz possui, seus conhecimentos (concepções) prévios, as relações que estabelece com vários conceitos, novos conhecimentos obtidos a partir de concepções alternativas e crenças epistemológicas. De acordo com HEWSON, BEERTH e THORLEY (1998, p. 200), “a interação entre essas crenças e conhecimentos determina o status das concepções específicas, isto é, essas interações ‘apóiam algumas idéias’ (aumentam seu status) e desencorajam outras (reduzem seu status)”.

que leve aos modelos-alvo. Alguns estudantes podem desenvolver seus modelos explicativos até um certo patamar e, a partir daí, estacionar em modelos intermediários que satisfaçam às suas necessidades. MORTIMER (1996) aponta para as dificuldades relacionadas à construção de totalidades ao longo de um processo de aprendizagem. Para o autor, em muitos casos, o aluno não consegue expandir seu sistema explicativo para o nível dos princípios gerais, permanecendo no plano das explicações localizadas, com pouca capacidade de generalização. Mortimer indica, ainda, a necessidade de elaboração de estratégias específicas de ensino para lidar com essa expansão de explicações e auxiliar os estudantes a superarem suas dificuldades em generalizar.

O cuidado na análise das trajetórias de aprendizagem dos estudantes é corroborado por KAPER e GOEDHART (2002). Para eles, não basta uma única atividade de ensino para que os alunos se apropriem dos conceitos que devem ser ensinados. Pelo contrário, eles devem rever os conceitos em atividades que sejam recursivas e que façam a integração entre o todo e as partes. Essa necessidade de recursividade e de diversificação de atividades se justifica pelo fato de que é necessário um conjunto de conceitos para se explicar uma determinada situação (VERGNAUD, 1990 e 1993). Assim, a apropriação, por parte do sujeito, de um determinado conteúdo, irá necessitar fortemente da evolução dos modelos explicativos desenvolvidos ao longo de sua instrução.

É preciso que se utilize um referencial teórico que dê conta dos processos de progressão dos estudantes, ao longo do tempo, desde os modelos pessoais até os científicos e que possa explicar as diferentes formas de aproximação frente aos problemas apresentados pelas atividades de ensino.

1.2 – Processos de Modelagem no Ensino e na Aprendizagem em Ciências

Acreditamos que a aprendizagem dos conceitos científicos é um processo fortemente dependente das atividades de modelagem. Essa crença se apóia no

fato de que

“uma teoria física não se aplica diretamente às situações experimentais, mas requer a intermediação de modelos, envolvendo formalismos matemáticos e aspectos qualitativos relacionados ao campo experimental”. (COLINVAUX e BARROS, 2003, p. 2)

Os modelos utilizados pela ciência possibilitam a construção de relações entre os aspectos teóricos e experimentais, na medida em que fornecem uma base para a ação cognitiva do sujeito. O elo de ligação entre todas as partes das ciências é a construção de modelos.

Embora haja um consenso entre os pesquisadores acerca da importância da construção de modelos causais na aprendizagem em ciências, há divergências na compreensão do que sejam os modelos e sua aplicação em situações de ensino.

A tradição kuhniana afirma que os modelos são partes constituintes de um paradigma e dirigem as analogias e os experimentos que podem ser feitos pela ciência normal (KUHN, 2003). Essa tradição trabalha com os modelos como entidades já estabelecidas na estrutura dos conceitos científicos, o que implica em uma limitação à sua utilização no contexto educacional (FRANCO et al, 1999). Essa limitação está relacionada ao fato de que o aprendiz em ciências constrói e re-constrói suas explicações sobre as ciências ativamente em um processo dinâmico que envolve rupturas e continuidades.

A interpretação de NERSESSIAN (1992) sobre o conceito de modelo é distinta daquela utilizada por Kuhn, porquanto não faz referência às formas de pensar estabelecidas pelas teorias científicas. Para a autora, os modelos são pontos de partida para o desenvolvimento das teorias e funcionam como “andaimes em construções”, que apóiam a elevação do prédio. Uma vez terminada a construção, tais andaimes são descartados por não mais serem necessários. Assim, os modelos são para NERSESSIAN, auxiliares ao

aprendizado dos conceitos científicos e não parte integrante deles.

DUIT e GLYNN (1996) apresentam uma conceitualização para “modelo”, largamente utilizada no meio educacional. Para as autoras, o modelo se compõe de dois domínios, a Fonte e o Alvo, que não são idênticos, mas que compartilham certos atributos ou partes de sua estrutura e uma representação das características do domínio Fonte que são análogas às do domínio Alvo, que é, em essência, o modelo. Essa busca de partes da estrutura ou de atributos presentes nos dois domínios é chamada de “relação analógica” (DUIT e GLYNN, 1996, p. 167). Tal relação analógica representa o cerne de todo o processo de modelagem. A figura a seguir representa a relação entre o modelo, e os domínios Fonte e Alvo.

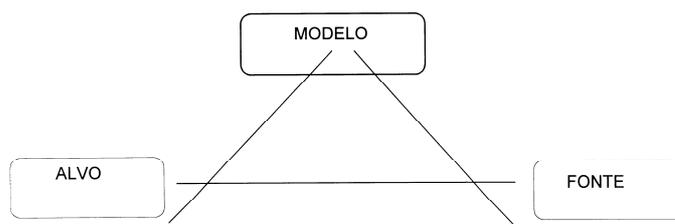


Figura 1.1 - Relação entre o modelo e os domínios Fonte e Alvo.

As representações que caracterizam os modelos podem ser individuais, indicando os conhecimentos de um dado sujeito – os chamados modelos mentais –, ou compartilhadas por uma comunidade científica, aqui denominados modelos conceituais. Os modelos mentais permitem ao sujeito “fazer *predições e inferências, entender fenômenos e eventos, realizar decisões e controlar suas execuções*”. (BORGES e GILBERT, 1999, p. 96).

Para WELLS, HESTENES e SWACKHAMER (1995), os modelos em Física são representações conceituais da estrutura de sistemas físicos e/ou de suas propriedades. Os autores advogam, ainda, que a completa solução de um problema físico é, na verdade, um modelo e não, como se supõe freqüentemente, um mero número ou a resposta a alguma questão colocada no problema. HESTENES (1996, p.8) apresenta, nesse contexto, um quadro para especificar as

estruturas que compõe um modelo físico, que está reproduzido a seguir.

Especificação de Modelo

Um modelo é uma representação da estrutura de um sistema físico e/ou de suas propriedades. Ele descreve (ou especifica) quatro tipos de estrutura, cada uma com componentes internos e externos.

(a) a estrutura sistêmica especifica

- . *composição* (partes internas do sistema)
- . *ambiente* (agentes externos ligados ao sistema)
- . *conexões* (ligações causais internas e externas)

(b) a estrutura geométrica especifica

- . *posições* a respeito de um sistema de referência (geometria externa)
- . *configuração* (relações geométricas entre as partes)

(c) a estrutura temporal especifica a mudança nas variáveis de estado (propriedades do sistema)

- . *modelos descritivos* representam as mudanças por funções explícitas de tempo
- . *modelos causais* especificam as mudanças por equações diferenciais e com as leis de interação

(d) a estrutura de interação especifica as *leis de interação*.

Quadro 1.1 - Especificação das estruturas de um modelo segundo HESTENES (1996).

O processo de formação e utilização dos modelos é chamado de modelagem⁷ e é uma atividade essencialmente mental, uma vez que envolve representações internas ao sujeito. Nesse processo, COLINVAUX e BARROS (2003) evidenciam a articulação necessária entre o empírico (o mundo das coisas e eventos) e o teórico (o mundo das teorias e modelos). Para os autores, o laboratório didático de Física deve ser o local em que o estudante cria e testa

⁷ O termo original, em inglês é “modeling” e sua tradução pode ser feita como “modelagem”. Em língua portuguesa, utilizada em Portugal, emprega-se, ainda, o termo “modelação”.

hipóteses, efetuando o diálogo entre teoria e experimento, com vistas a intensificar o processo de modelagem pois.

“quando uma pessoa ou grupo de pessoas explica, interpreta ou prediz situações no mundo material, a maior parte do tempo suas produções vinculam objetos observáveis ou eventos, e/ou parâmetros físicos e/ou relações entre eles, e isso envolve uma atividade de modelagem.” (TIBERGHIEEN, 2000, p.28)

Uma tentativa de se estabelecer uma metodologia de trabalho na área de modelagem é o “método de modelagem” (“modeling method”) (WELLS, HESTENES e SWACKHAMER, 1995; HESTENES, 1996). Essa metodologia é centrada no aluno e pretende ajudá-lo a desenvolver uma compreensão mais integrada da Física. Com o “método de modelagem”, cada problema físico é resolvido por meio da criação de um modelo ou, mais freqüentemente, adaptando um modelo conhecido às especificações do problema. A crença fundamental é a de que o entendimento científico emerge pela criação e utilização de modelos, ou seja, por meio da modelagem. Para os autores, uma atividade de ensino em ciências, para ser efetiva, deve ensinar os alunos a modelar, no sentido de possibilitar que cada estudante crie seus modelos para compreender o mundo físico.

É necessário, portanto, que o estudante esteja ativamente engajado nas atividades para que ele possa desenvolver as habilidades de modelagem. Ao longo de tais atividades, o estudante é encorajado a apresentar seus modelos a outros alunos, no sentido de se criar uma base para o confronto de idéias entre os pares.

Para dar conta de melhorar as aquisições conceituais dos estudantes, o “método de modelagem” organiza os conteúdos curriculares em torno de um pequeno grupo de modelos básicos que descrevem os padrões de funcionamento mais diretos, os quais podem ser aplicados em diversas outras situações. Tal aplicação está orientada

“para explicar ou prever fenômenos físicos, bem como para planejar e interpretar experimentos. Também inclui a construção de modelos mais complexos pela modificação dos modelos básicos. Há uma ênfase explícita na estrutura do conhecimento científico como base para a compreensão científica. Reduzindo o conteúdo essencial do curso a um pequeno número de modelos, reduz-se grandemente a aparente complexidade do assunto”. (WELLS, HESTENES e SWACKHAMER, 1995, p. 610)

HESTENES indica a existência de três níveis para o processo de modelagem:

- (1) Construção do Modelo: ao ser colocado frente a uma situação, aqui entendida como uma tarefa a ser desempenhada, como um experimento de laboratório ou um problema teórico apresentado em um livro, o sujeito necessita organizar as informações disponíveis, classificando-as como relevantes ou não e, se necessário, introduzir informações adicionais. Com isso, o sujeito pode utilizar-se de um modelo já conhecido para dar conta dessa nova situação ou terá que gerar novos modelos. Os passos para a construção de um modelo capaz de dar conta da situação apresentada são identificar o sistema, as variáveis e as propriedades que interessam e especificar as variáveis que as representam.
- (2) Análise do Modelo: uma vez construído, o modelo pode ser analisado, para que se possa compreender sua estrutura. O sujeito deve, então, utilizar o modelo para realizar predições, que são chamadas de “inferências baseadas no modelo” (“model-based inference”). Para HESTENES, *“todas as predições científicas são inferências realizadas a partir de modelos”* (1996, p. 14).
- (3) Validação do Modelo: após realizar as predições, o sujeito compara as características do sistema que está sendo representado com a estrutura e o comportamento do modelo construído. Dessa forma, é possível verificar, não somente os pontos de convergência, como também aquilo que há de diferente entre o sistema modelado e o modelo propriamente dito. Esse processo pode ser depurado, permitindo que se refine o modelo até que ele forneça respostas coerentes com os dados obtidos empiricamente.

Nesse processo, o professor deve prover os estudantes com as ferramentas que permitem a geração de um modelo, planejar rigorosamente as atividades e conduzi-las de forma a permitir que os alunos consigam testar e reformular seus modelos. É importante que o professor procure, na literatura disponível, as concepções alternativas dos estudantes e trabalhe com elas ao longo do processo de construção, análise e validação do modelo.

CLEMENT e OVIEDO (2003), a partir da constatação de que ainda não há mecanismos que expliquem como os estudantes constroem modelos mentais, apresentam uma estratégia que é baseada na teoria de ensino e aprendizagem por modelagem, chamada de “competição de modelos” (“model competition”), em oposição ao processo de “evolução de modelos” (“model evolution”), no qual o professor desenha e aplica uma seqüência de atividades que geram pequenas insatisfações nos alunos. Dessa forma, seus modelos explicativos vão sendo depurados em um processo contínuo. Durante o processo de ensino e aprendizagem em uma sala de aula o professor tem a oportunidade de utilizar a “competição de modelos” quando há uma participação dos estudantes com idéias que são contraditórias entre si. Essas idéias conduzem a insatisfações nas mentes dos estudantes que podem conduzir a mudanças radicais em seus modelos. As comparações entre os modelos dos estudantes podem iluminar as características mais fundamentais dos modelos conceituais da ciência. Os autores conduziram um estudo de caso que focava um professor em interação com uma sala de ensino médio, durante o estudo do tópico “respiração” e não apresentaram uma conclusão fechada acerca de quando e como cada estratégia deve ser utilizada para a obtenção de melhores resultados.

1.3 – Os Campos Conceituais de Vergnaud

Gèrard Vergnaud é um psicólogo pertencente à tradição piagetiana que procura investigar o sujeito do conhecimento durante o desenvolvimento de uma

situação de ensino. Vergnaud procura redirecionar o foco piagetiano do sujeito epistêmico para o do sujeito-em-ação. Esse deslocamento de objeto central de análise procura responder à pergunta central de como o sujeito aprende em situação⁸.

Podemos entender que as visões de Piaget e Vergnaud são complementares quando pensamos em atividades de intervenção didática em sala de aula. Com a análise do sujeito de situação, proposta por Vergnaud, podemos compreender melhor a evolução temporal dos sujeitos à medida que aprendem. Para o autor, o desenvolvimento cognitivo é fortemente influenciado pelo conteúdo do ensino. A sua teoria dos campos conceituais afirma que o ponto fundamental da cognição é o processo de conceitualização do real, atividade psicológica interna ao sujeito que não pode ser reduzida a operações lógicas gerais, nem às operações puramente lingüísticas, nem à reprodução social, nem à emergência de estruturas inatas, nem, enfim, ao modelo do processamento de informação (VERGNAUD, 1983, p. 392, apud MOREIRA, 2002, p. 2).

Por outro lado, com Piaget possuímos dispositivos de análise dos mecanismos que podem conduzir as aprendizagens. A Epistemologia Genética nos fornece a compreensão das operações lógicas gerais e das estruturas gerais do pensamento, o que nos permite entender o modo pelo qual um dado conhecimento pode ser internalizado pelo sujeito.

Para Vergnaud, o conhecimento está organizado em *campos conceituais* cujo domínio, por parte do aprendiz, vai acontecendo ao longo de um extenso período de tempo, por meio da experiência, maturidade e aprendizagem (MOREIRA, 2002). Esses campos conceituais são recortes do mundo físico com um forte componente cultural associado. Vergnaud define como campo conceitual

“um conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações,

⁸ Não se trata de negar a atenção que Piaget deu às situações de aprendizado. Para o desenvolvimento da psicologia genética, era importante que fosse estudado o sujeito em ação. No entanto, nos parece que esse estudo era um passo para que Piaget pudesse compreender o sujeito epistêmico, ou seja, para que fosse possível desenvolver a sua Epistemologia Genética.

estruturas, conteúdos e operações de pensamento, conectados uns aos outros e, provavelmente, entrelaçados durante o processo de aquisição". (MOREIRA, 2002)

Um ganho em se trabalhar com o conceito de campos conceituais é que essa é uma teoria complexa, que pretende lidar com o desenvolvimento cognitivo e com a aprendizagem de competências complexas, levando em consideração os próprios conteúdos do conhecimento e a análise conceitual do seu domínio (MOREIRA, 2002, p. 1).

Vergnaud apresenta três justificativas para se utilize o conceito de campo conceitual como forma de análise para a questão da obtenção de conhecimento, que estão apresentadas a seguir.

- (1) *um conceito não se forma dentro de um só tipo de situação*, o que sugere a necessidade de se diversificarem as atividades de ensino, em um movimento que permita ao sujeito a aplicação de um dado conceito em diversas situações e que faça a integração entre as partes e o todo, como sugere MORTIMER (1996). Vários autores, como HESTENES (1996) e KAPER e GOEDHART (2002) confirmam essa proposição. A necessidade de diversificação de situações cumpre um papel importante na conceitualização, pois fornece uma base para que os estudantes possam testar seus modelos explicativos em contextos diversos, enriquecendo tais modelos ou reformulando-os, como nos indica VOSNIADOU (1994).
- (2) *uma situação não se analisa com um só conceito*, o que implica na necessidade de uma visão integradora do conhecimento. Atividades didáticas que permitam uma visão generalizante do conhecimento podem contribuir para uma melhor apropriação do mesmo por parte dos estudantes. HESTENES (1996) advoga que a redução na quantidade dos conteúdos trabalhados em sala de aula em favor da centralização em conceitos-chave provê a chave para que os estudantes tenham tempo de construir, testar e validar seus modelos explicativos. Acreditamos que, trabalhando os conceitos que estruturam um dado campo conceitual com

profundidade e durante um intervalo de tempo suficiente, fornecemos elementos para que os estudantes construam uma visão integradora do que está sendo aprendido.

(3) *a construção e apropriação de todas as propriedades de um conceito ou todos os aspectos de uma situação é um processo longo*, o que está em perfeita sintonia com o que CLEMENT (2000) afirma acerca da progressão dos modelos pessoais em direção aos modelos científicos. É importante, pois, que os diversos patamares que podem ser atingidos pelos estudantes ao longo de sua instrução sejam levados em conta no desenho e na posterior aplicação de intervenções didáticas. Mesmo que falsos no plano científico, tais modelos explicativos podem cumprir um importante papel na trajetória de aprendizagem de um dado sujeito.

Na teoria dos campos conceituais, o desenvolvimento cognitivo depende fortemente da situação e da conceitualização específicas. O autor entende que a “situação” é qualquer tarefa, teórica ou empírica, a ser realizada pelo sujeito.
Segundo VERGNAUD

“o saber se forma a partir de problemas para resolver, quer dizer, de situações para dominar. [...] Por ‘problema’ é preciso entender, no sentido amplo que lhe atribui o psicólogo, toda situação na qual é preciso descobrir relações, desenvolver atividades de exploração, de hipótese e de verificação, para produzir uma solução” (1990, p. 52).

Sendo assim, Vergnaud, ao contrário de Piaget, não procura construir uma teoria geral para o aprendizado. Pelo contrário, procura relacionar o desenvolvimento do sujeito com as tarefas que esse sujeito é levado a resolver. Nota-se que, para Vergnaud, a cognição possui uma componente fortemente situada nas situações.

Vergnaud afirma que o processo de desenvolvimento cognitivo, por ser

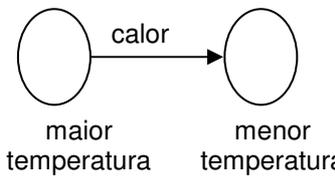
fortemente dependente das situações a serem enfrentadas pelo sujeito, tem como cerne a construção de conceitos, ou seja, a conceitualização. A conceitualização é um processo longo, que requer uma diversificação das situações.

Se, para Vergnaud, a conceitualização é o cerne do desenvolvimento cognitivo, devemos, pois, compreender o que se entende por conceito na teoria dos campos conceituais. Para o autor, o *conceito* é tido como formado por três conjuntos:

- (1) o conjunto das situações (S) que dão sentido ao conceito. A entrada em um Campo Conceitual se dá pelas situações, que são responsáveis pelo sentido que é atribuído ao conceito, ou seja, um conceito torna-se significativo através de uma variedade de situações. Essa postulação de Vergnaud se inscreve no âmago de sua teoria dos campos conceituais, uma vez que o foco de análise é o sujeito-em-ação. O conjunto das situações é reconhecido como o referente do conceito.
- (2) os invariantes (I) sobre os quais repousa a operacionalidade dos conceitos. Esses invariantes representam aquilo que se preserva nos conceitos e que permite que sejam reconhecidos como tais nas situações. Os invariantes representam o significado do conceito.
- (3) as representações simbólicas (R) que podem ser utilizadas para indicar e representar os invariantes e, portanto, representar as situações e procedimentos para lidar com elas. É identificado como o significante do conceito.

Como exemplo, vamos utilizar os conceitos de calor e temperatura. Na determinação desses conceitos, à luz da teoria dos campos conceituais, teremos que apresentar as situações, os invariantes operatórios e as representações. Para o estabelecimento dos invariantes, optamos, nesse momento, por apresentar um modelo elaborado por nós. É importante perceber que mesmo se um invariante operatório é enunciado em um livro didático ou por um professor, durante uma

aula, não significa que o aluno o explicitará e, se o fizer, pode não ser da mesma forma como foi enunciado (BITTAR, 2002, p.7).

Conceito: Calor		
Situações que envolvem o conceito de calor	Invariantes Operatórios passíveis de serem enunciados pelos estudantes	Representações Simbólicas
<p>Processos de aquecimento e resfriamento. Sensações térmicas. Mudanças de estado físico. Funcionamento de máquinas térmicas. Interações térmicas entre sistemas.</p>	<p>O calor sempre flui do objeto de maior para o de menor temperatura sendo, portanto, um processo assimétrico O calor pode provocar variação de temperatura e/ou mudança de estado físico. O calor é um processo irreversível. Há uma equivalência entre calor e trabalho. Em um sistema isolado termicamente, a quantidade de calor cedido é igual à quantidade de calor recebido.</p>	<p>$Q = m.c.\Delta T$ Q = quantidade de calor m = massa c = calor específico ΔT = variação da temperatura $\Delta U = Q - W$ ΔU = variação da energia interna de um sistema W = trabalho realizado</p> 

Conceito: Temperatura		
Situações que envolvem o conceito de temperatura	Invariantes Operatórios passíveis de serem enunciados pelos estudantes	Representações Simbólicas
<p>Processos de aquecimento e resfriamento. Interações térmicas entre sistemas. Análise da energia interna de um sistema.</p>	<p>Por meio da temperatura, podemos verificar se haverá um fluxo de calor entre dois sistemas. A temperatura indica o sentido do fluxo de calor. A diferença de temperatura entre dois sistemas que interagem termicamente está associada à intensidade do fluxo de calor. A temperatura de um sistema pode ser alterada pelo calor ou pelo trabalho. As partículas têm energia cinética, cujo valor médio está associado à temperatura.</p>	<p>$\bar{E}_C = \frac{3}{2}KT$ \bar{E}_C = energia cinética média K = constante de Boltzman T = temperatura</p>

Tabela 1.1 - Os conceitos de calor e temperatura, segundo as categorias propostas por Vergnaud.

Frente a uma determinada situação, o sujeito age segundo as representações que dela faz, sendo que a ligação entre as representações e a sua conduta é o esquema. A noção de esquema é, para Vergnaud, a maior

contribuição de Piaget e é entendido como “*a organização invariante do comportamento para uma determinada classe de situações*” (MOREIRA, 2002). VERGNAUD afirma que “*o conceito de esquema é muito frutífero, não somente para descrever comportamentos familiares, mas também para descrever e compreender os processos de resolução de problemas*” (1998, p. 173).

VERGNAUD (1998, p.173) identifica 4 ingredientes de um esquema, que são:

- metas (objetivos) e antecipações, pois um esquema está orientado sempre à resolução de uma determinada classe de situações.
- Regras de ação, busca por informações e controle, que são os elementos que dirigem a seqüência de ações do sujeito;
- invariantes operatórios (teoremas-em-ação e conceitos-em-ação) que dirigem o reconhecimento, por parte do indivíduo, dos elementos pertinentes à situação e, portanto, guiam a construção dos modelos mentais;
- possibilidades de inferência (ou raciocínios) que permitem determinar as regras e antecipações a partir das informações e dos invariantes operatórios de que dispõe o sujeito.

Destes ingredientes, os invariantes operatórios, cujas categorias principais são *teoremas-em-ação* e *conceitos-em-ação*, constituem a base conceitual implícita que permite obter a informação pertinente e, a partir dela e dos objetivos a alcançar, inferir as regras de ação mais pertinentes (VERGNAUD, 1996, p. 201). Assim, é nos esquemas que devemos pesquisar os conhecimentos-em-ação do sujeito (os conceitos-em-ação e as teorias-em-ação⁹), uma vez que é aí que podemos encontrar os elementos que fazem com que a sua ação seja operatória. Vergnaud prefere falar da interação esquema-situação, ao invés da interação sujeito-objeto, como fazia Piaget. O esquema é um referente do sujeito do conhecimento e a situação é a circunstância e o contexto em que o objeto a ele

⁹ Segundo MOREIRA (2002), os conceitos-em-ação e as teorias-em-ação não são os conceitos e as teorias apresentados pela ciência, uma vez que os primeiros são implícitos, sendo a base para a abordagem das situações.

se apresenta.

Em Piaget, de modo semelhante, a interação sujeito-objeto não é direta, mas mediada por esquemas de assimilação que o sujeito dispõe e lança mão ao interagir com o objeto do conhecimento. O que Vergnaud acrescenta a Piaget é uma maior ênfase ao caráter situado da conceitualização. O objeto do conhecimento será, então, sempre um objeto em situação.

Os esquemas podem estar relacionados com duas classes de situações:

- (1) o sujeito possui todas as competências necessárias à sua resolução e as reconhece como tal: nesse caso, há a utilização dos esquemas que o sujeito possui, com condutas automatizadas, o que revela os componentes operatórios que são mais permanentes e que estão de certa forma cristalizados no sujeito. Nesse caso, não há a construção de modelos mentais e as condutas são mais diretas;
- (2) o sujeito não possui todas as competências necessárias à sua resolução ou não as reconhece com tal: ele tenta a utilização de vários esquemas e os aplica até conseguir uma resposta favorável. É nesse ponto que GRECA e MOREIRA (2002) advogam a utilização dos modelos mentais como forma de abordagem. Para enfrentar uma situação que seja nova, o sujeito precisa gerar modelos mentais, que são mediadores entre a situação e o conhecimento que possui. Segundo DUIT e GLYNN (1996), é necessário que o sujeito desenvolva um pensamento analógico, que é a base dos modelos mentais. Dessa forma, é possível verificar, por meio de inferências e predições, a eficiência de tais modelos mentais criados em relação à situação-problema em questão. Os modelos mentais são construídos para a abordagem de uma dada situação, permitindo ao sujeito fazer predições e inferências. Se esta abordagem se revelar frutífera, tais modelos são incorporados aos modelos explicativos do sujeito, reorganizando seu sistema cognitivo. Caso contrário, é necessária a construção de novos modelos mentais.

Portanto, a integração entre os campos conceituais de Vergnaud e a teoria dos modelos fornece uma unidade de análise capaz de explicar a trajetória de aprendizagem do sujeito. As condutas dos estudantes, reveladas ao longo de sua instrução, possuem uma componente automatizada e uma que faz parte da decisão de cada sujeito, o que permite concluir ser pertinente a relação entre esquemas e modelos mentais.

A noção de esquema, comum a Piaget e Vergnaud, deve conduzir a análise dos conhecimentos-em-ação do sujeito. Uma das maneiras de se verificar tais conhecimentos é por meio do acompanhamento dos diversos momentos em que os estudantes são chamados a dar respostas a problemas. É possível que se verifique, por meio da análise das estratégias utilizadas na resolução de um problema, os esquemas que um determinado sujeito utiliza para a sua resolução, bem como os modelos mentais construídos frente a novas situações. Essa análise permite compor um quadro em que se verifica a evolução temporal dos modelos explicativos dos sujeitos, inferida a partir dos conceitos-em-ação e dos teoremas-em-ação utilizados ao longo de uma atividade de ensino, de acordo com a teoria dos campos conceituais de Vergnaud.

SOUSA e FÁVERO (2002) apresentam uma proposta de trabalho que utiliza a resolução de problemas, em seções individuais, como instrumento de análise das aquisições conseguidas em um campo conceitual em particular (no caso, a Eletricidade). Em sua abordagem, as autoras procederam a aplicação de entrevistas clínicas em que o aprendiz dialogava com um especialista, tendo a oportunidade de rever suas concepções à medida que os problemas iam sendo resolvidos.

1.4 – Os Estilos de Aprendizagem

Uma preocupação que deve estar no bojo das atividades de ensino é o conhecimento do perfil de cada grupo de alunos no âmbito escolar, com a

compreensão das preferências reveladas pelos estudantes no processo de aprendizado e suas maneiras peculiares de aprender os conceitos científicos. Esse conhecimento deve se dar à medida que as atividades de ensino vão se desenvolvendo, com o educador assumindo uma postura de constante investigação em sala de aula. Por meio de tal conhecimento, podemos planejar atividades de intervenção didática que atendam às diversas preferências dos estudantes, possibilitando o engajamento de um maior número de estudantes. Não se trata, porém, de se reforçar as atividades que são da preferência de um dado sujeito.

“muitos educadores querem saber se um estilo de aprendizagem é ‘melhor’ que outro ou se eles podem ensinar estudantes usando somente o estilo de aprendizagem preferido deles. A resposta é NÃO. Cada estilo de aprendizagem é especial, mas, ao mesmo tempo, tem seu campo de atuação e suas fraquezas. Isso significa que para preparar nossos estudantes para os desafios futuros, nós devemos auxiliá-los a se ajustar e a funcionar em estilos que podem não ser os mais confortáveis.” (HAIMER et al, 1990, p.4)

Acreditamos ser importante que cada estudante tenha acesso a diversas formas de obtenção de conhecimento. No entanto, o conhecimento dos estilos de aprendizagem e a sua utilização no desenho das atividades em sala de aula pode funcionar como motivador para as participações dos estudantes.

Para identificar as diferenças entre os alunos quanto às preferências individuais no que se refere ao processo de ensino-aprendizagem podemos utilizar o conceito de Estilos de Aprendizagem. A literatura aponta diversos significados para esse conceito, com algumas semelhanças entre eles, mas que diferem nas formas de interpretação e que vão desde abordagens derivadas dos tipos psicológicos de Carl Jung até classificações baseadas em dimensões de processamento e cruzamento de percepções (MACHADO et al, 2001).

Para FELDER e SALOMON (1998), um dado estilo de aprendizagem é definido entre pares que representam atitudes opostas frente às atividades de

aprendizagem. Para os autores, todo mundo apresenta um pouco de cada categoria. A preferência por uma categoria ou por outra pode ser forte, moderada ou fraca. O equilíbrio entre cada par de categorias seria, segundo os autores, o ideal. Os pares de categorias são:

- (1) **Aprendizes Ativos e Reflexivos:** Os ativos tendem a compreender melhor por meio da ação, discutindo, aplicando ou explicando os conceitos aos outros. Os reflexivos preferem meditar sobre o assunto.
- (2) **Aprendizes Sensoriais e Intuitivos:** os sensoriais preferem aprender fatos, resolvendo problemas com métodos estabelecidos e sem surpresas, são detalhistas e memorizam fatos com muita facilidade. Tendem a ser práticos e cuidadosos. Os intuitivos gostam de descobrir possibilidades e novidades, se aborrecendo com repetições, são bons em abstrações e formulações matemáticas. São mais rápidos e inovadores no trabalho.
- (3) **Aprendizes Visuais e Verbais:** os visuais são aqueles que aprendem melhor o que vêem. Aprendizes verbais se aproveitam melhor daquilo que ouvem. Para os autores, os bons aprendizes são aqueles que conseguem processar as informações visuais ou verbais.
- (4) **Aprendizes Seqüenciais e Globais:** os seqüenciais aprendem melhor de forma linear, em estágios com seqüenciamento lógico. Já os globais aprendem aleatoriamente, em saltos conceituais e são bons em resolver, rapidamente, problemas complexos.

As categorias apresentadas por Felder e Salomon se apóiam fortemente em preferências dos sujeitos e se manifestam na prática, durante uma atividade de aprendizado. Por isso, não é possível que se afirme que um dado sujeito *tenha* um certo estilo de aprendizagem, uma vez que as preferências estão interligadas com as atividades de ensino que estão sendo conduzidas.

Um outro trabalho, conduzido por KOLB (1984) procura sintetizar

categorias de análise e nos parece, por isso, mais adequadas aos nossos propósitos. O autor advoga que o desenvolvimento das preferências por diferentes estilos de aprendizado ocorre paralelamente ao desenvolvimento de outros estilos pessoais, sendo o resultado de nosso equipamento hereditário, nossas experiências de vida e das demandas atuais do ambiente.

O modelo estabelecido por Kolb, apresenta duas dimensões, que são: Ativa-Reflexiva e Teórica-Concreta. Essas dimensões podem se entrelaçar para definir um dado estilo de aprendizagem. A partir delas, Kolb construiu 4 estilos de aprendizagem:

- **Acomodadores**, que compreendem as dimensões Concreta e Ativa: apóiam-se fortemente na experimentação ativa, conduzida com objetos concretos. São, via de regra, motivados pela questão “o que irá acontecer se eu fizer isso?”. Procuram por novos significados no processo de aprendizado e levam em conta o que conseguem fazer tão bem quanto o que outros fizeram antes. Esses aprendizes são bons com a complexidade e são hábeis em ver relações entre vários aspectos do sistema estudado. Uma variedade de métodos é indicada para esse estilo de aprendizagem, mas tudo o que encoraje descobertas independentes é provavelmente o mais desejável, uma vez que acomodadores preferem ser ativos no processo de aprendizagem. Para os educadores, é importante suscitar perguntas tais como “e se?” e “porque não?”.
- **Assimiladores**, relacionados com as dimensões Teórica e Reflexiva: representam o estilo de aprendizagem oposto ao dos acomodadores. São motivados a responder questões do tipo “o que há para saber?”. Preferem a recepção de informações precisas, organizadas e tendem a respeitar o conhecimento de especialistas. Não se sentem confortáveis em explorar aleatoriamente as características de um sistema. As aulas expositivas, palestras e conferências, demonstrações e explorações em laboratório guiadas por roteiros são indicadas para esse tipo de estilo de aprendizagem.
- **Convergentes**, formados pelas dimensões Teórica e Ativa: são motivados a descobrir a relevância ou o “de que maneira” de uma dada situação. Isso significa

dizer que os convergentes pretendem descobrir como uma situação ocorre, não se interessando pelo porquê. Aplicação e utilidade de um conhecimento é acrescida pela compreensão detalhada sobre a operação do sistema. Os métodos de ensino que são mais indicados para os convergentes devem ser interativos, nos quais o sujeito tem a oportunidade de verificar, por ele próprio, os mecanismos de funcionamento.

- **Divergentes**, formados pelas dimensões Concreta e Reflexiva: representam o estilo oposto ao dos convergentes. São motivados pela descoberta da relevância ou do “porquê” de uma situação. Eles gostam de pensar a partir de informações específicas e concretas e explorar o que um sistema tem a oferecer e preferem ter informações apresentadas de uma maneira detalhada, sistemática e equilibrada. Os métodos que são indicados para os Divergentes incluem leituras e experimentos em que o estudante participa ativamente, buscando entender as causas do funcionamento.

As atividades e os métodos de ensino citados não representam, para o autor, indicações para serem trabalhadas com os sujeitos em todas as situações. São, somente, o levantamento das abordagens didáticas que melhor satisfazem as preferências dos sujeitos em cada categoria. O importante, para Kolb, é a diversificação de estratégias. Assim, por exemplo, os divergentes devem ser submetidos a atividades de ensino em que haja predomínio de ações teóricas e ativas no sentido de se construir uma maior abrangência em seus esquemas. Além disso, é importante ressaltar que os termos “assimilador” e “acomodador” não possuem qualquer relação com os processos de assimilação e acomodação descritos por Piaget em sua Epistemologia Genética (PIAGET, 1985).

O quadro a seguir mostra as duas dimensões e os quatro estilos de aprendizagem da forma como concebido por Kolb.



Figura 1.2 - Diagrama dos estilos de aprendizagem desenvolvido por LITZINGER e OSIF (1992, p.79).

Os estilos de aprendizagem, tais como definidos por Kolb, foram considerados nessa pesquisa, tanto para justificar a variedade de atividades propostas na seqüência de ensino quanto para a caracterização das trajetórias de aprendizagem dos estudantes investigados.

Apesar de não haver, por parte de Vergnaud, a preocupação em discutir os estilos de aprendizagem, podemos utilizar a proposição do autor de que o desenvolvimento cognitivo depende das situações e conceitualizações específicas para concluir que o estilo de aprendizagem se define na prática, em função da atividade de ensino que está sendo vivenciada.

CAPÍTULO 02 – O DESENHO DA PESQUISA

*“é preciso fé cega e pé atrás
olho vivo, faro fino e tanto faz
é preciso saber de tudo
e não pensar em nada
fé cega, pé atrás.”
(Humberto Gessinger)*

2.1 – Uma Postura Inspirada na Etnometodologia

Uma pesquisa que se proponha a analisar as trajetórias de aprendizagem dos alunos deve dar importância às características centrais que envolvem as relações presentes no ambiente da sala de aula. Para isso, o pesquisador deve se preocupar em conhecer o significado que os eventos cotidianos têm para os que deles participam, identificar as nuances do entendimento pessoal que motiva os vários participantes e compreender as mudanças que ocorrem ao longo do tempo (ERICKSON, 1998). Nesse processo, é preciso que o pesquisador esteja familiarizado com os processos que ocorrem em sala e aqueles que ocorrem no ambiente escolar. Segundo MOREIRA (2003)

“A realidade da sala de aula se faz pelo trabalho interpretativo de alunos e professor. A atividade permanente de interpretação do que se faz e do que ocorre produz e organiza as muitas circunstâncias do cotidiano escolar” (p. 22)

O pesquisador deve estar preparado para se envolver com as práticas correntes de uma sala de aula, com o estatuto das trocas entre os alunos e entre estes e o professor e com os procedimentos utilizados no cotidiano escolar, suas regras e combinados. É preciso compreender essa realidade para analisar as trajetórias de aprendizagem dos alunos, identificando os motivos que podem produzir ou não êxito em uma intervenção didática. Nessa perspectiva, é importante que o pesquisador se insira na comunidade educativa, no sentido de

conhecer as práticas cotidianas e ser reconhecido e respeitado como participante de tal cotidiano.

Essa postura de inserção tem as suas bases fundadas na etnometodologia (COULON, 1995), onde o pesquisador procura se familiarizar com o que se passa no ambiente da pesquisa, tentando conseguir uma interação mais profunda com os pesquisados.

“A palavra ‘etnometodologia’ não deve ser entendida como uma metodologia específica da etnologia ou uma nova abordagem metodológica da sociologia. Sua originalidade não reside aí, mas em sua concepção teórica dos fenômenos sociais. O projeto científico dessa corrente é analisar os métodos – ou, se quisermos, os procedimentos – que os indivíduos utilizam para levar a termo as diferentes operações que realizam em sua vida cotidiana. Trata-se da análise das maneiras habituais de proceder mobilizadas pelos atores sociais comuns a fim de realizar suas ações habituais”. (COULON, 1995, p.15)

Dessa forma, a preocupação central nesse tipo de postura é reconhecer que todos os envolvidos na pesquisa são sujeitos sociológicos atuando em cenários sociais específicos. Tais sujeitos possuem histórias singulares, sendo, por isso, dotados de uma gama de conhecimentos, valores e atitudes que os diferenciam dos demais.

Essas características próprias de cada sujeito contribuem para o estabelecimento dos estilos de aprendizagem e influem de forma decisiva nos processos de ensino-aprendizagem, pois atuam no estatuto das relações sociais presentes em todos os ambientes escolares e, sobretudo, em sala de aula. É de suma importância o reconhecimento da existência de diferentes estilos de aprendizagem em um ambiente de sala de aula. Essa preocupação esteve em evidência na construção da seqüência de ensino, na escolha dos estudantes que seriam acompanhados e na análise dos resultados. No entanto, não foram criados mecanismos formais para a investigação dos estilos de aprendizagem dos sujeitos pesquisados. Portanto, postulamos a existência de tais estilos e da influência que eles podem exercer nas trajetórias de aprendizagem dos sujeitos.

Inicialmente, pretendíamos, com esta pesquisa investigar os diversos estilos de aprendizagem dos estudantes e relacionar tais estilos às suas trajetórias de aprendizagem. Em razão desse interesse, a elaboração da seqüência de ensino procurou apresentar uma diversidade de situações de modo a favorecer a aprendizagem de estudantes com diferentes estilos de aprendizagem¹⁰. Não foi possível, entretanto, compor uma metodologia que considerássemos válida e confiável para a identificação dos estilos de aprendizagem dos sujeitos envolvidos na pesquisa. A maior parte dos autores (KOLB, 1984; KEMPA e DIAZ, 1992; FELDER e SALOMON, 1998) utiliza, para tanto, questionários nos quais os sujeitos investigados manifestam suas preferências de aprendizagem¹¹. Consideramos, por diversas razões, insuficiente tal procedimento. Em primeiro lugar, nem sempre temos consciência do modo como aprendemos coisas novas e as preferências muitas vezes reportam mais o que nos dá prazer do que aquilo que efetivamente fazemos quando somos desafiados a aprender. Além disso, os estilos se manifestam em situações objetivas, com pressões tanto do objeto de conhecimento quanto do ambiente de aprendizagem. Não utilizamos as mesmas estratégias para aprender a utilizar um programa de computador ou para aprender conceitos de Física e tais variações não são contempladas nas proposições gerais dos questionários que supostamente definem os estilos de aprendizagem dos sujeitos.

Optamos, assim, por acompanhar os sujeitos em situação de modo a ter elementos para uma percepção dos estilos de aprendizagem postos em ação no contexto de aprendizagem escolar de conteúdos de Física. Tal registro foi possível apenas com uma imersão no ambiente da pesquisa, mas ainda assim, não consideramos resolvido o problema da identificação dos estilos de aprendizagem dos estudantes. O ambiente do trabalho coletivo em sala de aula oculta, muitas vezes, as características pessoais dos estudantes. Uma abordagem alternativa, explorada por FROTA (2002), seria realizar entrevistas

¹⁰ As categorias utilizadas na elaboração das atividades de ensino de modo a favorecer uma diversidade de estratégias de aprendizagem serão apresentadas e exemplificadas no capítulo 3 desta dissertação.

¹¹ Um exemplo de tal metodologia, proposta a partir da categorização proposta por Kolb, está disponível na internet no endereço <http://www.cloudnet.com/~edrbsass/kolblearningstyle.html>.

semi-estruturadas em que os estudantes fossem postos a realizar tarefas novas, com novos conteúdos e podendo consultar materiais de referência. Não chegamos a fazê-lo, pois nossas entrevistas tiveram outros objetivos. O planejamento, realização e análise de novas entrevistas demandaria um tempo que não dispúnhamos para a finalização do trabalho.

Assim, na análise de dados de trajetórias de aprendizagem dos estudantes, apresentamos considerações sobre seus estilos de aprendizagem mesmo sabendo que tais observações não tiveram o rigor metodológico que gostaríamos.

2.2 – Caracterização do espaço de pesquisa

A pesquisa foi aplicada em uma turma de segunda série do ensino médio, com 37 alunos, em uma escola particular da cidade de Belo Horizonte¹² da qual um dos autores dessa pesquisa é regente. A escola em questão possui cerca de 4.000 alunos distribuídos por todas as séries dos ensinos fundamental e médio e educação de jovens e adultos, funcionando nos três turnos. Atende a um público que, em sua grande maioria, é proveniente das classes média e alta nos turnos matutino e vespertino e a sujeitos de baixa renda no turno da noite. A grade curricular da segunda série conta com 3 (três) aulas teóricas de Física por semana. Além disso, há aulas regulares de laboratório, sendo que o professor da parte teórica não é o mesmo que se encarrega do laboratório. Essas aulas de laboratório ocorrem em parceria com as disciplinas de Química e Biologia, de tal forma que a cada três semanas, há duas aulas de Física, sendo que o professor de laboratório sempre trabalha com metade dos alunos de uma determinada turma por vez. O conteúdo da Física Térmica foi apresentado por meio de uma seqüência de ensino elaborada por nós (ver anexo I) e do livro texto adotado pela escola¹³. Enquanto que a seqüência de ensino se destinava a fornecer um fio condutor para as atividades propostas, o livro didático fornecia uma fonte adicional de consulta para os alunos e era utilizado para o estudo em casa, por

¹² Colégio Marista Dom Silvério.

¹³ GONÇALVES FILHO, A., TOSCANO, C. *Física e Realidade*. Vol. 2. São Paulo: Scipione, 1997.

meio de atividades indicadas pelo professor.

De acordo com as considerações feitas anteriormente acerca da natureza dessa pesquisa e da inserção necessária do pesquisador no cotidiano escolar, fizemos a opção de aplicar a pesquisa em uma sala de aula da qual somos o regente. Assim, acreditamos ter sido possível conseguir um melhor conhecimento do perfil da turma e contar com uma maior interação com os alunos, o que nos permitiu o estabelecimento de uma relação mais direta e profunda com os alunos no cotidiano da sala de aula. O estabelecimento de uma relação de mútua confiança entre os atores da pesquisa é longo e pôde ser conduzido ao logo de todo o primeiro semestre de 2003, contribuindo para que os estudantes revelassem os seus pontos de vista mais naturalmente e se engajassem verdadeiramente em todo o processo. Assim, procuramos diminuir a possibilidade de a adição de um elemento estranho à sala (no caso, o pesquisador) interferir por demais no cotidiano escolar. Além disso, foi importante o conhecimento sobre a dinâmica de funcionamento do próprio colégio para a confecção de um planejamento possível de ser levado a cabo.

Optamos pela postura metodológica de participante observador, pois essa é uma postura em que o sujeito “delibera dentro do cenário de ação” (MOREIRA e AXT, 1991, p.94), fundamental para que possam ser feitas intervenções nas atividades quando for necessária a coleta dos dados significativos para a pesquisa. Essa postura nos permitiu acompanhar melhor o dia-a-dia da sala de aula, interagir com os estudantes e, com isso, conhecer melhor as características de cada aluno.

Ao longo da aplicação da pesquisa, contamos com um estagiário, que cursava a disciplina Prática de Ensino de Física, na Universidade Federal de Minas Gerais, que havia feito estágio de observação no primeiro semestre de 2003 nesta sala e, portanto, já era conhecido pelos alunos. Ele fez os registros em vídeo e nos auxiliou na análise de cada aula, assim que ela terminava. Ao final de cada aula, eram feitas as transcrições das gravações e a análise dos registros produzidos pelos estudantes a fim de verificar em que medida cada atividade de ensino proposta atingiu os seus objetivos. Para a transcrição das

gravações e análise dos resultados, tivemos o auxílio de uma pedagoga.

As análises dos resultados eram apresentadas aos professores do próprio colégio, a outros pesquisadores, estudantes do curso de mestrado da Faculdade de Educação da UFMG e debatidos com o orientador dessa pesquisa. A parte inicial da pesquisa, com os resultados do estudo exploratório, foi apresentada no XV Simpósio Nacional de Ensino de Física, em março de 2003, na cidade de Curitiba – PR.

Em alguns momentos da aplicação da seqüência de ensino, sobretudo no início dos trabalhos, houve uma forte tensão entre essa dupla postura como professor e pesquisador. O primeiro estava interessado em facilitar o acesso ao conhecimento, enquanto que o segundo tinha o foco de interesse centrado na evolução dos modelos explicativos dos alunos. A tensão que se construía nesses momentos foi se dissipando à medida que ia percebendo a complementaridade das duas funções. Portanto, essa tensão se revelou produtiva, uma vez que me fez adotar uma atitude de constante reflexão na ação, o que contribuiu para o levantamento e análise dos resultados.

A distribuição anual de pontos foi refeita nessa turma. Ao longo do ano letivo, são distribuídos 100 (cem) pontos, sendo que o estudante necessita de um mínimo de 70 (setenta) pontos para a sua aprovação. Ficou combinado com os alunos e suas famílias, com o consentimento da escola que, durante os meses em que estávamos desenvolvendo a pesquisa, não haveria uma avaliação somativa¹⁴.

A obtenção de pontos, portanto, seria conseguida nas outras etapas letivas. O objetivo de tal ação foi desvincular a execução da pesquisa dos processos avaliativos institucionais, nos quais o estudante necessita obter uma certa quantidade de pontos para a sua aprovação. Isso fez com que os estudantes se sentissem mais à vontade para revelar suas reais concepções

¹⁴ Chamamos de avaliação somativa aquela destinada à atribuição de pontos para a aprovação do estudante. Tal forma de avaliação pode ser constituída de provas e trabalhos em sala ou para casa, em grupo ou individuais.

acerca do que estava sendo estudado e, não, aquilo que eles acreditavam ser a resposta correta. Mesmo não sendo uma atividade para a qual seriam creditados pontos, houve um grande empenho por parte dos estudantes, o que confirmou a decisão de aplicar a pesquisa em uma turma da qual sou o regente. A afinidade e a confiança construídas ao longo de um semestre letivo serviu de base para um empenho mais significativo dos alunos.

2.3 – Planejamento das atividades

A seqüência de ensino foi escrita para total de 24 aulas, entre 28/08 e 20/10 de 2003, conforme planejamento apresentado no anexo III. O tempo destinado à coleta de dados se estendeu por esse tempo devido às características do trabalho proposto. A questão fundamental dessa pesquisa é a verificação de como evoluem os modelos explicativos dos sujeitos em uma atividade de ensino, levando em consideração a teoria dos Campos Conceituais de VERGNAUD (1990 e 1993). Como essa evolução ocorre no tempo em função da construção e testagem de diversos modelos, foi necessário de um período mais prolongado de tempo para que fosse possível efetuar tal verificação. Além disso, o grande intervalo de tempo destinado à parte inicial da Física Térmica, com uma grande ênfase nos conceitos de calor, temperatura e equilíbrio se deveu à crença de que esses conceitos são estruturadores para o raciocínio termodinâmico. Se tais conceitos forem dominados pelo sujeito, as possibilidades de construção de um todo conceitual sobre esse campo conceitual serão maiores.

Após a aplicação da seqüência de ensino, os estudantes prosseguiram trabalhando com a Termodinâmica, com o estudo do comportamento dos gases e das leis da Termodinâmica. Essa parte do estudo não foi documentada por não fazer parte desta pesquisa. Os elementos tratados durante a aplicação da seqüência de ensino também visavam a uma preparação para que os estudantes pudessem prosseguir seus estudos nesse campo conceitual.

Queríamos, com a aplicação da seqüência de ensino, permitir que os

estudantes revelassem seus modelos explicativos sobre os conceitos da Física Térmica e indicassem as atividades que mais contribuíram para o seu aprendizado¹⁵. Para tanto, houve momentos previstos de (1) leituras individuais de textos, (2) atividades práticas realizadas em grupo, (3) discussão em pequenos grupos, (4) discussões com toda a turma, ao início ou ao final das atividades e (5) apresentação de animações em computadores. Ao final das atividades indicadas na seqüência de ensino, era solicitada aos grupos de alunos a entrega de uma síntese pessoal sobre o que foi realizado na aula. Tal prática se destinava a recolher material para análise das formas de compreensão acerca dos conceitos estudados e propiciar uma atividade de metacognição, uma vez que, para se elaborar uma síntese das atividades, era solicitado que os estudantes pensassem na influência de cada uma delas em seu processo pessoal de aprendizagem.

Todas as atividades experimentais propostas na seqüência de ensino foram realizadas no laboratório do colégio, que consta de bancadas, em torno das quais os estudantes se distribuíam. Há, no laboratório de Física, seis bancadas desse tipo.

As atividades teóricas – leitura de textos, discussões em grupo, respostas às questões propostas – eram realizada em sala de aula. No caso das discussões em grupo, as carteiras eram organizadas para permitir o diálogo entre os participantes. Houve uma atividade – atividade 08 – em que os alunos foram conduzidos ao pátio da escola. Em dois momentos, os alunos foram conduzidos à sala de informática da escola. Nesses momentos, eles estiveram divididos em duplas. As duplas foram formadas com os alunos pertencentes a um mesmo grupo. Essas duplas trabalharam em conjunto, em computadores contíguos.

As atividades individuais de leitura e resolução de problemas não foram gravadas. Nesse caso, somente os registros escritos foram recolhidos. As discussões com todos os alunos da sala foram registradas em áudio e vídeo e,

¹⁵ Essa indicação era solicitada, informalmente, ao final das atividades. Houve um momento para que os alunos efetuassem uma avaliação, por escrito, do processo. Essa solicitação cumpria dois objetivos. O primeiro era avaliar o próprio instrumento, procurando evidenciar as atividades que melhor cumpriram seus objetivos didáticos. O segundo era buscar evidências das preferências individuais dos sujeitos, elemento constitutivo dos estilos de aprendizagem.

posteriormente, analisadas. Para as atividades em grupo, a sala foi dividida em 6 grupos, contendo 6 alunos cada um, sendo que um dos grupos possuía 7 componentes. A divisão foi feita com base na preferência pessoal dos alunos, para permitir-lhes uma melhor interação com os membros do grupo, tornando as discussões mais ricas e verdadeiras.

Após os grupos formados, escolhemos um deles para que o acompanhamento se fizesse mais intensamente, com a direção da filmagem e gravação de áudio. Tal escolha se deveu ao reconhecimento de uma maior diversidade de estilos de aprendizagem e de motivações pessoais para o estudo da física no grupo. Acreditávamos que, assim, a análise das trajetórias de aprendizagem pudesse ser mais rica.

2.4 – Momentos para a caracterização das trajetórias de aprendizagem

Os diversos momentos em que os estudantes estiveram trabalhando com a seqüência de ensino compuseram um quadro que nos permitiu inferir as suas trajetórias de aprendizagem. Necessitávamos da demarcação de pontos que pudessem nos indicar os modelos explicativos utilizados pelos estudantes no sentido de se estabelecer as rotas de construção de significados que cada um seguiu.

Como as trajetórias de aprendizagem são pessoais, optamos por não utilizar, como indicadores de progresso, as produções coletivas dos grupos, apesar de creditarmos um grande valor pedagógico para tais momentos. Queríamos identificar os modelos explicativos pessoais dos estudantes, construídos em função das atividades desenvolvidas ao longo da seqüência de ensino. Por isso, fizemos a opção de utilizar os momentos de produção individual dos estudantes. Assim, tivemos um total de quatro momentos para caracterização das trajetórias de aprendizagem:

- (1) **Pré-Teste:** aplicado no primeiro dia de pesquisa, antes que qualquer conceito acerca da Física Térmica fosse trabalhado formalmente. Tínhamos dois objetivos ao fazermos o pré-teste: (a) levantarmos os modelos explicativos dos estudantes e (b) iniciarmos uma discussão acerca dos conceitos da Física Térmica.
- (2) **Teste 1:** apresentado aos alunos ao final da primeira seção da seqüência de ensino. Até esse ponto da pesquisa, os estudantes trabalharam com a distinção entre os conceitos de calor e temperatura e com o conceito de equilíbrio térmico.
- (3) **Teste 2:** aplicado ao final do estudo da seqüência de ensino. Os conceitos relacionados à Física Térmica foram estudados tendo como base o modelo cinético-molecular.
- (4) **Entrevista:** conduzida após sete meses do término da seqüência de ensino. Esperamos um grande intervalo de tempo para que pudéssemos verificar se as mudanças conceituais verificadas no Teste 2 seriam permanentes ou provisórias.

A apresentação, com as respectivas justificativas, das questões propostas em cada um dos momentos de caracterização das trajetórias de aprendizagem será feita no capítulo seguinte, que trata da construção dos instrumentos de pesquisa.

CAPÍTULO 03 – A CONSTRUÇÃO DOS INSTRUMENTOS DE PESQUISA

*“quem constrói a ponte
não conhece o lado de lá.”
(Humberto Gessinger)*

Introdução

Nesse capítulo apresentamos os instrumentos que utilizamos para a coleta de dados para a pesquisa. Antes de tal apresentação, porém, construiremos o campo conceitual da Física Térmica. Essa construção não é inerente à Física Térmica, mas uma apropriação didática que fizemos dos modelos conceituais dessa área da Física para uma atividade de intervenção didática.

Apresentamos, também, uma breve revisão bibliográfica sobre pesquisas que tiveram como tema central o ensino de calor e temperatura e que nos auxiliaram no desenho das atividades da seqüência de ensino. Essa discussão é necessária para que possamos explicitar as bases que nortearam a construção das atividades de intervenção didática.

Em seguida, mostramos a construção da seqüência de ensino utilizada nessa pesquisa. Indicamos o processo de construção da seqüência de ensino e discutimos o seu conteúdo. Além disso, apresentamos e discutimos alguns resultados da aplicação do estudo exploratório, conduzido com alunos que cursavam a terceira série do ensino médio no ano de 2002.

A última parte desse capítulo se refere à apresentação dos momentos de verificação das trajetórias de aprendizagem dos alunos. Mostramos as questões utilizadas em cada momento, suas intenções e as justificativas. Nesse tópico se incluem o pré-teste, os testes 1 e 2 e as entrevistas.

3.1 – A Física Térmica como um campo conceitual

A Física Térmica permite discutir os princípios da conservação e da degradação da energia, bem como as relações entre as trocas de energia entre sistemas e suas respectivas variações de temperatura. Uma descrição coerente da Física Térmica deve levar em consideração os fenômenos microscópicos, com a descrição das interações entre as partículas dos sistemas.

A figura a seguir mostra um mapa conceitual para a Física Térmica elaborado pelo GEF (Grupo de Ensino de Física), ligado à Universidade de Santa Maria e que serviu como base para a construção da seqüência de ensino.

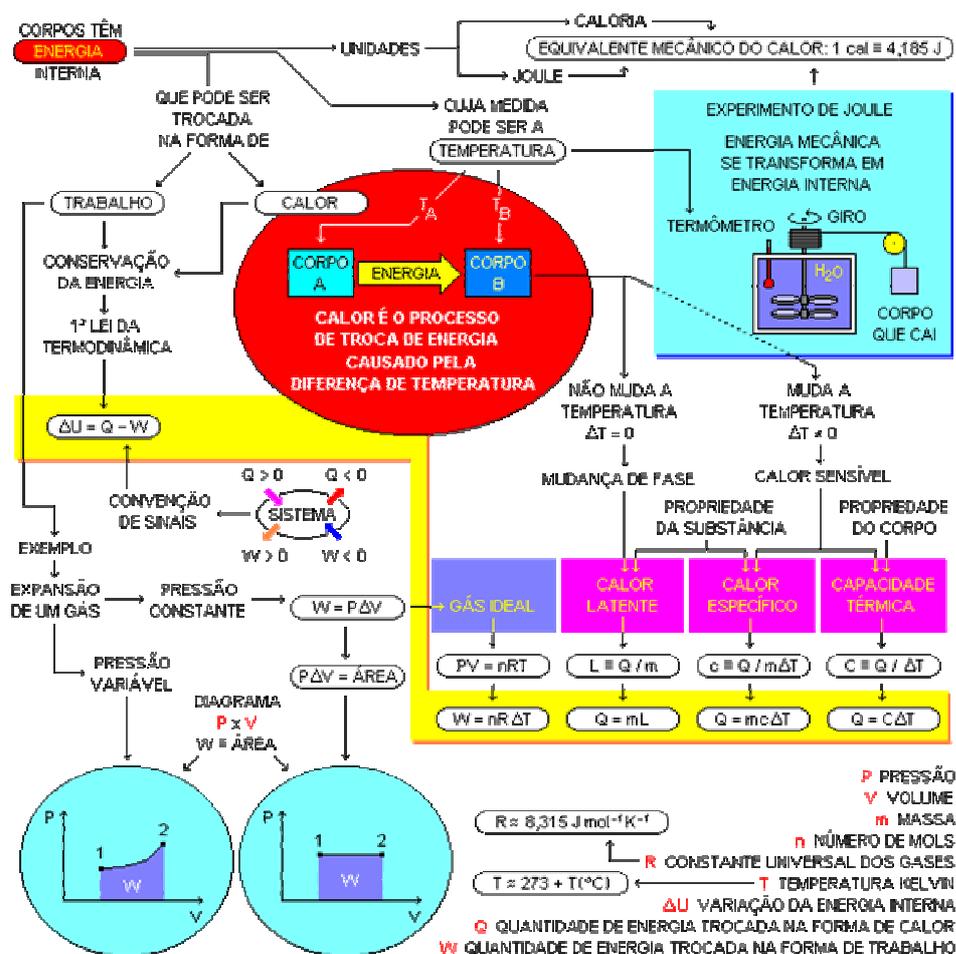


Figura 3.1 - Mapa conceitual para a Física Térmica elaborado pelo GEF.

No mapa conceitual mostrado acima, percebe-se uma estreita relação entre calor e temperatura, apesar de serem conceitos distintos. A seqüência de ensino visava a explorar a parte superior do mapa conceitual, ou seja, a distinção entre calor e temperatura e a tendência dos corpos ao equilíbrio térmico, além de trabalhar com os efeitos do calor, como, por exemplo, a mudança de temperatura e a mudança de fase. Como já foi apresentado anteriormente, os estudantes continuaram a estudar a Termodinâmica após a aplicação da seqüência de ensino.

A análise dos conteúdos da seqüência de ensino foi feita a partir da teoria dos campos conceituais de Vergnaud. Segundo esse autor, para a descrição de um campo conceitual, é necessária a indicação (A) do conjunto de situações a compreender e a tratar, (B) dos conceitos-em-ação e (C) dos teoremas-em-ação.

A apresentação que faremos a seguir é a nossa apropriação acerca da Física Térmica em nível elementar. As situações, os conceitos e as relações conceituais que serão mostrados representam a nossa leitura do que é relevante para o curso introdutório da Física Térmica. Nesse sentido, apresentamos os conceitos de calor e temperatura em situações identificadas como pertencentes ao domínio da calorimetria.

3.1.1 – Conjunto de situações a compreender e a tratar

Nas situações, para Vergnaud, repousa a operacionalidade dos conceitos e, portanto, é o que confere sentido a um dado conceito. Podemos entender as situações como sendo os problemas que o sujeito deve resolver. A seguir, vamos apresentar as situações mais comuns que estão relacionadas com os fenômenos térmicos, em nível elementar. Decidimos trabalhar com a introdução à Física Térmica, em um curso voltado para os conceitos de calor, temperatura e equilíbrio térmico. Nesse contexto, essas são as situações com as quais trabalhamos:

A.1 – os processos de variação de temperatura de um corpo: a indicação de como a temperatura pode variar em um dado sistema;

A.2 – os processos que envolvem a transferência de calor entre sistemas por condução, convecção, radiação;

A.3 – as sensações de quente e frio: como essas podem ser explicadas considerando-se os conceitos de calor, temperatura e equilíbrio térmico;

A.4 – os fatores que influenciam na variação de temperatura: a influência que a massa e o tipo de material possuem sobre a variação da temperatura de um dado sistema;

A.5 – os processos de transferência de energia – calor e trabalho – e os efeitos dessa transferência: condições para o estabelecimento do calor e do trabalho e a indicação da equivalência entre esses dois processos na modificação da energia interna de um dado sistema;

A.6 – a rapidez com que o calor pode ser transferido;

A.7 – a assimetria na transferência de calor: reconhecimento de que o calor só flui do sistema de maior para o de menor temperatura;

A.8 – situações em que ocorre calor mas a temperatura do sistema não se altera;

A.9 – a irreversibilidade dos processos: o conceito de entropia como uma grandeza que está associada ao grau de desordem de um sistema que tende a aumentar.

3.1.2 – Os conceitos-em-ação

Os conceitos-em-ação, da forma como enunciado por Vergnaud, estão relacionados a objetos, predicados, classes, condições, etc. Dentro de uma vasta quantidade de conceitos que podem estar disponíveis no repertório dos sujeitos, é selecionada uma pequena parte para cada ação. Portanto, os conceitos-em-ação

podem ser adequados ou não-adequados para uma dada classe de situações (VERGNAUD, 1998, p.173). Esses conceitos-em-ação permanecem, em sua maioria, implícitos ao longo da ação do sujeito.

Vamos apresentar, a seguir, os conceitos-em-ação que julgamos necessários a um dado sujeito para dar conta das situações listadas no tópico anterior. É importante ressaltarmos que o conjunto assim construído pode não ser explicitado dessa forma pelos estudantes, nem tampouco ser reconhecido como conceitos pelos estudantes.

B.1 – calor: transferência de energia entre dois sistemas motivada, exclusivamente, à diferença de temperatura entre eles.

B.2 – temperatura: índice associado à energia cinética média das partículas de um sistema.

B.3 – equilíbrio térmico: tendência final de igualdade de temperaturas decorrente de transferências de energia entre sistemas em contato térmico.

B.4 – capacidade térmica: quantidade de energia necessária para que a temperatura de um determinado sistema varie em uma unidade.

B.5 – condutividade térmica: capacidade de transferência de calor, por condução, de um determinado material¹⁶.

B.6 – calor latente: quantidade de energia necessária para que uma unidade de massa de um objeto sofra uma mudança de fase, sem que haja alteração em sua temperatura.

B.7 – entropia: grandeza associada à desorganização dos sistemas.

B.8 – energia interna: quantidade de energia armazenada em um dado sistema.

¹⁶ Essa definição é pouco precisa e decorre da dificuldade em se definir o conceito de condutividade térmica em linguagem comum. Sem apelar para uma definição matemática, podemos ainda acrescentar que a condutividade térmica é dada pela quantidade de calor transferido entre sistemas que mantêm certo gradiente de temperatura, separados por diferentes materiais com as mesmas dimensões.

3.1.3 – Os teoremas-em-ação

Os teoremas-em-ação são proposições, que podem ser verdadeiras ou falsas. De maneira análoga àquela apresentada para os conceitos-em-ação, essas proposições permanecem, em sua maioria, implícitas nas ações do sujeito, podendo se tornar explícitas. Os conceitos-em-ação se articulam por meio dos teoremas-em-ação. A mesma ressalva acerca dessa apropriação ser um modelo por nós construído deve ser feita nesse momento. A seguir, apresentaremos os teoremas-em-ação que estão articulados com os conceitos-em-ação e com as situações já apresentados.

C.1 – A temperatura é uma característica de cada sistema, associada à agitação das partículas desse sistema.

C.2 – A temperatura não depende da massa do sistema, pois é proporcional à energia cinética média das partículas.

C.3 – O calor é a transferência de energia entre sistemas que estão a diferentes temperaturas.

C.4 – O calor tende a produzir o equilíbrio térmico entre os sistemas.

C.5 – A temperatura pode ser entendida como um índice que revela o sentido do fluxo de calor.

C.6 – O calor tende a aumentar a entropia do sistema, sendo, portanto, um processo irreversível.

C.7 – A variação de temperatura produzida por um dado fluxo de calor depende de características próprias do sistema, como a massa e o tipo de material de que esse sistema é formado.

C.8 – A energia se conserva em todas as transformações possíveis em um sistema isolado.

C.9 – Há uma equivalência entre calor e trabalho posto que ambos os conceitos se referem a processos de transferência de energia.

C.10 – A entropia de um sistema está relacionada com o nível de “desordem” desse sistema e seu aumento é irreversível.

C.11 – Para um sistema qualquer, a energia interna representa a soma das energias cinética (associada à movimentação) e potencial (associada às interações) das partículas.

Como o objeto desta pesquisa é o de acompanhar as trajetórias de aprendizagem de estudantes de ensino médio em um curso introdutório de Física Térmica, queríamos trabalhar com a distinção inicial entre os conceitos de calor e temperatura. Por isso, as situações, os conceitos e teoremas que se referem à entropia (A.5, B.7, C.9 e C.10) não foram contemplados nas entrevistas realizadas com os alunos.

3.2 – Uma Breve Revisão de Estudos sobre Ensino e Aprendizagem de Calor e Temperatura

A compreensão dos conceitos básicos da Física Térmica pelos sujeitos e sua utilização em situações cotidianas e na resolução de problemas são um tanto problemáticas. Sabemos, pela literatura da área, que há diversas concepções alternativas em relação aos conceitos de calor, temperatura e equilíbrio térmico.

“o problema central para o professor é que nem o conceito de calor, nem o de temperatura pode ser discutido ou demonstrado facilmente sem invocar o outro, e essa complexidade de muitos sistemas que estão envolvidos nos processos de aquecimento e resfriamento faz com a interpretação das evidências empíricas seja problemática.” (ARNOLD e MILLAR, 1994, p. 406)

Vamos apresentar uma breve revisão acerca das tendências de pensamento mais comuns dos sujeitos em relação aos fenômenos térmicos que foram relevantes para que pudéssemos planejar a seqüência de ensino que deu suporte a essa pesquisa.

Para SCJARRETTA, STILLI e MISSONI (1990), as bases para as grandes confusões conceituais estão fundadas na interação, desde o nascimento, entre o sujeito e o ambiente ou os objetos. Tal interação provê uma sólida base de sensações para que cada um construa concepções acerca dos fenômenos térmicos. Por meio de uma pesquisa que envolveu a resolução de problema de lápis e papel, os autores encontraram evidências de que os estudantes acreditam que os objetos possuem uma temperatura natural, sendo, naturalmente, quentes, frios ou neutros¹⁷.

Para uma grande parcela dos estudantes, o calor é conceituado como algo quente, associado a altas temperaturas. Em algumas dessas concepções, o conceito de calor é em muito semelhante ao de energia interna do sistema. Além disso, a temperatura é tida como sendo a quantidade de calor de um corpo (WARREN,1972). ZEMANSKY (1970) apresenta três erros mais comuns associados à palavra “calor”, que são (1) referência ao “calor em um corpo”; (2) uso de “calor” como um verbo, isto é, como sinônimo de “aquecer”¹⁸ e (3) a não distinção entre calor e energia interna. Já ERICKSON (1979) identificou, em crianças entre 6 e 13 anos, a existência de dois tipos de calor – “calor quente” e “calor frio”.

Em outra classe de concepções alternativas, não é considerada a vizinhança para que se estabeleçam as trocas de calor e, portanto, os sujeitos não reconhecem o equilíbrio térmico como uma tendência dos sistemas que estão

¹⁷ Por exemplo, dois terços dos 212 estudantes pesquisados acreditam que um cubo de gelo se funde mais rapidamente se colocado sobre um bloco de madeira do que em cima de uma barra de metal. Essa crença está calcada no fato de que, para os estudantes, a madeira é naturalmente mais quente do que o metal. Para os autores, essa noção é fortemente influenciada pela interação térmica, por meio do tato, entre o sujeito e os objetos.

¹⁸ O termo é apresentado em inglês como “to heat a system”, ou seja, “aquecer um sistema”.

em contato térmico. ARNOLD e MILLAR (1994) conduziram entrevistas com adolescentes e adultos nas quais uma vela era usada para aquecer uma dada quantidade de água presente em uma lata de metal. Os autores concluíram que, não importa a faixa etária, as respostas obtidas são qualitativamente iguais. Esse fato reforça a idéia de que os conceitos básicos da Física Térmica, como campo conceitual, não são intuitivos e devem ser ensinados explicitamente. Além disso, a interpretação dos resultados das entrevistas revelou que os sujeitos não utilizam a vizinhança como elemento para a troca de calor, somente identificando a vela como fonte térmica, pelo fato de esta ser, explicitamente, quente. Arnold e Millar concluíram que as maiores dificuldades apresentadas pelos entrevistados residem no fato da não consideração do sistema como um todo e, não, na distinção entre calor e temperatura.

Apresentando uma proposta didática para os fenômenos térmicos fortemente baseada na teoria cinético-molecular, CASTIÑERAS, BUENO E FERNANDEZ (1998) discutem a origem das concepções alternativas mais profundas nos sujeitos como formadas pela utilização dos termos científicos como calor em nossa linguagem cotidiana, em um contexto não científico. Os autores apresentam um quadro com as concepções alternativas mais comuns, que está reproduzido a seguir.

Conceitos	Concepções alternativas
1. Calor	Algo material, contido em um corpo (sistema): quanto mais calor tem um corpo, mais quente estará. Nos corpos, o calor pode passar de uma parte a outras e de uns corpos para outros.
2. Calor/frio	São dois fluidos materiais e opostos. A sensação calor/frio é uma consequência da transferência do calor/frio ao corpo.
3. Esquentar/esfriar	Ganho ou perda desse ente material chamado calor/frio.
4. Quente/frio	São propriedades características dos corpos. Por exemplo, os metais são frios por natureza.
5. Temperatura	Temperatura = calor. Temperatura e calor são sinônimos e aquela, em todo caso, mede a quantidade de calor que um sistema possui. A temperatura depende da massa ou do volume.
6. Dilatação	Passagem de calor ao interior do corpo fazendo-o maior e, como consequência, mais pesado
7. Modelo de partículas	As partículas podem se fundir, evaporar, dissolver, expandir, contrair, dilatar ... Entre as partículas existe ar. É difícil aceitar a idéia de que não exista "algo" entre as partículas. Corpos frios → partículas em repouso. As partículas deixam de mover ao esfriarem, ao chegarem a 0°C.

Tabela 3.1 - Conceitos físicos e suas interpretações mais comuns pelos sujeitos, segundo CASTIÑERAS, BUENO E FERNANDEZ (1998, p.462)

Os itens numerados de 1 a 6 na tabela representam concepções alternativas acerca de conceitos e fenômenos que fazem parte do campo conceitual da Física Térmica. O lado direito da tabela mostra uma forte tendência à substancialização do calor, considerando-o um fluido que pode se deslocar entre sistemas ou entre partes de um mesmo sistema. Essa tendência também foi relatada por ERICKSON (1979), que verificou uma conceituação para o calor como “*uma substância um pouco parecida com o ar*” (p. 227).

A identidade entre calor e temperatura é recorrente em outras pesquisas e está fortemente apoiada na linguagem cotidiana. Ainda de acordo com ERICKSON (op. cit.) a concepção de temperatura é tida como uma mistura entre o “calor quente” e o “calor frio” que está dentro de um objeto. Além disso, ARNOLD e MILLAR (1996) indicam que os estudantes não levam em consideração a natureza intensiva¹⁹ da temperatura, que se valem de uma espécie de “lei da conservação da temperatura” para prever a temperatura de equilíbrio para objetos que estão em contato térmico.

A última linha da tabela apresenta algumas concepções acerca do modelo cinético-molecular (modelo de partículas). Nela, percebemos uma tendência em transferir as propriedades macroscópicas da matéria para as partículas que compõem os objetos. Além disso, percebemos a não consideração da movimentação incessante das partículas, também aqui influenciada pela interação com os objetos macroscópicos. Nesse contexto, a crença mais comum é a de que as partículas tendem lentamente ao repouso, o que explica o mecanismo de resfriamento dos corpos.

3.3 – Construção da seqüência de ensino

Como resultado da compreensão da natureza social e pessoal dos

¹⁹ Dizemos que a temperatura é uma grandeza intensiva pois sua medida não depende da massa do objeto.

processos de aprendizagem escolar, novas abordagens de ensino e formas de intervenção em sala de aula têm sido propostas, com vistas a uma maior efetividade do processo de ensino-aprendizagem. Para isso, têm sido considerados não apenas aspectos específicos do conhecimento a ser ensinado, mas também as formas de entendimento que os estudantes desenvolvem acerca destes conteúdos e, ainda, os recursos e estratégias de ensino (TIBERGHEN, 2000).

O conhecimento a ser ensinado pode ser estruturado a partir de uma base epistemológica e organizado de forma a permitir a superação dos conceitos intuitivos dos alunos em uma seqüência de ensino.

A construção de uma seqüência de ensino em ciências leva em consideração os conceitos e teorias a serem ensinados, a partir de um conhecimento científico estabelecido. As atividades desenhadas têm como objetivo fornecer elementos para que se dê o aprendizado dos conceitos delimitados. Para isso, os obstáculos ao aprendizado devem ser conhecidos para que se possam planejar atividades com vistas à sua superação.

A seqüência de ensino assim construída pode permitir que os aprendizes explicitem e testem os modelos explicativos que os façam representar, prever e explicar fenômenos e processos físicos e discutam com os pares e com o professor. Além disso, é importante que haja atividades que promovam o retorno aos conceitos estudados sob novos pontos de vista, em um movimento recursivo, para ampliar os domínios de abrangência do que foi estudado e a extrapolação dos conceitos aprendidos em situações novas, como problemas a serem resolvidos.

“para conseguir bons resultados, o professor precisa estar ciente das compreensões dos alunos e desenvolver linhas de argumentação convincentes. Tais argumentos devem envolver: questões-chave as quais atingem o cerne das incertezas dos estudantes; uso de analogias particulares para apoiar os estudantes no desenvolvimento de seus pensamentos ou ainda para revelar situações de conflitos de modo a confrontar diferentes pontos de vista.” (LEACH e SCOTT, 2002, p.9)

O desenho e a aplicação de uma seqüência de ensino de um dado assunto devem estar profundamente embasadas em resultados de pesquisas desenvolvidas no âmbito educacional. Tais pesquisas permitem examinar em detalhe não apenas as concepções e tendências de raciocínio dos estudantes, mas ainda e, sobretudo, o processo argumentativo que sustenta o desenvolvimento e validação de teorias científicas e as características dos modelos e representações desenvolvidos pela ciência, que se constituem como objeto do aprendizado científico.

Tivemos a Epistemologia Genética de Piaget (1985) como referencial teórico na construção de situações de ensino que pudessem engendrar equilíbrazões majorantes, no sentido de uma re-estruturação de visão de mundo a partir do contato do estudante com os referenciais da cultura científica em situações desafiadoras. Assim, foi concebido um desenho inicial da seqüência de ensino, na qual os conceitos e modelos são desenvolvidos com um aprofundamento progressivo e recursivo, de modo a permitir sucessivas – e mais complexas – elaborações dos mesmos. Assim, a apropriação do campo conceitual da termodinâmica é favorecida pelas atividades que compõem a seqüência de ensino.

A construção da seqüência de ensino iniciou-se com a escolha dos conceitos a serem ensinados, a partir do conhecimento científico estabelecido sobre a Física Térmica, uma vez que este não pode ser aprendido pela simples experiência, mas necessita ser manipulado através de cuidadosos planos de ensino (MILLAR e OSBORNE, 1998).

Procedemos, então, à análise epistemológica dos conteúdos relativos à Física Térmica, com vistas à sua organização dentro da seqüência. Assim, estabelecemos que o modelo cinético-molecular teria um papel central dentro das atividades por permitir uma explicação baseada em características batígenas ou profundas dos fenômenos térmicos, o que, segundo CARDEÑAS e LOZANO (1996), satisfaz melhor as expectativas dos estudantes e que representa uma das

questões desta pesquisa.

Uma preocupação fundamental foi a de permitir que as atividades evidenciassem diversas estratégias de ensino e diversos aspectos do conteúdo da física térmica. Assim, trabalhamos com (1) relações que partissem de elaborações mais gerais e fossem encaminhadas para situações mais específicas do conteúdo e vice-versa (todo \rightarrow partes; partes \rightarrow todo), (2) situações de ensino que fossem iniciadas na análise das características microscópicas e passassem para grandezas macroscópicas e vice-versa (micro \rightarrow macro; macro \rightarrow micro), (3) construções teóricas que pudessem ser evidenciadas por atividades empíricas e práticas que conduzissem a modelos teóricos (teórico \rightarrow empírico; empírico \rightarrow teórico), (4) apresentações dos conceitos introduzidas por textos em algumas vezes e por recursos visuais em outras e (5) atividades de modelagem do mundo físico. Dessa forma, pretendemos atingir, em diferentes tipos de atividades, os diversos estilos de aprendizagem apresentados pelos estudantes. O quadro a seguir exemplifica e tipifica as atividades segundo as categorias apresentadas.

Atividade da seqüência de ensino (nome e página)	Categoria(s)
Um pouco de história, p.2	todo \rightarrow partes textos e recursos audiovisuais
O que é o quente e o frio, p.8	partes \rightarrow todo empírico \rightarrow teórico
Mesma Temperatura?, p. 8	partes \rightarrow todo empírico \rightarrow teórico
O frio pode ser quente?, p.9	partes \rightarrow todo empírico \rightarrow teórico
Temperatura constante?, p.9	partes \rightarrow todo empírico \rightarrow teórico
Aquecendo sem calor, p.10	partes \rightarrow todo micro \rightarrow macro textos e recursos audiovisuais
Procurando explicações, p.11	partes \rightarrow todo teórico \rightarrow empírico textos e recursos audiovisuais
É possível ver a matéria por dentro?, p.13	todo \rightarrow partes micro \rightarrow macro textos e recursos audiovisuais
Examinando os movimentos das partículas, p 16	partes \rightarrow todo empírico \rightarrow teórico macro \rightarrow micro atividade modelagem
Brincando com molas e pessoas, p.16	partes \rightarrow todo macro \rightarrow micro atividade modelagem
Vendo Além dos olhos, p. 18	macro \rightarrow micro todo \rightarrow partes

	textos e recursos audiovisuais
Livre caminho médio, p.20	macro → micro partes → todo atividade modelagem
Movimento Browniano, p.21	macro → micro partes → todo textos e recursos audiovisuais
Trabalhando com a desordem, p.22	partes → todo empírico → teórico macro → micro
Entendendo a (dês)organização da natureza, p.22	todo → partes textos e recursos audiovisuais

Tabela 3.2 - Apresentação das atividades propostas na seqüência de ensino e as respectivas categorizações.

Em seguida, foram levantadas, por meio da análise da literatura na área, as concepções alternativas apresentadas pelos estudantes no campo da Física Térmica. Embora as concepções alternativas dos estudantes sejam idiossincráticas, é possível reunir um conjunto de tendências de raciocínios mais comumente identificadas pelas pesquisas e, entre elas, selecionar as que têm maior impacto nos processos de aprendizagem dos estudantes. A tabela a seguir apresenta um resumo das concepções alternativas que foram discutidas na seção anterior.

Concepções Alternativas
Crença de que as partículas não continuam a se mover, indo lentamente ao repouso: Profundamente influenciada por uma vivência com os corpos macroscópicos que, ao serem arremessados, param após certo tempo, este obstáculo está na raiz de muitas dificuldades de aprendizado também da Mecânica.
Estudo dos fenômenos por meio de variáveis macroscópicas: As características microscópicas da matéria não são consideradas.
Não consideração da vizinhança: Em muitos fenômenos relacionados com aquecimento e resfriamento, há a tendência de se considerar o corpo separadamente do ambiente no qual ele está inserido. Esse fato colabora para o não entendimento do princípio da conservação da energia.
Não diferenciação entre calor e temperatura: O calor é visto como temperatura alta. Um corpo é tido como quente quando possui muito calor.
Objetos em um mesmo ambiente não são identificados como possuidores da mesma temperatura: Crença na existência de uma "Temperatura Natural" para cada corpo. Assim, corpos que estão em um mesmo ambiente não necessitam estar em equilíbrio térmico entre si.
Transferência bilateral de energia: calor e frio como entidades opostas.
Transferência de propriedades macro para micro: Aplicação de conceitos macroscópicos para explicar eventos que ocorrem no nível microscópico. São comuns expressões como "o átomo esquentou" ou "a molécula dilatou após entrar em atrito com as outras".

Tabela 3.2 - Tendências do pensamento comum como obstáculos ao pensamento termodinâmico

A última etapa da construção da seqüência foi a organização das atividades, com a seleção e redação de textos, práticas e atividades avaliativas de acordo com os indicadores levantados anteriormente.

A seqüência de ensino passou por diversas reformulações, sendo que a versão final, que foi aplicada aos alunos, está apresentada no anexo I. A estrutura de tal seqüência tenta responder às demandas elencadas acima, com a preocupação central de permitir ao estudante reorganizar seu conhecimento para aproximar, o mais possível, dos modelos científicos de que se vale a termodinâmica. A estruturação da seqüência de ensino é a seguinte:

Atividade de abertura: o objetivo central de tal atividade é investigar os modelos de partida dos alunos, possibilitando intervenções específicas no decorrer de todo o trabalho. Esse levantamento prévio é fundamental para a construção dos modelos pessoais de entendimento. A confrontação entre as respostas dadas nesta atividade e as respostas finais (após a aplicação da seqüência) é um dos indicativos das possíveis trajetórias de aprendizagem dos estudantes ao longo do processo como um todo. Além disso, as questões propostas na atividade de abertura pretendem fomentar o interesse e a curiosidade dos estudantes, aumentando seu engajamento.

Texto Inicial: o texto em questão foi adaptado do livro “Física Divertida”, de Carlos Fiolhais (FIOLHAIS, 2000). A idéia central é apresentar um pano de fundo para toda a seqüência. O texto, escrito em estilo agradável e bem humorado, apresenta a evolução dos conceitos de calor e temperatura e os exemplifica em situações cotidianas. Ao longo do texto, foram inseridas algumas questões para a discussão em grupo. Nessa introdução, não houve a preocupação em formalizar os conceitos. As questões tinham o papel de diagnóstico, procurando verificar o significado dado pelos alunos às informações recebidas. Por exemplo, quando o texto aborda a construção de termômetros, a pergunta inserida é: “Um termômetro sempre mede a temperatura do próprio aparelho! Você concorda com essa afirmativa? Discuta com seus colegas e apresente uma justificativa para a sua posição”. Com isso, espera-se que os estudantes tenham uma discussão inicial acerca dos conceitos a serem trabalhados ao longo da seqüência.

Levantando Suspeitas: neste tópico estão agrupados textos e atividades. O texto inicial mostra qual é o objeto de estudo da Física Térmica e conduz às atividades de ensino. As atividades buscavam deflagrar conflitos cognitivos nos alunos, apresentando situações em que as concepções prévias não se confirmavam na prática. As intervenções docentes tiveram o objetivo de fornecer suporte para que os estudantes pudessem reconhecer e superar os conflitos. Após cada atividade realizada, havia questões para discussão coletiva cujo objetivo é sistematizar as observações e conclusões feitas. As concepções prévias tomadas como base para o desenho das atividades foram aquelas apresentadas na tabela 04 (p.82).

Atividade 01 – O que é o quente e o frio?: prática cujo objetivo é mostrar que o tato não é um “instrumento” adequado para a medição de temperatura.

Atividade 02 – Mesma temperatura?: dois objetos, um de madeira e outro de alumínio, são estudados. Um termopar é usado para verificar que a temperatura de ambos é a mesma. É solicitado que os estudantes toquem os objetos. Os alunos devem discutir entre eles e tentar buscar modelos explicativos para o observado.

Atividade 03 – O frio pode ser quente?: com o auxílio de um termômetro, mede-se a temperatura de uma mistura de gelo picado e sal. Em seguida, coloca-se o termômetro em um recipiente que possui gelo em fusão. O objetivo é mostrar que mesmo os objetos ditos “frios” podem funcionar como “fonte de calor”.

Atividade 04 – Temperatura constante?: esta prática mostra que, durante a mudança de fase, sob a ação de uma fonte térmica, a temperatura de uma certa quantidade de gelo permanece constante. Com esta atividade pretende-se concluir que, em casos de mudanças de fase, a transferência de calor não produz variação de temperatura.

Atividade 05 – Aquecendo sem calor: os alunos são conduzidos a uma página da Internet²⁰ que explica o funcionamento de um forno de microondas. A proposta é que eles possam, a partir da exploração do site, entender como se dá o

²⁰ <http://www.colorado.edu/physics/2000/microwaves/index.html>

aquecimento de alimentos em um forno de microondas (sem que haja a utilização de calor).

Atividade 06 – Mesmo aquecimento?: iguais quantidades de calor são fornecidas a (1) 100g de água, (2) 500g de água e (3) 500g de óleo. É solicitado que os alunos meçam a temperatura final em cada situação. A mesma quantidade de calor produz variações de temperatura diferentes.

Após a realização das atividades, há um texto chamado “Procurando Explicações” cujo objetivo é sistematizar as conclusões tiradas pelos estudantes.

Vendo Além dos Olhos: No texto inicial, “É possível ver a matéria por dentro?”, são apresentadas as características básicas do modelo cinético-molecular como uma possibilidade de explicar as situações verificadas na seção anterior. A apresentação do modelo cinético é feita a partir de um quadro intitulado “Mandamentos do modelo de partículas”, apresentado na página 15 da seqüência de ensino (anexo I). Em seguida, são feitas atividades práticas.

Atividade 07 – Examinando os movimentos das partículas: essa atividade é composta por duas partes. Na primeira parte os alunos investigam a dissolução de cristais de permanganato de potássio em recipientes que possuem água quente e morna. Na segunda parte, é proposto um experimento no qual os estudantes verificam a outra expansão de uma massa de ar contida em uma garrafa de vidro, quando aquecida.

Atividade 08 – Brincando com molas e pessoas: A atividade pretende fornecer elementos para o estabelecimento de modelos analógicos representando o comportamento de um sistema de partículas. Cada aluno deve se comportar como uma partícula. Molas do tipo “slink” são usadas para representar as ligações entre as partículas. Ao final da atividade, é solicitado que os alunos discutam as semelhanças entre o que eles fizeram e o modelo de partículas, com vistas a construir relações analógicas que possam, mais tarde, ser usadas como uma das bases de raciocínio por parte dos aprendizes.

Um pequeno texto, “Vendo além dos olhos”, é inserido para sistematizar as observações já realizadas. Em seguida, são realizadas mais quatro atividades, a saber:

Atividade 09 – Livre caminho médio: atividade realizada com uma folha de isopor, agulhas e linha de costura. Cada grupo de alunos sorteia uma direção para traçar uma linha que representa o movimento de uma partícula de um gás.

Atividade 10 – Movimento browniano: uma pesquisa em um site²¹ que explica o mecanismo do movimento browniano como uma aplicação do modelo cinético molecular.

Atividade 11 – Trabalhando com a desordem: esta atividade mostra, a partir de algumas práticas, que a tendência dos sistemas é atingir situações em que a desordem é máxima.

Um texto chamado “entendendo a (des)organização da matéria” procura sistematizar o conceito de entropia e sua relação com a degradação da energia. Em seguida, um texto apresenta o conceito de entropia e discute implicações das leis da termodinâmica. Ao final da seção, o texto “Tempo, vida e entropia”, de Marcelo Gleiser, contesta a suposta contradição entre o segundo princípio da termodinâmica e a teoria biológica da evolução, de Charles Darwin, afirmando que sistemas mais complexos de organização decorrem das trocas entre o organismo e o meio ambiente. Ao final, há uma sistematização final dos conceitos trabalhados ao longo de toda a seqüência.

3.4 – O Estudo Exploratório

Uma versão preliminar da seqüência de ensino foi construída e testada, em uma atividade exploratória, com 10 alunos que estavam cursando a terceira série do ensino médio de um colégio particular²² da cidade de Belo Horizonte – MG nos

²¹ <http://www.fisica.ufc.br/brown/brown.htm>

²² Colégio Marista Dom Silvério.

meses de novembro e dezembro de 2002. Os objetivos desse estudo exploratório foram verificar a relevância e aferir a duração das atividades práticas, bem como validar as atividades avaliativas. Ao final deste, foi possível a re-elaboração de algumas atividades e a substituição de outras.

Fizemos a opção de trabalhar com alunos da terceira série porque eles já haviam estudado a Física Térmica na segunda série e, portanto, já tinham uma certa familiaridade com os conceitos estudados²³. Os alunos puderam, então, comparar as situações de ensino propostas pela seqüência com as estratégias utilizadas, no ano anterior, durante o estudo dos conceitos em sala de aula. As discussões foram muito interessantes e apontaram caminhos para a finalização da seqüência de ensino.

Uma análise das respostas dadas pelos participantes às perguntas da atividade de abertura mostra que as respostas dos alunos vêm corroborar as conclusões dos trabalhos de ARNOLD e MILLAR (1994 e 1996) e ERICKSON e TIBERGHIE (1989): mesmo após o estudo formal da Física Térmica no Ensino Médio, diversos estudantes não conseguem superar suas concepções alternativas. As respostas apresentadas às duas últimas questões da atividade de abertura (questão 07 – O que você entende por calor? e questão 08 – O que é temperatura para você? Qual é a relação entre calor e temperatura?) estão apresentadas a seguir e indicam que há uma grande dificuldade por parte dos alunos em conceituar corretamente calor e temperatura e em apresentar a relação entre estes dois conceitos.

Aluno A

“Calor é a quantidade de energia que um corpo possui.”

“Temperatura é a quantidade de calor que um corpo tem.”

Aluno B

“É toda forma de transferência de energia.”

“A quantização do calor. A quantidade de energia que é transferida (calor) é quantizada através da temperatura”.

Aluno C

“É o nível de energia que tem uma molécula.”

²³ Na apresentação dos resultados, preferimos não identificar os alunos pelos nomes e, sim, por letras (de A até J). As respostas indicadas foram dadas por escrito.

“É uma escala que mede o nível de calor num corpo. A relação é que eles são diretamente proporcionais.”

Aluno D

“Quantidade de energia transferida de um corpo a outro”.

“Estado médio de agitação das moléculas de um corpo. Quando um corpo absorve energia – calor – suas moléculas se agitam mais, aumentando sua temperatura. O inverso também é verdadeiro”.

Aluno E

“Calor é a energia que pode ser transferida de uma substância, um corpo, para outro(s).

“Temperatura é a medida da energia cinética média das moléculas. Temperatura mede quantidade de calor.”

Aluno F

“Energia de agitação das moléculas.”

“Temperatura é uma associação de um número para determinado grau de nível de agitação. Quanto mais calor liberarmos para um objeto maior será a temperatura, o contrário também é verdadeiro.”

Aluno G

“Calor é energia que é transferida entre as moléculas e aumenta a energia cinética das moléculas.”

“Temperatura é uma grandeza que mede o grau de energia cinética das moléculas de um certo sistema’ (Aula de Física). Quanto maior o calor, maior o grau de agitação, maior a temperatura.”

Aluno H

“Calor é energia em trânsito, de moléculas mais energéticas para menos energéticas.”

“Temperatura é a energia cinética média das partículas de um corpo. Ela difere do calor por ser a medida da energia das partículas, e não a energia propriamente dita.”

Aluno I

“Calor é uma forma de energia que influencia na energia cinética média das moléculas aumentando e diminuindo a temperatura da matéria.”

“Temperatura é o grau de agitação média das moléculas de um sistema. Calor é a energia (transportada de várias maneiras), que acaba influenciando na temperatura.”

Aluno J

“Calor é a energia transferida de um corpo a outro, para tentar igualar as temperaturas.”

“Temperatura é o grau de agitação das partículas de um corpo. Calor é a energia transferida para igualar as temperaturas”.

Quadro 3.1 - Respostas dos alunos às perguntas 07 e 08 da atividade de abertura na pesquisa piloto.

Podemos perceber que os alunos A e C apresentam um conceito para calor muito próximo ao de energia interna, sendo que o aluno A refere ao calor como a energia *de um corpo*, ao passo que o aluno C se refere à energia *de uma molécula*. Além disso, a temperatura é definida como sendo a quantidade de calor de um corpo. Essa concepção compromete a distinção entre calor e temperatura, uma vez que um conceito é definido a partir do outro. O aluno F

apresenta o calor como sendo a energia de agitação das moléculas e a temperatura como relacionada à agitação das partículas de um corpo. Há, para o aluno F, uma indistinção entre calor e temperatura. Porém, nos parece que ele se encontra em um patamar superior aos dos alunos A e C, por trabalhar, com maior propriedade, com o modelo cinético-molecular.

Os alunos B, D, E, G, H e J apresentam uma conceituação mais sofisticada para o calor, relacionando-o à energia transferida. No entanto, a conceituação de temperatura ainda é problemática para eles. A identificação da relação entre calor e variação de temperatura foi feita por alguns alunos e não se considerou a possibilidade de haver calor sem variação de temperatura. Alguns alunos tentaram relacionar a temperatura com características microscópicas, o que pode ser verificado pelas respostas dos alunos C, D, E, F, G, H, I e J.

A despeito dessas dificuldades, pode-se perceber que as questões mais específicas, que envolvem as trocas de calor ou sensações térmicas apresentaram respostas corretas, o que indica a coexistência de várias teorias no arsenal explicativo dos alunos. Dependendo da situação que deve ser explicada, uma ou outra teoria é utilizada, podendo conduzir a respostas corretas a determinadas questões. Essa observação está em acordo com a que disse MORTIMER (1996) a respeito da dificuldade em se construir totalidades ao longo do processo de aprendizagem.

A questão 03²⁴ mostra o que está sendo dito. As respostas, de uma forma geral, apresentam uma sofisticação não reconhecida nos textos apresentados nas questões 07 e 08. Assim, o aluno J afirma que *“Essa impressão é errada, pois ambos, a porta e a maçaneta, estão à mesma temperatura, 25 °C. A sensação de que a maçaneta está mais fria ocorre devido à diferença da condutividade térmica dos dois elementos”*, posição acompanhada por todos os demais alunos. Em 40% das respostas, houve uma tentativa de substancialização do calor, como em *“o metal rouba calor mais rapidamente”*, o que se aproxima da concepção do

²⁴ Uma porta de madeira possui uma maçaneta metálica e está em um ambiente que se encontra a 25 °C. Uma pessoa coloca uma das mãos na porta e a outra na maçaneta e tem a impressão de que a maçaneta está mais fria. Responda se essa impressão é correta. Justifique a sua resposta.

calórico. O aluno C cita o calor específico dos materiais em questão como um fator que também influencia na sensação térmica indicada. É possível que os estudantes já tenham se defrontado com questões semelhantes ao longo de sua formação e estejam, simplesmente, rememorando alguma discussão já efetuada, uma vez que essas respostas não estão em sintonia com as concepções sobre calor e temperatura apresentados acima.

A questão 04 indaga o motivo de uma xícara de café se esfriar quando estiver em contato térmico com o ambiente. Em 50% das repostas é possível se perceber que a tendência ao equilíbrio térmico é a justificativa para a o resfriamento: “pois o sistema tende, assim como todo sistema, a atingir o equilíbrio térmico” (aluno A). Em 40% das respostas, a troca de calor é enunciada como a justificativa para o resfriamento do líquido. Essas respostas indicam o fluxo do calor como sendo do mais quente (café) para o mais frio (ar ambiente). Houve apenas uma resposta que evidenciou a tentativa da utilização de um modelo mais refinado. O aluno C afirmou que *“quando o café está fervendo, a energia cinética das partículas dele é muito grande. Como o ar tem uma energia cinética bem menor, eles tendem a entrar em equilíbrio. Levando em consideração o volume do ar em relação ao do café, a alteração de temperatura no ar é insignificante, já a do café reduz à temperatura ambiente”*. Essa resposta impõe a tendência ao equilíbrio como justificativa do resfriamento e apresenta uma explicação que em muito se aproxima do conceito de capacidade térmica, além de remeter ao modelo cinético-molecular para explicar o que significa ter uma temperatura mais elevada do ponto de vista da estrutura da matéria.

3.5 – Construção de instrumentos para a caracterização das trajetórias de aprendizagem

3.5.1. Pré-Teste

A seqüência de ensino se inicia com uma atividade de diagnose, denominada de “atividade de abertura”, na qual existem sete perguntas sobre os

conceitos e fenômenos que serão tratados ao longo das atividades de ensino. Queríamos, com isso, estabelecer um quadro inicial dos modelos e conceitos utilizados pelos estudantes antes de serem submetidos, formalmente, às atividades de ensino. Por isso, as perguntas deveriam ser respondidas individualmente, sem que houvesse qualquer tipo de troca entre os alunos. Além disso, o pré-teste pretendia levantar questões que não fossem totalmente do conhecimento dos alunos e funcionar como um instrumento que suscitasse questionamentos nos sujeitos.

As duas primeiras questões²⁵ eram mais diretas, incluídas para verificar o conhecimento que os estudantes conseguiam formular a partir dos conceitos de calor e temperatura.

As questões seguintes se baseavam em situações práticas, que já poderiam ter sido vivenciadas pelos estudantes. Queríamos, com isso, investigar se os conceitos apresentados nas questões 1 e 2 são articulados em ação, para resolver situações específicas em que tais conceitos são necessários. Para isso, utilizamos, nas situações propostas, os conceitos de capacidade térmica (questão 03), equilíbrio térmico (questão 04 e 05), condutividade térmica (questão 06) e mudança de fase (questão 07).

Na questão 07, era solicitado que o estudante fizesse um esquema ou um desenho que representasse a situação de evaporação do perfume. Tivemos como objetivo verificar como os estudantes lidavam com o modelo cinético-molecular, em uma situação em que havia mudança nas características da organização interna das partículas da matéria.

3.5.2. Teste 1

Após cerca de um mês do início da aplicação das atividades, os estudantes concluíram a primeira seção da seqüência de ensino, na qual foram discutidos os conceitos de temperatura, calor e equilíbrio térmico. Em linhas gerais, a primeira unidade trabalhou com a inoperância de algumas concepções alternativas tais

²⁵ Questão 01: o que é temperatura para você?; Questão 02: o que você entende por calor?

como “calor é sinônimo de temperatura alta”, “temperatura é a quantidade de calor de um corpo” ou “calor é, necessariamente, algo quente”.

As atividades propostas ao longo dessa unidade procuravam levantar situações em que os resultados previstos a partir das concepções alternativas dos sujeitos não eram verificados na prática, gerando conflitos cognitivos nos estudantes. Além disso, havia momentos em que o professor procurava sistematizar as impressões dos alunos por meio de discussões com toda a turma ou em pequenos grupos.

Nesse momento, portanto, tínhamos a emergência de uma série de conflitos cognitivos, em que alguns alunos buscavam reformular seus modelos explicativos em função do que estava sendo trabalhado nas aulas. Sabíamos que as reformulações poderiam não ser totais, com a convivência de diversos esquemas às vezes contraditórios no repertório do sujeito.

Era necessário que fizéssemos uma verificação do que chamamos de “modelos explicativos 1”, para que fosse possível o estabelecimento de um marco para as trajetórias de aprendizagem dos alunos após os mesmos terem sido postos frente a situações conflitivas. Queríamos verificar de que maneira as atividades iniciais de ensino agiram sobre os modelos explicativos dos sujeitos. Portanto, todas as questões deveriam ser respondidas individualmente pelos alunos.

As duas primeiras perguntas faziam menção ao conceito de calor como um processo de transferência de energia entre corpos motivado pela diferença de temperatura entre eles. A questão 1 deveria ser respondida com um texto e a segunda poderia ser respondida com um texto ou com desenhos.

As questões três e cinco se referiam à influência que a massa de um corpo tem em sua capacidade térmica. A questão quatro apresentava uma situação em que poderia haver variação de temperatura sem a ocorrência de calor.

3.5.3. Teste 2

No final da aplicação da seqüência de ensino, os alunos responderam, individualmente, as sete questões que compunham o teste 2, para a composição do que chamamos de “modelos explicativos 2”. Esse ponto de verificação era importante para que pudéssemos re-construir as trajetórias de aprendizagem dos alunos pesquisados uma vez que os alunos tinham acabado de concluir a seqüência de ensino.

As questões que compunham o teste apresentavam situações em que o sujeito deveria utilizar o que foi trabalhado ao longo das duas seções da seqüência de ensino.

A questão 1 procurava estabelecer uma relação de analogia entre um sistema mecânico macroscópico e a transferência de energia por calor. Pretendíamos verificar se os estudantes conseguiriam perceber os pontos em comum entre os dois domínios citados, identificando as semelhanças e as diferenças entre os dois sistemas.

A questão 2 procurava investigar as características que um termômetro deveria apresentar para ser um bom instrumento de medida de temperatura. Com isso, esperávamos que os estudantes evidenciassem os conceitos de calor específico e de dilatação térmica.

No caso da questão 3, queríamos tratar do conceito de temperatura como uma grandeza que não varia com a massa de um objeto. O ponto central dessa questão é a possibilidade de verificação da existência de uma concepção de temperatura como sinônimo de energia interna objeto. O estudante que utilizar tal conceituação, poderá afirmar que, diminuindo-se a massa do sistema, a temperatura também deve diminuir.

A questão 4 fazia menção à possibilidade de se alterar a temperatura de um dado sistema sem a ocorrência calor. Uma questão semelhante já havia sido trabalhada no teste 1. Julgamos ser importante a repetição desse tipo de questionamento para verificarmos se houve alguma evolução nos modelos

explicativos nesse ponto. Uma das concepções alternativas mais comuns e mais difíceis de serem superadas é a noção de que a temperatura mede a quantidade de calor de um objeto. O estudante que utilizar tal concepção para a resolução dessa questão terá problemas em identificar que a variação da temperatura pode ocorrer sem que haja uma fonte de calor por perto.

Na questão 5, tínhamos uma situação que envolvia a mudança de fase. Queríamos verificar se o estudante conseguia relacionar a mudança de fase com a ocorrência do calor e, com isso, prever a temperatura final de uma lata de refrigerante.

A situação apresentada pela questão 6 procurava evidenciar algo muito comum em nosso cotidiano. Nessa questão, era solicitado que o estudante explicasse o fato de assoprarmos o café quente, para esfriá-lo, a partir do modelo cinético-molecular. A referência explícita ao modelo de partículas se fazia necessário para evitarmos respostas por demais vagas, tais como “o ar faz com que o café se esfrie”.

Por fim, a questão 7 procurava investigar as relações entre temperatura, energia cinética média molecular e energia interna. Para isso, era solicitado ao aluno que comparasse diversos aspectos sobre as moléculas de água em um grande lago a 10°C e uma xícara de chá a 90°C. Ainda nessa questão, os alunos deveriam indicar o sentido do fluxo de calor se o chá quente fosse colocado em contato térmico com o lago.

3.5.4. Entrevistas

Após 7 meses da aplicação da seqüência de ensino, entre os meses de maio e junho de 2004, foram conduzidas entrevistas com os alunos do grupo acompanhado para uma verificação dos modelos explicativos por eles utilizados. Queríamos construir, com tais entrevistas, as formas de entendimento dos alunos a respeito da física térmica após a seqüência de ensino ter sido ministrada por completo.

O intervalo de tempo relativamente longo entre o final da aplicação da seqüência e a condução das entrevistas teve duas razões, uma associada às necessidades dessa pesquisa e a outra relacionada com a organização interna da escola e que foi conduzida a pesquisa.

As entrevistas deveriam cumprir o objetivo de verificar, após os alunos terem concluído o estudo formal dos fenômenos térmicos, quais os modelos explicativos seriam por eles utilizados. Assim, não seria possível a aplicação das entrevistas ainda no ano de 2003, uma vez que os estudantes continuaram a estudar a Termodinâmica e, portanto, estavam ainda em processo de aprendizagem dos conceitos de calor, temperatura e equilíbrio térmico. Tivemos que planejar a condução das entrevistas para o ano de 2004. Os três primeiros meses letivos (fevereiro, março e abril) foram muito tumultuados no que se refere à adaptação dos alunos à estrutura da terceira série do colégio²⁶. Portanto, nesses meses os estudantes se mostravam muito ansiosos e concluí que realização das entrevistas nesse ambiente poderia não cumprir o seu objetivo.

As entrevistas tinham um roteiro básico a ser seguido, com a indicação de questões teóricas e experimentos para serem realizados. No entanto, esse roteiro previa alternativas para que fosse possível a inclusão de outras perguntas, em função das respostas dadas pelos estudantes. Dessa forma, queria obter melhores explicitações quanto às concepções apresentadas nas atividades da seqüência. Além disso, essa estruturação permitiu uma maior liberdade na condução do diálogo, mas com um roteiro a ser seguido para se atingir o objetivo de conhecer melhor os participantes da pesquisa.

Procedemos à construção de um roteiro de entrevista, com a inclusão de 3 questões teóricas e 3 atividades experimentais, nas quais as concepções dos estudantes pudessem ser explicitadas (anexo IV). Cada item utilizado no roteiro

²⁶ No colégio pesquisado, a terceira série do ensino médio funciona em regime integrado, no qual toda o conteúdo do ensino médio é visto ao longo de um ano letivo em um espaço físico específico, desligado do prédio principal da escola. Além disso, nessa série, os alunos realizam provas semanais e há uma pressão muito maior quanto ao volume de conteúdo trabalhado e em relação à obtenção de créditos para a aprovação. Em geral, essa ruptura com a estrutura da escola até a segunda série causa uma forte tensão nos estudantes ao longo dos primeiros meses de trabalho.

da entrevista visava verificar os conceitos-em-ação e os teoremas-em-ação utilizados pelos estudantes para dar conta das situações mostradas sobre o campo conceitual da Física Térmica. Apresentamos, com base no levantamento bibliográfico das concepções alternativas mais comuns apresentadas pelos estudantes, algumas possíveis respostas e as respectivas possíveis explicações.

A questão 01 procurava evidenciar o conhecimento (1) da condição de ocorrência do calor; (2) das grandezas envolvidas na variação de temperatura e (3) da tendência ao equilíbrio térmico. Esperávamos a seguinte resposta: devemos utilizar 1,0 kg de água a 60°C, uma vez que o calor específico da água é maior do que o do ferro, fazendo com a cama entre em equilíbrio térmico com a bolsa a uma temperatura maior. Pensamos em possíveis “desvios” nas respostas, que estão listadas a seguir: (a) relacionar a condutividade térmica com o aquecimento. Nesse caso, há uma forte tendência à construção de um modelo apoiado em propriedades observáveis e elaborado a partir das sensações térmicas e o tato; (b) de acordo com o item anterior, dizer que a escolha deve ser a água por ela ser isolante. Esse raciocínio se apóia em situações cotidianas em que o ferro nos dá a sensação de ser mais frio.

A questão 02 pretendia verificar o entendimento acerca (1) do processo de transferência de calor; (2) da taxa de variação da temperatura e (3) do equilíbrio térmico. O estudante deveria reconhecer a diferença de temperatura entre os objetos citados e indicar o sentido único para o fluxo de calor. Além disso, esperávamos que ele fosse capaz de relacionar a massa dos corpos como um fator importante no estabelecimento do equilíbrio térmico. As possíveis variações para as respostas foram pensadas da seguinte maneira: (a) para aqueles estudantes que não reconhecem o calor como interação entre sistemas, há uma forte tendência em assumir que o café esfria porque a sua alta temperatura não é natural. Além disso, a variação de temperatura do meio não é considerada (sequer como algo desprezível); (b) a não consideração da capacidade térmica dos sistemas envolvidos leva à idéia de que a temperatura de equilíbrio térmico seja a média entre as temperaturas iniciais. Nesse caso, há a construção de um modelo que impõe a “conservação da temperatura” como regra para as trocas de

calor. Assim, há uma forte tendência em relacionar “temperatura como a quantidade de calor” em seu repertório conceitual.

Seguindo a mesma linha das duas questões anteriores, a questão 03 procura estabelecer a influência do material na intensidade do fluxo de calor. Essa questão não trata da variação da temperatura, mas, sim, da condutividade térmica. A resposta esperada é: temos a impressão de que a lata é mais fria do que a garrafa porque os metais possuem maior condutividade térmica do que o vidro. As possíveis variações são: (a) a não compreensão do equilíbrio térmico pode levar à construção do modelo de que a lata está, mesmo, mais fria do que a garrafa. Essa mesma conclusão pode ser estabelecida pela não consideração integral do meio nos processos de troca de calor; (b) o modelo que associa a condutividade térmica à variação de temperatura pode conduzir a uma conclusão errônea sobre a sensação. Neste caso, há um forte conflito entre grandezas observáveis e o modelo explicativo do estudante.

O experimento 01 procurava investigar o alto calor específico da água. O balão cheio de ar, tão logo é aproximado de uma chama, estoura. Já o balão que possui água, permanece por um longo período em contato com a chama e não estoura. O aluno deveria explicar esse fato por meio do alto calor específico da água. Seria possível, também, afirmar que a massa do sistema é maior no balão que possui água e, com isso, a capacidade térmica desse sistema também é alta.



Figura 3.2 - O balão com água dentro não estoura facilmente.

O experimento 02 utiliza um instrumento chamado ebulidor de Franklin. O estudante deve segurar a parte inferior do mesmo, fazendo com que o líquido em seu interior (álcool) se desloque para a parte superior. Cada estudante deveria

propor uma explicação para esse fato. A explicação correta está relacionada com a transferência de calor da mão do sujeito para o líquido, o que acelera o processo de evaporação de um líquido muito volátil e leva a um aumento na pressão. Esse aumento de pressão faz com que o líquido se desloque para cima. Uma possível resposta – incorreta – aponta que a causa do deslocamento do líquido é a dilatação do mesmo por causa do calor fornecido pela mão do sujeito. Nesse caso, o entrevistador deve propor um segundo experimento que consiste no resfriamento da parte superior do aparelho. O estudante deve ser incentivado a prever o comportamento do líquido e a resposta emitida, por uma questão de coerência interna com seus modelos explicativos, deve ser a de que o líquido deve permanecer na parte inferior. Após realizar o experimento, deve ser, novamente, solicitado ao estudante um modelo que explique o que foi observado.



Figura 3.3 - Ebulidor de Franklin.

O terceiro experimento é uma continuação do segundo. O pássaro sedento é um interessante instrumento que parece se constituir em um moto contínuo, dispositivo hipotético que poderia utilizar uma certa quantidade de energia eternamente. O aluno deve ser incentivado a observar o aparelho e, em seguida, explicar o motivo de seu movimento. A explicação correta deve mencionar a evaporação do líquido no “bico” do pássaro para, em seguida, relacionar tal evaporação com a redução de temperatura e de pressão na parte superior. Assim, a diferença de pressão ocasiona o deslocamento do líquido para a cabeça do pássaro. Essa atividade é de difícil explicação por parte do estudante. Alguns questionamentos relacionados à evaporação podem ser feitos no sentido de auxiliar na compreensão do fenômeno.



Figura 3.4 - Pássaro sedento.

Para a validação do roteiro de entrevista, foi feito um estudo exploratório com dois alunos que se destacaram positivamente na aplicação da seqüência de ensino no ano anterior. As categorias de análise foram construídas após o estudo da produção dos alunos e estão descritas no capítulo seguinte, bem como a análise das trajetórias de aprendizagem dos alunos escolhidos. Essa construção se baseou no levantamento dos *conceitos-em-ação* e *teoremas-em-ação* que puderam ser inferidos pela análise dos instrumentos da pesquisa, de acordo com a teoria dos campos conceituais de Vergnaud.

CAPÍTULO 04 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

*“fotos de satélite, visão de raios-X
cães farejadores, detectores de metal
currículo escolar, teste de QI
previsões do tempo no telejornal
não captarão.”
(Humberto Gessinger)*

Introdução

Neste capítulo, vamos apresentar os resultados obtidos ao longo da aplicação da seqüência de ensino e da condução das entrevistas com os estudantes. Iremos apresentar os dados na seqüência em que os mesmos foram coletados, ou seja, serão apresentados (1) o desenvolvimento da seqüência de ensino, no qual aparece a seqüência das aulas e seus pontos mais significativos, intercalando análises a respeito das discussões conduzidas entres os alunos e entre estes e o professor, (2) a construção das categorias de análise e (3) a construção das trajetórias de aprendizagem dos estudantes acompanhados.

Para os momentos de interação que serão apresentados na seção 4.2, cabe uma explicação mais detalhada a respeito de sua colocação. O foco dessa pesquisa é a investigação de como o sujeito constrói e reconstrói seus modelos explicativos ao longo de uma atividade de intervenção didática. Portanto, queremos investigar a evolução temporal de tais modelos pessoais, sendo que a nossa atenção está voltada para a apropriação que cada sujeito faz do conhecimento que está sendo ensinado. Essa apropriação é fortemente influenciada pelas opções didáticas, pela relação com os pares e pelas intervenções do professor.

Apesar de não procurarmos investigar a função que cumprem as interações sociais e a linguagem, não podemos ignorá-las como elemento

fundamental para que os estudantes construam, de maneira pessoal, seus modelos. Isso justifica a apresentação dos episódios a seguir, em que os momentos de interação entre os estudantes são identificados como pontos importantes para que o conhecimento pudesse ser construído. MATURANA e VARELA (2003) afirmam que

“toda reflexão, inclusive a que se faz sobre os fundamentos do conhecer humano, ocorre necessariamente na linguagem, que é a nossa maneira particular de ser humanos e estar no fazer humano”. (p. 32)

Nos episódios apresentados, reconhecemos que a natureza das construções não é individual, mas que se coloca em um plano coletivo, sendo que as idéias, as concepções e os conceitos são compartilhados pelos integrantes dos grupos que interagem, não pertencendo a um sujeito em particular. A partir dessas interações, porém, cada sujeito, em função de seus esquemas cognitivos, compromissos e suas concepções, constrói modelos de funcionamento distintos uns dos outros, permitindo que as trajetórias de aprendizagem que queremos investigar sejam pessoais.

4.1 – O Desenvolvimento da Seqüência de Ensino em Sala de Aula

Nessa seção, vamos apresentar as atividades que compuseram a seqüência de ensino. Além de contar com os registros escritos dos estudantes e com as entrevistas clínicas conduzidas, tivemos a preocupação de verificar os registros em vídeo feitos ao longo da aplicação da seqüência de ensino. Após cada intervenção didática, os vídeos eram transcritos analisados. Assim, foi possível perceber a contribuição que cada atividade teve na construção dos modelos pessoais de funcionamento da Física Térmica e relacioná-los com a análise dos conceitos e dos teoremas em ação. Dessa análise, foram retirados os

episódios mais significativos para que pudesse ser feito um estudo mais aprofundado, com a anotação das suposições acerca dos modelos. Portanto, os episódios que serão mostrados representam momentos em que houve a emergência de algum conceito que, acreditamos, foi importante para a aprendizagem dos estudantes.

4.1.1 – Aula 01 – 29/08/2003

A aula 01 ocorreu em uma sexta-feira, 29/08/2003, em um dia de aula geminada. Na primeira aula, os alunos responderam, individualmente, às sete questões da atividade de abertura. Na segunda aula, os alunos se uniram nos grupos para ler a leitura 01, discutir e responder as questões propostas (ver anexo I). Eles entregaram, no final de cada aula, os registros das atividades do dia, o que contribuiu para que se pudesse fazer um mapeamento dos conceitos intuitivos mais comuns. A partir dessas respostas e do conhecimento que já havia adquirido dos perfis dos alunos no primeiro semestre do ano de 2003, foi escolhido o grupo a ser acompanhado. Tal escolha procurou privilegiar a ocorrência dos diversos estilos de aprendizagem e o maior número possível de concepções prévias distintas, para que fosse possível avaliar as trajetórias de aprendizagem e relações com o conhecimento distintas. Essa produção foi a base para construção dos modelos pessoais que representam o ponto de partida para a análise das trajetórias de aprendizagem de cada estudante.

Foi possível perceber um grande receio nos estudantes em apresentar respostas consideradas erradas. Em diversos momentos, alunos diferentes disseram que as perguntas eram “difíceis” e solicitaram que o professor “não reparasse” nas respostas. Houve casos em que alguns alunos ainda perguntaram se a atividade “valia ponto”.

É de se lamentar que a escola crie esse mito em torno da avaliação e, com isso, não permita que os alunos mostrem, verdadeiramente, os seus conhecimentos. Esse temor por parte dos estudantes não contribuiu para que a

avaliação de aprendizagem seja totalmente verdadeira e prejudica as tomadas de decisão dos educadores em relação às estratégias de ensino que possam contribuir para a aprendizagem. Nesse tipo de relação em sala de aula, os estudantes consideram que a avaliação deve servir apenas para atribuir pontos àquilo que foi ensinado, o que contribui para a estranheza dos alunos quanto aos processos adotados na pesquisa. O fato de não serem atribuídos pontos à atividade de pesquisa visava, exatamente, evitar essa relação de troca – o aluno faz a atividade em troca de pontos para a sua aprovação.

4.1.1.1 - Atividade 01

A atividade 01 era o pré-teste e constava de sete questões que procuravam verificar as concepções dos estudantes acerca dos fenômenos térmicos, sobretudo em relação à diferenciação entre calor e temperatura. Dos 37 alunos da sala, 2 não compareceram a esta aula e, portanto, não responderam as questões.

Em relação a essa atividade, os alunos apresentaram uma grande diversidade nos conceitos de temperatura e calor, sendo que alguns estudantes apresentaram dificuldades na verbalização dos conceitos. A seguir vamos apresentar as respostas dos estudantes para as duas primeiras questões, que indagavam sobre os conceitos de temperatura e calor.

a) conceitos de temperatura

a.1) Temperatura como medida do Calor:

Cerca de 71,4% dos estudantes, ou seja, 25 alunos do universo de 35, apresentaram um conceito de temperatura como relacionado à quantidade de calor.

Desses, 17 alunos, o que significa 48,5% do total de estudantes, relacionou temperatura ao calor contido em um objeto ou em um ambiente, como pode ser evidenciado pelas respostas a seguir.

“Temperatura é a quantidade de calor (energia) presente em um corpo medida em (por exemplo) °C.” (Eduardo)

“Temperatura é a quantidade de calor que algo possui”.(Samuel)

“O que indica a quantidade de calor existente em certo ambiente”.(Cassiano)

Para apenas 3 estudantes, 8,6%, temperatura está relacionada não ao calor contido em um corpo, mas com o calor liberado, evidenciando uma característica processual para o calor. Esse é um indício importante de que tais estudantes consideraram o calor como uma entidade ligada a “processos” e, não, à matéria. Esse tipo de resposta pode ser verificado na seguinte afirmativa.

“Temperatura é a medida do calor liberado por alguma coisa, variando de acordo com vários fatores”.(Izabela)

a.2) Temperatura relacionada às condições climáticas:

Em outra classe de respostas, 9 alunos, ou 25,7% do total, a temperatura foi relacionada com as sensações de quente e frio, em relação às condições climáticas, como se pode perceber nas respostas que se seguem.

“Para mim, temperatura é uma variação no tempo e que podemos sentir, há temperaturas quentes e frias”.(Luisa)

“Para mim, temperatura é a variação de um tempo, corpo, etc, quente ou frio”.(Flávia)

“Uma variação que ocorre no tempo (quente/frio)”. (Carla)

a.3) Outros:

Houve uma única resposta, na qual o aluno parece fazer menção à concepção do calórico, sem, no entanto, se referir, explicitamente, ao conceito de

calor.

“Temperatura é o nível de pressão de uma certa coisa, com isso, você sabe se ela está quente ou fria”. (Leonardo)

b) conceitos de calor

b.1) Calor relacionado a altas temperaturas:

Na pergunta sobre o que é calor, houve uma diversidade ainda maior quanto aos conceitos apresentados. Essas respostas podem ser categorizadas de acordo com o que é apresentado a seguir.

Para 17 estudantes, cerca de 48,6% das respostas, o calor foi relacionado com a sensação de quente. O calor era entendido, por esses estudantes, como um estado de um objeto ou do ambiente, relacionado à sua alta temperatura. As respostas a seguir mostram essa concepção.

“Calor é uma temperatura ‘elevada’ que leva à dilatação dos corpos”.(Samuel)

*“Calor é um estado muito quente o que faz com que a temperatura seja também muito alta”.
(Flávia)*

“Calor é algo quente”. (Carla)

b.2) Calor relacionado à energia contida em uma corpo:

Para 10 estudantes, ou seja, cerca de 28,6% dos estudantes, o calor é entendido como a energia contida em um corpo. O conceito apresentado por três dos estudantes se aproxima do que entendemos por energia interna. As respostas características estão indicadas a seguir.

“Calor é a quantidade de energia presente em um corpo”.(Eduardo)

“É a energia térmica de um corpo”.(Beatriz)

b.3) Calor como energia transferida:

Para 8 estudantes, cerca de 22,8%, o conceito de calor esteve relacionado com algo transmitido, se aproximando do conceito físico de calor, mas geralmente relacionado com o aquecimento. São exemplos:

“Calor é a energia liberada por algo. Esta energia pode ser medida pela temperatura”. (Izabela)

“Calor é quando há a queima de algo, este é liberado ou pode ser absorvido. Calor é quando o corpo, por exemplo, ganha temperatura”. (Jussara)

“Para mim calor é quando algo ou alguém libera energia que é ‘transformada’ em calor” (Luisa)

“Calor é a energia liberada ou absorvida pelos corpos”. (Vanessa)

b.4) Múltiplos conceitos de calor:

Além disso, houve uma resposta que não se encaixou em uma única categoria por apresentar elementos das duas últimas. Ao mesmo tempo em que faz menção à energia interna como agitação das moléculas, o estudante se refere à transferência de energia.

“Calor é a quantidade de energia que alguma coisa ou lugar recebe. Agitação das moléculas”. (Fabiano)

c) Conclusão:

Após a análise dos dados dessa atividade de pré-teste, ficou estabelecido que o grupo composto pelos alunos Eduardo, Samuel, Ana Paula, Flávia, Lara, Cleiton e Carla seria acompanhado, por nós, nessa pesquisa, por apresentar maior heterogeneidade entre os seus membros.

4.1.1.2 - Leitura 01

Na segunda parte da aula do dia, os estudantes se dedicaram à leitura 01 e responderam, em grupo, as perguntas feitas ao longo do texto. A análise das respostas apresentadas pelos alunos do grupo que será acompanhado confirmou a tendência à substancialização do calor, como revelado na expressão escrita por eles: *“quando um corpo adquire calor”*.

Ao tentar explicar o mecanismo de dilatação térmica, esse grupo apresentou um modelo interessante, apesar de incorreto no plano da Física Térmica: *“as moléculas que recebem mais energia tendem a se repelir com mais força, ‘dilatando-se’*”. Esse modelo que explica a dilatação térmica a partir de uma repulsão entre as partículas por causa do aquecimento continuará aparecendo em outras atividades. Os demais grupos explicaram a dilatação a partir da expansão das partículas de um objeto, sem utilizarem o termo “repulsão”.

Uma análise inicial dessa postura, compartilhada, nesse momento, pelo grupo, permite concluir que há um modelo explicativo muito forte presente nela. Para uma explicação do processo de dilatação coerente com a Física Térmica, os sujeitos necessitam admitir que as partículas se movem sem cessar, ou seja, devem admitir a existência do movimento sem a necessidade de uma força que o mantenha. Os alunos são colocados frente a uma situação nova – a explicação da dilatação térmica – para a qual não possuem um modelo explicativo formulado. As suas “framework theory” (VOSNIADOU, 1994) guiam as construções dos modelos mentais para dar conta dessa nova situação. A suposição de que um movimento só pode ocorrer e se manter pela ação de uma força é recorrente nos sujeitos. OS estudantes reconheceram que a dilatação térmica deve ocorrer pelo afastamento

entre as partículas. Esse afastamento, dizem os alunos, só pode ocorrer por meio de uma força repulsiva. Tal modelo explicativo volta a aparecer e é discutido pelo professor com os alunos na aula 10.

4.1.2 – Aula 02 – 01/09/2003

Com base na análise das respostas dadas às questões propostas na aula inicial, foi realizada uma aula expositiva, centrada nos conceitos de calor e temperatura. Inicialmente, foram explicitados os conceitos de temperatura apresentados pelos estudantes, sobretudo aqueles que relacionam temperatura como a quantidade de calor de um corpo.

Por meio da proposição de situações em que o citado conceito não conduz a resultados coerentes²⁷, foi demonstrada a sua insuficiência e, portanto, a necessidade de buscar outra definição mais abrangente e satisfatória. A partir daí, os alunos começaram a expor questões que foram suscitadas pela leitura do texto e pelas discussões realizadas posteriormente. A condução desta aula procurou sanar as dúvidas, ao mesmo tempo em que novas questões eram colocadas para reflexão. Tais questões estavam relacionadas com as atividades experimentais propostas na seção I da seqüência de ensino e que seria objeto de estudo nas próximas 3 aulas.

Quando a questão do equilíbrio térmico era colocada, a aluna Clarissa se colocou de forma muito incisiva contrariamente a essa tendência dos sistemas que trocam calor. Segundo a aluna, não poderia haver essa tendência uma vez que o nosso corpo não entra em equilíbrio com o ambiente. Essa conduta, gerou um debate com a turma, em que foram levantadas situações em que há equilíbrio e situações em que não há equilíbrio térmico. Utilizei, como exemplo, o caso de uma lâmpada incandescente acesa e apagada. Nesse momento, Clarissa

²⁷ Foram utilizados a mudança de fase e o aquecimento diferenciado de materiais e objetos.

afirmou: *“concordo que a lâmpada apagada entra em equilíbrio com o ambiente ... mas a lâmpada acesa, não”*.

Uma situação semelhante foi verificada em uma atividade de pesquisa e narrada por LABURU e CARVALHO (1995) e LABURU, SILVA e CARVALHO (2000). Na análise de uma aula de um professor de Física da rede pública de São Paulo, os autores utilizaram as idéias centrais do modelo de equilíbrio piagetiano (PIAGET, 1985) e o modelo de mudança conceitual para investigar as formas de entendimento de estudantes acerca do conceito de equilíbrio térmico. Um estudante (A4) se revelou contrário à tendência de equilíbrio térmico apresentada pelo professor e buscava exemplos em que tal equilíbrio não era obtido, como, por exemplo, uma lâmpada incandescente acesa, o corpo humano e uma geladeira. A interpretação dos autores foi de que esse estudante revelava uma conduta alfa, na qual o sistema cognitivo do sujeito tenta neutralizar o elemento perturbador, diminuindo-lhe a importância ou deformando o elemento para que este não se configure em uma perturbação de fato. A conduta da aluna Clarissa em nossa pesquisa é semelhante à do aluno A4 na citada atividade de pesquisa relatada por LABURU e CARVALHO (1995). No entanto, não concordamos com a avaliação apresentada por esses autores. Acreditamos que o fato de negar a tendência ao equilíbrio térmico não é um sinal de uma conduta alfa. Nos parece que a estudante Clarissa compreendeu o conceito de equilíbrio térmico e conseguiu aplicá-lo em situações distintas, criando categorizações para o mesmo, antecipando variações das situações em que o equilíbrio térmico é ou não é atingido. Em sua fala, a estudante reconheceu a existência da transferência de energia entre os sistemas por causa da diferença de temperatura entre eles e utilizou esse conceito para negar a afirmativa do professor de que as temperaturas devem se igualar. Nesse contexto, a afirmativa do equilíbrio térmico como tendência para os sistemas que interagem termicamente perde a referência empírica como lei geral. O aluno A4 da pesquisa citada pode não ter conseguido um tipo de construção da mesma magnitude daquela obtida por Clarissa. Mas, sua conduta não é do tipo alfa. Há alguma compreensão por parte do estudante de como os processos térmicos acontecem. No artigo seguinte (LABURU, SILVA e CARVALHO, 2000), os autores voltam ao problema e afirmam que o fato de o

professor não apresentar as condições de um sistema isolado termicamente e a não existência de “fontes de calor” para que o equilíbrio térmico se estabeleça prejudicou a interpretação do aluno A4. No entanto, não voltaram a analisar as condutas dos estudantes.

Consciente dessas possibilidades de entendimento, o professor procurou, por meio do diálogo com os alunos, chegar à conclusão de que, mesmo não se atingindo o equilíbrio térmico, essa é uma *tendência*.

4.1.3 – Aula 03 – 08/09/2003

A aula aconteceu no laboratório de Física do colégio. Nesse ambiente, os grupos ocuparam as seis bancadas do laboratório e trabalharam nas atividades 1 e 2 da seqüência de ensino. Por causa da disponibilidade de equipamentos, três grupos fizeram a atividade 1 e, em seguida, a 2. Os outros 3 grupos seguiram a seqüência oposta. A análise das respostas indica que não houve ganho em se fazer um ou outro sentido. O grupo que está sendo acompanhado fez, primeiramente, a atividade 2 e, em seguida, a atividade 1.

Fiquei atendendo os grupos quando havia alguma dificuldade e apresentando novas questões para a discussão. Assim, pude perceber como os alunos estavam construindo as explicações para o que estava sendo experimentado.

4.1.3.1 - Episódio 01²⁸

Os alunos demonstraram timidez com relação à presença da câmara de vídeo, por ser a primeira atividade que foi filmada. Inicialmente, ficaram explorando os materiais colocados sobre a mesa (blocos de madeira e de

²⁸ Nas transcrições a seguir, cada fala será indicada por um turno, mostrado pela letra T. O número que é apresentado na seqüência da letra T mostra a ordem da fala no episódio. Em seguida, há o nome da pessoa que emitiu a fala (por exemplo, “T11: Samuel” significa a 11ª fala – turno 11 – feita pelo Samuel). Essa numeração será reiniciada a cada nova aula.

alumínio) pelo professor, para, em seguida, iniciar a atividade.

Eles dispunham de blocos de madeira e cilindros de alumínio para a realização da atividade e deveriam pegar cada objeto para verificar as sensações térmicas de frio e quente. Em seguida, os estudantes deveriam medir a temperatura dos objetos para verificar se a sensação obtida estava em consonância com o que foi medido. Após realizarem as medições, os estudantes do grupo acompanhado chamaram o professor para verificar se tinham realizado a atividade de maneira correta.

O professor se aproxima do grupo após os alunos terem feito as medidas da temperatura do alumínio e da madeira.

T01: Professor: Então, a temperatura do metal e da madeira. São temperaturas diferentes ou são temperaturas iguais?

T02: Todos os Alunos: São iguais!

T03: Professor: Se eles estão em contato com o ambiente, com o tempo (...)

T04: Samuel: Se eles estão em contato com o ambiente é a mesma coisa.

T05: Professor: Já houve equilíbrio térmico, portanto as temperaturas são iguais. Lembra a primeira vez que a gente discutiu isso? Você pega no metal parece que ele está mais frio.

O professor se afasta do grupo.

Após medirem a temperatura e confirmarem que são iguais para a madeira e para o alumínio, os alunos do grupo confirmam que, se os objetos estão em contato com o ambiente, a temperatura deles deve ser a mesma. Não podemos afirmar esse fato seja um indício da construção do conceito de equilíbrio térmico por parte dos alunos, uma vez que eles acabaram de verificar, por meio de um termômetro, que as temperaturas eram iguais e afirmaram que “*se estão em contato com o ambiente é a mesma coisa*” (T04). Necessitaremos de mais elementos para afirmar que houve uma boa compreensão acerca do equilíbrio

térmico.

Os alunos continuam discutindo sobre a prática, analisando o porquê de termos sensações térmicas diferentes para o alumínio e a madeira.

T06: Samuel: Por que as duas placas fornecem sensações distintas? ((repetição da pergunta da atividade))

T07: Ana Paula: A sensação é diferente, a sensação de temperatura é diferente, portanto, elas são equivalentes.

T08: Samuel: Não, sô! O alumínio absorve... como é que é?

T09: Carla: A sensação é diferente porque o tipo de material é diferente. ((os alunos concordam com Carla))

T10: Samuel: As duas placas fornecem sensações distintas porque são materiais diferentes.

T11: Samuel: Essa questão está relacionada exclusivamente com seu tato? ((leitura do item pelo aluno)). Sim ... É exclusivamente? Acho que a gente devia colocar que o alumínio absorve menos calor ... Não, pera aí, absorve menos ou mais?

T12: Ana Paula: Não tá certo absorver!

T13: Lara: A gente tem que colocar!

T14: Eduardo: O metal transporta calor com mais facilidade.

((Carla coloca a mão no cilindro de alumínio))

T15: Carla: Gente, mas tá mais frio!

A idéia de que as sensações térmicas dependem do tipo de material que interage com a nossa pele foi colocada no grupo. Dessa forma, diferentes materiais, mesmo estando em temperaturas iguais, podem nos parecer com temperaturas diferentes. Para chegar a essa conclusão, os alunos utilizaram o resultado da medida de temperatura e o fato de que a madeira e o alumínio são materiais diferentes (T09 e T10).

Quanto ao motivo para isso ocorrer, podemos perceber uma relação entre a sensação térmica e a intensidade do fluxo de calor que um dado material pode produzir. Essa explicação começou no turno T08, quando Samuel afirmou que “o

alumínio absorve... como é que é?”, e foi evoluindo até o turno T14, quando Eduardo afirma que *“o metal transporta calor com mais facilidade”*. É curioso o cuidado revelado pelo grupo para a utilização do termo “calor”. O verbo “absorver” não foi considerado pelo grupo como adequado para se referir ao calor. Em lugar disso, o grupo preferiu utilizar o verbo “transportar” para relacionar com o calor. Esse cuidado sugere que a construção do conceito de calor, tal qual ele é utilizado pela física, já está em processo.

Apesar disso, percebemos que ainda há dúvidas quanto à questão das temperaturas serem iguais ou diferentes. No turno T15, Carla, após tocar nos dois objetos, afirma que os mesmos estão em temperaturas distintas, negando o que havia sido medido. Esse turno permite-nos concluir que, mesmo quando os alunos afirmam que a temperatura é igual (T02), pode não haver um consenso entre eles acerca dessa situação.

O grupo chama o professor para expor os argumentos e dúvidas, de modo a validar a explicação para as sensações térmicas. Os alunos apresentam alguns questionamentos a respeito da transmissão de calor. Após o professor ouvir as perguntas, o professor provoca outro ciclo de interações com os estudantes:

T16: Professor: Então, vamos pensar no seguinte: na hora que vocês encostam (na madeira ou no alumínio), a sensação é diferente.

T17: Todos os Alunos: É sim ...

T18: Professor: Agora, a sensação é diferente porque a temperatura é diferente?

T19: Todos os Alunos: Não!

T20: Ana Paula: Porque o material é diferente.

T21: Professor: E o que tem a ver o material ser diferente?

T22: Eduardo: O transporte de energia do metal é mais rápido, o metal vai esquentar mais rápido que a madeira.

T23: Professor: As substâncias transportam calor de formas diferentes, em velocidades diferentes, inclusive. Tranquilo isso?

T24: Todos os Alunos: Tá tranquilo.

T25: Professor: Então, olha só, o meu tato é ... bom, já é um instrumento bacana para poder ver se a temperatura é alta ou não?

T26: Todos os Alunos: Não

T27: Professor: Por isso que eu preciso, então, de outros materiais. Sem o termômetro eu não saberia ... só de encostar assim nas duas coisas ((o professor pega o alumínio e a madeira)), sem ter o termômetro, eu não posso afirmar que a temperatura é a mesma. A gente sabe disso. Aí, ele vai perguntar aí, né? Resultado obtido nessa situação. A atividade 1 vocês até já fizeram no laboratório, que é aquela de botar a mão na água quente, na água fria e na água morna. Quer dizer, o fato de você não usar o tato como um ótimo sensor de temperatura, você pode verificar isso em diversas situações. Então, por exemplo, eu podia perguntar pra vocês agora, porque que uma panela é de metal e o cabo é de plástico?

T28: Samuel e Carla: Pra você não queimar a mão.

T29: Professor: Então, se o cabo fosse de alumínio, você teria coragem de pegar igual pega o plástico?

T30: Todos os Alunos: Não.

T31: Professor: Tem casos em que um cara pega cerâmica com essa espessura ((mostra com os dedos, cerca de 4 cm)) e coloca na palma da mão e coloca um maçarico, que não queima a mão. Se você fizer um negócio desses com metal o que vai acontecer?

T32: Samuel: Você perde a mão.

T33: Professor: Então, uma perguntinha pra vocês pensarem: eu tenho que entrar num forno muito quente, do tamanho dessa sala, o que é melhor: eu entrar pelado, entrar vestido com uma roupa de lã, uma armadura de metal ou a roupa de lã e a armadura de metal? Dá uma pensadinha, uma discutida aí.

O professor se afasta do grupo para que o mesmo possa discutir. Na seqüência, Melissa apresenta sua hipótese e o grupo inicia uma construção coletiva.

T34: Carla: Metal não pode, porque senão vai queimar.

T35: Ana Paula: A roupa de lã e o metal (...)

T36: Samuel: O metal não vai entrar em contato com o corpo e vai absorver todo o calor.

T37: Ana Paula: É. E a lã (...)

T38: Marcus: Vai isolar.

T39: Carla: É

T40: Todos os alunos: É ... ((comemoram a resposta dada como sendo correta)).

O professor se aproxima do grupo e solicita que eles apresentem a resposta a que chegaram.

T41: Flávia: A da roupa que você falou ((a aluna fala com Samuel))

T42: Todos os alunos: É com o metal e a roupa de lã.

T43: Professor: Porque?

T44: Carla: Porque o metal vai absorver calor e a lã vai perder.

T45: Samuel: A lã vai servir como isolante térmico.

T46: Todos os alunos: É.

T47: Professor: Se você entrar só com a roupa de lã, ela pega fogo.

T48: Samuel: Sinistro, heim? É mesmo, heim? Nós não pensamos nessa.

T49: Professor: Vai ter um lugar que você vai estar mais perto da fonte e aí como a lã é isolante, ela não transfere energia, então, acumula e lã pega fogo. É a mesma coisa, na hora que você bota, sei lá, um frango, um peru, pra poder assar ((risos)). Você tem que recobrir com papel alumínio. Por que papel alumínio?

T50: Samuel: Não pode pegar fogo.

T51: Professor: Aí você não pode cobrir ele de lã, porque você quer que ele cozinhe.

T52: Samuel: Boa, professor! ...

O professor tenta mostrar que as substâncias transportam calor de maneira diferente, por meio da apresentação de exemplos distintos daquele utilizado na atividade. A pergunta apresentada (T33) teve como objetivo verificar se os estudantes seriam capazes de aplicar os conceitos estudados em uma situação nova. É possível verificar que os alunos relacionaram a condutividade térmica com a capacidade de “absorver” calor e, não, com a capacidade de “transmitir” calor. Esse erro conceitual, no entanto, não impediu que eles chegassem à resposta correta. Para o grupo, a armadura de metal iria “absorver o calor do forno” (T44) e a roupa de lã vai “perder esse calor”. Nota-se um modelo interessante, em que os bons condutores (no caso, os metais) são bons absorvedores e os isolantes (no caso, a lã) são bons emissores de calor. Para o grupo, a armadura de metal deveria absorver o calor do forno e a lã seria

responsável por não deixar que esse calor seja absorvido pela pessoa.

A forma como o grupo chegou à resposta correta, no entanto, é bastante curiosa. As idéias foram colocadas por diversos alunos e se completavam, às vezes, sem enunciados verbais completos (T34 a T40). Com diversas frases incompletas e por meio de palavras não ditas, os estudantes pareciam compreender o que iria ser dito pelos outros, antes que fosse, realmente, dito. Após essa discussão, os estudantes iniciam a redação das respostas solicitadas na seqüência de ensino.

Os alunos, então passam a executar a atividade 01 da seqüência de ensino, onde é solicitado que cada estudante coloque as mãos em recipientes que contêm água quente e água fria. Em seguida, eles devem colocar as mãos em um terceiro recipiente que possui água morna. Após isso, cada aluno deve relatar a sensação térmica.

T53: Ana Paula: Põe a mão até você agüentar ((no frasco contendo água quente)).

T54: Samuel: Deixa eu ver ((colocou as mãos na água quente)). Ai! Tá queimando!

T55: Carla: A conclusão geral que chegamos ... Em medidas mais precisa, você confiaria em sua mão para determinar a temperatura de um objeto?

T56: Eduardo: A sua mão não tem sensibilidade o bastante para poder verificar a temperatura exata do objeto.

T57: Carla: Como que é a sensação da água quente, queima a mão? ((pergunta feita para Samuel a partir do material do experimento)).

T58: Samuel: Bota o dedo todo assim ((no recipiente com água)). Quando começar a queimar você tira. ((Carla realizou todo o experimento)). Esse aqui fica mais quente, esse aqui fica gelado.

T59: Flávia: É. Bem gostosa essa água!

O professor se aproximou do grupo e esperou até que eles terminassem a realização do experimento. Após esse momento, ele procurou apresentar questionamentos acerca do transporte de energia térmica.

T60: Professor: Uma perguntinha para vocês. Você chega em casa e tira o tênis, a meia e pisa na ardósia e aí sua mãe delicadamente diz o seguinte: “vai calçar um chinelo porque o chão tá frio”. O que você fala com ela?

T61: Samuel: É apenas uma impressão.

T62: Professor: Por que dá essa impressão, então?

T63: Ana Paula: Porque o seu pé tá descalço.

T64: Professor: Então, compara a ardósia com a borracha. A temperatura das duas é igual ou uma é maior do que a outra?

T65: Flávia: É! É igual. Só que uma é, é um calor assim ... tem uma velocidade. É por causa do material, o calor vai ser diferente.

T66: Professor: Vê se vocês concordam com o que a Flávia falou.

T67: Carla: Porque o calor vai ser diferente na borracha e na pedra, então, por isso, vai dar essa diferença. Vai parecer o alumínio e a madeira. Por causa da diferença de material, né?

T68: Professor: Então, quem é melhor condutor, a ardósia ou a borracha?

T69: Samuel: Borracha?

T70: Professor: Quem é melhor condutor? ((a pergunta foi feita porque Samuel respondeu em um tom de voz muito baixo))

T71: Carla: A ardósia.

T72: Professor: Ela tem a ver com a intensidade desse calor transportado, não é? Essa intensidade é maior ...

T73: Ana Paula: Na ardósia que é melhor.

T74: Professor: Então ela é melhor condutora?

T75: Todos os alunos: É isso

T76: Professor: Beleza. Valeu!

Para melhorar a percepção acerca do conceito de condutividade térmica e apresentar elementos para uma discussão mais rica, o professor faz uma pergunta T(60) sobre uma situação cotidiana. Rapidamente os alunos responderam a sensação térmica de que a ardósia é fria não corresponde à realidade. Mas quando foi perguntado sobre a condutividade térmica, houve muita dificuldade de responder a relação entre o piso de ardósia e a borracha do chinelo. No turno T69, ainda há uma confusão acerca da condutividade térmica, quando Samuel afirma que a da borracha é menor do que a da ardósia, o que nos

permite concluir que ainda persiste o modelo de calor como algo quente. A resposta à pergunta anterior fazia sentido pois o forno é “quente” – cheio de calor, na concepção dos alunos – enquanto que o chão está “frio” – sem calor para eles. Somente após uma intervenção do professor é que os alunos conseguiram apresentar a relação considerada correta, ou seja, a ardósia possui uma condutividade térmica maior do que a borracha.

4.1.4 – Aula 04 – 12/09/2003

Nessa aula, os alunos realizaram as atividades práticas 03 e 04 e tiveram a oportunidade de discutir algumas características do processo de aquecimento. Na atividade 03, foi possível trabalhar com objetos que, mesmo estando em temperaturas baixa, se constituem em “fonte de calor”, enquanto que, na atividade 04, os alunos puderam discutir sobre algumas características das mudanças de fase.

Na realização da atividade 03, a discussão sobre a questão das fontes térmicas foi muito produtiva, uma vez que foi possível problematizar uma concepção alternativa muito comum que relaciona os corpos quentes com um excesso de calor. Com essa atividade, queríamos mostrar que os objetos frios poderiam funcionar como fonte de calor. Os alunos que utilizaram o conceito de calor como energia contida tiveram mais dificuldade em chegar a uma explicação fisicamente correta do resultado do experimento. Ao discutirem a questão dos fluxos de calor, a passagem que melhor ilustra o que está sendo dito é a descrita a seguir.

4.1.4.1 - Episódio 02

T01: Eduardo: O gelo não tem calor não. O termômetro que perdeu calor ...

T02: Samuel: Não! Transferiu calor ...

T03: Lara: O gelado transfere calor? O gelado *não* transfere calor não.

T04: Eduardo: Ele ((termômetro)) ganhou energia da água porque a água estava numa temperatura maior do que a do termômetro.

T05: Ana Paula: Ganhou energia.

O professor se aproxima do grupo.

T06: Eduardo: O termômetro ganhou energia? ((pergunta para o professor))

T07: Professor: Oh! A pergunta é a seguinte: Eu coloquei o termômetro aqui, ((mostra no experimento)) o que está mais quente?

T08: Eduardo: O termômetro. Ele vai perder calor.

T09: Professor: ((iria fazer uma pergunta)) O fluxo de calor vai ser do termômetro para a salmoura (...)

T10: Samuel: Isso ((interrompendo))

T11: Eduardo: O termômetro vai estar mais frio se passar para a água.

T12: Professor: Então, agora, se eu tiro daqui e ponho ele aqui ((mostrando no experimento)), como é que é a história?

T13: Samuel: A água transfere calor.

T14: Professor: A água, aqui, tá fria, não tá? Mesmo a água estando fria (...)

T15: Eduardo: É fonte de calor.

T16: Professor: É possível se estabelecer fontes de calor mesmo quando os objetos estão frios?

T17: Todos os alunos: Sim.

T18: Professor: Ou seja, aquela história de temperatura como quantidade de calor, como algo quente é um conceito que não serve para explicar isso.

T19: Samuel: A água gelada transferiu calor para o termômetro.

O professor se afasta do grupo, que começa a redigir a resposta aos itens da seqüência de ensino.

T20: Lara: A gente colocou assim: “pois há fonte de calor entre a água e o termômetro devido à diferença de temperatura.”

T21: Samuel: Correto.

T22: Eduardo: Havendo diferença de temperatura, vai haver um fluxo de calor ...

T23: Lara: Diferença de temperatura entre o que?

T24: Samuel: Entre matérias.

No início, Lara tinha dificuldade com a relação entre calor e temperatura, o que a fez questionar se um objeto gelado poderia ser fonte de calor (T03). A explicação a essa dificuldade pode estar relacionada à noção de que²⁹ calor é sinônimo de temperatura alta. Para ela, um objeto gelado não pode ser uma fonte de calor por não estar quente. Após revelar o seu conceito, Lara adotou uma postura de escuta, não participando ativamente das discussões com o grupo.

Com a aproximação do professor, este inicia uma discussão acerca da necessidade de observar a diferença de temperatura para se observar o fluxo de calor. Ao final da discussão, o grupo afirmou que deveria haver uma diferença de temperatura para que exista calor (T20). Apesar de os alunos ainda não possuírem a totalidade dos conceitos de calor e temperatura, já foi possível, neste ponto, estabelecer a condição de existência do calor em função da diferença de temperatura entre sistemas.

A atividade 04 foi muito instigante para os alunos. Eles já tinham aprendido nas aulas de Química que, durante de uma mudança de fase, a temperatura do

²⁹ Na atividade de abertura, Lara não apresentou tal modelo explicativo.

material deveria ficar constante. Foram colocados 4 cubos de gelo³⁰ em um béquer e, por meio de uma lamparina, houve o fornecimento de calor. A temperatura era medida por meio de um termômetro. Inicialmente, o termômetro indicava uma temperatura negativa. Logo que o gelo começou a se fundir, e um pouco de água apareceu, o termômetro começou a indicar uma temperatura cada vez maior, chegando, em alguns casos, a 20°C. O termômetro era deixado no fundo do béquer.

Alguns alunos acharam muito estranho o fato de a temperatura aumentar, pois a teoria que haviam estudado dizia o contrário. Outros estranhavam que o termômetro indicasse uma temperatura constante e igual a 18°C. O questionamento geral era se a teoria ou a medição estava errada. Uma aluna questionada sobre a indicação do termômetro disse que estava marcando 17°C, mas ela sabia que deveria ser 0°C.

Em geral, é possível perceber o conflito entre a teoria que é apresentada em sala de aula, por meio de aulas expositivas e por demais dogmáticas, e o resultado de experimentos. O estatuto das leis e teorias, o processo utilizado para se chegar a elas e as abstrações que levam a regras não são suficientemente discutidos com os alunos. Isso não contribui para a formação de uma atitude de pesquisa, com o questionamento acerca dos fenômenos que cercam o nosso cotidiano.

Após a realização da prática pelos alunos, achei que seria interessante uma discussão coletiva sobre os resultados encontrados até então. Mesmo não sendo previsto no planejamento inicial, julguei que se fazia necessário um fechamento nesse momento.

A primeira pergunta que fiz foi “temperatura pode ser entendida como a quantidade de calor contida em um corpo?”. Fiz a pergunta por perceber que essa conceituação era recorrente no pré-teste e nas explicações dos alunos acerca do processo de fornecimento de energia para o gelo. A resposta mais indicativa do que foi levantado no parágrafo anterior foi dada pelo aluno Giuliano: “eu sei que

³⁰ O gelo não foi obtido a partir de água destilada.

não, mas eu acho que sim”. Vemos um conflito muito intenso entre a resposta que o aluno percebe ser a que o professor quer receber e aquela que está de acordo com suas concepções. O experimento da fusão do gelo é um problema para os modelos explicativos de Giuliano.

Indagado sobre o porquê, o aluno mostrou que, mesmo quando o gelo estava se fundindo, houve aumento de temperatura pelo fato de haver calor da fonte. Assim, esse aumento de temperatura deve ser provocado pelo calor recebido da fonte térmica. Nesse momento, sugeri que os alunos mexessem a água do béquer e eles notaram que a temperatura indicada pelo termômetro diminuiu. Perguntei, então, se continuou havendo fornecimento de calor à água. Os alunos concordaram que sim. Porque, então, a temperatura diminuiu?

Os alunos puderam reconstruir o conceito que relacionava a temperatura com a quantidade de calor de um corpo. Esse conceito não explica o observado. Foi possível trabalhar, nesse momento, com a idéia de que a temperatura necessita ser definida em função de outros parâmetros que não o calor.

O final da discussão foi direcionado para explicar o motivo de os alunos verificarem temperaturas cada vez maiores, mesmo quando o gelo ainda estava se fundindo. Nessa parte, o professor expôs a explicação e os alunos ouviram e fizeram anotações, sem haver perguntas.

Por motivos técnicos relativos à regulação inadequada do equipamento de filmagem, não foi possível se fazer uma transcrição das discussões realizadas no âmbito do grupo, o que prejudicou a análise dos modelos explicativos dos estudantes frente a essa situação de aprendizagem.

4.1.5 – Aula 05 – 15/09/2003

Nesta aula, os alunos deveriam comparar o aquecimento de 120g de água, 120g de óleo de girassol e 240g de água quando for fornecida a mesma quantidade de energia a esses três corpos.

De início, os alunos deveriam medir a temperatura inicial dos líquidos em questão, antes de produzir o aquecimento. Houve uma discussão entre Cleiton e Samuel. O primeiro afirmava não ser necessária a medida da temperatura dos líquidos uma vez que eles estavam em equilíbrio térmico com o ambiente, remetendo-se à atividade 02. Assim, a indicação do termômetro já deveria ser a temperatura dos líquidos. Samuel, por sua vez, mostrava-se contrário a essa decisão, indicando que o grupo deveria medir a temperatura. Os alunos vieram perguntar ao professor qual definição estava correta e o quê deveria ser feito, o que revela uma falta de autonomia frente a um novo conhecimento. O professor concordou com Cleiton, mas pediu que eles verificassem a hipótese por meio da medição.

Ainda nessa aula, apareceu o conceito de temperatura como a quantidade de calor. Alguns alunos não conseguiam compatibilizar essa teoria com as observações dos diferentes aquecimentos. A explicação que apareceu de forma mais recorrente entre os alunos adeptos dessa concepção foi a de que os líquidos absorvem diferentes quantidades de calor, mesmo tendo respondido afirmativamente à pergunta feita no roteiro que indagava se as quantidades de calor fornecidas aos líquidos eram iguais. Os alunos acreditavam que o calor fornecido aos sistemas é o mesmo mas o calor absorvido pelos líquidos, não. É possível, nesse modelo, que parte da energia utilizada seja absorvida pelo recipiente, que, por sua vez, a transfere para o ambiente. Além disso, os alunos podem não estar pensando na energia (ou calor) como algo que se conserva. Nesses casos, não há uma contradição entre as respostas apresentadas. O modelo construído pelos alunos conduz a um tipo de raciocínio coerente internamente, embora falso no plano científico.

Cabe ressaltar que somente a realização desse experimento não é suficiente para que os alunos reconstruam seus modelos explicativos, uma vez que é possível compatibilizar o que foi observado com uma explicação coerente. Se o recipiente que possui 240g de água sofreu o menor aquecimento é porque a água absorveu menos calor do que os outros, mesmo estando os *recipientes* – e não os líquidos – sujeitos a fontes térmicas idênticas.

Uma passagem interessante pode ser verificada no episódio 03, mostrado a seguir.

4.1.5.1 - Episódio 03

T01: Eduardo: A quantidade de calor fornecida às três vasilhas foi a mesma? ((leitura do item))

T02: Samuel: Sim.

T03: Lara: Sim.

T04: Samuel: Porque a fonte de calor era a mesma.

T05: Eduardo: E as variações de temperatura foram iguais? ((leitura do item))

T06: Samuel: Não, pois a densidade ...

T07: Lara: Daí, a água alterou ((a temperatura)) em menor quantidade.

T08: Eduardo: As densidades eram diferentes. Porque é o seguinte: em linhas gerais, quando o volume é maior, vai demorar mais a aquecer, vai ter que fornecer mais calor. Isso no caso da água. Esse daqui mesmo sendo o menor volume, a densidade dele é muito menor, quer dizer, não tinha tanta molécula para esquentar, para fornecer calor.

T09: Samuel: É devido ao mesmo calor para todos, mas com temperatura variada. Então, podemos estabelecer que a temperatura é medida de quantidade de calor? ((leitura do item)) Não!

A última fala de Eduardo (T08) é interessante. Ele estabelece uma relação entre o número de moléculas e o aquecimento, uma referência ao modelo de partículas que emergiu mesmo sem ser solicitado. Eduardo se vale de uma frase pronunciada por Samuel (T06) para propor a explicação dos diferentes aquecimentos com relação à densidade dos materiais.

4.1.6 – Aula 06 – 19/09/2003

Essa aula transcorreu no laboratório de informática da escola. Os alunos

utilizaram a rede mundial de computadores para explorar um site (<http://www.colorado.edu/physics/2000/microwaves/index.html>) que explica o funcionamento do forno de microondas. Tal site permite uma navegação personalizada, em função dos interesses e dos questionamentos de cada sujeito. Os alunos se organizaram em duplas e, por meio de uma negociação, traçaram um plano de pesquisa no site.

Uma dificuldade apresentada por quase a totalidade das duplas foi em relação ao idioma. Como o site está redigido em inglês, houve problemas no entendimento de várias expressões, o que foi sanado pelo professor, que ficava circulando pela sala para orientar melhor os trabalhos. O citado site não tinha uma versão em português e não encontramos outro similar em língua portuguesa. No entanto, apresentava relações interessantes entre o modelo de partículas e o aquecimento, que não foram encontradas em outras páginas em português.

O grupo que está sendo acompanhado formou duas duplas (só com meninas) e um trio (com os meninos) que ficaram dispostos em computadores contíguos. Uma das páginas visitadas apresentava a questão da rotação das moléculas de água que a microonda produzia e o conseqüente aquecimento pela fricção. Após alguma discussão, os alunos Cleiton, Samuel e Eduardo chegaram à conclusão de que poderia haver um aquecimento da água se um sujeito balançasse um copo com água. Essa previsão foi checada com o professor que, então, começou a participar das discussões, apresentado uma história sobre o físico James Prescott Joule. Segundo a história, durante a sua lua de mel, Joule foi medir a temperatura da água na base de uma cachoeira e compará-la à da parte superior, encontrando um valor maior na base.

Essa conclusão que os alunos chegaram denota uma evolução nos modelos explicativos dos sujeitos. É possível perceber uma distinção entre calor e temperatura, e a relação entre a variação de temperatura pelo efeito de uma troca de energia que não se dá por calor e, sim, por trabalho mecânico. Essa concepção representa um ganho nos modelos explicativos pois permite que a temperatura seja associada a uma característica do objeto, enquanto que o calor é tido como um processo – não exclusivo – para a troca de energia entre

sistemas.

Nota-se a elaboração de modelos mentais para dar conta de associar as conclusões obtidas nas aulas anteriores com aquelas verificadas no funcionamento do forno de microondas. Assim, a previsão de que a água poderia aquecer se o copo fosse agitado é uma tentativa de síntese daquilo que foi percebido ao longo das atividades: *se temperatura não é a quantidade de calor, calor não é algo quente e é possível haver calor e a temperatura não variar, então, a temperatura pode variar em por meio de ações que não envolvam calor*. Dessa forma, a variação de temperatura não deve se restringir à troca de calor entre dois corpos.

O fato de os alunos terem conseguido esse tipo de construção demonstra uma evolução em relação aos modelos de partida, permitindo uma síntese provisória a respeito dos conceitos de física térmica.

4.1.7 – Aula 07 – 22/09/2003

Essa aula foi marcada por uma discussão com toda a turma a respeito do que já foi verificado nas atividades experimentais. As carteiras foram dispostas em círculo e o professor, tomando como base os textos produzidos pelos alunos e as gravações efetuadas, fez uma síntese das informações que já poderiam ter sido obtidas pela análise dos experimentos.

Houve uma inquietação por parte de alguns alunos, que queriam uma resposta definitiva a respeito dos conceitos de calor e temperatura. Clarissa chega a dizer; *“Tá, eu sei o que o calor não é, mas o que ele é?”*. Sem querer dar a resposta pronta, o professor tentou conduzir as discussões para que fosse possível chegar à necessidade de conceitos de temperatura e calor que sejam coerentes com todas as observações feitas.

Assim, foi colocado em discussão o fato de que a temperatura está relacionada com a agitação das partículas de um corpo e que o calor é a

transferência de energia entre sistemas causada pela diferença de temperaturas. Para a apresentação desses conceitos, o professor procurava resgatar os resultados das atividades anteriores. Foi apresentado para a turma, então, que esses conceitos de calor e temperatura eram coerentes com os resultados dos experimentos.

Além disso, o professor utilizou as questões propostas na atividade de abertura para ilustrar os modelos de partida mais comuns e como eles eram insuficientes para explicar alguns fenômenos. Quando os alunos reconheciam as suas respostas, riam delas e tentavam reformulá-las, o que demonstra o reconhecimento de sua não aplicabilidade e a necessidade de uma reorganização conceitual.

Clarissa, a partir da retomada da questão do equilíbrio térmico em um termômetro apresentada na atividade de abertura, quis saber o motivo de haver uma tendência ao equilíbrio térmico³¹. O professor explicou com base na transferência de vibração entre os objetos. A aluna, então, formulou a seguinte questão: “*Então, se eu balançar a água, a temperatura deve aumentar*”. Essa conclusão revela uma evolução nos modelos explicativos da mesma magnitude daquela alcançada na aula anterior pelos alunos Eduardo, Cleiton e Samuel.

O professor, então, nomeia as grandezas que já haviam sido estudadas experimentalmente. Assim, ele fala de calor latente de mudança de fase, calor específico, capacidade térmica e condutividade térmica. A participação dos alunos na construção dessa aula e o interesse demonstrado na sistematização do que já havia sido discutido são indícios de que os estudantes estão acompanhando bem a seqüência de ensino proposta. Essa formalização que aconteceu na aula foi facilitada pelo fato de os alunos já apresentarem uma boa noção dos conceitos.

A pergunta final que foi colocada pelo professor foi: “um cozinheiro quer comprar uma panela que esquite rápida e uniformemente. Para isso, como devem ser o calor específico e a condutividade térmica do material da panela?”. A resposta correta veio de diversos alunos e rapidamente.

4.1.8 – Aula 08 – 26/09/2003

Nesta aula, os alunos responderam as 5 questões que compõem o teste 1 (ver anexo II). Essa atividade tem como objetivo contribuir para que se possa fazer a análise das aquisições dos estudantes, permitindo que se estabeleçam marcos para o estabelecimento das trajetórias de aprendizagem dos alunos. Uma análise pormenorizada dos resultados dessa atividade está apresentada no item 4.3. Com essa atividade, encerramos a seção 2 da seqüência de ensino.

4.1.9 – Aula 09 – 29/09/2003

A aula foi caracterizada pela apresentação do modelo de partículas pelo professor, enfocando as relações entre a energia cinética e potencial. Os aspectos mais importantes dessa aula estão relacionados com as características apresentadas nos “mandamentos do modelo de partículas” que consta na seqüência de ensino.

Foi importante essa formalização do modelo cinético molecular por apresentar algumas das características que já haviam sido utilizadas por alguns alunos e por mostrar conceitos que seriam utilizados mais tarde, ao longo das atividades da unidade 3.

4.1.10 – Aula 10 – 03/10/2003

Foram realizadas as atividades 7 e 8. A atividade 7 é dividida em duas partes. Na primeira parte, os alunos puderam trabalhar com a difusão do permanganato de potássio em água. Cada grupo possuía dois recipientes, um

³¹ Essa inquietação de Clarissa já havia sido manifestada na aula 02.

com água quente e outro com água fria. Colocando permanganato nos dois recipientes, os alunos compararam a velocidade de difusão em função da temperatura e procuraram explicações para esse fenômeno. Na segunda parte, eles puderam verificar a expansão sofrida pelo ar quando aquecido.

A busca pela explicação dos resultados obtidos na segunda parte da atividade 7 foi por demais rica e nos permitiu inferir sobre a evolução dos modelos explicativos dos estudantes. Os estudantes eram solicitados a explicar o motivo que fazia a moeda “saltar” quando um deles segurava a garrafa. A explicação enunciada por um dos alunos do grupo que está sendo acompanhado indicava que a mão irá fornecer calor para o ar dentro da garrafa e as suas partículas irão empurrar a moeda para cima. No entanto, houve uma confusão por parte dos alunos em relação ao mecanismo que faz o ar empurrar a tampinha.

A passagem a seguir ilustra essa discussão.

4.1.10.1 - Episódio 04

T01: Ana Paula: Mas, porque que ela ((a moeda)) saltitou?

T02: Cleiton: Porque você segurando, você aumentou a temperatura de dentro, aí o gás quando aumenta a temperatura dele, ele tende a expandir, já que a moeda estava molhada, ela continua vedada, aí pra ela expandir ((o gás que está na garrafa)) ela levantou a moeda pra sair a pressão.

T03: Todos os outros alunos: Ah!

T04: Cleiton: Ao segurar a garrafa gelada, o calor da mão passa para a garrafa, e...

T05: Eduardo: O gás se expande e faz ... faz o quê? Equilíbrio de pressão.

T06: Ana Paula: É.

T07: Eduardo: O que faz a moeda ...

T08: Ana Paula: Saltitar.

T09: Eduardo: Há alguma relação entre a aula anterior e o que vocês observaram nessa atividade? ((leitura do item))

T10: Samuel: Sim. Tudo está relacionado com a energia, com o movimento das moléculas.

T11: Eduardo: ((leitura do item)) Procure construir um modelo de interação entre as partículas de forma a explicar o motivo de termos observado o comportamento da moeda. Procure uma justificação (adequada) com o modelo de partículas.

T12: Carla: Desenha a garrafinha com as partículas mais juntas, aí coloca a mão e as partículas se separam mais (...)

T13: Samuel: Não, elas ficam agitando mais e empurram a tampinha ((moeda)).

T14: Carla: E o que eu falei?

T15: Samuel: Não, assim ela fica é mais afastada.

T16: Carla: Desenha a garrafinha com as mo... partículas mais juntas e na hora que coloca a mão elas ficam mais agitadas.

A explicação dada por Cleiton (T02) está correta e demonstra um bom conhecimento acerca do comportamento dos gases. Carla acredita que as moléculas do ar se afastem umas das outras quando é fornecida uma certa quantidade de energia (T12). Essa posição não é compartilhada por Samuel (T13), que apresenta um outro modelo, em que as moléculas ganham energia cinética e, com isso, aumentam a intensidade da força aplicada na moeda. Interessante notar que Carla, aparentemente, não se dá conta da diferença entre os enunciados dela e de Samuel. No turno T10, Samuel consegue estabelecer uma grande generalização em relação às situações que estavam sendo discutidas. Para ele, tanto no caso do permanganato, quanto no da expansão do ar, “tudo está relacionado com energia, com o movimento das moléculas”, revelando uma compreensão acerca da tendência das partículas de se manterem, sempre, em movimento.

T17: Eduardo: Que diferença faz, então, colocar o gargalo na água?

T18: Cleiton: É pra vedar, a água vai vedar, vai sair a borbolha. Então, se botar só a tampa por cima o ar ia sair mais facilmente.

T19: Eduardo: Ah, tá! Agora, explicação relacionada com o modelo de partículas. É o que o Cleiton falou, é ah::: a mão transfere calor, energia para (...)

T20: Cleiton: ((completando Eduardo)) as moléculas no interior da garrafa (...)

T21: Eduardo: Aí as moléculas ganham energia cinética, movimentam mais, elas precisam sair de lá, elas não conseguem ficar lá por causa da força de repulsão que tá grande, então, a saída é sair pela moeda fazendo-a saltitar.

O professor se aproxima do grupo e ouve as explicações de Cleiton e Eduardo, até que formula uma pergunta.

T22: Professor: Qual força de repulsão?

T23: Eduardo: Uai, a força de repulsão entre elas se movendo.

T24: Professor: Se tivesse uma força de repulsão como é que as partículas iam ficar ligadas aqui ((na mesa))? Se tivesse uma repulsão como é que você pode afirmar que há uma repulsão se os compostos conseguem se manter com certo volume?

T25: Eduardo: Porque dependendo do estado físico, a força de repulsão é diferente. Por exemplo, no estado sólido, a força de atração é muito grande, não existe a força de repulsão, no líquido é mais ou menos equilibrado e, no estado gasoso é, praticamente, força de repulsão que existe.

T26: Professor: Essa força de repulsão vem de onde?

T27: Cleiton: Da agitação (...)

T28: Professor: Então, precisa de ter força de repulsão ou só a agitação já dá conta?

T29: Carla: ah:::

T30: Professor: Quem repele quem? Uma molécula, imagine aqui, você está trabalhando com ar, você tem nitrogênio, oxigênio, basicamente esses dois. Uma molécula de oxigênio repele outra molécula de oxigênio, por quê?

T31: Ana Paula: As moléculas têm que se encaixar perfeitamente pra formar o composto ativado, por exemplo, pra formar o H_2O , ih::: ah::: não, não vou falar não, tá tudo errado.

T32: Professor: Se for elétrica a força, igual o Cleiton explicou aqui, a molécula de oxigênio é neutra. A molécula de nitrogênio é neutra, ela não é ionizada. Então, assim, por que existe repulsão?

T33: Cleiton: É por causa do movimento das partículas.

T34: Carla: Quando elas ficam mais agitadas é claro que uma vai começar a esbarrar; entre aspas, assim ... aí vai ter essa repulsão, porque elas vão ficar mais agitadas e vai esbarrar bem .

T35: Professor: Então, a questão é a seguinte: há a necessidade de você falar nessa força de repulsão? Porque a própria energia da partícula já é o suficiente pra que haja expansão, não é que ela está repelindo a outra. A idéia é que pelo fato dela ter uma certa energia, a tendência dela é se movimentar mesmo. Ela tem energia cinética, não é que uma molécula vai aplicar uma força de repulsão na outra; é porque, pelo fato delas estarem agitadas, você tem um certo movimento, uma tende a vir pra um lado, outra tende a ir pro outro, não é que elas estão se repelindo, é porque ela tem força de coesão muito grande, essa vibração delas fica limitada. No estado líquido já “afrouxa” um pouquinho isso, aí, no gasoso, “liberou geral”, aí é recreio de primário. O modelo de vocês é perfeito, agora, não há uma força de repulsão nesses moldes.

T36: Carla: Então, o movimento das partículas não pode ser chamado de força de repulsão!

T37: Professor: Lembra do ano passado, vocês estudaram isso. Força é uma ação entre dois corpos. Pra você falar que tem uma força, tem alguém aplicando em alguém e as moléculas não podem aplicar força uma na outra dessa maneira, essas moléculas não estão eletrizadas, não estão positivas. Na verdade há uma tendência de separação, não se configura uma força. O conceito de força em física pressupõe a ação entre corpos. Há uma tendência de separação sim,

tanto que você pega a água, por exemplo, diminui a pressão, ela ferve na temperatura que você quiser.

Eduardo pergunta para o grupo o motivo de termos que molhar o gargalo da garrafa (T17) e Cleiton explica que a água veda a passagem do ar, permitindo haver a formação de uma bolha que empurra a moeda para cima (T18). Percebemos, neste episódio, duas características importantes: (1) o cuidado com a linguagem e com a nomeação correta dos conceitos físicos envolvidos tais como energia cinética, partícula, molécula e, principalmente, calor; (2) a recorrência ao modelo de partículas para explicar os eventos que são observados. Nesse ponto, cabe ressaltar que essa é uma das hipóteses dessa pesquisa e que a evolução das atividades tem permitido perceber que alguns alunos estão incorporando esse modelo para a explicação dos fenômenos térmicos, fazendo corretamente a distinção entre calor e temperatura e apresentando um cuidado com a linguagem.

Na continuação desse episódio, é possível perceber uma confusão conceitual muito fortemente arraigada nos modelos explicativos dos alunos. A tendência à expansão do ar como sendo devida à repulsão entre as partículas que ganham energia cinética foi sendo apresentada por diferentes elementos do grupo (T23, T27 e T34), como a resposta ao questionamento do professor (T22). Eduardo explica que as características dos estados físicos como um equilíbrio entre as forças de repulsão e atração entre as partículas. O professor inicia, então, uma exposição apoiada em argumentos de autoridade, a respeito do agente causador dessa repulsão.

Podemos inferir, nesse episódio, uma evidência de uma teoria de base, ou “framework theory” (VOSNIADOU, 1994). Um dos modelos mais arraigados no repertório de um sujeito é a relação entre força e movimento, com a relação de que é necessária a ação de uma força para que um objeto esteja em movimento. Essa noção é construída desde a infância, por meio da interação da criança com os diversos objetos ao seu redor. Quando os sujeitos percebem – ou

compreendem – que as partículas de um determinado objeto estão em constante movimento, passam a associar uma força que mantenha esse movimento.

A intervenção do professor, realizada com a participação dos estudantes, culminou na conclusão de que a movimentação das partículas não pode ser chamada de força repulsão, conclusão proposta por Carla (T36) e, ao que parece, compartilhada pelos demais componentes do grupo.

A atividade 8, que procurava simular os estados físicos, foi realizada no pátio da escola. Foram escolhidos seis alunos para se comportarem como partículas de uma determinada substância. As ligações químicas entre as partículas foram representadas por elásticos cirúrgicos, que funcionam como “garrotes” na coleta de sangue. Esses elásticos foram trançados entre os alunos para dar a noção de uma forte ligação entre as partículas. Em um segundo momento, alguns elásticos foram retirados e, por último, todo o elástico foi retirado.

A discussão que se seguiu procurava solicitar aos alunos que relacionassem os estados físicos com aquilo que eles puderam observar na atividade. Foram feitas considerações sobre a energia cinética e a potencial das partículas. Por último, a discussão realizada procurava relacionar o efeito do acréscimo de energia em um objeto que está sofrendo uma mudança de fase como capaz de reorganizar a estrutura atômico-molecular.

4.1.11 – Aula 11 – 06/10/2003

Os alunos leram a leitura 03 e, em seguida, houve um momento para a sistematização das conclusões obtidas pelos estudantes a partir das atividades já realizadas. O professor apresentou as características básicas dos três estados físicos mais usuais³², explicitando como se estabelecer as energias cinética e

³² Os estados físicos trabalhados foram o sólido, o líquido e o gasoso. O estudo de outros estados físicos, como, por exemplo, o plasma, foi considerado por nós como inadequado para os propósitos dessa pesquisa.

potencial associadas às partículas da matéria. Além disso, foram apresentadas as definições de capacidade térmica, calor específico e calor latente de mudança de fase.

4.1.12 – Aula 12 – 10/10/2003

Nessa aula foram realizadas as atividades 09 e 10. No primeiro horário, os alunos foram ao laboratório de informática da escola para pesquisarem o movimento browniano no site do departamento de física da Universidade Federal do Ceará³³ (atividade 10). Foi necessária a inversão da ordem na atividade 9 e 10 por causa da disponibilidade de horários no laboratório de informática da escola. Essa inversão, no entanto, não prejudicou o cumprimento das atividades. Em geral, os alunos acharam a atividade pouco estimulante, por envolver somente a leitura de textos. Esse fato corrobora a observação que já vem sendo feita de que estamos trabalhando com alunos que preferem atividades envolvendo a manipulação concreta dos objetos do conhecimento. Segundo KOLB (1984), os estilos de aprendizagem desses alunos se encaixam em dois grupos: Acomodadores e Divergentes. Foram poucos os alunos que apresentaram estilos que envolvem a conceitualização abstrata. Os alunos Samuel e Eduardo manifestaram essa preferência dizendo que “*as atividades do laboratório são mais legais do que essa, porque podemos mexer nas coisas*”, uma referência à possibilidade de atuação e de agir no concreto, ao contrário do que estava acontecendo com a leitura passiva de um texto na internet. Além disso, esse fato demonstra que os alunos, em geral, não utilizam o computador como prática de estudo e sentem muita dificuldade quando necessitam fazer isso.

Na segunda parte da aula, os alunos fizeram a atividade 9, durante a qual eles puderam estudar o caráter aleatório do movimento das partículas por meio da representação, em placas de isopor da movimentação de uma partícula.

³³ <http://www.fisica.ufc.br/brown/brown.htm>

4.1.13 – Aula 13 – 17/10/2003

Nesta aula foram feitas (1) as práticas da atividade 11, em grupo, (2) a leitura “Leitura 04” e do “Texto Legal” e (3) discussão a respeito das conclusões tiradas pelos alunos. O assunto tratado nas práticas e nos textos era a Entropia e a 2ª Lei da Termodinâmica. A idéia que se queria construir era a de que há uma grandeza – a Entropia – que está relacionada com a desorganização da natureza que, sempre que possível, irá aumentar.

A partir do que foi discutido, os conceitos de temperatura, calor e equilíbrio térmico deveriam ser revisitados, sob uma nova abordagem. Assim, a existência do calor foi justificada pela tendência dos sistemas a aumentar a entropia. A temperatura, por sua vez, foi apresentada como um coeficiente que indica a condição para o estabelecimento do calor e que determina o seu sentido.

4.1.14 – Aula 14 – 20/10/2003

Esta foi a última aula da seqüência de ensino. Ela foi destinada à resolução das questões e problemas 6 a 12, constantes no final do texto. As respostas foram recolhidas para posterior análise.

4.2 – Construção das Categorias de Análise

De acordo com a teoria dos campos conceituais de Vergnaud, apresentada no capítulo 01, a aquisição de um dado campo conceitual vai ocorrendo ao longo de um grande intervalo de tempo, por meio de várias interações entre o sujeito em situação e o objeto de seu conhecimento, sendo que esta interação é identificada por Vergnaud como esquema-situação.

Para cada aluno estudado, foi construída uma tabela que contém as

características mais marcantes dos modelos de partida, analisados a partir das respostas dadas na atividade de abertura, dos modelos explicativos construídos a partir das atividades propostas na seqüência de ensino e dos modelos caracterizados por meio das entrevistas clínicas. A análise dos modelos explicativos dos estudantes teve como base a procura pelos conceitos-em-ação e teoremas-em-ação apresentados nas páginas 74 e 75 deste relatório.

Os conceitos-em-ação foram verificados, nas produções de cada estudante, em cada ponto de verificação. Quando estiverem simplesmente mencionados³⁴ na tabela, consideramos que o conceito utilizado pelo estudante coincide com aquele utilizado pela Física Térmica. Por outro lado, quando houver algum tipo de ressalva e/ou explicação³⁵ é porque o conceito utilizado pelo sujeito não estava em total consonância com o modelo conceitual da Física Térmica.

Os teoremas-em-ação estão indicados para que seja possível analisar o modo como evoluíram ao longo das atividades de intervenção didática. Para a construção das trajetórias de aprendizagem, estabelecemos seis grupos de teoremas-em-ação para serem investigados, apresentados nas tabelas com as respectivas numerações, podendo ou não ser utilizados pelos estudantes:

- (1) *Conceituação de calor*: nesse grupo estão presentes todas as concepções acerca do calor, desde proposições que afirmam que o calor é “algo quente” até outras mais sofisticadas que indicam a transferência de energia motivada pela diferença de temperatura entre os sistemas que interagem termicamente;
- (2) *Temperatura*: o grupo dos teoremas-em-ação sobre temperatura apresenta desde formulações sobre o que é temperatura, passando pelas maneiras de alterar a temperatura de um dado sistema, até formulações que estão relacionadas à energia interna de um dado sistema;

³⁴ Por exemplo, “calor”, “temperatura” ou “equilíbrio térmico”.

³⁵ Por exemplo, “calor como energia contida em um objeto” ou “temperatura como calor contido”.

- (3) *Equilíbrio térmico*: estão assinaladas nesse grupo as formulações que dizem respeito à igualdade de temperatura entre os sistemas que interagem termicamente;
- (4) *Intensidade do calor trocado*: o quarto grupo de teoremas-em-ação foi destinado ao reconhecimento das condições necessárias para que se estabeleça um fluxo de calor mais ou menos intenso entre os sistemas em interação. Estão considerados, nesse grupo, fatores como área de contato, tipo de material ou diferença de temperatura entre os sistemas;
- (5) *Capacidade térmica*: os teoremas-em-ação que são considerados nesse grupo dizem respeito à variação de temperatura a partir do fluxo de calor estabelecido. As proposições inseridas nesse grupo apresentam a massa e o tipo de material como relevantes na variação de temperatura de um corpo;
- (6) *Calor latente*: esse grupo é destinado aos teoremas-em-ação que versam sobre a troca de calor causando mudança de estado físico.

É importante se notar que não foram incluídos nessa investigação os conceitos de energia interna e entropia. Isso se deve ao fato de que tais conceitos, sobretudo o de entropia, foram tratados superficialmente na seqüência de ensino e ainda seriam trabalhados pelo professor após o término da pesquisa. Assim, julgamos não ser conveniente explorar esses conceitos.

4.3 – Caracterização das Trajetórias de Aprendizagem

O estabelecimento das trajetórias de aprendizagem dos estudantes, como já mencionado, levou em consideração a maneira como os modelos explicativos evoluíram ao longo de um extenso período de tempo em que se deu o desenvolvimento da seqüência de ensino. Os momentos de identificação de tais

modelos explicativos forneceram elementos para que pudéssemos inferir as rotas de construção utilizadas por cada sujeito pesquisado.

Para cada estudante, procuramos apresentar as características mais marcantes de sua relação com o saber, identificando o que foi possível perceber sobre suas motivações, suas preferências no que diz respeito às atividades didáticas, enfim, seu estilo de aprendizagem³⁶. Utilizamos, para isso, as categorias propostas por KOLB (1984). Ao contrário do autor, não utilizamos testes para a verificação dos estilos de aprendizagem.

Para a construção das trajetórias de aprendizagem, indicando os pontos que pudemos perceber serem mais significativos na composição de um todo conceitual para a física térmica. Nem sempre esse todo conceitual pode ser construído, sendo que vários estudantes utilizavam diversos modelos explicativos – às vezes conflitantes entre si – para enfrentar uma dada classe de situações. Nesses casos, os modelos explicativos eram mais locais, em função do problema apresentado. Para outros estudantes, a construção de um sistema coerente para os fenômenos térmicos foi verificada, o que permitiu uma compreensão mais global da termodinâmica como corpo conceitual.

A tabela construída para cada estudante mostra os conceitos-em-ação e os teoremas-em-ação que puderam ser inferidos a partir da análise de todos os documentos obtidos ao longo da aplicação da seqüência de ensino e na realização das entrevistas. É importante que salientemos o caráter profundamente contextualizado dos conceitos e dos teoremas em ação, o que significa dizer que as respostas dos estudantes são enunciadas para uma dada situação escolhida dentre diversas outras e que, de certa forma, conduziram à utilização de alguns esquemas em detrimento de outros. Portanto, a indicação dos conceitos e teoremas em ação não pode ser tomada como algo absoluto e, sim, ser interpretada mediante a análise do contexto das situações que utilizamos nessa pesquisa.

³⁶ O conhecimento de algumas características pessoais dos estudantes foi possível porque estivemos juntos por dois anos consecutivos, uma vez que fui professor desses alunos nos anos de 2003 e 2004.

Nas tabelas, foram utilizadas as seguintes categorias: (FE) quando faltavam elementos na situação apresentada para que o sujeito utilizasse um dado teorema-em-ação e (NR) quando não foi possível perceber um dado teorema-em-ação em no sistema explicativo do sujeito.

4.3.1 – Ana Paula

4.3.1.1 – Perfil do aluno

Ana Paula não se envolve muito com a dinâmica das aulas, seja ela teórica ou experimental. A aluna apresenta uma relação passiva com o saber, preferindo receber informações prontas, organizadas a buscar o conhecimento. Falta-lhe empenho na realização das tarefas propostas pelo professor, seja em sala de aula ou em casa. Ela raramente expõe seu ponto de vista para a turma, e sempre que solicitada a falar sobre suas concepções, procura falar o que outros colegas já disseram, mesmo que não consiga defender os pontos de vista enunciados. Essa postura de passividade comprometeu seu desempenho na condução da seqüência de ensino e não lhe permitiu superar as suas concepções iniciais.

As observações feitas ao longo de nossa convivência em sala de aula nos indicam que o estilo de aprendizagem que melhor se relaciona com as características de Ana Paula é o “Assimilador”. Essa impressão é reforçada pelas preferências relatadas pela aluna, que declarou serem as aulas expositivas as melhores ao longo da seqüência de ensino.

4.3.1.2 – Pré-Teste

Ana Paula demonstrava, no início da seqüência de ensino, uma forte tendência a considerar as características observáveis dos objetos, como pode ser percebido na afirmativa de que a maçaneta de metal é mais fria do que a porta de madeira pois “o metal tem mais ‘tendência’ a esfriar que a madeira”, fato que encontra um referente empírico no contato de nossa pele com os objetos citados. Quando perguntada sobre o motivo de uma xícara de café quente esfriar, a aluna afirma que isso ocorre porque “qualquer coisa quente se não for mantida a uma determinada temperatura esfria”, o que parece apontar para a crença em uma

temperatura natural para a qual os objetos tendem. Nessa explicação, embasada em uma lógica que ressalta os atributos dos objetos, não há interação térmica entre os sistemas. Além disso, a causalidade linear é uma tônica em suas respostas, como pode ser percebido na resposta dada à questão 3³⁷, “as faíscas são mínimas e talvez por isso “percam” o calor mais rápido e quando chegam na pele já estão em uma temperatura mais baixa, enquanto a faca por ser um objeto maior demora mais para adquirir o calor, mas também demora mais a perdê-lo o que produziria queimaduras graves”. Para a aluna, os objetos queimam porque são quentes e quanto mais tempo permanecerem quentes, mais intensa será a queimadura. Na explicação enunciada por Ana Paula, não há a consideração da interação entre a faca ou as faíscas e a mão da pessoa. Os modelos explicativos que pudemos perceber no pré-teste estão fortemente embasados na concepção de que a temperatura mede a quantidade de calor e que o calor é sinônimo de alta temperatura.

4.3.1.3 – Teste 1

Neste ponto de verificação, Ana Paula não apresentou grande evolução em relação aos seus modelos explicativos de partida. Assim, ainda há uma indistinção entre os conceitos de calor e temperatura, o que pode ser percebido na explicação dada à questão 5³⁸ “ambos [a tachinha de ferro e o grande parafuso de ferro] elevarão a mesma temperatura, pois possuem a mesma quantidade de calor em seus corpos, sendo assim a transferência de energia deverá ser a mesma”. Os prego e a tachinha estavam na mesma temperatura inicial, o que foi identificado pela aluna como sendo um indício de que os objetos possuíam a mesma quantidade de calor. Apesar de fazer menção ao conceito de “transferência” para o calor, Ana Paula se prende à formulação de temperatura como a quantidade de calor para compor sua explicação. Ao ser solicitada a identificar o sentido do fluxo de calor em uma situação prática, a aluna utiliza o

³⁷ Essa questão se referia a uma situação em que uma faca estava sendo amolada. As faíscas não produzem queimadura. No entanto, a faca, se estivesse na temperatura das faíscas, queimaria a mão de quem a segurasse. Era solicitado que o estudante explicasse esse fato.

³⁸ A questão 5 solicitava que o estudante mostrasse qual situação conduziria a uma temperatura de equilíbrio térmico maior: a interação de uma tachinha ou de um grande parafuso com uma mesma massa de água.

termo transferir temperatura, o que reforça a nossa impressão da indistinção completa entre calor e temperatura.

Com relação à evolução que é possível perceber, há uma tentativa por parte de Ana Paula, em utilizar, mesmo que de forma incipiente, o modelo cinético-molecular. Essa utilização, no entanto, apresenta tantas lacunas que não colaboram para que a aluna apresente explicações melhores do que aquelas enunciadas no pré-teste. Para ilustrar o que está sendo dito, Ana Paula afirma que quando agitado, “a temperatura do líquido aumentará, pois haverá agitação das moléculas, e essa agitação eleva a temperatura”.

Esses fatos nos permitem inferir que Ana Paula apresenta um conflito entre dois modelos explicativos. Por um lado, o modelo que apresenta a temperatura como calor contido em um corpo. Por outro lado, vemos um maior refinamento no conceito de temperatura, ao tentar dialogar com o modelo de partículas. Cada um desses enunciados foi utilizado em um contexto distinto, o que reforça a idéia de que Ana Paula não construiu totalidades, ou seja, suas explicações se baseiam em aspectos locais da Física Térmica

4.3.1.4 – Teste 2

Nesse ponto, Ana Paula, demonstra ter conseguido uma pequena evolução na distinção entre calor e temperatura. A aluna conseguiu, na questão 1³⁹, compreender a analogia entre as trocas de energia entre bolas de gude e a troca de calor, enunciando que “a troca de calor ocorre do corpo mais quente para o mais frio, assim como a energia cinética passa de um corpo mais veloz para o outro menos veloz”. Além disso, ela reconheceu que o fato de um corpo ter a sua massa reduzida, não influi em sua temperatura, o que sugere que a concepção de temperatura como a quantidade de calor de um corpo não foi utilizada para responder a essa questão.

Apesar desses avanços, Ana Paula ainda não considera as trocas de calor em uma mudança de fase e apresenta dificuldades em se apropriar do modelo

³⁹ Essa questão apresentava uma analogia entre a colisão de bolas de gude e a transferência de calor.

cinético-molecular. A estudante considera, por exemplo, que a energia interna de uma xícara de chá quente é maior do que a de um grande lago.

É curioso ressaltar que Ana Paula, apesar de nos parecer ter obtido um avanço em suas concepções, parece responder as questões sem muita convicção. Esse fato pode ser verificado no episódio 04, turno T31, no capítulo 4, quando a aluna tenta justificar a existência de uma força de repulsão entre as moléculas “As moléculas têm que se encaixar perfeitamente pra formar o composto ativado, por exemplo, pra formar o H_2O , ih... ah... não, não vou falar não, tá tudo errado”. Essa incerteza quanto aos seus próprios modelos explicativos volta a aparecer nesse ponto de verificação, quando Ana Paula escreve que “a transferência de calor ocorre do corpo mais quente para o mais frio (*mas acho que estou errada*)”.

4.3.1.5 – Entrevista

Durante a condução da entrevista, Ana Paula não se expôs, preferindo dar respostas sem profundidade e afirmando, a todo momento, que as mesmas estavam erradas ou buscando a confirmação de suas afirmações com o experimentador (“ih, não sei!”, “totalmente errado, não é?”). Em suas respostas, a estudante não demonstrou ter conseguido a construção de relações coerentes e duradouras, se apoiando fortemente em explicações locais, baseadas em características observáveis.

Em alguns momentos, Ana Paula nos dava a sensação de simplesmente enunciar certas características que lhe vinham à mente, sem que essas fizessem parte de um raciocínio coerente. Por exemplo, na resposta à primeira questão⁴⁰, a aluna disse que “Eu escolheria a água. Porque, como a água tem uma capacidade maior de manter aquela temperatura, como *seu ponto de ebulição é 100°C e seu de fusão é 0°C é ...* ela continua a ter por mais tempo a sua temperatura”.

⁴⁰ Essa questão solicitava que fosse feita uma previsão sobre qual situação forneceria a maior temperatura de equilíbrio: o contato térmico entre o ferro e ou a água e uma cama, dadas as mesmas condições iniciais.

Em primeiro lugar, não há articulação entre as características enunciadas que estão em itálico e a “estabilidade de temperatura”, o que evidencia o raciocínio fragmentado. Em segundo lugar, a lógica utilizada por Ana Paula é de relacionar coisas quentes ao aquecimento. Assim, para a aluna, o fato de a água se manter na mesma temperatura alta por mais tempo é um sinal de que a cama ficará, também, quente por mais tempo.

Não conseguimos verificar, nas explicações da estudante, qualquer teorema-em-ação que se refira à influência da massa ou do material na variação da temperatura. Ana Paula enuncia uma lei da conservação da temperatura ao afirmar que a temperatura do equilíbrio térmico entre uma xícara de café e o ambiente seja a média aritmética entre as temperaturas iniciais dos citados sistemas. Parece ainda existir, na base dessa enunciação, uma concepção de que a temperatura mede a quantidade de calor de um corpo. Dessa forma, se o calor cedido pelo café é igual ao recebido pelo ambiente, as variações de temperatura dos dois sistemas devem ser iguais.

Não foi possível verificarmos mais sobre os conceitos e teoremas em ação da estudante, uma vez que ela não respondeu as perguntas de maneira direta, afirmando sempre que não sabia as respostas. Além disso, Ana Paula parecia estar incomodada em ter que apresentar explicações que ela julgava estarem erradas.

4.3.1.6 – Quadro comparativo

Modelos de Partida	Modelos Explicativos 1	Modelos Explicativos 2	Modelos Explicativos 3
<p>Conceitos-em-ação</p> <ul style="list-style-type: none"> . Calor como algo quente . temperatura como medida do calor de um corpo 	<p>Conceitos-em-ação</p> <ul style="list-style-type: none"> . Calor como algo quente . temperatura como medida do calor de um corpo 	<p>Conceitos-em-ação</p> <ul style="list-style-type: none"> . Calor como algo quente . temperatura como medida do calor de um corpo 	<p>Conceitos-em-ação</p> <ul style="list-style-type: none"> . Calor como algo quente . temperatura como medida do calor de um corpo
<p>Teoremas-em-ação⁴¹</p> <ul style="list-style-type: none"> 1) Calor é algo quente e pode ser ganho ou perdido pelos objetos; 2) A temperatura é a medida da quantidade de calor. Há uma temperatura natural para os objetos. Os objetos quentes produzem queimaduras; 3) NR 4) Objetos pequenos perdem calor mais rapidamente; 5) NR 6) NR 	<p>Teoremas-em-ação</p> <ul style="list-style-type: none"> 1) O calor está contido nos corpos e pode ser liberado para produzir variações de temperatura; 2) A temperatura é a medida da quantidade de calor. A temperatura baixa pode ser transferida entre sistemas e flui do mais frio para o mais quente. A temperatura pode ser alterada pela ação sobre as partículas; 3) NR 4) NR 5) NR 6) FE 	<p>Teoremas-em-ação</p> <ul style="list-style-type: none"> 1) O calor flui do mais quente para o mais frio; 2) A temperatura está relacionada com a energia das partículas de um objeto e não depende de sua massa. 3) NR 4) NR 5) NR 6) NR 	<p>Teoremas-em-ação</p> <ul style="list-style-type: none"> 1) O calor flui do mais quente para o mais frio; 2) A temperatura é a medida da quantidade de calor; 3) NR 4) NR 5) NR 6) FE

⁴¹ Os números apresentados para os teoremas-em-ação se referem à classificação feita nas páginas 139 e 140.

4.3.2 – Carla

4.3.2.1 – Perfil do aluno

Carla foi a estudante que mais buscou a interação com os colegas ao longo das atividades de ensino. Seu modo extrovertido representava o contraponto para a seriedade e introspecção de Cleiton. Nas atividades experimentais, Carla gostava de manusear os objetos antes de realizar a prática e sempre explicitava seus modelos após uma exploração das características do que estava sendo experimentado. As nossas observações sobre as atividades nas quais Carla mais se engajava nos permite inferir que seu estilo de aprendizagem é “Convergente”.

Carla apresentava, no início da seqüência de ensino, um conhecimento baseado em propriedades observáveis, centrando suas explicações em uma causalidade linear (o gelo esfria os objetos sem ser, no entanto, aquecido ou mudar de fase), sem atribuir relações de causa e efeito entre os sistemas envolvidos (é quente porque queima, o contato com o frio, esfria). Até a primeira verificação, era possível verificar uma lógica do pensamento do tipo “há um agente térmico que provoca efeitos nos objetos, mas que não é afetado por ele”. Ao longo dos trabalhos, seus modelos explicativos evoluíram para a construção de relações de analogia mais refinadas (o modelo mental que relaciona as trocas de calor com as transferências de energia entre uma bola em movimento e outras em repouso), com a atribuição de causa e efeito para as trocas de calor. Parece que a utilização do modelo de partículas permitiu a construção de explicações mais sólidas para os fenômenos térmicos elementares. Apesar dessa evolução, Carla não conseguiu construir totalidades em relação à Física Térmica.

4.3.2.2 – Pré-Teste

No pré-teste, Carla relacionava a temperatura com “uma variação que ocorre no tempo (quente/frio)” e afirmava que o calor era “algo quente”. A estudante já enunciava o equilíbrio térmico como a tendência entre os corpos. Em suas explicações, Carla não levava em consideração as interações térmicas entre os objetos e o meio externo. Assim, ela explica que a faca queima porque “permanece quente por mais tempo” e que o café esfria por estar em “contato

com o ambiente”, sem se referir às trocas de calor. Percebemos a existência de uma causalidade linear que impõe a ação de um agente sobre um paciente, sem que o primeiro altere suas características.

4.3.2.3 – Teste 1

Carla parece não fazer a distinção entre calor e temperatura corretamente, considerando que calor e frio são duas entidades físicas opostas. Ela admite, na questão 1⁴², que o frio pode entrar na casa e, na questão 2⁴³ apresenta o sentido inverso para o fluxo de calor, o que sugere que ela indicou o sentido do fluxo do “frio”, uma vez que a situação apresentada se referia a baixas temperaturas.

Na resposta apresentada para a questão 4⁴⁴, Carla afirma que “pode conseguir calor pelo movimento”, não conseguindo fazer a distinção entre calor e trabalho como processos utilizados para variar a energia interna de um sistema.

Nesse ponto de verificação, a estudante não utilizou o modelo de partículas em suas explicações e não conseguiu avançar em relação aos modelos de partida.

4.3.2.4 – Teste 2

Em relação às verificações anteriores, Carla apresentou uma grande evolução em seus modelos explicativos. Ela reconheceu a analogia proposta na questão 1⁴⁵ e identificou que “a bola de gude que estava veloz fica mais lenta, ou seja, a bolinha veloz perde energia cinética, enquanto as bolinhas lentas ganham energia cinética. Isso relaciona com a transferência de calor, porque a que está mais ‘quente’ transfere energia para a mais ‘gelada’ assim equilibrando os meios”. Podemos perceber, nessa resposta, uma distinção entre calor e temperatura e a indicação do sentido único para o calor. Essa indicação também aparece na resposta ao item 7b, onde a estudante afirma que “o chá irá esfriar e o lago, por

⁴² Na questão 1, o estudante deveria verificar se o “frio” poderia entrar em uma residência.

⁴³ A questão 2 solicita que o estudante identifique o sentido para diversos fluxos de calor em função da diferença de temperatura entre vários sistemas.

⁴⁴ A questão 4 pergunta se é possível fazer a temperatura de um líquido pela agitação de seu recipiente.

⁴⁵ Essa questão apresentava uma analogia entre a colisão de bolas de gude e a transferência de calor.

ser bem maior que uma xícara, continuará com a mesma temperatura”.

Apesar disso, Carla não conseguiu construir relações mais gerais, apresentando lacunas no aprendizado, sobretudo em relação ao modelo de partículas. Para explicar o motivo de assoprarmos a superfície do café quente para esfriá-lo, a aluna indica que “ao assoprar, separa um pouco as partículas, assim havendo menos movimento entre elas”, um modelo que impõe a proximidade das partículas para que o movimento seja intenso.

4.3.2.5 – Entrevista

Durante a entrevista, Carla voltou a apresentar uma causalidade linear e se apegou a características observáveis em suas respostas. Assim, na primeira questão⁴⁶, a estudante afirmou que o ferro, por ser melhor condutor, “é muito quente”, mesmo tendo sido indicado que a água e o ferro estavam na mesma temperatura. Para a situação descrita na questão 3, quando questionada sobre as temperaturas de uma lata e de uma garrafa de cerveja, deixadas por muito tempo em uma geladeira, ela conseguiu fornecer uma explicação coerente, afirmando que os dois objetos estão na mesma temperatura mas “a lata é de material diferente do vidro e é metal e metal é bom condutor, ao contrário do vidro”. Carla conseguiu indicar que o equilíbrio térmico é a tendência entre os sistemas que interagem no contexto da questão 2, além de utilizar, corretamente, o conceito de calor. Esses fatos sugerem que a estudante elabora vários modelos, com diferentes níveis de elaboração para os fenômenos térmicos e, em função da situação apresentada, lança mão de um ou de outro, sem reconhecer as incoerências apresentadas por suas respostas.

Além disso, seu raciocínio apresenta lacunas conceituais, como podemos perceber a explicação dada ao funcionamento do ebulidor de Franklin. Inicialmente, Carla apresentou a idéia de que “tem a ver com a pressão. O aquecimento ... minha mão tá mais quente assim ... aí esquentada aqui”. A estudante identifica que a movimentação do líquido está associada à pressão e

⁴⁶ Essa questão solicitava que fosse feita uma previsão sobre qual situação forneceria a maior temperatura de equilíbrio: o contato térmico entre ferro ou água e uma cama, dadas as condições iniciais iguais.

ao aquecimento, mas não consegue identificar, sem a intervenção do pesquisador, o agente aplicador da pressão, nem tampouco o objeto que tem sua temperatura alterada. Essa não consideração das interações entre o ar o líquido faz com que ela construa um modelo no qual o aquecimento produz o deslocamento do líquido para a parte superior do aparelho. Quando questionada sobre o efeito de resfriarmos a parte superior do aparelho, a estudante afirma que o líquido deve se deslocar para a parte inferior. O pesquisador faz, então, o experimento e a estudante afirma que o resultado “não é possível”, em uma atitude interessante de negação do que estava sendo visto.

4.3.2.6 – Quadro comparativo

Modelos de Partida	Modelos Explicativos 1	Modelos Explicativos 2	Modelos Explicativos 3
<p>Conceitos-em-ação</p> <ul style="list-style-type: none"> . Energia quente (calor) e fria; . Temperatura como estado de quente e frio; . Equilíbrio térmico 	<p>Conceitos-em-ação</p> <ul style="list-style-type: none"> . Energia quente (calor) e fria; . Temperatura como estado de quente e frio; 	<p>Conceitos-em-ação</p> <ul style="list-style-type: none"> . Energia como troca/ interação entre sistemas; . Temperatura como grandeza intensiva; . Equilíbrio Térmico; 	<p>Conceitos-em-ação</p> <ul style="list-style-type: none"> . Calor; . Temperatura; . Equilíbrio Térmico; . Capacidade térmica;
<p>Teoremas-em-ação</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Calor e frio são entidades opostas, sendo que o calor é sinônimo de altas temperaturas; 2) A temperatura mede a quantidade de calor ou de frio de um objeto. É quente aquilo que queima. O contato com o frio, esfria e o contato com o quente, esquenta; 3) Os objetos tendem a ficar em equilíbrio térmico; 4) Os bons condutores de calor podem reter e/ou liberar mais calor, sendo, portanto, mais quentes; 5) NR 6) NR 	<p>Teoremas-em-ação</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) O calor está associado à troca de energia; 2) A temperatura pode ser alterada pelo movimento (que gera calor). Há um agente causal para a variação de temperatura que pode ser quente ou frio; 3) NR 4) A superfície de contato está relacionada com a transferência de energia; 5) NR 6) FE 	<p>Teoremas-em-ação</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) O calor é uma troca de energia que flui do que tem mais para o que tem menos energia, logo, possui sentido único; 2) A temperatura se preserva quando a massa é reduzida, sendo, portanto, uma grandeza intensiva; 3) O equilíbrio térmico é uma tendência dos sistemas que interagem termicamente e pode ser alcançado pela troca de energia; 4) NR 5) O contato com o meio externo faz a temperatura variar. A quantidade de matéria está relacionada com a variação de temperatura observada; 6) NR 	<p>Teoremas-em-ação</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) O calor é uma troca de energia na qual há um sentido único para o seu fluxo, que leva ao equilíbrio térmico; 2) A variação de temperatura está associada à massa e ao material, nas trocas de calor. A interação térmica entre os sistemas leva à variação de temperatura; 3) O equilíbrio térmico é uma tendência dos sistemas que interagem termicamente e pode ser alcançado pela troca de energia; 4) Os bons condutores térmicos podem ser livrar da energia mais rapidamente e, com isso, produzir maior variação de temperatura nos outros objetos. 5) A variação de temperatura está associada à massa dos objetos. As propriedades térmicas dos gases e dos líquidos são diferentes; 6) FE

4.3.3– Cleiton

4.3.3.1 – Perfil do aluno

Cleiton entrou no colégio no segundo semestre de 2003, vindo de outra escola. Inicialmente, ele apresentou dificuldades em estabelecer relações de amizade com os colegas, por ser muito calado. Sua participação nas discussões em grupo era pequena. Geralmente, só respondia o que era perguntado. Essa participação foi melhorando com o passar do tempo, mas seu estilo introspectivo permaneceu ao longo de toda a seqüência de ensino. Apesar disso, o estudante não se sentia intimidado em apresentar seus modelos explicativos aos colegas, mas o fazia somente quando solicitado. Em geral, Cleiton demonstra grande habilidade em resolver situações que envolvem muitas variáveis e procura sempre as causas de um determinado fenômeno. Por apresentar uma forte preferência por atividades concretas e que exigem alto grau de reflexão, podemos indicar que o estilo de aprendizagem de Cleiton é o “Divergente”.

Cleiton apresentava, desde o início dos trabalhos, um raciocínio que se baseava nas relações entre os sistemas, analisando causa e conseqüência de tais interações. No início da seqüência de ensino, Cleiton não utilizava o modelo de partículas como base para a resolução de problemas propostos sobre a Física Térmica. Com a aplicação da seqüência de ensino, o aluno foi construindo, progressivamente, os conceitos de temperatura, calor e equilíbrio térmico a partir da teoria cinético-molecular, o que lhe permitiu obter uma melhor compreensão acerca dos fenômenos térmicos. A análise da qualidade de suas explicações permite inferir que Cleiton conseguiu construir uma sólida base conceitual, o que fez com que seus modelos explicativos permanecessem praticamente inalterados a partir da segunda verificação. Esse sistema conceitual estável se manifesta, por exemplo, pelas respostas dadas na entrevista, em que o estudante utiliza ou não o modelo de partículas em função da questão que é proposta. Nas questões em que a explicação não necessita da teoria cinética, Cleiton não a utiliza. Em outras, em que a teoria cinética pode ajudar na compreensão, o estudante a utiliza com propriedade.

4.3.3.2 – Pré-Teste

No pré-teste, Cleiton já apresentava uma certa distinção entre calor e temperatura. Para ele, “temperatura é a quantidade de energia contida no ambiente” e calor “é uma quantidade de energia que excede ao normal do ambiente”, ou seja, o conceito de temperatura apresentado se aproxima ao de energia interna, enquanto que o calor está relacionado com excesso de energia.

A tendência ao equilíbrio térmico já era indicada por Cleiton, como se pode perceber na resposta dada à questão 4a⁴⁷, “para que dê tempo dos dois corpos entrarem em equilíbrio térmico”. Esse equilíbrio térmico, para o estudante, é produzido por meio da troca de calor entre os objetos.

Cleiton revela uma característica muito curiosa: quando não dispõe, em seu repertório cognitivo, de um conceito para utilizar, o estudante cria um, mesmo que não disponha de uma referência na ciência. Por exemplo, para responder a questão 6, Cleiton afirma que “ambos [a maçaneta e a porta] estão à mesma temperatura, mas como o *coeficiente de calor* do metal é menor, o metal irá receber energia da pessoa mais rapidamente, dando-lhe a impressão que o metal está mais frio”. Ao invés de utilizar o conceito de condutividade térmica, Cleiton criou o conceito de “coeficiente de calor” que parece ser o inverso da condutividade térmica. Por meio desse conceito, ele conseguiu explicar a causa das diferentes sensações térmicas que o metal e a madeira nos fornecem, mesmo estando em equilíbrio térmico com o ambiente.

4.3.3.3 – Teste 1

No teste 1, Cleiton já demonstrava conhecer a distinção entre calor e temperatura. O estudante conseguiu conceituar “frio” como sendo “a baixa energia cinética das moléculas do ar”, no contexto da questão 1 e apresentou, corretamente, o sentido único para o fluxo de calor na questão 2. Além disso, Cleiton demonstra conhecer o conceito de energia interna, quando afirma, na questão 5 que o grande parafuso de ferro, “graças à sua superioridade de

⁴⁷ O objetivo da questão era verificar o motivo de termos de deixar o termômetro debaixo do braço por cerca de dois minutos.

moléculas (sic) teria mais energia, a mesma quantidade de energia por molécula, igual à da tachinha, mas estariam em maior número, então teriam mais energia a dispor para a água”.

Apesar desse conhecimento, Cleiton ainda não domina totalmente o modelo de partículas, transferindo propriedades macroscópicas para as partículas da matéria, como pode ser percebido na resposta dada à questão 4, na qual ele afirma que a temperatura de um líquido sacudido violentamente “aumentaria. Porque com esse movimento da lata irá propiciar um movimento das moléculas que iram (sic) entrar *em atrito* entre si e ocorrerá a liberação de calor, mesmo que em pouca quantidade”. Nessa resposta, podemos perceber, também, a não distinção entre os processos de calor e trabalho na variação da energia interna de um sistema.

4.3.3.4 – Teste 2

Nesse ponto de verificação, Cleiton apresentou modelos explicativos em perfeita sintonia com os modelos conceituais da Física Térmica. Reconheceu a analogia proposta na questão 1, afirmando que “a bola de gude mais rápida vai doar energia cinética para as mais lentas, assim como um lugar mais quente, onde as moléculas estão mais agitadas, mais ‘rápidas’ iriam doar energia para as mais lentas pelo contato”. Nessa resposta, há uma menção ao modelo de partículas e ao sentido único para o fluxo de calor. Essa relação entre temperatura e energia cinética das partículas volta a aparecer na resposta das questões 4 e 7.

Nas explicações apresentadas por Cleiton, são identificados os sistemas que interagem termicamente, as mudanças nas temperaturas e a tendência ao equilíbrio térmico. O aluno foi o único de seu grupo a responder corretamente a questão 5, utilizando o conceito de calor latente em sua explicação.

Consideramos que Cleiton foi o estudante que melhor compreendeu a estrutura da Física Térmica e conseguiu construir um todo conceitual muito próximo daquele que havíamos planejado na construção da seqüência de ensino.

4.3.3.5 – Entrevista

Durante a entrevista, Cleiton se mostrou muito seguro ao fornecer suas respostas. Utilizou corretamente os conceitos de calor (“calor é troca de energia entre dois corpos”), temperatura, capacidade térmica, condutividade térmica e equilíbrio térmico. As explicações apresentadas evidenciavam um grande domínio dos conceitos e uma forte capacidade de integrá-los para resolver situações complexas.

Na questão 1, por exemplo, que se referia à troca de calor entre água ou ferro e uma cama, Cleiton afirmou que, utilizando-se a água ou o ferro, a temperatura do equilíbrio “vai ser igual, mesmo que o ferro vá passar energia mais rápido, mas o equilíbrio vai ser igual à temperatura do ambiente”. O objetivo da questão era verificar se a temperatura de equilíbrio entre o objeto escolhido (água ou ferro) e a cama que deveria ser aquecida seria igual ou diferente. O raciocínio de Cleiton, no entanto, foi além da pergunta, levando em consideração todas partes do sistema (utilizando, também, o ar ambiente) para afirmar que temperatura do equilíbrio seria igual para os dois. Infelizmente, não nos damos conta desse fato no momento da entrevista, pois esse seria um ponto interessante a ser explorado com o estudante. Podemos perceber, também, a consideração do ambiente na resposta dada à questão 2, onde o estudante afirma que entre o café quente a 90°C e o ambiente a 20°C , a temperatura de equilíbrio “seria de 20°C , provavelmente, porque é uma xícara de café para um ambiente, então a variação vai ser muito pequena”. Essa explicação também identifica o conhecimento do conceito de capacidade térmica.

4.3.3.6 – Quadro comparativo

Modelos de Partida	Modelos Explicativos 1	Modelos Explicativos 2	Modelos Explicativos 3
<p>Conceitos-em-ação</p> <ul style="list-style-type: none"> . Calor como algo quente . temperatura como energia contida . Equilíbrio térmico 	<p>Conceitos-em-ação</p> <ul style="list-style-type: none"> . Calor; . Temperatura; . Capacidade térmica 	<p>Conceitos-em-ação</p> <ul style="list-style-type: none"> . Calor; . Temperatura; . Capacidade térmica . Calor latente 	<p>Conceitos-em-ação</p> <ul style="list-style-type: none"> . Calor; . Temperatura; . Equilíbrio Térmico; . Capacidade térmica
<p>Teoremas-em-ação</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Calor está relacionado com o excesso de energia, sendo, portanto, quente; 2) A temperatura mede a quantidade de energia de um sistema; 3) O equilíbrio térmico é uma tendência dos sistemas, que pode ocorrer pela troca de calor; 4) As sensações térmicas estão relacionadas com a velocidade com que o calor é trocado; 5) Corpos de diferentes tamanhos ((massas)) podem provocar efeitos térmicos diferentes, mesmo estando em temperaturas iguais; 6) NR 	<p>Teoremas-em-ação</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) O calor é troca de energia associada à diferença de temperatura entre sistemas e flui da maior para a menor temperatura; 2) A temperatura mede a quantidade de energia por partícula de um sistema. A temperatura pode ser alterada pela agitação, que faz com que as partículas entrem em atrito, o que gera calor. Corpos de massas diferentes, estando na mesma temperatura, possuem quantidades diferentes de energia interna; 3) O equilíbrio térmico é uma tendência dos sistemas, que pode ocorrer pela troca de calor; 4) NR 5) A capacidade térmica de um sistema depende, diretamente, de sua massa; 6) FE 	<p>Teoremas-em-ação</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) O calor é troca de energia associada à diferença de temperatura entre sistemas e flui da maior para a menor temperatura; 2) A temperatura mede a quantidade de energia por partícula de um sistema. A temperatura pode ser alterada pela realização de trabalho. Corpos de massas diferentes, estando na mesma temperatura, possuem quantidades diferentes de energia interna; 3) O equilíbrio térmico é uma tendência dos sistemas, que pode ocorrer pela troca de calor; 4) A área de contato influencia na troca de calor; 5) A capacidade térmica de um sistema depende, diretamente, de sua massa; Corpos de massas diferentes, estando na mesma temperatura, possuem quantidades diferentes de energia interna; 6) Quando um objeto muda de fase, há troca de calor e sua temperatura não muda; 	<p>Teoremas-em-ação</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) O calor é troca de energia associada à diferença de temperatura entre sistemas e flui da maior para a menor temperatura; 2) A temperatura mede a quantidade de energia por partícula de um sistema; 3) O equilíbrio térmico é uma tendência dos sistemas, que pode ocorrer pela troca de calor; 4) As sensações térmicas estão relacionadas com a velocidade com que o calor é trocado; 5) A capacidade térmica de um sistema depende, diretamente, de sua massa; 6) FE

4.3.4 – Eduardo

4.3.4.1 – Perfil do aluno

Eduardo é um estudante que se destaca pela seriedade com que lida com a escola. Ele procura desenvolver as atividades propostas pelo professor com o máximo de empenho possível e sempre cumpre os prazos estipulados para a realização de tarefas em sala de aula ou em casa. Sua postura ao longo das aulas revela um interesse em conhecer mais dos conteúdos que estão sendo trabalhados. Isso é revelado pelo conteúdo das perguntas enunciadas por ele, que se dirigem para a identificação das causas do que está sendo estudado.

O aluno não apresenta dificuldades em lidar com situações complexas, tendo facilidade em relacionar informações e conceitos distintos para apresentar uma resposta aos problemas que lhe são propostos. O aluno não apresenta dificuldade em construir modelos explicativos e utilizá-los em situações desconhecidas, mas também não se revela constrangido em admitir que não sabe como resolver um dado problema. Possui uma boa interação com os colegas e tem suas posições respeitadas pelo grupo de alunos, que o percebem como um aluno de rendimento acima da média.

A observação das atividades em sala de aula nos leva a identificar o aluno como “Divergente”. Essa identificação ser reforçada pela análise das atividades de intervenção didática que mais lhe chamam a atenção como, por exemplo, a realização de experimentos e as aulas expositivas nas quais ele pode participar ativamente por meio de questionamentos.

4.3.4.2 – Pré-Teste

Eduardo iniciou a seqüência de ensino sem fazer a distinção entre temperatura e calor, como se pode perceber pela sua colocação de que “a temperatura é a quantidade de calor presente em um corpo” e que “calor é a quantidade de energia presente em um corpo”. Apesar disso, o aluno já apresentava a noção de equilíbrio térmico, como podemos perceber na resposta

dada à questão 4b⁴⁸, “não, pois haverá equilíbrio de temperatura”. Nesse ponto, o estudante não utilizava o modelo de partículas em suas explicações, se atendo às características macroscópicas para construir modelos explicativos. Apesar disso, Eduardo conseguia articular uma forma de raciocínio que superava as características observáveis dos objetos e que relacionava causa e consequência, superando a causalidade linear. Por exemplo, perguntado sobre a sensação térmica de que a maçaneta metálica é mais fria do que a porta de madeira, Eduardo indicou que tal sensação não é correta pois “as duas têm a mesma temperatura, porém como o metal transporta calor mais rápido, a ‘troca’ será instantânea”. Podemos perceber que a atribuição de características processuais para o calor está presente nos enunciados do aluno, como se verifica em “o metal *transporta* calor”.

4.3.4.3 – Teste 1

No teste 1, Eduardo apresentou o conhecimento do sentido único do calor e da necessidade de haver uma diferença de temperatura para que o mesmo se estabeleça. Já neste 1º teste, o estudante começou a manifestar a apropriação do modelo de partículas, o que enriqueceu seus modelos explicativos.

Na resolução da questão 5⁴⁹, Eduardo afirmou que o grande parafuso produziria uma maior temperatura de equilíbrio porque “mesmo estando à mesma temperatura, o parafuso tem mais ‘energia’: são mais moléculas a esta mesma temperatura”. A utilização do modelo cinético-molecular permitiu ao estudante operar com o conceito de Capacidade Térmica.

4.3.4.4 – Teste 2

Em relação ao teste 1, Eduardo apresentou um maior refinamento na utilização do modelo cinético-molecular. Na questão 1, que solicita uma explicação da analogia entre a colisão de bolas de gude e o calor, o aluno afirmou

⁴⁸ A questão 4b perguntava se um elevado tempo de interação entre um termômetro e o corpo de uma pessoa faz a leitura do termômetro ser maior do que a temperatura do corpo da pessoa.

⁴⁹ A questão 5 solicitava que o estudante mostrasse qual situação conduziria a uma temperatura de equilíbrio térmico maior: a interação de uma tachinha ou de um grande parafuso com uma mesma massa de água. Na questão, as condições iniciais de temperatura eram as mesmas, a tachinha e o parafuso eram de ferro e as massas de água eram iguais.

que “a bolinha rápida perde energia. E no ‘mundo calorífico’ é o mesmo: a transferência de energia ocorre sempre do que tem mais calor para o que tem menos”. Ele continua reconhecendo um sentido único para o calor e consegue indicar a equivalência entre calor e trabalho na alteração da energia interna de um sistema, ao afirmar que temperatura da água na base de uma cachoeira deve ser mais alta do que na parte superior pois “com a queda, há um ganho de energia (que vira calor) cinética”. No entanto, nessa ocasião, Eduardo não conseguiu explicar corretamente as transferências de energia durante uma mudança de fase.

4.3.4.5 – Entrevista

Durante a entrevista, Eduardo demonstrou conhecer que os materiais transportam calor em velocidades diferentes, apesar de não utilizar corretamente o conceito de capacidade térmica. Na primeira questão⁵⁰, o aluno afirmou que deveria ser utilizada a bolsa com água porque “ela admite uma transferência mais lenta que no ferro, então o ferro irá esfriar mais rápido”. Eduardo continua reconhecendo um sentido único para o calor e considera a vizinhança para as interações térmicas. Ao ser questionado sobre o funcionamento do ebulidor de Franklin, o estudante afirmou que “a transferência de calor ocorre, não no líquido, mas no ar aí dentro. Eu acho que ele dilata e aumenta a pressão”. Eduardo cometeu alguns equívocos, sobretudo em relação à distinção dos conceitos de condutividade térmica e capacidade térmica e a influência dessas grandezas nas trocas de calor e nas respectivas variações de temperatura.

⁵⁰ Essa questão solicitava que fosse feita uma previsão sobre qual situação forneceria a maior temperatura de equilíbrio: o contato térmico entre ferro e uma cama ou entre água e uma cama, dadas as condições iniciais iguais.

4.3.4.6 – Quadro comparativo

Modelos de Partida	Modelos Explicativos 1	Modelos Explicativos 2	Modelos Explicativos 3
<p>Conceitos-em-ação</p> <ul style="list-style-type: none"> . Calor como energia contida. . Temperatura como quantidade de calor. . Equilíbrio térmico 	<p>Conceitos-em-ação</p> <ul style="list-style-type: none"> . Calor . Temperatura . Capacidade térmica 	<p>Conceitos-em-ação</p> <ul style="list-style-type: none"> . Calor . Temperatura . Equilíbrio térmico 	<p>Conceitos-em-ação</p> <ul style="list-style-type: none"> . Calor . Temperatura . Equilíbrio térmico . Capacidade térmica
<p>Teoremas-em-ação</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) O calor é a quantidade de energia presente em um corpo; 2) A temperatura é a medida da quantidade de calor; 3) Em virtude das trocas de calor, o equilíbrio térmico deve ser atingido; 4) A área de contato influencia na quantidade de calor trocado, sendo que os metais são bons condutores; 5) NR 6) NR 	<p>Teoremas-em-ação</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) O calor é a transferência de energia do mais quente para o mais frio; 2) A temperatura está associada à energia cinética das partículas. A energia interna está associada à quantidade de partículas de um dado objeto; 3) NR 4) NR 5) A quantidade de partículas de um sistema influencia em sua variação de temperatura. Para uma dada quantidade de calor, quanto mais partículas, menor a variação de temperatura. 6) FE 	<p>Teoremas-em-ação</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) O calor é a transferência de energia do mais quente para o mais frio; 2) A temperatura está associada à energia cinética das partículas; 3) NR 4) A superfície de contato influencia na troca de calor entre o objeto e o ambiente; 5) NR 6) NR 	<p>Teoremas-em-ação</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) O calor é a transferência de energia do mais quente para o mais frio; 2) A temperatura está associada à energia cinética das partículas; 3) Em virtude das trocas de calor, o equilíbrio térmico deve ser atingido; 4) Os diferentes materiais conduzem calor em velocidades diferentes, sendo que o que conduz mais lentamente faz a temperatura ficar alta por mais tempo. A velocidade do fluxo de calor está relacionada com a quantidade de partículas que interagem; 5) A massa dos objetos influencia na variação de temperatura de tal forma que quanto maior a massa, menor a variação de temperatura; 6) FE

4.3.5 – Flávia

4.3.5.1 – Perfil do aluno

A aluna Flávia, foi, do grupo acompanhado, a que menos se envolveu nas atividades propostas, ficando à margem das discussões e sempre concordando com o que o grupo decidia fazer. Essa passividade foi decisiva para seus modelos explicativos não apresentassem qualquer evolução ao longo da aplicação da seqüência de ensino. Sua relação com saber é extremamente utilitarista, sendo que Flávia só realiza as tarefas propostas quando valem nota.

Por não revelar suas preferências ao longo do tempo em que estivemos juntos, tivemos dificuldades em identificar o estilo de aprendizagem de Flávia, mas podemos identificar que a aluna, na maior parte do tempo, apresente um comportamento de “Assimilador”, embora não consigamos reconhecer todas as características desse estilo nela. Flávia sempre queria respostas prontas e certas, respeitava o conhecimento do professor e, pelo menos, tentava se concentrar nas aulas expositivas. Não sabem os responder se essas atitudes da aluna eram guiadas pela conveniência ou pelo estilo de aprendizagem.

4.3.5.2 – Pré-Teste

Flávia não fazia a distinção entre calor e temperatura, enunciando que “calor é um estado muito quente o que faz com que a temperatura seja também alta”. Nessa conceitualização, o calor é apresentado como um estado, relacionado a coisas quentes. A forma de raciocínio de Flávia impõe uma causalidade linear. Assim, para a aluna, o café esfria, quando em contato com o ambiente, porque “está em contato com uma superfície mais fria, com temperatura menor”, ou seja, o contato com coisas frias, esfria o objeto. Novamente, percebemos a não utilização do calor como processo de transferência de energia. O seu raciocínio estava fortemente influenciado por características observáveis, como podemos perceber em “a maçaneta metálica possui temperatura menor”. Além disso, essa resposta indica a não utilização do conceito de equilíbrio térmico.

4.3.5.3 – Teste 1

As respostas apresentadas por Flávia para as questões do teste 1 foram de tal forma confusas, que não nos é possível identificar padrões de pensamento. As incoerências são tão grandes, que podemos concluir que a estudante (1) não dispõe de um modelo explicativo que seja satisfatório nem mesmo para ela ou (2) respondeu o que lhe veio à mente, sem qualquer reflexão acerca dos conceitos que estavam sendo explorados. Na questão 2, Flávia indicou o sentido das trocas de calor com sendo do mais frio para o mais quente, como se houvesse uma transferência de “frio” e, não de calor, o que parece encontrar eco na afirmação, enunciada na questão 1, de que “não podemos falar que o aumento de temperatura equivale ao calor. Quando a personagem diz que vai aquecer o lar, não quer dizer que o frio não possa ‘entrar’”. Apesar disso, Flávia afirma que é possível aquecer um objeto por agitação pois a “temperatura está diretamente relacionada com a agitação das partículas”.

4.3.5.4 – Teste 2

Nesse ponto, Flávia continua sem apresentar uma distinção adequada entre calor e temperatura. Na interpretação da analogia solicitada na questão 1, a aluna afirma que a “transferência de calor sempre ocorre do que tem mais calor para o que tem menos”. Os modelos explicativos apresentados ainda carecem de consistência, podendo ser muito sofisticados quando se referem à temperatura (“a energia cinética média está relacionada com a temperatura”) ou totalmente sem lógica (“com base no modelo de partículas, quando soprarmos a superfície do café ele esfria, porque a temperatura está relacionada com o movimento das partículas”) ou ainda quando a aluna afirma não ser possível que uma pequena xícara de chá quente se aqueça ainda mais se colocada em um grande lago com água fria porque “no lago, as partículas não movimentam com tanta facilidade”.

4.3.5.5 – Entrevista

Quando fomos realizar a entrevista com Flávia, percebemos, desde o início, que ela antecipava respostas de perguntas que ainda seriam feitas. Essa situação, nos levou a suspeitar que a aluna já conhecia o roteiro das entrevistas e

decorou algumas respostas. Então, perguntamos a Flávia se a nossa impressão era verdadeira e obtivemos uma resposta afirmativa.

Por isso, resolvemos não acrescentar as concepções, os conceitos e teoremas em ação da estudante nesse ponto de verificação, nem tampouco apresentar a transcrição da entrevista nos anexos.

4.3.5.6 – Quadro comparativo

Modelos de Partida	Modelos Explicativos 1	Modelos Explicativos 2	Modelos Explicativos 3
<p>Conceitos-em-ação</p> <ul style="list-style-type: none"> . Calor como algo quente. . temperatura como indicação de quente e frio 	<p>Conceitos-em-ação</p> <ul style="list-style-type: none"> . Calor como algo quente, em oposição ao frio . temperatura como relacionada à agitação das partículas de um corpo 	<p>Conceitos-em-ação</p> <ul style="list-style-type: none"> . calor como transferência de energia que um corpo possui; temperatura; 	<p>Conceitos-em-ação</p>
<p>Teoremas-em-ação</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Calor é algo quente que pode produzir queimaduras; 2) A temperatura é a medida da quantidade de calor. Os objetos quentes produzem queimaduras e os objetos frios, esfriam; 3) NR 4) NR 5) NR 6) NR 	<p>Teoremas-em-ação</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) O calor é uma entidade relacionada a objetos quentes e se opõe ao frio, que está relacionado a coisas frias; 2) A temperatura mede a movimentação das partículas de um corpo e pode ser alterada pela agitação do corpo; 3) NR 4) NR 5) NR 6) FE 	<p>Teoremas-em-ação</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) O calor flui do corpo que tem mais calor para o que tem menos; 2) A temperatura está relacionada com a energia das partículas de um objeto e não depende de sua massa; a área de contato influencia na variação da temperatura; 3) NR 4) NR 5) NR 6) NR 	<p>Teoremas-em-ação</p>

4.3.6 – Lara

4.3.6.1 – Perfil do aluno

Lara apresenta uma característica muito marcante, que é a sua tendência à organização. Ao longo das atividades da seqüência de ensino, era dela a iniciativa de sistematizar as respostas para serem escritas e entregues ao professor. Ela também tinha a preocupação de organizar o material que seria utilizado nos experimentos. Quanto ao recebimento de informações, Lara apresenta uma clara preferência por organização, sistematização e clareza das mesmas, não se sentindo segura em explorar terrenos desconhecidos. Isso nos faz supor que seu estilo de aprendizagem é “Divergente”.

Lara procurava, desde o início, basear suas explicações em grandezas observáveis, atribuindo aos objetos temperaturas naturais. A lógica das explicações se baseava em uma causalidade linear, em que não se percebem reciprocidades nas relações entre os objetos estudados e, sim, uma ação de um agente sobre o paciente. A aluna não se expunha, propondo explicações sobre os fenômenos que estavam sendo estudados. Essas características se prolongaram durante toda a aplicação da seqüência de ensino e foram observadas na entrevista. A partir da primeira verificação dos modelos explicativos, Lara começou a utilizar elementos do modelo cinético. No entanto, havia grandes lacunas e equívocos que não permitiram uma aprendizagem efetiva dos conceitos e modelos científicos envolvidos⁵¹. Na segunda verificação, houve uma melhora nos modelos explicativos. Foi, justamente, nesse ponto que Lara melhor utilizou o modelo cinético em suas explicações. Na entrevista clínica, os modelos explicativos utilizados por ela parecem ter regredido em relação à segunda verificação. Não houve, portanto, grande evolução em suas explicações causais ao longo do processo.

⁵¹ Havia, principalmente, a transposição de características macroscópicas para as partículas como, por exemplo, em “as moléculas começarão a se agitar e vão dilatar-se, aumentando a superfície de contato com o ar, fazendo, assim, que esquite rápido”.

4.3.6.2 – Pré-Teste

Lara já apresentava uma certa distinção entre calor e temperatura, afirmando que “temperatura é uma variação no tempo e que podemos sentir, há temperaturas quentes e frias” e “calor é quando algo ou alguém libera energia que é ‘transformada’ em calor”. Existe, na concepção de Lara, uma relação entre a temperatura e as sensações térmicas, enquanto que o conceito de calor está relacionado a energia liberada, já sugerindo um caráter processual para o calor. Esse caráter está reforçado em “[o café] vai *liberando* calor em contato com a temperatura ambiente”. Lara já apresenta uma noção de equilíbrio térmico, enunciada em “quando o termômetro atingir a temperatura da pessoa ele irá estabilizar, ou seja, pára de subir”. Apesar disso, a aluna afirma que “o metal, em temperatura ambiente, é mais frio em relação à madeira”, raciocínio fortemente apoiado em características observáveis.

4.3.6.3 – Teste 1

Lara apresentou uma grande confusão em relação ao sentido das trocas de calor na questão 2. Apesar de enunciar corretamente, na questão 1, que “se houver mudança de temperatura, a pessoa ‘sentirá’ frio de qualquer jeito, só que o casaco que ela usar, servirá de ‘isolante’, com mudanças de energia do casaco para o corpo, dando a sensação de aquecimento”, a estudante afirmou, na questão 2, que o fluxo de calor se dava nos dois sentidos, do mais quente para o mais frio e vice-versa. Lara fez referência ao modelo cinético-molecular, apesar de apresentar equívocos, como na afirmação de que “as moléculas se dilatam”. Com relação a essa concepção, Lara afirma o aquecimento que se verifica quando um objeto ocorre porque “ao sacudir, as moléculas começarão a se agitar e vão dilatar-se, aumentando a superfície de contato com o ar, fazendo assim com que esquente o líquido”.

4.3.6.4 – Teste 2

Nesse ponto, Lara demonstra uma melhor utilização do modelo cinético-molecular. Para explicar o resfriamento mais rápido do café quando soprarmos, por exemplo, a aluna afirma que “ao soprarmos, uma maior número de moléculas

entrará em contato com o ar, resfriando mais rapidamente o café”. Além disso, Lara compreendeu a analogia proposta na questão 1, identificando corretamente o sentido para o fluxo do calor e relacionou o aquecimento com o aumento da energia cinética das partículas. Apesar dessa evolução nos modelos explicativos, Lara não conseguiu identificar a existência de trocas de calor em uma mudança de fase, afirmando que o refrigerante colocado em contato com a água a 0°C esfria mais do que posto em contato com gelo a 0°C.

4.3.6.5 – Entrevista

Durante a entrevista, Lara apresentou um modelo para o equilíbrio térmico no qual há um equilíbrio entre o calor cedido e recebido pelos sistemas em interação, sendo que tal equilíbrio “não é exatamente na mesma temperatura, é quando o fluxo de energia tá ... como se fosse um fluxo de energia equilibrado mesmo”. Na questão 1, a aluna reconheceu que os objetos podem variar a temperatura em velocidades diferentes, remetendo-se ao conceito de calor específico e apresentou a condição de estabelecimento do calor.

Apesar de utilizar corretamente o conceito de capacidade térmica na questão 1, na segunda pergunta, Lara não obteve o mesmo êxito. Quando foi colocada uma situação em que uma xícara de café a 95°C e o ambiente a 20°C estão interagindo termicamente e foi solicitada a temperatura de equilíbrio, a aluna afirmou que seria “mais próxima de 20°C, um pouquinho abaixo da média, mais próximo de 20°C”, sem saber explicar a razão exata de ter proposto esta resposta.

Na explicação do funcionamento do ebulidor de Franklin, Lara apresentou um modelo de acordo com o qual o líquido sobre no aparelho porque recebe calor e se dilata. Nesse ponto, o pesquisador a questionou sobre o que aconteceria se a parte superior fosse resfriada e a aluna respondeu que “eu acho que [o líquido] continua na parte de baixo”. Quando o experimento foi feito, Lara demonstrou uma grande surpresa e não soube explicar o que ocorreu.

Apesar de, na primeira questão, Lara afirmar que o equilíbrio térmico não era caracterizado, necessariamente, pela igualdade de temperatura, na terceira

questão ela afirma que a garrafa e a lata de cerveja estão em equilíbrio térmico e, portanto, estão à mesma temperatura. Há um conflito de conceitos que não parece perturbar-lhe. As explicações são escolhidas localmente, sem que haja um compromisso epistemológico entre elas, o que revela a não construção de um sistema conceitual estável e geral para os fenômenos térmicos.

4.3.6.6 – Quadro comparativo

Modelos de Partida	Modelos Explicativos 1	Modelos Explicativos 2	Modelos Explicativos 3
<p>Conceitos-em-ação</p> <ul style="list-style-type: none"> . Calor como energia liberada; . Temperatura como quente e frio; . Equilíbrio térmico como resultado da ação de um corpo sobre o outro; 	<p>Conceitos-em-ação</p> <ul style="list-style-type: none"> . Calor como energia transferida; . Temperatura como consequência da dilatação das moléculas; . Capacidade Térmica como função da massa do objeto; 	<p>Conceitos-em-ação</p> <ul style="list-style-type: none"> . Calor; . Temperatura; . Equilíbrio Térmico; . Condutividade Térmica; . Capacidade Térmica; 	<p>Conceitos-em-ação</p> <ul style="list-style-type: none"> . Calor; . Temperatura; . Equilíbrio Térmico como igualdade do fornecimento e do recebimento de calor; . Capacidade Térmica;
<p>Teoremas-em-ação</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) O calor é uma quantidade de energia liberada; 2) A temperatura condiciona as sensações de frio e quente; 3) O equilíbrio térmico pode ser atingido quando um determinado corpo faz a temperatura do outro variar; 4) NR; 5) NR; 6) NR. 	<p>Teoremas-em-ação</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) O calor pode ser transferido entre os corpos, sem que haja um sentido preferencial; 2) A temperatura está relacionada às sensações térmicas e pode ser alterada por vários processos; em comum, esses processos têm o fato de as partículas se dilatarem para aumentar a superfície de contato e, assim, produzir variações mais intensas ou mais rápidas; 3) NR; 4) A área de contato e o tipo de material influenciam na intensidade da energia trocada e, assim, nas sensações de “frio”; 5) A quantidade de partículas influencia na variação da temperatura; 6) FE 	<p>Teoremas-em-ação</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) O calor é a transferência de energia entre sistemas que estão em diferentes temperaturas; 2) A temperatura está associada ao movimento das partículas e pode ser alterada pela troca de calor ou pela realização de trabalho; 3) O equilíbrio térmico é consequência da troca de energia entre os sistemas; 4) A intensidade do calor trocado depende da área de contato entre os sistemas e do tipo de material; 5) O tipo de material influencia na rapidez com que a temperatura varia; 6) NR 	<p>Teoremas-em-ação</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) O calor é a transferência de energia entre sistemas que estão em diferentes temperaturas; 2) A temperatura está associada ao movimento das partículas; 3) O equilíbrio térmico é uma tendência dos sistemas que interagem e é alcançado quando os sistemas dão calor na mesma intensidade em que perdem calor; 4) A intensidade do calor trocado depende do tipo de material; 5) O tipo de material influencia na rapidez com que a temperatura varia; 6) FE

4.3.7 – Samuel

4.3.7.1 – Perfil do aluno

Samuel é um estudante muito ativo, que gosta de trabalhar em grupo em atividades que necessitam de confronto de idéias. Nessas atividades, ele apresenta seus pontos de vista e questiona os dos colegas, mas não o do professor e procura resolver as divergências por meio da experimentação. Não se interessa muito em saber o porquê dos fenômenos, preferindo conhecer o mecanismo de ocorrência de tais fenômenos. Samuel gosta de conhecer regras de funcionamento e utilizá-las na resolução de problemas. O estudante não se empenha muito na realização de atividades individuais, principalmente aquelas indicadas para casa.

O aluno gosta de trabalhar com situações concretas, em que pode manusear objetos e se sente incomodado em ficar muito tempo em uma sala de aula, durante aulas expositivas. Em geral, Samuel apresenta facilidade em construir modelos explicativos desde que haja uma base concreta para tal. Quando apresentado a uma situação desconhecida, se não contar com material concreto, possui dificuldade para propor explicações coerentes, procurando construir modelos aleatoriamente, sem muito compromisso com os modelos da ciência. Possui uma boa relação com toda a turma, sendo reconhecidamente “popular” entre os alunos do colégio.

A observação de seu comportamento ao longo da realização das atividades em sala de aula nos leva a identificar o aluno como “Acomodador”. Essa categoria é identificada pela necessidade de se trabalhar com material concreto e pela experimentação ativa, duas das características mais marcantes na atitude de do estudante frente ao conhecimento.

4.3.7.2 – Pré-Teste

Logo no início da seqüência de ensino, Samuel não fazia a distinção entre temperatura e calor. Para o aluno, “a temperatura é a quantidade de calor que algo possui” e “calor é a uma temperatura ‘elevada’ que leva à dilatação dos

corpos”. Além disso, ele apresentava uma noção muito fraca de equilíbrio térmico e guiava suas explicações a partir das características observáveis. Isso pode ser percebido, por exemplo, na resposta dada à terceira questão, que explorava o conceito de capacidade térmica⁵²: “As faíscas tendem a esfriar mais rápido do que a faca, sendo assim, não causam queimadura”. Não há, na resposta de Samuel, qualquer referência ao calor como processo, nem tampouco a consideração dos sistemas que interagem termicamente. Quando questionado sobre a sensação térmica de que a maçaneta de metal é mais fria do que a porta de madeira, Samuel afirmou que essa sensação só é correta se “ambas estiverem na sombra, pois se estiverem no sol a maçaneta, que é metálica, irá absorver mais calor”. Essa resposta sugere que o estudante utilize a uma formulação de calor como oposição ao frio.

4.3.7.3 – Teste 1

Samuel apresentou alguma evolução em seus modelos explicativos no teste 1, apesar de ainda não utilizar os conceitos de calor e temperatura com propriedade. O estudante já reconhece um sentido único para o calor e enuncia a não existência da grandeza “frio”, em oposição ao calor. Além disso, Samuel já identifica a influência da massa na variação de temperatura de um objeto. Apesar desse reconhecimento, o aluno não conseguiu explicar o motivo de o grande parafuso de ferro produzir maior aumento de temperatura na água do que uma pequena tachinha, afirmando que o primeiro aquece mais a água “pois a sua superfície de contato com a água é maior, facilitando a troca de calor”.

A utilização do modelo de partículas é pontual e repleta de lacunas e equívocos, visto que o estudante não consegue estabelecer um limite para a validade das características micro e macroscópicas. Perguntado sobre a possível variação de temperatura de um líquido quando agitado, o aluno afirmou que sua temperatura “aumentará, pois o ato de sacudir violentamente o líquido, promoverá o choque entre algumas moléculas, gerando aumento da temperatura”.

⁵² Essa questão se referia a uma situação em que uma faca estava sendo amolada. As faíscas não produzem queimaduras. No entanto, a faca, se estivesse na temperatura das faíscas, queimaria a mão de quem a segurasse. Era solicitado que o estudante explicasse esse fato.

4.3.7.4 – Teste 2

Samuel continua apresentando um modelo explicativo que parece ser muito forte em seu repertório cognitivo, segundo o qual a área de contato é o fator predominante para o estabelecimento do calor. Esse modelo, fortemente apoiado em uma causalidade linear, em que há uma só causa para uma consequência, conduz a forma de pensar do estudante. Assim, quando perguntado em que situação conseguiríamos uma menor temperatura para uma lata de refrigerante: colocando-a em água a 0°C ou em gelo a 0°C, o estudante afirmou que seria “colocando-o na água a 0°C, pois a superfície de contato da água com a lata é maior do que o gelo”. Além disso, o aluno mantém a concepção de que “as moléculas se chocam e esse choque libera calor”, para justificar o aquecimento por agitação.

Samuel revela a compreensão do sentido para o fluxo de calor e reconhece o equilíbrio térmico (“a tendência do sistema é sempre entrar em equilíbrio, no qual a mais quente perde calor o mais frio, ganha”) como tendência dos sistemas, além de levar em consideração a interação entre os sistemas, como é possível se verificar em “na hora da troca, [a água] transfere calor para o ar e para os respectivos copos a serem colocados”.

4.3.7.5 – Entrevista

Ao longo da entrevista, Samuel se mostrou vacilante em suas repostas, demonstrando uma certa regressão em seus modelos explicativos, em comparação com o teste 2. Já na primeira questão, não conseguiu uma formulação coerente para a questão da capacidade térmica e afirmou que o ferro deveria ser colocado debaixo dos lençóis “porque eu acho que ele permanece ... perde menos calor do que a água, permanece com calor mais tempo do que a água. Na água, a perda de calor é maior”. Essa explicação faz referência à substancialização do calor que associa o fato de estar quente com a posse de calor. Não pudemos identificar, nessa resposta, uma referência explícita ao calor como processo de troca de energia motivado pela diferença de temperatura.

Em outras situações, como na questão 02, Samuel revelou conhecer o

sentido único para a troca de calor e a tendência ao equilíbrio térmico, bem como a influência da massa sobre a capacidade térmica. Isso pode ser verificado em “a tendência das temperaturas é entrar em equilíbrio ... a tendência é ficar [na temperatura] mais próxima do ar ... a redução de temperatura do café vai ser mais significativa do que [o aumento de temperatura] do ar”. Nessa pergunta, Samuel utiliza conceitos e teoremas não reconhecidos na pergunta 01, o que sugere a existência de diversos modelos explicativos em seu repertório cognitivo. Cada situação suscitou a utilização de um determinado modelo explicativo.

No trato dos experimentos, Samuel apresentou certa dificuldade para identificar o meio como elemento importante na interação térmica, na explicação do funcionamento do ebulidor de Franklin. A explicação por ele apresentada para o funcionamento do aparelho estava fortemente apoiada em características observáveis, relacionada a regras já vistas. Isso pode ser verificado quando Samuel afirma que o líquido sobe porque “você transmite calor do seu corpo para o vidro e quando você esquentar alguma coisa, a tendência é subir, crescer”.

Apesar de algumas lacunas, o momento verificado pelo teste 2 foi o mais consistente para os modelos explicativos de Samuel. Em relação a esse momento, os conceitos e teoremas em ação que pudemos perceber na entrevista estiveram em um patamar inferior. É possível que o estilo de aprendizagem do estudante, que possui características fortemente marcadas pela experimentação ativa e concreta esteja na base desse resultado. A condução da entrevista foi marcada por tentativas de uma formulação conceitual mais abstrata, em que o entrevistado deveria utilizar modelos explicativos, em geral, sem a presença de um referente concreto. Talvez essa característica da entrevista, aliada ao momento em que foi realizada, possa ter dificultado o estabelecimento de relações causais mais consistentes por parte do estudante.

4.3.7.6 – Quadro comparativo

Modelos de Partida	Modelos Explicativos 1	Modelos Explicativos 2	Modelos Explicativos 3
<p>Conceitos-em-ação</p> <ul style="list-style-type: none"> . Calor como algo quente e contido nos objetos. . Temperatura como a medida da quantidade de calor contido. 	<p>Conceitos-em-ação</p> <ul style="list-style-type: none"> . Calor como troca de energia. . Temperatura como quantidade de energia. 	<p>Conceitos-em-ação</p> <ul style="list-style-type: none"> . Calor; . Temperatura como medida da agitação. . Equilíbrio térmico. 	<p>Conceitos-em-ação</p> <ul style="list-style-type: none"> . Calor como energia contida e calor como troca de energia. . Temperatura; . Equilíbrio térmico.
<p>Teoremas-em-ação</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) O calor é uma propriedade dos corpos quentes, estando retido neles; 2) A temperatura mede a quantidade de calor dos corpos; 3) NR 4) Os metais podem absorver ou ceder mais calor e, por isso, ter temperaturas diferentes dos outros corpos; 5) NR 6) NR 	<p>Teoremas-em-ação</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) O calor pode ser trocado entre objetos com temperaturas diferentes sem que haja um sentido único; 2) A temperatura pode ser alterada pelo choque entre as partículas (que gera calor); 3) NR 4) A área de contato propicia um maior fluxo de calor, o que faz alterar mais intensamente a temperatura; 5) NR 6) FE 	<p>Teoremas-em-ação</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) O calor pode ser trocado em virtude da diferença de temperatura entre sistemas e tem sentido único: do mais quente para o mais frio; 2) A temperatura está associada à energia cinética das partículas e pode ser alterada pela colisão entre moléculas (que gera calor) e/ou pela troca de calor; 3) Em virtude das trocas de calor, os objetos tendem a entrar em equilíbrio térmico; 4) A área de contato propicia um maior fluxo de calor, o que faz alterar mais intensamente a temperatura; 5) NR 6) NR 	<p>Teoremas-em-ação</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) O calor pode ser trocado em virtude da diferença de temperatura entre sistemas e tem sentido único: do mais quente para o mais frio; O calor se acumula em um corpo quente; 2) A temperatura mede a quantidade de energia de um corpo e pode ser alterada pela troca de calor; 3) Em virtude das trocas de calor, os objetos tendem a entrar em equilíbrio térmico; 4) Características dos materiais influenciam na intensidade do calor trocado e, por isso, indicam a sensação térmica; 5) A massa dos objetos em contato influencia na variação de temperatura obtida; 6) FE

4.4 – Síntese Final do Capítulo

No quadro a seguir apresentamos uma síntese dos principais modelos que foram construídos pelos estudantes ao longo da aplicação da seqüência de ensino. Nele, procuramos enfatizar as características mais marcantes das elaborações dos estudantes que conseguimos identificar pela análise das respostas ao Pré-Teste, aos Testes 1 e 2 e à Entrevista. Além disso, acrescentamos alguns modelos explicitados pelos estudantes nas atividades realizadas da seqüência de ensino.

Para a construção da tabela, o item

“(1)” se refere ao conceito de calor;

“(2)” está relacionado com a temperatura;

“(3)” faz menção ao equilíbrio térmico;

“(4)” apresenta alguns modelos bastante peculiares

Modelos de Partida	Modelos Explicativos 1	Modelos Explicativos 2	Modelos Explicativos 3
<p>(1) Grande diversidade para o conceito de calor, que podia ser enunciado como (a) algo quente (Ana Paula, Cleiton e Flávia); (b) algo contido nos corpos (Eduardo e Samuel); entidade oposta ao frio (Carla) ou energia liberada (Lara).</p> <p>(2) Pouca diversidade entre os estudantes para o conceito de temperatura, que podia ser enunciado como (a) quantidade de calor ou de energia dos corpos (Ana Paula, Carla, Cleiton, Eduardo, Flávia e Samuel) ou relacionado a sensações térmicas (Lara);</p> <p>(3) O equilíbrio térmico não era reconhecido por todos como uma tendência de um sistema que interage termicamente.</p> <p>(4) Na análise das respostas escritas pelo grupo na Leitura 01, podemos perceber um modelo que interpreta a dilatação térmica como o efeito da repulsão entre as partículas do corpo que foi aquecido. Em geral, os modelos explicativos dos sujeitos ainda carecem de maior consistência conceitual.</p>	<p>(1) Houve uma menor diversidade de enunciados para o calor. Flávia continua afirmando que o calor é algo quente; Ana Paula apresenta uma mudança em seu conceito de calor, afirmando que é algo contido nos corpos. Os demais estudantes, em maior (Cleiton) ou menor (Lara e Samuel) escala, iniciam uma atribuição processual para o calor.</p> <p>(2) Aumentou a diversidade nos conceitos de temperatura apresentados. As estudantes Lara e Ana Paula não superaram suas concepções iniciais, enquanto que os demais conseguiram algum tipo de evolução nesse conceito. Para Carla, Lara e Samuel, a temperatura pode ser alterada pelo movimento. Cleiton, Eduardo e Flávia fizeram menção ao modelo cinético para enunciar a temperatura, sendo que os dois primeiros, de forma correta e a última de forma muito vaga.</p> <p>(3) Somente Cleiton e Eduardo conseguiram apresentar formulações corretas para o equilíbrio térmico.</p> <p>(4) Um modelo sobre a intensidade do calor foi utilizado pelos estudantes para a diferenciação</p>	<p>(1) Esse foi o ponto em que houve grande convergência entre os conceitos de calor utilizados pelos estudantes. Em geral, eles fizeram alguma menção à troca de energia, sendo que Flávia e Carla afirmava que era um fluxo do que tem mais para o que tem menos calor, Ana Paula, Eduardo e Samuel simplesmente indicavam o sentido da troca de calor e Cleiton e Lara procuravam indicar o caráter processual do calor e seu sentido único.</p> <p>(2) Ana Paula, Cleiton, Eduardo e Samuel revelaram um conceito de temperatura associado ao modelo cinético, sendo que Cleiton e Eduardo o fizeram com maior propriedade do que a primeira. Flávia e Lara relacionaram a temperatura com a energia de um corpo e não foi possível verificar o conceito de temperatura utilizado por Carla.</p> <p>(3) Somente Ana Paula, Eduardo e Flávia não revelaram formulações para o equilíbrio térmico.</p> <p>(4) O modelo utilizado por Samuel para a explicação do aquecimento por agitação, que afirma que a colisão entre as partículas “gera</p>	<p>(1) Também tivemos uma maior convergência em relação aos conceitos de calor utilizados pelos estudantes. Em geral eles reconheceram o sentido único para o calor nas situações apresentadas. Portanto, os estudantes parecem ter evoluído na utilização do conceito de calor em relação aos modelos de partida. Samuel utilizou um conceito de calor menos abrangente do que aquele revelado na verificação anterior, se referindo a uma certa substancialização do calor.</p> <p>(2) Cleiton, Eduardo, Lara e Samuel relacionaram, de alguma forma, a temperatura com a energia de um corpo, sendo que os três primeiros o fizeram com relação ao modelo cinético-molecular. Ana Paula regressou, ao conceito apresentado na primeira verificação e Carla não explicitou o conceito de temperatura.</p> <p>(3) Carla, Cleiton, Eduardo e Samuel explicitaram a tendência ao equilíbrio térmico. Lara também se referiu ao equilíbrio térmico não como uma igualdade de temperatura mas como uma igualdade nos fluxos de calor. Os</p>

	<p>entre isolantes e condutores térmicos. De acordo com esse modelo, os isolantes perdem calor (por isso não queimam) e os condutores absorvem calor (por isso queimam).</p>	<p>calor” continua a ser utilizado pelo estudante. Pela percepção de seu estilo de aprendizagem, podemos inferir que essa foi uma regra de ação que o estudante credita grande valor como auxílio na resolução de problemas. O modelo apresentado na primeira coluna voltou a ser utilizados pelos estudantes. Além disso, percebemos uma forte tendência, por parte dos alunos, a relacionar o aquecimento com a “agitação das partículas”. A partir desse modelo, Carla e Samuel afirmam que a colisão entre as partículas “gera calor”, transferindo propriedades macroscópicas para as partículas, enquanto que Lara indica que as partículas podem aumentar a superfície de contato e produzir variações mais intensas de temperatura.</p>	<p>demais estudantes não revelaram a noção de equilíbrio térmico. (4) De uma forma geral, os estudantes revelaram conhecer que a intensidade do calor depende do material. Com relação a esse fato, Carla e Eduardo utilizaram um modelo que afirma serem os condutores capazes de variar mais intensamente a temperatura por transmitirem calor mais rapidamente, ao passo que os isolantes conduzem calor mais lentamente e, portanto, permanecem quentes por mais tempo.</p>
--	--	---	---

CAPÍTULO 05 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

*“a minha escola não tem personagem
a minha escola tem gente de verdade.”
(Renato Manfredini Júnior)*

O objeto desse trabalho foi a investigação das diferentes trajetórias de aprendizagem de estudantes de ensino médio ao longo de uma intervenção didática, conduzida por meio da aplicação de uma seqüência de ensino. Os modelos explicativos dos estudantes pesquisados foram investigados em quatro momentos distintos, desde o Pré-Teste até as Entrevistas, e podiam ou não estar em acordo com os modelos científicos. Utilizamos a teoria dos campos conceituais de Vergnaud como referencial teórico para a análise da evolução temporal dos conceitos e dos teoremas em ação dos estudantes ao longo das atividades de intervenção didática.

Partimos da premissa de que os estudantes constroem e reconstróem modelos explicativos para dar conta das situações enfrentadas ao longo do processo de aprendizagem de novos conceitos e da aquisição de novas habilidades. A evolução temporal desses modelos e a diversidade das trajetórias de aprendizagem dos estudantes que foram objeto dessa pesquisa pretendem fornecer elementos aos professores para o planejamento de atividades de intervenção didáticas de modo a facilitar a apropriação, por parte dos estudantes, dos conteúdos abordados.

Além disso, os resultados obtidos por essa pesquisa podem servir de inspiração para novas investigações, em outros tópicos de conteúdo das ciências naturais, contribuindo, portanto, para que o ensino com bases construtivistas possa, cada vez mais, atingir o chão da sala de aula e permitindo aos alunos maneiras mais significativas de se aproximar dos objetos de conhecimento.

Nesse texto, à guisa de conclusão, vamos retornar às questões de pesquisa, fornecendo a elas respostas possíveis à luz dos dados que obtivemos.

Indagações e verificações que apareceram ao longo da coleta dos dados serão revisitadas para a apresentação do que pode ser respondido. Por último, apresentaremos novos questionamentos, resultado de reflexões efetuadas durante a condução dessa pesquisa e que não haviam sido previstas em seu desenho inicial.

5.1 – Em busca de respostas

Essa pesquisa teve como objeto a análise do processo de ensino-aprendizagem em um curso introdutório de Física Térmica para alunos de ensino médio. Queríamos, a partir da diversidade de estilos, compromissos, ritmos, conhecimentos prévios, motivações e interesses dos estudantes, compreender como e se os modelos explicativos deles evoluem à medida que são submetidos a uma intervenção didática intencional, calcada na experimentação ativa e na discussão entre os pares.

5.1.1 – Construindo na diversidade

Os conceitos e teoremas em ação utilizados pelos estudantes pesquisados na atividade de Pré-Teste revelavam que eles utilizavam modelos explicativos bem distintos uns dos outros para os fenômenos térmicos. Alguns alunos, como Eduardo e Cleiton, já apresentavam uma noção de equilíbrio térmico, embora esse conceito ainda necessitasse de revisões. Outros, como Ana Paula, acreditavam na existência de uma temperatura natural para os objetos. Além disso, tínhamos alunos cujas explicações se apoiavam fortemente em uma causalidade linear, como é o caso de Carla, enquanto que Cleiton buscava explicações mais elaboradas, com a utilização de mecanismos causais e interação entre dois sistemas. Tínhamos, portanto, pontos de partida distintos para os sujeitos da pesquisa.

Toda essa diversidade se manifestou, também, na evolução das trajetórias de aprendizagem dos estudantes. As alunas que não conseguiram um grande êxito na aprendizagem dos conceitos relacionados com a Física Térmica, Flávia,

Lara e Ana Paula, foram as que menos participaram das discussões com a turma. Elas não revelavam seus modelos explicativos, aceitando as idéias dos outros. Tal aceitação, no entanto, parecia ser passiva, ou seja, não ocorria mediante reflexão, parecendo uma estratégia utilizada pelas estudantes para não expor seus pontos de vista. Essa atitude pode ser verificada ao longo dos episódios narrados no capítulo 04 e comprometeu sobremaneira a evolução dos modelos explicativos das citadas alunas. Comparada com as colegas, Lara ainda conseguiu alguma evolução em seus modelos explicativos. Ana Paula parecia não confiar em suas próprias explicações pois, em vários momentos, após enunciar algum comentário, mesmo que pertinente, acrescentar que o mesmo devia estar errado.

Por outro lado, Carla, Eduardo e Samuel foram os estudantes mais participativos, procurando sempre expor seus pontos de vista e construir modelos explicativos para os fenômenos que estavam sendo explorados. Carla não possuía, em seu repertório, esquemas lógicos tão refinados quanto os de Eduardo. Em suas explicações, a aluna se apoiava fortemente na lógica dos atributos, utilizando, por exemplo, a percepção tátil de quente e frio para enunciar propriedades térmicas dos objetos (“o metal é frio”). Samuel sempre apresentava seus modelos para o grupo, sem receio de estar errado. Em alguns momentos, questionava as colocações de Carla quanto ao conceito de calor. Apesar de conseguir evoluções mais consistentes do que as de Carla, Samuel também não obteve pleno êxito na compreensão da Física Térmica como campo conceitual. Já Eduardo conseguia, desde o início dos trabalhos, identificar a interação entre dois sistemas ou entre partes de um sistema e procurava explicações em que houvesse uma relação causal. Assim, apesar do caráter colaborativo dos citados estudantes e de podermos perceber evoluções importantes em seus teoremas e conceitos em ação, Eduardo conseguiu construir modelos explicativos mais gerais e em consonância com os fenômenos térmicos, enquanto que Samuel e Carla atingiram um patamar inferior em relação aos modelos conceituais da Física Térmica.

A participação de Cleiton nas discussões com o grupo era pontual,

geralmente quando havia alguma pergunta que os outros estudantes não conseguiam responder. Nesses momentos, Cleiton apresentava uma resposta conclusiva. Apesar de não participar intensamente das discussões, o estudante apresentou uma grande capacidade de modelagem. Isso pode ser verificado, por exemplo, no episódio 4 (p. 132), quando ele, utilizando-se do modelo cinético-molecular, explica o comportamento macroscópico de uma massa gasosa quando aquecida.

Portanto nos parece que os alunos que apresentam dificuldades em lidar com situações complexas podem aumentar suas possibilidades de aprendizado a partir da discussão ativa com os pares, como ocorreu com Carla ou Samuel. Nessas discussões, a tentativa de modelar as situações físicas e a comparação entre os modelos construídos pelos diversos estudantes foi uma ferramenta importante de aprendizagem dos conceitos científicos, como defendido por HESTENES (1996). Tal influência não é tão evidente no caso de Cleiton, dado seu estilo mais introspectivo. Esse aluno parece acompanhar atentamente as discussões entre colegas, pois em alguns casos mostra-se capaz de intervir com propriedade. Nossos dados não permitem, entretanto, afirmar o quanto ele se beneficia dessas interações, posto que participa com poucos turnos de fala.

5.1.2 – Análise das questões de pesquisa

A análise dos resultados obtidos por meio da aplicação e acompanhamento da seqüência de ensino e das entrevistas nos permite algumas interpretações que são respostas possíveis às questões levantadas no início dessa pesquisa.

Em relação à primeira pergunta de pesquisa, que questionava a existência de rotas preferenciais para as trajetórias de aprendizagem, verificamos uma grande diversidade entre os alunos pesquisados. A compreensão acerca do núcleo central da Física Térmica, ou seja, dos conceitos de calor, temperatura e equilíbrio térmico não ocorreu no mesmo tempo e nem na mesma seqüência para os sujeitos dessa pesquisa, nem tampouco todos obtiveram as mesmas construções.

É possível perceber que os alunos Eduardo e Cleiton conseguiram construir, corretamente, a distinção entre calor e temperatura já na primeira parte da seqüência de ensino, o que pode ser verificado pelas respostas apresentadas por eles no Teste 1 e por seu desempenho nas tarefas subseqüentes. Os dois estudantes revelaram, ao final da aplicação da seqüência de ensino, a construção de um todo conceitual coerente com os conceitos científicos da Física Térmica, revelando uma compreensão dos fenômenos térmicos acima da média da turma. A apresentação do modelo cinético de partículas forneceu, aos alunos citados, uma ferramenta importante para a integração dos conceitos relativos à Física Térmica. Entre os dois, Cleiton se destacou por conseguir uma compreensão mais generalizada acerca do modelo cinético-molecular e, com isso, fornecer explicações mais consistentes para os fenômenos térmicos.

Os alunos Samuel, Lara e Carla revelaram construções semelhantes às que Eduardo e Cleiton mostraram no teste 1 somente ao final da seqüência de ensino, conforme indicam suas respostas ao Teste 2. Esses alunos apresentaram alguma dificuldade para a integração dos conceitos da Física Térmica, mas conseguiram progressos em relação aos seus modelos explicativos iniciais. Para eles, a apropriação do modelo de partículas foi parcial. Ana Paula e Flávia não conseguiram construções no mesmo nível dos demais estudantes e passaram por todas as atividades praticamente sem alterar suas concepções iniciais.

Podemos supor que a distinção entre os conceitos de calor e temperatura e a sua relação com o equilíbrio térmico contribuiu para que os estudantes pudessem construir modelos explicativos coerentes e integrados para a Física Térmica como campo conceitual. Essa conclusão está baseada no fato de que, apesar de haver trajetórias de aprendizagem diferentes para cada estudante, aquelas que foram total ou parcialmente bem sucedidas no que diz respeito à compreensão da Física Térmica passaram pelo entendimento dos conceitos de calor e temperatura e aquelas que não lograram êxito foram justamente as das estudantes que não construíram tal distinção.

A segunda questão de pesquisa fazia menção ao modelo cinético de partículas como elemento central para a compreensão dos fenômenos térmicos.

Novamente, temos uma constatação de que os estudantes que compreenderam e aplicaram tal modelo de modo consistente e sistemático foram Eduardo e Cleiton. Samuel, Lara e Carla se apropriaram apenas parcialmente desse modelo e Ana Paula e Flávia não conseguiram utilizá-lo, sequer na geração de modelos mentais locais.

As passagens verificadas nas aulas 06 e 10, apresentadas no capítulo 04, ajudam a compreender a natureza das construções obtidas pelos alunos Eduardo e Cleiton. Na aula 06, eles, juntamente com Samuel, conseguem chegar à conclusão de que, se agitarmos um copo com água, sua temperatura deve aumentar em virtude do aumento da energia cinética das moléculas de água. Na aula 10, Cleiton argumenta que a moeda utilizada no experimento deve estar molhada para vedar a saída das partículas do ar que estavam dentro da garrafa, o que revela um modelo explicativo apoiado nas características do modelo de partículas. Esses dois estudantes (Eduardo e Cleiton) foram os que melhor compreenderam – e utilizaram – o modelo cinético de partículas em suas explicações. Além disso, suas trajetórias de aprendizagem foram as que lograram maior êxito na construção de um todo conceitual coerente para os fenômenos térmicos. Essa constatação nos permite estabelecer duas possíveis conclusões: (1) a apropriação do modelo de partículas contribuiu para a compreensão dos fenômenos térmicos ou (2) os alunos que já possuem uma melhor compreensão em Física percebem a vantagem em se utilizar o modelo cinético de partículas para explicar os fenômenos térmicos.

Quando analisamos as trajetórias dos demais estudantes, percebemos que o início de uma compreensão mais profunda dos fenômenos térmicos coincide com a apropriação, mesmo que parcial, do modelo de partículas. As estudantes Ana Paula e Flávia, que não se apropriaram de tal modelo, não conseguiram superar suas concepções iniciais. Essa constatação nos permite inferir que o modelo cinético de partículas pode contribuir de forma decisiva para uma melhor compreensão da Física Térmica como campo conceitual. Dessa forma, a utilização parcial do modelo de partículas conduz a modelos explicativos mais consistentes do que a sua não utilização. Podemos comparar os resultados das

entrevistas de Lara e Ana Paula, por exemplo, para verificar isso. Mesmo apresentando algumas explicações incorretas, como na atribuição de uma temperatura de equilíbrio entre o café a 95°C e o ambiente a 20°C como sendo “*um pouquinho abaixo da média, mais próximo de 20°C ”*, Lara revela conhecer que há uma interação entre os sistemas. Em seguida, quando o pesquisador apresenta outras situações, a aluna consegue concluir que a temperatura do ambiente vai variar bem menos do que a do café. Para Ana Paula, essa mesma pergunta não foi respondida corretamente, nem mesmo com a intervenção do pesquisador.

A compreensão do modelo de partículas por parte dos estudantes, no entanto, não é fácil e requer uma grande habilidade didática do professor. Estudantes que possuem um raciocínio centrado em características observáveis apresentam grande dificuldade em estabelecer um vínculo entre o modelo cinético-molecular e o comportamento macroscópico da matéria. Pudemos perceber, ao longo da aplicação da seqüência de ensino e nas entrevistas, alguns problemas de compreensão global desse modelo, como, por exemplo, a atribuição de características macroscópicas para as partículas. Além disso, o grupo de alunos que acompanhamos apresentou, desde a primeira atividade da seqüência de ensino, um modelo explicativo que relaciona a dilatação térmica com a repulsão entre as partículas, algo que não havíamos encontrado na literatura consultada e que foi discutida no episódio 4 (p. 134). Na análise do citado episódio, apresentamos uma possível explicação relacionada com a crença de que o movimento deve estar associado à aplicação de uma força. Esse modelo, embora falso no plano científico, parecia ser muito forte para os estudantes, o que pode ser verificado pelas intervenções dos estudantes frente ao modelo apresentado pelo professor. Uma possível conclusão que podemos tirar desse fato é a de que um professor necessita estar alerta para a emergência de tais modelos explicativos e procurar trazê-los para uma discussão com os alunos, apresentando situações em que eles conduzem a respostas insatisfatórias. Dessa forma, tais modelos podem ser reformulados pelos estudantes, em uma atividade que se assemelha ao que CLEMENT e OVIEDO (2003) chamam de “competição de modelos”.

Além disso, houve, por parte dos estudantes acompanhados, a construção de um modelo explicativo que relacionava o aquecimento ao “atrito entre as partículas”. Nos testes 1 e 2, havia perguntas que questionavam a possibilidade de aumentarmos a temperatura pela agitação. Em geral, os estudantes afirmavam que tal aquecimento era possível pelo fato de as partículas entrarem em atrito. Esse modelo possui um referente macroscópico cotidiano, uma vez que é comum esfregarmos as mãos para aquecê-las. Parece ter havido, portanto, uma transposição de características de sistemas macroscópicos para as partículas da matéria.

A terceira questão de pesquisa fazia menção ao papel desempenhado pelos modelos intermediários na compreensão da Física Térmica, ou seja, queríamos saber se esses modelos intermediários podem fornecer a base conceitual para novas construções por parte dos estudantes ou, ao contrário disso, representar obstáculos epistemológicos e ontológicos a novas aquisições. A seqüência de ensino foi construída com a intenção de possibilitar ao estudante rever seus modelos explicativos ao longo do processo, em atividades que iriam colocando em xeque algumas das concepções alternativas mais comuns. Para que essas atividades tivessem êxito, era necessária a participação ativa do sujeito, em uma constante reavaliação de suas concepções, ou seja, os estudantes deveriam testar seus conhecimentos acerca da Física Térmica e avaliar a pertinência deles para a explicação do que estava sendo discutido.

Os alunos que se mostraram abertos a tais reavaliações foram aqueles que, de alguma maneira, obtiveram uma melhoria em seus conhecimentos. Para eles, os modelos intermediários foram, progressivamente, reconstruídos e aprimorados. Novamente, Ana Paula e Flávia não superaram os modelos apresentados inicialmente. Esse fato nos leva a crer que (1) seus modelos explicativos eram de tal forma arraigados que as atividades desenvolvidas não apresentaram elementos fortes o suficiente para levar a uma reavaliação das suas concepções, (2) não havia um compromisso com novas aprendizagens e, portanto, as atividades propostas na seqüência de ensino não as motivaram a rever seus pontos de vista ou (3) os conceitos apresentados pela seqüência de

ensino exigiam um nível de abstração incompatível com o atual nível de desenvolvimento cognitivo, o que as impediu de reconhecer a Física Térmica em geral e o modelo cinético-molecular em particular como um corpo teórico capaz de dar respostas coerentes para fenômenos térmicos cotidianos. A análise dos episódios apresentados na seção 4.1 nos leva a supor que a hipótese (2) é a mais coerente, uma vez que Ana Paula sempre queria “preencher relatórios” o mais rápido possível e não se envolvia nas discussões de forma ativa como os outros estudantes, enquanto que Flávia permanecia alheia às discussões e às atividades que deveriam ser desenvolvidas pelo grupo.

Em nossa pesquisa, verificamos para dois dos estudantes acompanhados (Lara e Samuel) resultados menos favoráveis na entrevista do que no Teste 2. Tal resultado pode ser interpretado de diversas maneiras. Uma primeira interpretação consiste em atribuir tal diferença às características dos instrumentos de pesquisa, uma vez que as situações de entrevista envolviam, para sua solução, elaboração conceitual de maior complexidade do que aquelas apresentadas no Teste 2. Uma segunda interpretação consiste em dizer que a regressão é decorrente de uma aprendizagem insuficientemente consolidada. Conceitos não sistematizados, formulados ainda com insuficiente abstração e generalidade que vão sendo, pouco a pouco, esquecidos ou relegados a um segundo plano no repertório de conhecimentos dos estudantes. As duas interpretações não são incompatíveis e, ao nosso ver, constituem fatores que explicam a “regressão” dos modos de entendimento dos estudantes passados alguns meses do estudo do tema.

5.2 – Reflexões acerca do processo ensino-aprendizagem

A partir das considerações apresentadas no tópico anterior, podemos pensar nas implicações didáticas dos resultados dessa pesquisa.

5.2.1 – A distinção entre calor e temperatura e o modelo cinético-molecular

Com relação à questão das rotas preferenciais de construção de

significados, podemos concluir que a compreensão dos conceitos de calor, temperatura e equilíbrio térmico contribui decisivamente para que o entendimento da Física Térmica como campo conceitual seja rico e permite que os estudantes construam, mais facilmente, modelos explicativos para os fenômenos térmicos em consonância com os modelos científicos. Além disso, a apropriação do modelo de partículas fornece elementos importantes para construção de totalidades, ou seja, permite que os diversos conceitos utilizados pela Termodinâmica se integrem e forneçam respostas coerentes para os fenômenos térmicos. As atividades de intervenção didática, portanto, podem se valer desse conhecimento para a construção de materiais que privilegiem essa rota.

Encontramos, no mercado, livros-texto que apresentam os conceitos de temperatura, calor, equilíbrio térmico e o modelo cinético de partículas em pontos diferentes e que não permitem o diálogo entre eles. A nosso ver, tal separação é indesejável e não contribui para uma real compreensão da Física Térmica. Em nossa seqüência de ensino, fizemos uma organização que privilegiou o desenvolvimento conjunto desses conceitos e enfatizando a relação entre eles, o que se revelou muito produtiva para a turma, em geral. Mesmo não sendo atribuídos pontos, os alunos da sala pesquisada quiseram se submeter à avaliação final aplicada nas demais turmas da segunda série do colégio e o resultado por eles obtido foi significativamente superior⁵³. Apesar de o foco dessa pesquisa não ser a comparação de resultados entre as diversas estratégias de intervenção didática, esse fato apresenta um elemento a mais a favor da utilização do modelo de partículas para a integração dos fenômenos térmicos.

5.2.2 – Os diferentes estilos de aprendizagem

Uma das conclusões mais diretas que podemos tirar a partir da análise dos dados dessa pesquisa é que a sala de aula é um ambiente em que convivem os

⁵³ A média das turmas, excluindo a turma pesquisada, foi de cerca de 74%. A média da turma pesquisada foi de 87%. Esse resultado foi muito significativo, uma vez que alguns assuntos como, por exemplo, as transformações gasosas, não foram exploradas na seqüência de ensino e, mesmo assim, tiveram resultados muito bons.

mais diversos estilos, compromissos e interesses. Cada estudante apresenta uma relação distinta com o saber, o que torna o processo de ensino-aprendizagem multifacetado, uma vez que são muitas as variáveis que influenciam em seu resultado acadêmico.

Mesmo que os estudantes apresentem estilos de aprendizagem iguais, isso não significa que seus esquemas de resolução de problemas sejam iguais, nem tampouco que as trajetórias de aprendizagem sigam rotas comuns. Por exemplo, Cleiton e Lara foram identificados como sendo, ambos, Divergentes. No entanto, o nível de aproveitamento dos dois estudantes foi, notadamente, diferente. A questão dos estilos de aprendizagem nos remete ao desenho de situações de ensino que possam aumentar as possibilidades de aprendizado por parte dos estudantes e, não, ao aprendizado que será efetivamente conseguido.

Portanto, acreditamos que reconhecer a existência de diversos estilos de aprendizagem é importante para que o professor possa planejar atividades diversificadas, que atendam às diversas demandas dos estudantes, permitindo o engajamento de um maior número deles. Essa diversificação não deve, no entanto, ser encarada como um reforço a certas características individuais dos sujeitos e, sim, como um elemento motivador para que os estudantes possam construir o seu conhecimento.

5.2.3 – A avaliação de aprendizagens e a nota

Outra questão que merece destaque é a relação entre o aluno e a nota. Já na atividade de abertura os alunos revelaram uma grande estranheza em relação ao pré-teste e perguntavam se a atividade ia “valer ponto”. Já havíamos combinado que as atividades não valeriam nota e, mesmo assim, os alunos ficaram com um certo receio em apresentar suas respostas. O mito que é criado em torno da avaliação como certificação de aprovação é prejudicial para o maior objetivo a que se destinam os processos avaliativos que é o de verificação de aprendizagens. O aluno se sente desconfortável em apresentar seus pontos de vista, uma vez que eles podem ser usados para a composição de uma determinada nota que vai decidir a sua progressão ou não para a série seguinte.

Assim, os processos ilícitos utilizados para a obtenção de respostas consideradas adequadas são uma resposta à necessidade de aprovação naquele ano letivo e revela algumas das incoerências do processo avaliativo.

Por outro lado, é muito difícil que esse vínculo com as notas seja quebrado pois representa um dos mais fortes elos de ligação entre a família e a escola. Na condução da pesquisa, acreditamos ter conseguido uma significativa adesão dos alunos pela relação de confiança construída no primeiro semestre do ano de 2003. Mesmo assim, alguns poucos estudantes não se empenharam na consecução das tarefas justamente porque elas não “valiam ponto”. Cremos que se a pesquisa fosse aplicada no começo do ano, sem que nos conhecêssemos, não teríamos conseguido resultados tão satisfatórios como aqueles que foram obtidos.

5.2.4 – Os Campos Conceituais de Vergnaud

Vergnaud utiliza a sua teoria dos campos conceituais para a investigação das estruturas multiplicativas. Essa teoria não foi concebida no âmbito da Física, sendo esta uma aplicação que fizemos dos pontos mais pertinentes da teoria de Vergnaud para a pesquisa em ensino de Física.

A preocupação que Vergnaud tem com o sujeito-em-situação é um ponto forte de sua teoria e pode ser aplicada em qualquer tópico das ciências naturais. Essa preocupação encontra eco nas necessidades de se acompanhar os alunos enquanto aprendem, procurando, nos conceitos e teoremas em ação, a evolução temporal de seu conhecimento. Essa busca exige uma forte imersão no universo da pesquisa e faz com que o pesquisador esteja atento ao contexto de cada enunciação por parte do estudante.

Além disso, pelo fato de ser uma teoria complexa, em que diversos conceitos devem considerados para que o sujeito possa dar conta de uma certa situação, a teoria dos campos conceituais permite ao professor pensar seu objeto de ensino de forma mais global. Os conceitos estudados, o nível de profundidade das abordagens e as avaliações das aprendizagens podem ser planejados a partir

da seleção das situações que deverão ser enfrentadas pelos estudantes, ao longo de um determinado período de tempo.

Portanto, a utilização da teoria dos campos conceituais como referencial teórico para pesquisas em que se quer focar o sujeito em ato ou na construção de planejamentos didáticos por parte do professor se constitui em uma ferramenta poderosa, que auxilia no desenho de situações de ensino e na análise da evolução temporal dos modelos explicativos dos sujeitos a partir da verificação dos conceitos e teoremas em ação utilizados.

Outro aspecto favorável é que a teoria de campos conceituais lida, não apenas com conceitos já formalizados e consolidados pelo sujeito, mas também e sobretudo com conhecimentos em via de formalização. Esse aspecto garante que possamos identificar, em situações problema, os modos de compreensão dos estudantes em processo de formação. A desvantagem da teoria para os propósitos dessa pesquisa é o fato de não apresentar categorias gerais que permitam identificar estados de conhecimento e, assim, representar essa evolução temporal das aprendizagens.

5.3 – Questões em aberto

Ao longo da aplicação da seqüência de ensino, na condução das entrevistas e na análise dos resultados, nos deparamos com questões não previstas no desenho inicial da pesquisa, cujo tratamento demandaria ou uma abertura do objeto ou uma mudança do mesmo. Resolvemos não fazer nem uma coisa, nem outra.

Portanto, há questões que não foram tocadas nessa pesquisa, mas que os dados levantados permitem outras investigações e novas conclusões.

- (1) Tivemos evidências de que um ambiente de ensino que privilegia interações entre estudantes, sobretudo com diferentes habilidades escolares, com a mediação do professor, favorece a aprendizagem. Apesar

disso, nosso estudo não investigou como são elaborados novos significados no ambiente social da sala de aula, e sim a apropriação, por parte de estudantes, considerados individualmente, de tais significados. A passagem do plano social, em que os significados emergem das interações com os outros para o plano individual, de construções endógenas por parte de cada aprendiz, é uma questão de pesquisa que ficou além deste projeto.

- (2) A identificação dos estilos de aprendizagem não foi feita com o rigor metodológico que gostaríamos e, por isso, consideramos que essa seja uma questão em aberto. Não conseguimos construir instrumentos e metodologia confiáveis para a identificação dos estilos de aprendizagem dos estudantes pesquisados e, portanto, não foi possível o estabelecimento da relação entre tais estilos e as trajetórias de aprendizagem dos sujeitos. A nosso ver, para proceder a tal categorização precisamos contar com uma triangulação de diferentes procedimentos de pesquisa tais como observação participante, acompanhamento de estudantes no desempenho de tarefas específicas envolvendo problemas abertos, respostas a questionários e entrevista.

5.4 – À guisa de conclusão

Durante os dois anos e meio em que estivemos formulando as bases, aplicando e analisando os dados da pesquisa pudemos perceber como são complexos os caminhos que levam – ou não – um sujeito a compreender um conceito físico. Essa complexidade e singularidade dos processos cognitivos revelam a grande preocupação que nós, professores, devemos ter na condução das aulas. Não há padrões de abordagem porque não há alunos padronizados. Não há receitas de sucesso porque os interesses, os compromissos, as crenças, as concepções são pessoais.

Portanto, a construção de uma prática educativa que dê voz ao estudante,

para que o mesmo possa revelar – sem medo de ser punido com notas ou conceitos baixos – suas concepções, suas crenças, seus modelos explicativos é de fundamental importância para se obter maior êxito em relação às aprendizagens. A união das análises dos resultados obtidos em pesquisas que utilizam referenciais teóricos distintos fornece um retrato mais fiel da realidade da sala de aula e permite a construção de um planejamento de atividades de intervenção mais próximo das realidades dos estudantes. Por fim, é importante que o professor reconheça essa diversidade de estilos, de compromissos, de resultados de pesquisas e utilize-a, de forma crítica e responsável em sua prática pedagógica.

Creemos ter conseguido aprender que somente na diversidade é que vamos construir práticas educativas verdadeiras, que alcancem o objetivo maior que é permitir que os estudantes se tornem autônomos. Esse é nosso desejo como professores. Essa é nossa missão como educadores.

BIBLIOGRAFIA

AGUIAR JR., O. (1999). Calor e Temperatura no Ensino Fundamental: Relações entre o Ensino e a Aprendizagem numa Perspectiva Construtivista. *Investigações em Ensino de Ciências*, v.4, n.1, p.1-15. Publicação Eletrônica: www.if.ufrgs.br/public/ensino.

AGUIAR JR., O. (2001). Modelo de Ensino para Mudanças Cognitivas: um instrumento para o planejamento do ensino e a avaliação da aprendizagem em ciências. Belo Horizonte: Faculdade de Educação, UFMG. (Tese, Doutorado).

AGUIAR JR., O. e SARAIVA, J. F. (1999). Modelo de Ensino para Mudanças Cognitivas: Planejamento e Diretrizes de Pesquisa. *Ensaio*, v.1, n° 1. Belo Horizonte: Faculdade de Educação. pp 47 – 67.

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

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

AURANI, K. M. (1985). Ensino de Conceitos: *Estudo das origens da 2ª Lei da Termodinâmica e do Conceito de Entropia a partir do Século XVIII*. São Paulo: Faculdade de Educação, USP. (Dissertação, Mestrado).

ASTOLFI, J. P., DEVELAY, M. (1991). *A Didática das Ciências*. Campinas: Papirus. 2ª ed.

BACHELARD, G. (1996). *A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento*. Trad. Estela S. Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto. (Edição original publicada em 1938).

BEN DOV, Y. (1996). *Convite à Física*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor.

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

BITTAR, M. (2002). A Teoria dos Campos Conceituais e o Ensino de Vetores no Ensino Secundário Francês. Disponível em <http://www.anped.org.br/25/excedentes25/marilenabittart19.rtf> (acesso em 27/07/2004).

BORGES, A. T., GILBERT, J. K (1999). Mental models of electricity. *International Journal of Science Education*, v. 21, n.1, p. 95-117.

BRASIL (1996). Ministério da Educação e Cultura. *Lei de Diretrizes e Bases da Educação*. Brasília: MEC.

CÁRDENAS, M., LOZANO, S. R. (1996) Explicaciones de procesos termodinámicos a partir del modelo corpuscular: una propuesta didáctica. *Enseñanza de las ciencias*. v. 14. n. 3. p. 343-349.

CARVALHO, A. M. P., FERNANDEZ NETO, V., SILVA, D. (1998). Ensino da distinção entre calor e temperatura: Uma visão construtivista. In: *Questões atuais no ensino de ciências*. NARDI, Roberto (org.). São Paulo: Escrituras. p. 91-75.

CARVALHO, JR. G. D. (2002). As concepções de ensino de física e a construção da cidadania. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*. v. 19, n.1: p. 53-66, abr.

CARVALHO JR., G.D. e AGUIAR JR., O. (2003). Ensino de Física Térmica: Uma Abordagem do Modelo de Partículas. In: Garcia, Nilson M. D. (org.). *Atas do XV Simpósio Nacional de Ensino de Física*. Curitiba : CEFET-PR, 2003. p. 745 a 755. 1 CD-ROM.

CARRAHER, T. N. (1998). O Método Clínico: *usando os exames de Piaget*. São Paulo: Cortez Editora.

CASTIÑEIRAS, J. M. D., BUENO, A. P e FERNANDEZ, E. G. R (1998). Las Partículas de la Materia y su Utilización en el Campo Conceptual de Calor y Temperatura: Un Estudio Transversal. *Enseñanza de las Ciencias*. v.16, n. 3, p. 461-475.

CASTORINA, J. A. et all (1998). Piaget en la Educación: *Debate en torno de sus aportaciones*. México: Piados.

CLEMENT, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. In: *International Journal of Science Education*. Vol. 22, n 9, p. 1041-1053.

CLEMENT, J. e OVIEDO, M. C. N.(2003). Model Competition: *A Strategy Based on Model Based Teaching and Learning Theory*. Proceedings of NARST. Philadelphia.

COULON, A (1995). *Etnometodologia e Educação*. Petrópolis: Vozes.

DAVIS, J. (2001). Conceptual Change. In: OREY, M. (ed.). *Emerging perspectives on learning, teaching, and technology*. Disponível em: <http://www.coe.uga.edu/epltt/conceptualchange.htm>

DOMÉNECH, J. L. et al. (2003). La Enseñanza de la Energía: Una Propuesta de Debate para un Replanteamiento Global. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v.20, n.3: p.285-311, dez.

DUIT, R., GLYNN, S (1996). Mental Models. In: WELFORD, G., OSBORNE, J., SCOTT, P. *Research in Science Education in Europe: Current issues and themes*. Londres: The Folmer Press. p. 166-76

EINSTEIN, A. e INFELD, L. (1980). *A Evolução da Física*. Rio de Janeiro, 4ª ed., Zahar Editores.

ERICKSON, F. (1998). Qualitative Research Methods for Science Education. In: FRASER, B. J. e TOBIN, K. G. (Eds.). *International Handbook of Science Education*, Great Britain: Kluwer Academic Publishers, p. 1155-1173.

ERICKSON, G. (1979). Children's conceptions of heat and temperature. *Science Education*, v63, n. 2, p. 221-230.

ERICKSON, G., TIBERGHIE, A. (1989). Calor e temperatura. In: DRIVER, R., GUESNE, E., TIBERGHIE, A. (Eds.). *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: Morata, p. 89-93.

FELDER, R. M., SALOMON, B.A. (1998). *Learning Styles and Strategies*. Traduzido por Marcius F. Giorgetti e Nidia Pavan Kuri. Disponível em http://www.lcmi.ufsc.br/labsil/como_estudar.html. São Paulo.

FELDER, R. M., SILVERMAN, L. K. (1988) *Learning and Teaching Styles in Engineering Education*. *Engr. Education*, 78(7), 674-681.

FRANCO, C. et al (1999). From scientists' and inventors' minds to some scientific and a technological products: relationships between theories, models, mental models and conceptions. *International Journal of Science Education*, v. 21, n.3, p. 227-291.

FROTA, M. C. R. (2002). O Pensar Matemático no Ensino Superior: Concepções e Estratégias de Aprendizagem dos Alunos. Belo Horizonte: Faculdade de Educação, UFMG. (Tese, Doutorado).

GARCIA, R. (2002). *O Conhecimento em Construção*. São Paulo: Artmed.

GAMOW, G. (1961). *Biography of Physics*. New York: Harper & Row.

GOBERT, J. D. e BUCKLEY, G. C. (2000). Introduction to Model-Based Teaching and Learning in Science Education. *International Journal of Science Education*. vol.22, n. 9. p. 891-894.

GRECA, I. M. e MOREIRA, M. A. (2002). Além da Detecção de Modelos Mentais dos Estudantes: Uma Proposta Representacional Integradora. *Investigações em Ensino de Ciências*, v.7, n.1. Publicação Eletrônica: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>.

GUESNE, E., TIBERGHIE, A., DELACOTE, G. (1978). Methodes et resultats cocnernant l'analyse des conceptions des élèves dans differents domaines de la physique. Deux exemples: les notions de chaleur et lumière. *Revue Française de Pédagogie*, n. 45, p. 25-32.

HAINER, E. V. et al (1990). Integrating Learning Styles and Skills in the ESL Classroom: *An Approach to Lesson Planning*. NCBE Program Information Guide Series, n. 2.

HALBWACHS, F. (1974). Sobre los problemas de la causalidad física. In: MONOD et al. (eds.). *Epistemología y marxismo*. Barcelona: Ediciones Martínez Roca, p. 45-70.

_____ (1977). Historia de la explicación en las Ciencias. In: PIAGET, J. (ed.). *La explicación en las ciencias*. Barcelona: Ed. Martinez Roca, cap. 4.

HEWSON, P. W., BEETH, M. E., e THORLEY, N. R. (1998). Teaching for conceptual change. In TOBIN, K. G. e FRASER, B. J. (eds.), *International Handbook of Science Education* (pp. 199-218). Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

HESTENES, D. (1996). Modeling Methodology for Physics Teachers. Proceedings of the International Conference on Undergraduate Physics Education.

HODSON, D. (1988). Experimentos em ciências e no ensino de ciências. *Educational Philosophy and Theory*. 20 (2), 53-66. 1988.

KEMPA, R.F. e DIAZ, M.M. (1992). Motivational traits and preferences for different instructional modes in science, Part 2, *International Journal of Science Education*, 12 12(2), 205-216.

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

KOLB, D. A. (1984). *Experiential Learning: Experience as the source of learning and development*. New Jersey: Prentice Hall.

LABURU, C. E. e CARVALHO, A. M. P. (1995). Uma descrição da forma do pensamento dos alunos em sala de aula. In: *Revista Brasileira de Ensino de Física*. São Paulo. (n.3): 243-244, set.

LABURU, C. E., SILVA, D., CARVALHO, A. M. P. (2000). Analisando uma Situação de Aula de Termologia com o Auxílio do Vídeo. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. volume 22. São Paulo. (n.1): 100-105, mar.

LAJONQUIÈRE, L. (1992). Acerca da instrumentação prática do construtivismo: a (anti)pedagogia piagetiana, ciência ou arte? *Caderno de Pesquisa*, n. 81, p. 61-66.

LEACH, J., SCOTT, P.(2002). Designing and evaluating science teaching sequences: An approach drawing upon the concept of learning demand and a social constructivist perspective on learning. *mai*.

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

KAPER, W. H. e GOEDHART, M. F. (2002). "Forms of Energy", na intermediary language on the road to thermodynamics? Part I. *International Journal of Science Education*. V.24, n. 1, p. 81-95.

KUHN, T. S. (2003). A Estrutura das Revoluções Científicas. 8ª ed. São Paulo: Perspectiva.

LITZINGER, M. E., OSIF, B. (1993). Accommodating diverse learning styles: Designing instruction for electronic information sources. In *What is Good Instruction Now? Library Instruction for the 90s*. ed. Linda Shirato. Ann Arbor, MI: Pierian Press.

MACHADO, C. S., PALHANO, M. D. M., PECONICK M. L., ÁVILA, V. A. (2001). Estilos de Aprendizagem – Uma Abordagem Utilizando o ILS – Index of Learning Styles. *ENEGEP 2001- Anais e Resumos*. Salvador, p.18. Publicação eletrônica: <http://www.cdigital.com.br/cesar/artigos/ils.htm>

MATURANA, H. R. e VARELA, F. J. (2003). A Árvore do Conhecimento: *As Bases Biológicas da Compreensão Humana*. São Paulo: Ed. Palas Atena. 3ª ed.

MILLAR, R. (1986). Um currículo voltado para a compreensão de todos. *Science School Review*. v.77. n.280: 7-18. 1996.

MILLAR, R. , OSBORNE, J. (eds) (1998). *Beyond 2000: Science education for the future*. Nuffield Foundation.

MOREIRA, A. F. (2003). Práticas de Interpretação em Ambientes de Aprendizagem de Física. Belo Horizonte: Faculdade de Educação, UFMG. (Tese, Doutorado).

MOREIRA, M. A. e AXT, R. (1991). *Tópicos em ensino de Ciências*. Porto Alegre: Sagra.

MOREIRA, M. A. (2002). A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, o Ensino de Ciências e a Pesquisa Nesta Área. *Investigações em Ensino de Ciências*, v.7, n.1. Publicação Eletrônica: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>.

MORTIMER, E. F. (1996). Construtivismo, Mudança Conceitual e Ensino de Ciências: Para Onde Vamos? *Investigação em Ensino de Ciências*. v.1. n.1. Publicação Eletrônica: www.if.ufrgs.br/public/ensino.

NERSESSIAN, N. J. (1992). How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science. In Giere, R. N. (ed.) *Cognitive Models of Science*. University of Minnesota Press. Minneapolis, MN. 3--45.

OLIVEIRA, M. B. e OLIVEIRA, M. K. (1999). *Investigações Cognitivas. Conceitos, Linguagem e Cultura*. Porto Alegre: Artmed.

PERRENOUD, P. (2000). *Dez novas competências para ensinar*. Trad. Patrícia C. Ramos. Porto Alegre: Artes Médicas.

PIAGET, J. (1985). *The Equilibration of Cognitive Structures*. Chicago: The University of Chicago Press.

_____ (1995). *Abstração Reflexionante*. Porto Alegre: Artes Médicas.

_____ (2002). Epistemologia Genética. São Paulo: Martins Fontes.

PIAGET, J., GARCIA R. (1984). Psicogênese e historia de la ciencia. 2. ed. México: Siglo Veintiuno Editores.

SCIARRETTA, M. R., STILLI, R. e MISSONI, M. V. (1990). On The Thermal Properties of Materials: common-sense knowledge of Italian students and teachers. *International Journal of Science Education*. v. 12, n. 4, p. 369-379.

SEQUEIRA, M. e LEITE, L. (1991). Alternative Conceptions na History of Science in Physics Teacher Education. *Science Education*. 75 (1):45-56.

SILVA, D. (1995). *Estudos das trajetórias cognitivas dos alunos no ensino da diferenciação dos conceitos de calor e temperatura*. Tese de Doutorado. São Paulo, Faculdade de Educação – USP.

SOUSA, C.M.S.G. e FÁVERO, M.H. (2002). Análise de uma Situação de Resolução de Problemas de Física, em Situação de Interlocução entre um Especialista e um Novato, à Luz da Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud. *Investigações em Ensino de Ciências*. v.7, n.1. Publicação Eletrônica: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>.

TEIXEIRA, O., CARVALHO, A. M. (1998). O ensino de calor e temperatura. In: NARDI, R. (org.). *Pesquisas em ensino de física*. São Paulo: Escrituras, p. 47-60.

TIBERGHEN, A. (2000). Design teaching situations in the secondary school. In: MILLAR, R. LEACH, J. e OSBORNE, J. *Improving science education: contribution of research*. Buckingham: Open University Press. p. 27-47.

VERGNAUD, G. (1990). La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 10 (23): 133-170.

VERGNAUD, G. et al. (1990). Epistemology and psychology of mathematics education. In NESHER, P. & KILPATRICK, J. (Eds.) *Mathematics and cognition: A research synthesis by International Group for the Psychology of Mathematics Education*. Cambridge: Cambridge University Press.

VERGNAUD, G. (1993). Teoria dos campos conceituais. In NASSER, L. (Ed.) *Anais do 1º Seminário Internacional de Educação Matemática do Rio de Janeiro*. p. 1-26.

VERGNAUD, G. (1998). A Comprehensive Theory of Representation for Mathematics Education. *Journal of Mathematical Behavior*, n. 17, v. 2, p. 167-181.

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

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

WARREN, J. W. (1972). The Teaching of the concept of heat. *Physics Education*. v. 7, p. 41-44.

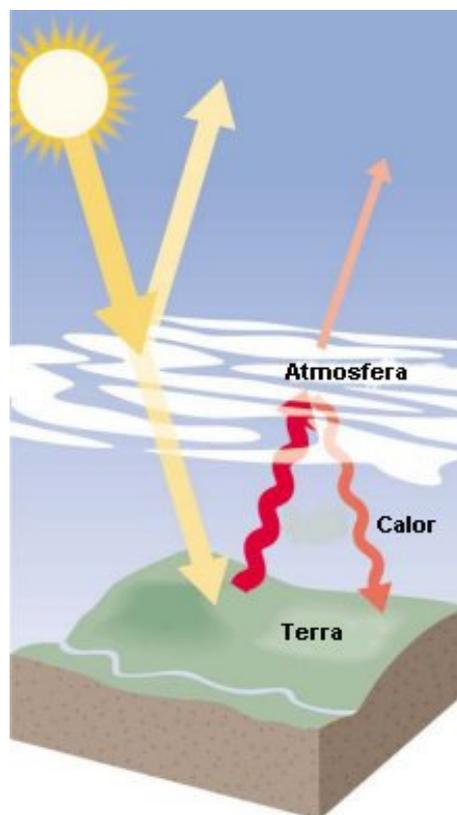
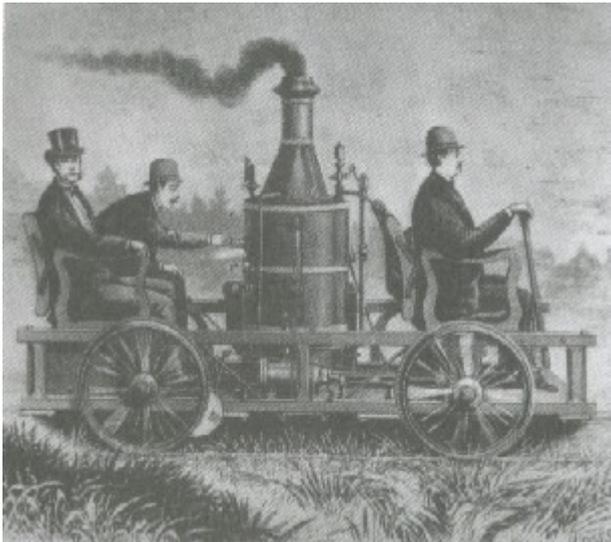
WELLS, M. HESTENES, D. e SWACKHAMER, G. (1995). A Modeling Method for High School Physics Instruction. *American Journal of Physics*. 63 (7). p.606-619.

WILENSKY, U. e RESNICK, M. (2002). Thinking in Levels: A Dynamic Systems Approach to Making Sense of the World. *Journal of Science Education and Technology*. V.8. n.1.

ZEMANSKY, M. W. (1970). The Use and Misuse of the Word "Heat" in Physics Teaching. *The Physics Teacher*. v. 8, p. 295-300.

Anexo I
A Seqüência de Ensino

O maravilhoso mundo da termodinâmica



Apresentação

Caro aluno,

Você está iniciando, neste momento, uma viagem pelo mundo da Física Térmica. Vamos investigar os aspectos gerais de alguns dos conceitos mais importantes de nossa vida como, por exemplo, energia, calor e trabalho. As questões de obtenção e consumo de energia estão presentes em todos os jornais e revistas, sendo uma discussão atual e de vital importância para a definição dos rumos do nosso planeta.

O nosso objetivo é fornecer elementos para que você possa compreender a lógica de organização dos conceitos relacionados com os fenômenos térmicos, entendendo as suas implicações para o desenvolvimento das sociedades em geral.

Esta seqüência de ensino está dividida em três seções:

- 1) Introdução:** na qual é apresentado um texto que fala sobre todo o assunto que será explorado na Termodinâmica.
- 2) Levantando Suspeitas:** esta unidade é dedicada à investigação de algumas características das relações entre calor e temperatura. O objetivo é iniciar a discussão a respeito dos conceitos básicos da Física Térmica.
- 3) Vendo além dos olhos:** nesta unidade, teremos o contato com o modelo de partículas, com a construção de suas características fundamentais e suas implicações para a compreensão dos conceitos básicos de calor e temperatura.

Ns duas seções, teremos a oportunidade de trabalhar com (A) atividades práticas, (B) leituras que revelem aspectos teóricos dos conteúdos.

(A) nas atividades práticas cada um poderá verificar algumas facetas do conceito físico que teremos que compreender. Em tais atividades, a sua participação ativa será fundamental. É através delas que os conceitos e as relações farão mais sentido. Como conclusão destas atividades, haverá sempre um momento para discussão em que a intervenção do professor se fará fundamental para sistematizar o que está sendo trabalhado.

(B) as leituras são colocadas após um certo grupo de atividades para apresentar elementos novos à discussão e/ou terminar a sistematização das atividades práticas. Nelas, teremos um aprofundamento teórico, com a apresentação da formulação matemática relacionada aos conceitos estudados.

A eficiência dessa seqüência irá depender em muito de sua aplicação na realização das atividades propostas.

Esperamos que a condução da seqüência de ensino seja muito proveitosa e cheia de descobertas interessantes e significativas para todos!

Um grande abraço a todos

Gabriel Dias de Carvalho Júnior

ÍNDICE

Seção I – Introdução

Atividade de abertura	203
Leitura 01 – Um pouco de história	204

Seção II – Levantando Suspeitas

O objeto de estudo da Física Térmica	209
Para quê serve isso?	209
Quais são os elementos da Física Térmica?	209
Atividade 01 – O que é o quente e o frio?	210
Atividade 02 – Mesma temperatura?	210
Atividade 03 – O frio pode ser quente?	211
Atividade 04 – Temperatura constante?	211
Atividade 05 – Mesmo aquecimento?.....	212
Atividade 06 – Aquecendo sem calor	212
Leitura 02 – Procurando explicações	
Análise das atividades	213

Seção III - Vendo Além dos olhos

É possível ver a matéria por dentro?	216
Mandamentos do Modelo de Partículas	218
Atividade 07 – Examinando os movimentos das partículas	219
Atividade 08 – Brincando com molas e pessoas	220
Leitura 03 – Vendo além dos olhos	
1. Uma provocação	221
2. Revendo o modelo de partículas	222
Atividade 09 – Livre caminho médio	223
Atividade 10 – Movimento browniano	224
Atividade 11 – Trabalhando com a desordem	225
Leitura 04 – Entendendo a (dês)organização da natureza	
1. Evidências	225
2. A Entropia – uma nova grandeza para entender o destino do Universo	226
3. Texto Legal	228

ATIVIDADE DE ABERTURA:

Vamos iniciar o curso de Física Térmica e, para isso, necessitamos conhecer o que você pensa a respeito de alguns conceitos. O pré-teste apresentado a seguir deve ser respondido individualmente, para que possamos realizar um diagnóstico mais preciso dos pontos que necessitarão de maior cuidado ao longo da realização deste curso. Mais tarde, quando trabalharmos com os conceitos, você terá oportunidade de rever as suas posições e confrontá-las com os conceitos físicos. O tempo destinado a essa primeira atividade é de 1 aula. Portanto, você terá tempo suficiente para refletir sobre as perguntas propostas e formular as suas respostas que julgar adequadas. Esperamos que as respostas possam revelar os modelos explicativos de cada um. Bom trabalho!

01) O que é temperatura para você?

02) O que você entende por calor?

03) Uma pessoa está afiando uma faca. As faíscas que saem da faca estão muito quentes. No entanto, quando elas tocam a pele da pessoa, não produzem queimaduras. Se a faca estivesse nessa temperatura e fosse encostada na pele da pessoa, produziria queimaduras mais graves. Explique o motivo dessa diferença.

04)

A) Sempre que vamos medir a temperatura corporal de alguma pessoa, deixamos o termômetro em contato com a pele da pessoa por cerca de 2,0 minutos. Qual o motivo deste procedimento?

B) Uma pessoa afirmou o seguinte: "Se você deixar o termômetro por muito tempo, a temperatura por ele marcada será maior do que a real". Você concorda com essa afirmação? Justifique.

05) Por que o café fervente se resfria depois de algum tempo na xícara?

06) Uma porta de madeira possui uma maçaneta metálica e está em um ambiente que se encontra a 25°C. Uma pessoa coloca uma das mãos na porta e a outra na maçaneta e tem a impressão de que a maçaneta está mais fria. Responda se essa impressão é correta. Justifique a sua resposta.

07) Um vidro de perfume é deixado aberto em um quarto fechado. Após algum tempo, o quarto todo está "perfumado". Como você explica este fato? Faça um esquema que ilustre a sua explicação.

Leitura 01: Um Pouco de História.

A evolução histórica das idéias acerca dos fenômenos térmicos é rica em teorias, discussões e construções humanas, que em muito colaboraram para o desenvolvimento das atuais máquinas térmicas presentes em nosso mundo. Até o século XVIII, a física newtoniana reinava absoluta como forma de explicação dos fenômenos que podiam ser observados. A forma de estudo da mecânica de Newton levava em consideração o modelo analítico de Descartes, segundo o qual devemos dividir o objeto estudado em suas menores partes, compreendê-las e, assim, teremos uma compreensão do todo. Com a introdução da termodinâmica no século XIX, foi possível se estabelecer uma nova maneira de trabalhar com “*princípios gerais que permitem estudar sistemas em sua totalidade*”⁵⁴. Vamos começar a nossa viagem pela teoria do flogístico. Em seguida, iremos trabalhar com a teoria do calórico para, então, discutir alguns pontos que conduziram à construção do atual modelo.

Segundo o físico russo George Gamow, “*os primeiros estudos dos fenômenos térmicos foram feitos pelos homens das cavernas, que aprenderam a fazer fogo para manter as cavernas aquecidas durante os períodos em que o Sol não os supria com calor o bastante*”⁵⁵.

O filósofo grego Aristóteles acreditava que o calor e o frio fossem duas entidades distintas e opostas, o que, até hoje, é muito forte em nosso senso comum. Ao longo da sua história de vida, uma pessoa interage com vários fenômenos térmicos, o que a permite construir uma rede de conceitos intuitivos. Em algumas situações, tal rede carece de um comprometimento mais forte com as relações verificadas na prática e pode conduzir a equívocos na interpretação dos fenômenos térmicos.

Vamos desenvolver a seqüência de ensino para, em um primeiro momento, verificar alguns desses conceitos intuitivos em situações práticas e, em seguida, propor explicações mais amplas para eles. Antes, porém, leia o texto a seguir para ter uma idéia mais geral acerca dos assuntos que serão trabalhados ao longo do trabalho.

O CALOR: (texto adaptado de “Física Divertida”, de Carlos Fiolhais).

O calor dilata os corpos. Houve um aluno a quem foi perguntado uma vez por que é que os dias são maiores no verão do que no inverno, ao que ele respondeu que o calor dilata os corpos. O calor dilata, de fato, a maior parte dos corpos, apesar do disparate da resposta. Um termômetro comum é um corpo no interior do qual uma substância se dilata quando em contato com um outro corpo mais quente. Galileu foi o inventor do primeiro termômetro, quando reparou na dilatação do ar quente dentro de um tubo. Uma barra metálica pode também funcionar como um termômetro, uma vez que cresce a olhos vistos quando é aquecida. A Torre Eiffel, que mede cerca de 300 m, pode ser vista como um gigantesco termômetro da cidade de Paris, porque nos dias grande de verão, quando o Sol aperta, cresce 6 cm em relação ao seu tamanho médio.

Para você pensar 1: *Você consegue imaginar um modelo explicativo para o fato de o calor dilatar os corpos? Apresente o modelo para o seu grupo e tente chegar a um consenso com os colegas.*



Um termômetro de mercúrio serve bem para medir a temperatura do corpo humano, porque o mercúrio sobe regularmente com o fluxo de calor do corpo. Quando o mercúrio do termômetro clínico pára de subir, está à mesma temperatura que o sovaco.

Poder-se-á perguntar por que é que os termômetros contêm mercúrio e não água, que é um líquido mais acessível e barato. Não existem termômetros de água porque a água não é uma boa substância para um termômetro. Além do fato de a água passar a gelo a temperaturas abaixo do

⁵⁴ BEN DOV, 1996, p.46

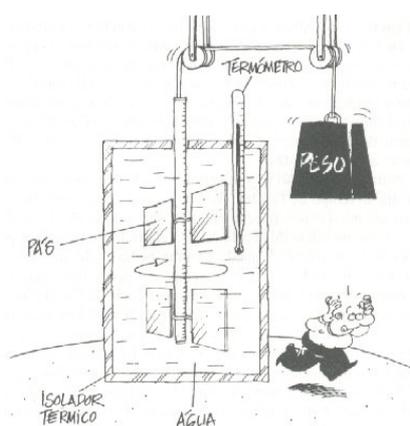
⁵⁵ GAMOW, 1961, p.89.

zero convencional na escala estabelecida no século XVIII pelo astrônomo sueco Anders Celsius (o zero Celsius é precisamente o ponto de congelamento da água à pressão normal), a água tem um comportamento anormal: entre as temperaturas de 0°C e 4°C a água, quando aquecida, em vez de dilatar-se, como o mercúrio, encolhe. Uma borracha, por exemplo, também não se dilata com o calor. Um plástico também não. Portanto, o calor nem sempre dilata os corpos (não há termômetros de borracha ou de plástico!).

Para você pensar 2: Um termômetro sempre mede a sua própria temperatura! Você concorda com essa afirmativa? Discuta com seus colegas e apresente uma justificativa para a sua posição.

Há muitas maneiras de aquecer a água, e algumas delas são bem estranhas. Pode-se pensar que a experiência da queda das pedras do alto da torre de Pisa efetuada (será que foi?) por Galileu não redundou em nenhum resultado prático nem em nenhum benefício para a civilização. Não teria servido para nada, a não ser para compreender melhor o mundo e fazer progredir a ciência pura. Um político ignorante, se tivesse de decidir no tempo de Galileu a atribuição de dinheiro para a investigação científica, ainda poderia comprar a luneta, que dava para ver bem o inimigo, mas com certeza que não subsidiava o estudo da queda das pedras.

No entanto, no século XIX, cerca de duzentos anos depois, quando a ciência e a técnica já tinham emigrado para o norte da Europa, o inglês James Prescott Joule mostrou que a queda das pedras pode servir, entre outras coisas, para aquecer água. A queda das pedras pode, portanto, ser útil para tomar uma ducha quente ou simplesmente para fazer café. A necessidade de aquecer a água é bastante mais evidente em Manchester, na fria Inglaterra, do que em Pisa, na quente Itália, e daí a necessidade de mudança de cenário quando se passa da mecânica para a termodinâmica.



Que fez Joule? Em vez de deixar cair simplesmente a pedra e dá-la por perdida, atou-lhe uma corda (tal como naquela guerra anedótica em que as preciosas balas eram atadas à espingarda a fim de depois serem recuperadas e se continuar a refrega). Ligou a corda, passando por uma roldana, a um sistema engenhoso (o professor Pardal das histórias em quadrinhos não inventaria melhor) que fazia rodar um conjunto de pás dentro da água num recipiente fechado. A pedra cai, a corda estica, as pás rodam e a água aquece. De fato, Joule usou, em vez de um, dois pesos para aquecer a água melhor e mais depressa.

Joule conseguiu, nessa experiência, mostrar que a água realmente aquecia (o pai de Joule era cervejeiro, mas Joule aqueceu um pequeno barril de água, porque, como todos sabem, cerveja quente não presta!). A leitura do termômetro permitiu-lhe até determinar o chamado “equivalente mecânico da caloria”, isto é, a energia mecânica

que é preciso fornecer para que tudo se passe como se a água tivesse sido posta no fogo e recebido uma caloria (uma caloria é a energia necessária para aumentar em 1°C a temperatura de 1 g de água a 15°C). Mais precisamente, pode-se averiguar de que altura uma determinada pedra deve cair para que a temperatura da água suba em um grau. Os físicos dizem que a pedra realiza trabalho ao cair, apesar de à pedra não lhe custar nada cair (não tem, de resto, outro remédio!). Também dizem que a pedra adquiriu energia cinética. Existe um teorema segundo o qual o trabalho realizado é igual ao aumento de energia cinética de um corpo. O teorema é chamado das “forças vivas”, porque “força viva” era a expressão antiga para energia cinética, antes de se ter, no século XIX, inventado a palavra “energia” (um aluno, um dia, ao ser-lhe pedido num exame para se referir ao “teorema das forças vivas”, desenhou um pistoleiro, com a arma fumegante e um balão por cima: “Pum! Agora as forças vivas estão mortas!”). A energia cinética, a força viva da pedra, é comunicada à água por meio da corda e da engenhoca.

Para você pensar 3: você consegue determinar de que altura uma pedra de 10 kg de massa deve ser abandonada para que uma massa de 10 kg de água sofra um aumento de 1°C em sua temperatura? Considere que 1 caloria equivale a 4 joules.

A água fica no fim com mais energia do que no início (e não com mais calor). Temos a certeza de que ficou com mais energia porque vemos pelo termômetro que a sua temperatura aumentou. Sempre que aumenta a temperatura, aumenta, também a energia, embora a energia não dependa, em geral, apenas da temperatura.

O processo é equivalente ao aquecimento direto da água ao fogo, que seria até muito mais prático se se quisesse ter rapidamente água quente. Pondo a água ao fogo, entram diretamente as “calorias” de energia, sendo então dispensáveis a energia cinética da pedra e o “teorema das forças vivas” (que o aluno quis, em sua legítima defesa, matar).

A energia de fora entrou, portanto, dentro do barril. Mais exatamente, a energia da água dentro da vasilha aumentou devido à realização pela pedra de trabalho exterior. Essa energia podia também ter aumentado devido a um fluxo de calor proveniente do exterior. A energia, depois de estar dentro da água, passa a chamar-se interna. Antes se chamava outra coisa qualquer. Uma vez a energia dentro da água, não interessa a respectiva origem. Se o leitor pedir um café num café, muito se admiraria se o empregado, aparentemente conhecedor da termodinâmica, lhe perguntasse se queria a água do café aquecida com trabalho ou com calor. “Não importa”, poder-lhe-ia responder, “traga-me café com energia interna e meta-lhe lá dentro a energia como quiser!” Em nossas casas pomos simplesmente a cafeteira da água no fogão da cozinha e acendemos o fogo. Esse processo é muito mais simples e eficiente do que mexer energicamente a água da cafeteira ou deixar cair uma pedra enrolada a um fio. Estes últimos processos davam-nos muito trabalho...

De fato, a água para o café pode também ser aquecida por um processo elétrico, dizendo-se que também nesse caso se realizou trabalho (trabalho elétrico, e não mecânico). A transformação de energia elétrica em energia interna da água realiza-se no chamado “efeito Joule”, porque essa experiência também foi realizada pelo homem de Manchester. É essa até, normalmente, a maneira de aquecer a água nos cafés.

Portanto, Joule não só aproveitou a queda da pedra, cujo estudo remonta ao tempo de Galileu, para aquecer a água, como inventou um truque novo com o mesmo objetivo, servindo-se da eletricidade. Com efeito, no início do século XIX, a eletricidade já andava pelos laboratórios de Física. A queda de uma pedra pode até ser usada para gerar eletricidade e esta servir para aquecer a água, de modo que os fenômenos mecânicos, elétricos e térmicos fiquem todos encadeados. É curioso referir que Joule, antes de ter usado uma bateria para obter corrente na resistência, utilizou um gerador elétrico rudimentar movido por um peso.

Tanto **o trabalho como o calor são formas de transferência de energia para dentro ou para fora de um sistema**. Fala-se de trabalho quando há uma transferência ordenada, que podemos regular (uma vez que corresponde à variação de uma certa grandeza macroscópica, visível à vista desarmada), de energia para ou do sistema. A queda da pedra ou a corrente elétrica na resistência são exemplos de realização de trabalho. O calor é a energia restante, a energia que entra ou sai do sistema de uma maneira que não é regulável. É, por assim dizer, a energia clandestina, que não é contada na alfândega, na fronteira do sistema. O efeito, quer do trabalho, quer do calor, é exatamente o mesmo: consiste em fazer aumentar ou diminuir a energia interna do sistema. Por isso, muitas vezes diz-se que há calor apesar de só haver trabalho.

Costuma-se invocar uma alegoria para ajudar a compreender o conceito de calor. Um sistema termodinâmico é semelhante a uma piscina descoberta. O análogo da energia interna é a água dentro da piscina. A piscina pode, evidentemente, receber água do exterior de duas maneiras. A via regulável, e, portanto de maior confiança, realiza-se pelas canalizações: a água que entra pelos canos é controlada por torneiras e pode ser medida diretamente num contador. Mas, como a piscina está a céu aberto, pode captar água das chuvas quando chove (nunca ninguém sabe ao certo quando vai chover, pelo que se trata de um processo irregular): essa água é o análogo do calor, é a energia que entrou sem ser controlada e contada. A água das chuvas pode, porém, ser contabilizada de uma maneira indireta. Se, por meio de uma vara graduada, medirmos a altura da água e virmos que a piscina tem mais água, não podemos saber se esse acréscimo foi devido à entrada da água vinda da Companhia das Águas ou diretamente de São Pedro. No entanto, se soubermos quanta água estava antes e quanta água entrou pelas torneiras, podemos concluir que o resto é água das chuvas. Analogamente, num sistema que contenha energia (todo sistema contém energia), não podemos saber se a energia entrou devido a um fluxo de calor ou devido à realização de trabalho (por efeito da queda de uma pedra ou pela passagem de corrente numa resistência de um circuito elétrico). A energia, uma vez lá dentro, “esqueceu” o modo como se tornou interna, tal como a água, que não tem “memória” e não sabe de onde veio.

A analogia da piscina é grosseira, mas os físicos recorrem com freqüência a analogias desse tipo. É fácil ver que a analogia não funciona perfeitamente. Supôs-se que a água da chuva e das torneiras são iguais. Isso não é exatamente verdade: realmente a água das chuvas vem destilada – ignoremos o caso das chuvas ácidas – enquanto a água da Companhia vem com cloro ou outros desinfetantes. Além disso, supôs-se uma outra coisa que não é exatamente verdade: que não se evapora água nenhuma. A evaporação da água seria “chuva negativa”.

As analogias não são equações. Devem ser consideradas apenas como analogia e mais nada.

Existe, pois, uma quantidade característica dos sistemas termodinâmicos (falta definir sistema termodinâmico: é simplesmente a região do mundo em que estamos interessados) que é chamada energia interna. Se verificarmos que ocorreu uma mudança da quantidade de energia interna no sistema é porque entrou ou saiu energia (foi realizado trabalho ou deu-se um fluxo de calor). Não há terceira possibilidade,

uma vez que, por definição, tudo o que não é trabalho é calor. Se variar a quantidade de energia, dizemos que o sistema não estava isolado. Se se perguntar a um físico em que condições é que a energia interna se conserva, ele responde que se conserva num sistema isolado, e, se se perguntar o que é um sistema isolado, ele dirá logo que um sistema isolado é aquele no qual a energia se conserva. Os físicos são, por vezes, uns sujeitos curiosos: arranjam definições circulares às quais não é fácil dar a volta. É muito fácil, de resto, que os físicos tenham sempre razão: se, por acaso, a energia não se conservar numa certa experiência, inventam logo uma outra forma de energia ou uma partícula que transporte a energia em falta, e tudo bate certo de novo...

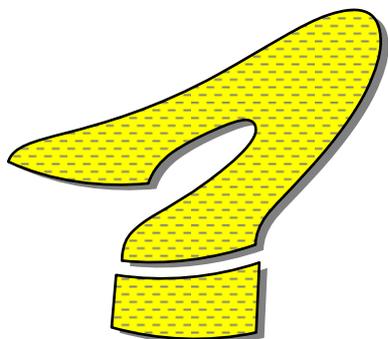
O princípio de conservação da energia é uma das leis mais fundamentais da física. Em Física Térmica – a ciência do calor criada na fria Europa do Norte – a conservação da energia aparece imposta pela primeira lei da termodinâmica. Como as leis se fizeram para serem cumpridas, a energia de um sistema isolado conserva-se em todas as circunstâncias.

A primeira lei da termodinâmica foi descoberta, mais ou menos ao mesmo tempo, por três cientistas da primeira metade do século XIX: o já referido inglês James Joule, o alemão Julius Mayer, que, além de físico, era médico num navio e que chegou à primeira lei a partir de observações de fisiologia (observou, entre outras coisas, a mudança de cor no sangue venoso dos marinheiros quando o navio passava pelos trópicos e deduziu daí que, com o calor, os processos de oxidação no corpo humano se modificavam), e o alemão Hermann von Helmholtz, também físico e médico, que formalizou o mesmo resultado de uma maneira unificada e mais elegante. Os trabalhos principais de Joule, Mayer e Helmholtz intitularam-se, respectivamente, *Sobre a existência de uma relação de equivalência entre calor e as formas vulgares de potência mecânica*, *Notas sobre as forças da natureza inanimada* e *Sobre a conservação da força* (força era nessa época sinônimo de energia).

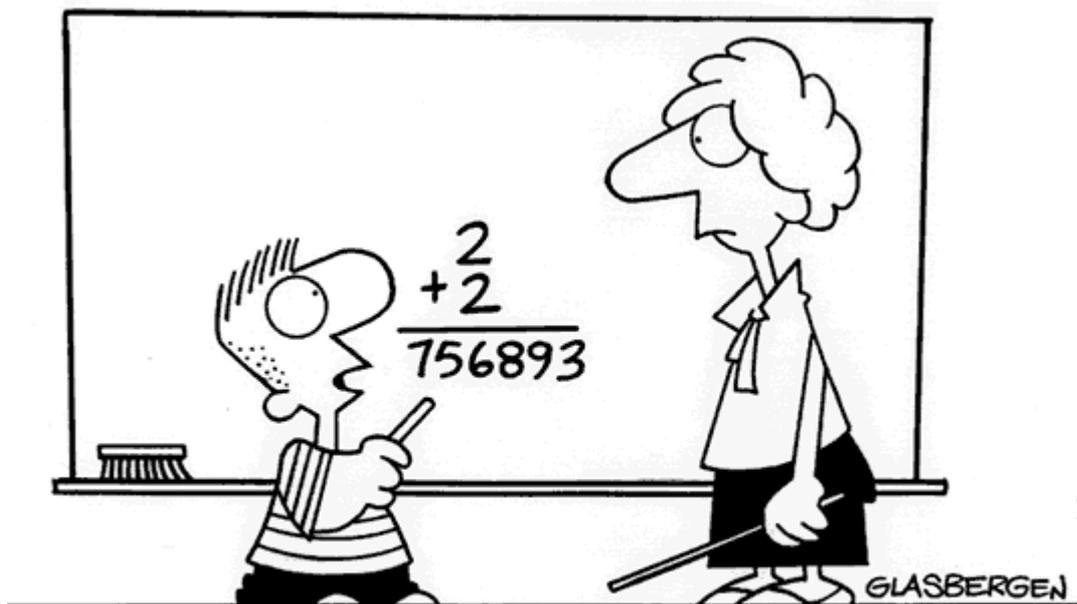
Para você pensar 4: *É possível estabelecermos uma analogia entre a primeira lei da termodinâmica e os regimes para emagrecer? Neste caso, o que significaria o calor, o trabalho e a variação da energia interna?*

Conclui-se da história da primeira lei que em tempos que já lá vão muitos físicos eram médicos. Na Idade Média, um físico era médico e, mesmo na época do Renascimento, homens como Gilbert eram, antes de tudo, médicos. Conclui-se, também, dessa história que, no início do século XIX, a idéia da conservação da energia estava no ar e que, quando uma idéia anda no ar, pode ser apanhada por várias pessoas ao mesmo tempo. Isso acontecer diversas vezes na história da ciência. Em jeito de anedota, acrescenta-se a razão por que não podem existir mais do que três leis da termodinâmica. A primeira lei era de tal modo evidente, foi descoberto por três pessoas. A segunda, menos evidente, foi descoberta por duas pessoas, o alemão Rudolph Clausius e o escocês William Thompson, mais conhecido por *Lord Kelvin* em atenção ao título de nobreza que lhe foi atribuído. A terceira, menos evidente das três (por isso, não iremos falar dela), foi descoberta por uma única pessoa, o químico alemão Walter Nernst. A quarta lei só poderá ser descoberta por zero pessoas e por isso nunca chegará a ser descoberta...

LEVANTANDO SUSPEITAS

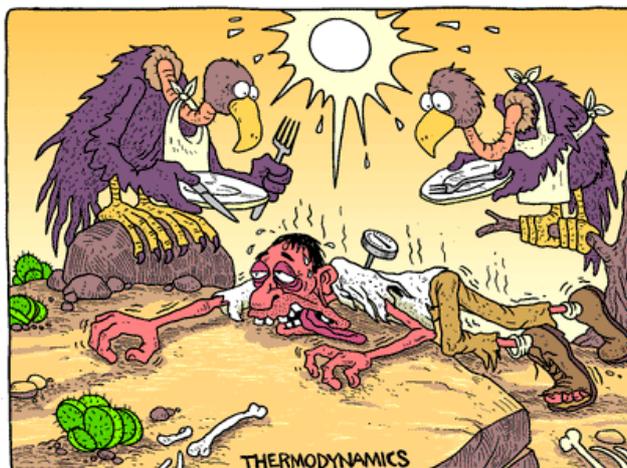


Copyright 1996 Randy Glasbergen. www.glasbergen.com



“Em um mundo crescentemente mais complexo, algumas velhas questões requerem novas respostas.”

O Objeto de Estudo da Física Térmica



1. Para que serve isso?

Os fenômenos térmicos estão presentes em uma grande parte de nossa vida. Precisamos de energia térmica para nos mantermos vivos, para cozinhar os alimentos, para fazermos funcionar nossos carros, para gerar eletricidade. Utilizamos os conceitos de temperatura e equilíbrio térmico para verificar se uma pessoa está com febre. Fazemos parte de um mundo em que as questões energéticas são cruciais e interferem nas decisões governamentais acerca do crescimento econômico do país. Portanto, discutir a Física Térmica significa adquirir mais elementos para o posicionamento frente a questões ecológicas e sociais, o que já justifica a sua importância.

No campo das ciências e da tecnologia, a compreensão de fenômenos térmicos permite, por exemplo, a construção de motores mais eficientes, aquecedores mais econômicos e melhores sistemas de isolamento térmico. A eficiência dos processos térmicos contribui para uma diminuição no consumo de combustíveis.

Dentro da própria Física, foi a partir de questionamentos que surgiram no campo da Física Térmica que ocorreu o desenvolvimento da Física Quântica, quando pesquisadores como Max Planck tentaram explicar a energia emitida por irradiadores de cavidade. A Física Térmica funcionou como uma espécie de ponte entre a Física Clássica e a Moderna, fornecendo elementos para que as teorias sobre a emissão térmica pudessem ser repensadas e reescritas.

2. Desenvolvendo os conceitos básicos da Física Térmica.

Todo o desenvolvimento da Física Térmica se apóia em três conceitos que se relacionam profundamente: **temperatura, calor e equilíbrio térmico**.



Costumamos relacionar temperatura de um corpo com o fato de podermos senti-lo quente ou frio. As nossas mães e avós conseguem, colocando a mão em nossa testa, perceber se estamos ou não com febre (temperatura acima do normal). Ao tocarmos um determinado corpo, mergulharmos em uma piscina ou entrarmos em uma sala fechada temos diferentes sensações térmicas. São justamente essas sensações que usamos para “medir” a temperatura dos diversos corpos que nos cercam.

No entanto, essas impressões podem nos enganar. Se alguém (**não faça isso!**) mergulhar a mão em um recipiente que contém nitrogênio líquido, terá uma grave queimadura. Isso mesmo! Queimadura! Temperaturas muito baixas provocam efeitos semelhantes aos provocados por temperaturas muito altas. Em casos como esse, o tato não é suficiente para indicar se um objeto está quente ou frio. Faça a atividade a seguir para perceber como os nossos sentidos podem nos pregar peças.

Atividade 01: O que é o quente e o frio?

Verificando as sensações térmicas.

Sobre cada mesa há três recipientes, todos contendo água. No primeiro, há água retirada de um bebedouro. No segundo, água retirada da torneira. No terceiro, água aquecida por um ebulidor. Você pode conferir as diferenças de temperatura, colocando uma de suas mãos no primeiro e a outra mão no terceiro recipiente. Sinta como o sentido do tato pode lhe informar qual das massas de água está mais quente! Para continuar o seu teste, coloque, simultaneamente, as duas mãos no segundo recipiente e relate as sensações.

- (A) O sentido do tato pode ser um medidor fiel de temperatura? (certamente a sua avó irá dizer que sim, já que ela sempre mediu a sua febre botando a mão sobre a sua testa – e nunca errou !)
- (B) Em medidas mais precisas, você confiaria em sua mão para determinar se um objeto está quente ou frio?

Atividade 02: Mesma Temperatura?

Verificando as sensações térmicas. Cada grupo possui três objetos: uma placa de madeira, uma placa de alumínio e um termômetro eletrônico. Ponha uma das mãos em uma placa e a outra mão na outra. Verifique a sensação térmica que você tem ao tocar, simultaneamente, as duas placas. Agora, com o auxílio do termômetro, meça a temperatura das placas.

- (A) O resultado obtido nessa verificação serviu para corroborar a sua resposta do item A da atividade 01?
- (B) Por que as duas placas fornecem sensações térmicas distintas? Essa é uma questão relacionada exclusivamente com o seu tato?

Atividade 03: O frio pode ser quente?

Entendendo as fontes de calor.

Vamos precisar de um termômetro. Quando o retiramos de seu invólucro, já há uma medida de temperatura nele registrada. Normalmente, essa medida corresponde à temperatura do ar do ambiente em que nos encontramos. Verifique se a temperatura do ar do ambiente está abaixo da temperatura do seu corpo (que sabemos estar em torno dos 36,5°C). O que acontece ao termômetro quando você o segura com os dedos, ou o coloca sob as axilas?

(A) Nessas condições, podemos dizer que a coluna do termômetro sobe porque nosso corpo transfere calor a ele?

Para dar nosso próximo passo, vamos precisar de duas latas de alumínio cortadas pela metade. No fundo de uma delas, colocaremos uma pequena camada de gelo picado sobre a qual pousaremos o bulbo do termômetro. Feito isso, iremos construir, em torno do bulbo, camadas sucessivas de gelo picado misturado com sal de cozinha. Faça a medida da temperatura da mistura de gelo picado e sal. Anote o valor encontrado. $T_1 = \dots\dots\dots$

Na outra lata, colocaremos gelo puro misturado com água (sem adicionar sal!). Em seguida, o termômetro deverá ser retirado do interior da lata que contém a mistura sal + gelo e introduzido, rapidamente, na lata que contém gelo fundente (gelo + água). Observe atentamente o que acontece com a coluna de líquido no termômetro e meça o valor de temperatura alcançado. $T_2 = \dots\dots\dots$

(B) Baseando-se na resposta que você deu ao item A e no conhecimento que você possui sobre o funcionamento dos termômetros, você acha correto dizer que a água gelada transferiu calor para o termômetro e, por essa razão, foi possível observar a elevação da coluna de líquido nesse aparelho? Justifique.

A partir dos resultados dessa atividade, é possível estabelecermos que calor é sinônimo de alta temperatura?

Atividade 04: Temperatura constante?

Verificando a relação entre calor e temperatura. **Duração:** 1 aula

GRUPO: empírico \leftrightarrow teórico

Cada grupo possui cubos de gelo recém tirados de um freezer, uma fonte térmica, um recipiente e um termômetro. Coloque os cubos no recipiente e o termômetro no meio dos cubos. Anote a temperatura e, em seguida, acione a fonte. Vá anotando a temperatura do sistema até que todo o gelo tenha se fundido.

Tempo (min)	0							
Temperatura (°C)								

(A) Houve fornecimento de calor da fonte térmica para o gelo durante todo o experimento?

(B) Houve aumento de temperatura do sistema durante todo o experimento?

A partir dessa atividade, é possível estabelecermos que a temperatura é a medida da quantidade de calor de um corpo? Justifique a sua resposta com base no experimento feito.

Atividade 05: Mesmo aquecimento?

Verificando a relação entre calor e variação de temperatura. **Duração:** 1 aula

GRUPO: empírico \leftrightarrow teórico

Vamos aquecer, numa mesma fonte de calor (chapa térmica ou aquecedor elétrico) e durante o mesmo intervalo de tempo, três vasilhas iguais contendo:

Vasilha A: 100 g de água; **Vasilha B:** 500 g de água; **Vasilha C:** 500 g de óleo.

Meça a temperatura inicial do conteúdo das três vasilhas e anote na tabela abaixo.

Deixe cada uma das vasilhas durante 3 minutos sobre o aquecedor. Meça a temperatura final de cada uma delas e anote os valores na tabela.

Vasilha	Temperatura inicial (°C)	Temperatura final (°C)
A		
B		
C		

(A) Discuta com seu grupo e então responda: a quantidade de calor fornecido às três vasilhas foi a mesma? E as variações de temperatura?

(B) Como você explica esses resultados?

A partir dessa atividade, é possível estabelecermos que a temperatura é a medida da quantidade de calor de um corpo? Justifique a sua resposta com base no experimento feito.

Atividade 06: Aquecendo sem calor – o forno de microondas

Entendendo o forno de microondas.

A primeira parte da atividade será exploratória. Vamos, em duplas, investigar o funcionamento de um forno de microondas. Para isso, iremos pesquisar em um site que explica detalhadamente como um tipo de microonda consegue aquecer os alimentos. O site é <http://www.colorado.edu/physics/2000/microwaves/index.html>. No laboratório de informática, vá ao citado endereço e boa viagem! Faça um resumo das principais informações apresentadas para a posterior discussão.

Obs.: Como o site está em Inglês, sugerimos que as duplas sejam formadas com tomando como referência quem domina razoavelmente bem o idioma

(A) Quando você esquentar uma certa quantidade de água em um fogão, é possível perceber uma diferença de temperatura entre a chama e a água. Portanto, é fácil perceber que há um fluxo de calor. O aquecimento de uma massa de água no microondas segue o mesmo princípio?

(B) Aponte as diferenças mais significativas entre os processos de aquecimento no forno comum e no forno de microondas.

Discuta com os colegas e o professor e responda: para que haja aquecimento é necessário que exista calor?.

Leitura 02: Procurando explicações

1. Análise das atividades

A realização das atividades de 1 a 6 e a posterior discussão dos resultados nos permitiu tirar algumas conclusões, muitas delas pessoais, outras, coletivas. Vamos tentar sistematizar tais conclusões, para podermos avançar.

Das atividades 1 e 2, fica a conclusão de que *o tato não é um medidor ideal de temperatura*, podendo nos pregar peças de vez em quando. A necessidade de utilizarmos um termômetro para medir temperatura é evidente. Além disso, percebemos, pela atividade 2, que *os corpos conseguem transmitir energia térmica de formas diferentes*. Há os bons e os maus transmissores de energia térmica.

A seguir, podemos ver uma tabela com a condutividade térmica de alguns materiais (em unidades do sistema internacional).

MATERIAL	CONDUTIVIDADE TÉRMICA
Prata	428
Cobre	401
Alumínio	235
Ferro	79
Água	6,3
Gelo	2,3
Vidro	1,0
Madeira	0,12
Fibra de vidro	0,048
Ar (seco)	0,026
Isopor	0,024

Tabela 01 – valores da condutividade térmica de alguns materiais em unidades do SI.

A atividade 3 nos mostrou que mesmo os objetos considerados frios por nós podem se constituir em fontes térmicas. Quando o termômetro foi segurado pelas mãos de uma pessoa, houve transferência de calor para o aparelho e, com isso, a coluna de mercúrio aumentou de tamanho (ver a leitura 01, páginas 02 e 03). Quando o termômetro foi tirado do recipiente que possuía gelo e sal e colocado no que continha gelo e água, a sua coluna também subiu. Portanto, podemos concluir que o segundo recipiente transferiu calor para o termômetro. *Assim, a conclusão a que podemos chegar é que o calor não é sinônimo de temperatura alta, podendo existir em diversas situações, desde que haja sistemas a diferentes temperaturas.*

A análise dos resultados da atividade 4 nos permitiu concluir que *é possível que um dado objeto receba calor e a sua temperatura não sofra variação*. Um exemplo disso é o caso em que há mudança de estado físico, como foi visto ao longo dessa atividade. Uma pergunta que intrigou os físicos por algum tempo é: “para onde vai a energia em uma mudança de fase?”. O calor **não** provocou variação de temperatura. Logo, a afirmação - muito comum - *de que a temperatura mede a quantidade de calor de um corpo não é coerente com a observação dessa atividade*. O calor, quando está relacionado com mudança de fase (estado físico), é chamado de **calor latente**.

Se, na atividade 4, aprendemos que um corpo pode receber calor e não sofrer variação em sua temperatura, na atividade 5, percebemos o contrário: *é possível alterarmos a temperatura de um corpo sem que seja fornecido calor para ele*. Como foi possível ler no site indicado, as microondas emitidas no forno entram em ressonância

com as moléculas de água presentes no alimento e, assim, fazem com que haja um aumento de temperatura no mesmo.

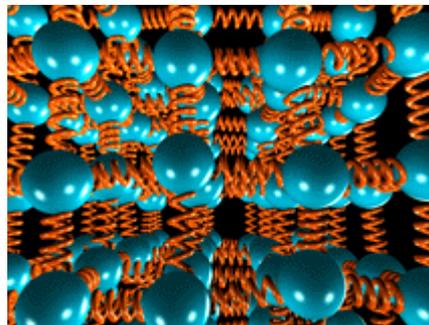
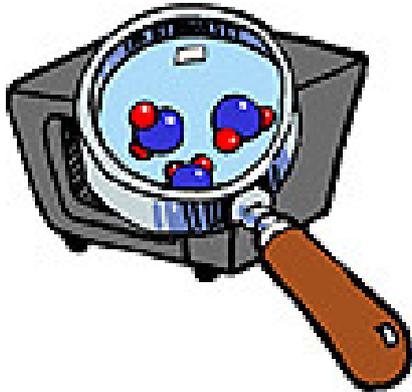
Quando realizamos a atividade 6, pudemos perceber que *a mesma quantidade de calor pode provocar diferentes variações de temperatura nos objetos*. Cada objeto, em função de sua massa e de sua constituição química, pode “responder” diferentemente a uma certa quantidade de calor. Em física, há uma grandeza chamada de **capacidade térmica** que representa essa diferença. Por definição, a capacidade térmica (C) de um objeto é a quantidade de calor necessária para que a temperatura dele varie em uma unidade.

Portanto, a relação direta que fazemos entre calor e temperatura deve ser examinada com mais cuidado. Dizer que o calor é o mesmo que temperatura alta contraria o que foi observado na atividade 3. Afirmar que temperatura mede a quantidade de calor não é compatível com as atividades 4, 5 e 6.

Vamos, portanto, investigar mais atenciosamente os conceitos de temperatura, calor e equilíbrio térmico para que possamos ter uma melhor conceituação. Conceituamos como **calor** a transferência de energia entre dois sistemas devido, exclusivamente, à diferença de temperatura entre estes dois sistemas. O sentido do calor é único: sempre flui do sistema de maior para o de menor temperatura. Já a **temperatura** é um número associado ao nível médio de agitação das partículas que compõem o corpo. A temperatura está, portanto, relacionada com a intensidade do fluxo de calor entre dois sistemas. Para um mesmo par de sistemas que trocam calor, quanto maior a diferença de temperatura entre eles, mais intenso será o fluxo de calor entre eles. Quando ocorre transferência de calor, o sistema mais quente tende a esfriar, enquanto que o mais frio tende a esquentar. Dessa forma, a *tendência* é que os dois sistemas cheguem em uma mesma temperatura, o que é chamado de **equilíbrio térmico**. Há situações em que tal equilíbrio não é atingido (pense, por exemplo, em nosso corpo em contato térmico com o ambiente).

Na próxima unidade, iremos nos aprofundar na discussão, introduzindo o modelo de partículas como fonte de explicação para os fenômenos térmicos. Vamos lá!

VENDO ALÉM DOS OLHOS



É possível ver a matéria por dentro?

No desenvolvimento dos conceitos de calor, temperatura e equilíbrio térmico, alguns pontos ficaram, por algum tempo, sem resposta. Vejamos alguns destes pontos para, em seguida, tentar construir modelos explicativos mais fortes.

Quando a mesma quantidade de calor é fornecida para dois corpos e esses corpos absorvem integralmente essa energia, há um igual aumento de energia interna. No entanto, os corpos podem apresentar diferentes aumentos de temperatura. Mesmo se os corpos tiverem a mesma massa, as variações de temperatura podem ser diferentes.

É possível, inclusive, que um dado corpo receba calor e a sua temperatura fique constante. É isso que ocorre quando o gelo, a 0°C recebe calor do ambiente e começa a se fundir. Um gás, quando sofre uma expansão muito rápida, apresenta uma redução em sua temperatura sem que haja, no entanto, troca de calor com o meio. Isto pode ser verificado quando você aciona a válvula de um tubo de lubrificante ou de um extintor de incêndio.

Não só um gás, mas qualquer corpo pode ter a sua temperatura variada sem que haja troca de calor com outros corpos. Quando você atrita as suas mãos (que estão, inicialmente, à mesma temperatura), nota que elas se aquecem. No entanto, não há um outro corpo a temperatura diferente para que ocorra um fluxo de calor. O mesmo ocorre com o pneu quando freamos uma bicicleta. As fotos apresentadas a seguir foram tiradas a partir da irradiação térmica dos elementos envolvidos. Para cada cor, há uma certa intensidade de energia irradiada, o que está relacionada a uma dada temperatura. A escala no lado direito da foto mostra a escala de temperatura.

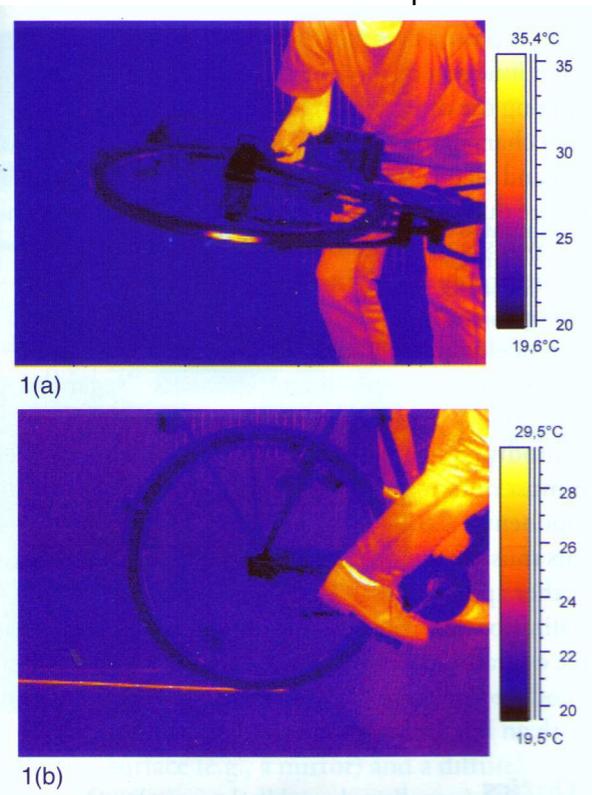


Figura 01 – fotografias tiradas por filmes que são sensíveis às radiações térmicas. Na figura 1(b), temos o rapaz travando o freio do pneu traseiro da bicicleta, que atrita contra o chão. Em 1 (a), o rapaz mostra a região no pneu que atritou com o chão.

Uma possibilidade de explicação dessas e de muitas outras situações está baseada no **modelo de partículas** que afirma que os objetos são compostos por pequenas unidades fundamentais (átomos, moléculas, etc) cujo comportamento influencia

nas propriedades que podem ser observadas. A tais unidades fundamentais daremos o nome de partículas. O modelo de partículas afirma que todos os corpos são compostos por inúmeras partículas que estão em movimento contínuo e que interagem (aplicam força umas nas outras) à distância.

Essas partículas aplicam força umas nas outras, o que indica que há uma ligação entre elas. Por causa dessa ligação, dizemos que as partículas possuem **energia potencial**, que é uma característica dos objetos que interagem. Essa energia potencial pode ser gravitacional (quando a força de ligação é gravitacional, como acontece com os corpos que estão próximos à superfície da Terra) ou eletromagnética, que é o que ocorre nas ligações entre as partículas.

Cada partícula possui uma certa velocidade, o que nos faz concluir que elas têm energia cinética. Apesar de cada partícula possuir uma energia cinética diferente, podemos determinar um valor médio, que será chamado de **energia cinética média**. Esse processo é feito sempre que tivermos uma coleção de muitos itens. Por exemplo, quando se faz a análise da qualidade de vida de uma dada população, um dos fatores que é levado em consideração é a renda *per capita*. Dizer que uma dada população possui uma renda *per capita* mensal de R\$ 500,00 não significa que **todos** os membros da população ganham R\$ 500,00. Esse é um valor médio e, por isso, não pode ser tomado com única forma de análise das condições de vida das pessoas.

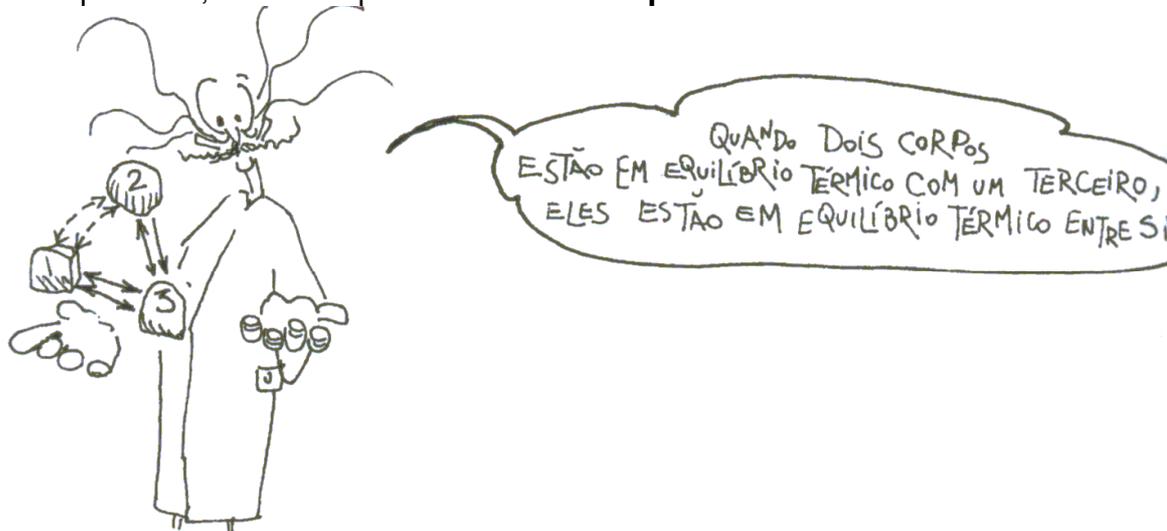
Não podemos medir a velocidade ou a energia cinética de cada partícula, o que significa que devemos procurar um meio indireto para obtê-las. Assim, nasce o conceito de **temperatura**, um número relacionado à energia cinética média das partículas de um corpo. Assim, um corpo que está quente (temperatura alta) tem as suas partículas com uma elevada energia cinética, em média. Já em um corpo frio (baixa temperatura), as partículas possuem, em média, pouca energia cinética.



A TEMPERATURA DE UM CORPO, GRANDEZA FÍSICA ASSOCIADA ÀS SENSações TÁTEIS DE FRIO OU QUENTE QUE ELE NOS TRANSMITE, ESTÁ RELACIONADA COM O NÍVEL DE AGITAÇÃO ATÔMICO/MOLECULAR: QUANTO MAIOR A AGITAÇÃO, MAIOR A TEMPERATURA.

Quando dois ou mais corpos são colocados em contato térmico, ou seja, sem que sejam colocados materiais isolantes térmicos entre eles, podemos perceber que eles tendem a adquirir, após algum tempo, a mesma temperatura. Uma xícara de café quente e um copo de leite gelado deixados sobre uma pia irão atingir, tempos depois, a mesma temperatura (que é a temperatura do ambiente). Note que para isso ocorrer, devemos ter as temperaturas dos dois líquidos sofrendo variação, ou seja, deve haver uma variação na energia cinética média das partículas dos corpos. O café, para se resfriar, deve perder energia. O leite, para se aquecer, deve ganhar energia. Essa troca de energia ocorre até que todo o sistema atinja a mesma temperatura, situação em que a energia cinética médias das partículas de todos os corpos é a mesma. O processo de transferência de

energia que só se realiza entre corpos que possuam temperaturas diferentes é chamado de **calor**. Note que o calor irá fluir, sempre, do corpo de maior para o de menor temperatura. Quando temos há transferência de energia sob a forma de calor, a tendência é que os corpos atinjam a mesma temperatura. Quando dois ou mais corpos possuem a mesma temperatura, dizemos que eles estão em **equilíbrio térmico**.



Há várias outras situações que, a princípio, parecem estranhas do ponto de vista dos conceitos apresentados. A seqüência das atividades pretende contribuir para que você possa construir modelos explicativos que consigam superar estas e muitas outras questões.

A partir de agora, você receberá os “MANDAMENTOS DO MODELO DE PARTÍCULAS”, ou seja, uma lista com as características mais fundamentais do modelo de partículas. É fundamental que você tenha esta lista em mãos daqui para frente. As atividades que faremos a seguir têm como objetivo fornecer elementos para que você possa discutir cada uma das características dos mandamentos.

Mandamentos do modelo de partículas

- 1. A matéria é formada por um grande número de partículas que se movem sem cessar e por espaço vazio entre elas.**
- 2. O tamanho das partículas é muito pequeno.**
- 3. As características das partículas são diferentes das dos objetos macroscópicos.**
- 4. As partículas possuem Energia Potencial (ligação) e Energia Cinética (movimento).**

Atividade 07: Examinando os movimentos das partículas.

Essa atividade investigativa que vamos fazer agora tem como objetivo verificar algumas das características das partículas que compõem um certo material. Essa atividade é composta por duas partes diferentes. Na primeira, teremos uma atividade prática, utilizando água e um comprimido de permanganato. Na segunda, faremos uma investigação a respeito do movimento das partículas de um gás em uma garrafa.

PRIMEIRA PARTE: verificando o movimento das partículas.

Cada grupo ganhou dois cristais de permanganato (KMnO_4), dois copos com água e um ebulidor. A atividade investigativa a ser realizada é muito simples. Vocês devem, primeiramente, aquecer um dos copos com a utilização do ebulidor. Espere que a água fique “parada”. A seguir, adicione, lentamente, um cristal de permanganato em cada copo. Observe, durante cerca de cinco minutos, o que irá acontecer com os sistemas.

Agora, responda:

- (A) Houve diferença entre os tempos de espalhamento do permanganato nos copos?
- (B) Em caso afirmativo, em qual dos copos o permanganato se espalhou mais rapidamente?

Após uma discussão com o grupo, procure construir uma explicação para o espalhamento do permanganato nos copos. Tal explicação deve justificar as respostas dadas em (A) e (B).

SEGUNDA PARTE: a moeda saltitante.

Você consegue fazer uma moeda pular usando apenas a energia irradiada pelas mãos? Faça a seguinte montagem: Deixe uma garrafa na geladeira por 15 minutos (a garrafa que você irá receber já foi deixada lá pelo tempo necessário). Depois, mergulhe o gargalo na água. Jogue a moeda na água. Coloque-a ainda molhada sobre o gargalo. Envolve a garrafa com as mãos. Segure bem firme e espere um pouco.



- (A) O que aconteceu com a moeda?
- (B) Há alguma relação entre as discussões efetuadas na aula anterior e o que foi observado nesta atividade?

Procure construir um modelo de interação entre partículas que possa explicar o motivo de termos observado o comportamento da moeda. Procure uma justificação relacionada com o modelo de partículas.

DISCUSSÃO GERAL

Como resultado das nossas discussões, será possível identificar quais das características apresentadas nos “mandamentos” foram contempladas nas atividades?

Essa atividade foi concebida para dar que você “sinta” o comportamento das partículas que compõem um certo corpo. Vamos tentar estabelecer algumas relações que nos serão muito úteis para a compreensão de diversos fenômenos térmicos.

Cada pessoa representa uma partícula. As molas fazem o papel das interações entre as partículas. Quando utilizamos **todas** as molas, o movimento das pessoas ficou limitado, dando uma certa forma ao conjunto. Note que a energia potencial de interação pode aumentar à medida que as pessoas se afastam. A energia cinética aumentou quando as pessoas se moveram mais rapidamente. Se uma das pessoas variar a sua posição, ela influencia a **TODA** a organização.

QUESTÕES PARA A DISCUSSÃO EM GRUPO:

Essas características são encontradas em algum estado físico que você conhece?
O que deveria acontecer com as partículas se elas parassem de se mover?

Quando retiramos algumas molas, demos mais liberdade ao conjunto. Assim, as pessoas puderam se mover com maior energia cinética e, por isso, a desorganização do conjunto aumentou. Note que as molas puderam ficar mais deformadas, o que contribuiu para um aumento na energia potencial do sistema. No entanto, isso só foi possível pela interferência de algo externo (o professor teve que retirar algumas molas e, para isso, ele transferiu energia para os alunos).

QUESTÕES PARA A DISCUSSÃO EM GRUPO:

Essas características são encontradas em algum estado físico que você conhece?
O objeto terá, neste caso, uma organização tão grande a ponto de manter uma forma definida?

Na terceira etapa, as molas estão totalmente retiradas e, portanto, já não há mais energia potencial. As pessoas estão totalmente livres para se movimentarem. Dessa forma, o movimento é completamente aleatório, ou seja, cada pessoa se move independentemente das demais. É importante se perceber que, neste caso, temos a maior energia cinética, uma vez que as velocidades das partículas são muito maiores.

QUESTÕES PARA A DISCUSSÃO EM GRUPO:

Essas características são encontradas em algum estado físico que você conhece?
Do que é composta a energia interna nesta situação?

Leitura 03: Vendo além dos olhos

1. Uma provocação:

Podemos confiar apenas no que vemos para tirarmos as nossas conclusões? Somente o que pode ser visto é real? Aquilo que nos escapa aos olhos não tem uma existência concreta e apenas representa uma “viagem” dos cientistas?

Leia a mensagem que está escrita abaixo:



Se você leu “Não pare na pista”, foi traído pelos seus próprios olhos! Volte e releia o texto. Verifique que existem duas palavras “na”. É isso aí, amigo! Nem sempre conseguimos ver o que está diante de nós. Em alguns momentos, a “realidade” pode não nos ser tão evidente.

2. Revendo o modelo de partículas:

Quando olhamos para um certo objeto, temos a impressão de que ele é contínuo. Parece que uma parede é “inteira”, não admite fragmentações. Se batermos a cabeça contra ela, teremos uma “comprovação” de sua “inteireza”. Pense nessa parede sendo quebrada em pedaços cada vez menores. Será possível continuarmos a dividi-la indefinidamente?

Na Grécia antiga, Demócrito (viveu por volta do ano 400 antes de Cristo) já havia revelado a idéia de que haveria um fim para essas divisões. Cada objeto seria composto de uma grande quantidade de partículas indivisíveis chamadas de átomos (a = não; tomo = divisível).

Cerca de 2000 anos mais tarde, Dalton reformulou o modelo de Demócrito, ainda admitindo que as menores partículas da matéria são os átomos. Para que se tenha uma idéia, imagine que a parede do parágrafo anterior fosse dividida ao meio. Uma das metades, então, é cortada ao meio. **Se esse procedimento for repetido por cerca de 30 vezes, chegaríamos ao tamanho médio dos átomos!** *Tente fazer os cálculos e indicar o tamanho médio dos átomos.*

O modelo de partículas afirma que a matéria é composta por inúmeras unidades fundamentais (átomos, moléculas, etc) que interagem entre si, dando ao objeto características como dureza, brilho, cor, etc. As características de tal modelo foram apresentadas nos “mandamentos”. Essas partículas estão em constante agitação, como você deve ter observado e discutido na **atividade 07**. Portanto, podemos estabelecer duas formas de energia associadas às partículas.

A figura a seguir apresenta um modelo para explicar o que foi dito. As bolinhas representam as partículas, as molas estão associadas às ligações entre elas.

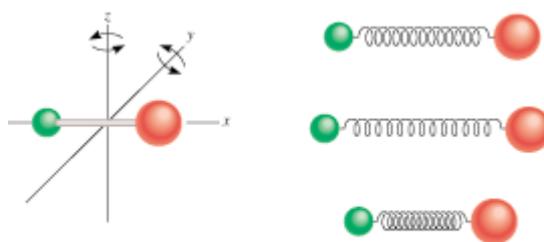


Figura 02 – Representação do modelo de partículas em que cada bolinha é uma partícula e a mola representa a ligação entre as partículas. Note que o movimento associado às partículas pode ser de rotação (primeira figura), vibração (segunda figura) ou translação.

Pelo fato de estarem em constante movimento, as partículas possuem **ENERGIA CINÉTICA**. Tal energia aumenta quando as partículas aumentam a velocidade. Além disso, como há uma interação entre as partículas (elas aplicam forças umas nas outras), associamos uma **ENERGIA POTENCIAL**. Quanto mais afastadas as partículas, mais intensa é essa forma de energia. Chamaremos de **ENERGIA INTERNA (ou TÉRMICA)** a soma das energias cinética e potencial das partículas. Veja que a energia interna de um certo corpo pode ser modificada pela mudança na velocidade das partículas e/ou pela alteração do arranjo delas.

Atividade 09: Livre caminho médio

Duração: 1 aula

Nessa atividade, você terá a oportunidade de perceber a natureza aleatória do movimento das partículas em um gás. Para isso, você terá alguns alfinetes, uma linha colorida e uma placa de isopor. Inicie a atividade escolhendo um ponto da placa. Marque esse ponto com um alfinete. Amarre a linha nele. Marque os pontos cardeais. Cada aluno deve mostrar de 1 a 4 dedos. Se a soma dos dedos colocados for igual a 1, 5, 9 ou 13, coloque o próximo alfinete ao norte do primeiro e ligue o barbante. Se a soma for 2, 6, 10 ou 14, coloque o próximo alfinete ao sul do primeiro e ligue o barbante. Se a soma dos dedos colocados for igual a 3, 7, 11 ou 15, coloque o próximo alfinete a leste do primeiro e ligue o barbante. Se a soma dos dedos colocados for igual a 4, 8, 12 ou 16, coloque o próximo alfinete a oeste do primeiro e ligue o barbante. Repita este procedimento por 30 vezes. E analise o desenho obtido.

Há alguma relação esta atividade e a anterior?

- (A) O que você pode concluir a respeito do espalhamento das partículas de um gás quando, por exemplo, um frasco de perfume é aberto?
- (B) Qual a possibilidade de um outro grupo conseguir uma disposição idêntica à sua?

Atividade 11: Trabalhando com a desordem

PRIMEIRA PARTE:

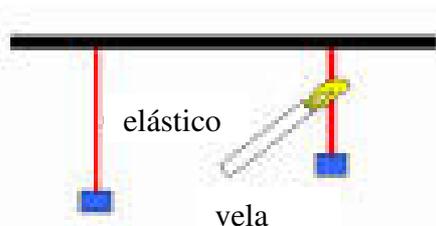
A atividade que você irá fazer agora tem o objetivo de demonstrar um princípio básico da natureza: a tendência à desorganização! Podemos trabalhar com essa tendência em pequenos sistemas e, em seguida, ampliar as conclusões para sistemas mais complexos. Vamos começar com um experimento dos feijões. Utilize três feijões pretos e três brancos. Coloque-os, separadamente, nas extremidades da caixa de fósforos. Feche a caixa e balance-a. Tente reproduzir a configuração inicial sem tocar nos feijões.

SEGUNDA PARTE:

Vocês têm recipientes que possuem tinta branca. Nos tubos, há tinta preta. Pingue 2 gotas de tinta preta no recipiente e mexa com o pedaço de madeira. Compare o padrão obtido na sua mistura com os padrões conseguidos por seus colegas.

TERCEIRA PARTE:

Se você prender uma das extremidades de um elástico (também chamada de “gominha”) em um suporte e, na outra extremidade, amarrar um pequeno peso, verá que o elástico irá aumentar o tamanho. Após esse procedimento, procure aquecer o elástico (tome cuidado para não queimar).



Discuta com os seus colegas e indique o que você acha que irá ocorrer com o comprimento do elástico.

Faça o experimento para tentar comprovar a sua conclusão.

- (A) É possível, sem fornecer energia externa, organizar a disposição dos feijões?
- (B) Os padrões obtidos são iguais? Há uma ordem para a mistura ocorrer?
- (C) Apresente uma explicação (baseada no modelo de partículas) para o comportamento do elástico.

Leitura 04: Entendendo a (des)organização da natureza

1. Evidências:

Ao longo da nossa vida, interagimos com diversas situações em que o nível de organização dos sistemas parece diminuir. O seu quarto é um bom exemplo dessa situação. Experimente ficar 1 mês sem arrumar as coisas no seu quarto (pode dizer para a sua mãe que é um experimento de Física). Naturalmente, a desordem irá aumentar muito! Para voltar à ordem inicial, você deverá utilizar uma certa quantidade de energia.

Uma moto-serra, por exemplo, só poderá realizar trabalho (utilizar energia de forma “controlada”, ou seja, tentando aumentar a ordem) se receber uma quantidade de energia de outro sistema. No caso, a energia armazenada no combustível (chamamos de energia

potencial) é, em parte, liberada durante a combustão para que o aparelho possa funcionar. Quando uma moto-serra funciona, parte da energia liberada na combustão não pode ser utilizada para a realização de trabalho. Isso significa dizer que há uma tendência à “degradação” da energia.

Assim são os processos naturais. Imagine uma casa recém construída. Nela, há uma ordenação que foi produzida pela energia utilizada pelas pessoas que se ocuparam da construção. Com o passar do tempo, essa ordem vai se desfazendo. Podemos perceber esse fato pela descoloração das paredes, o empenamento da madeira, o trincamento de algumas estruturas, etc. Após algum tempo, teremos uma casa bem diferente daquela que fora construída. É impossível que o passar do tempo, com as alterações produzidas na casa aleatoriamente, faça a casa voltar ao seu aspecto inicial. Para isso, é necessário que se utilize energia! A figura a seguir procura mostrar todo o desenrolar mostrado. Além disso, podemos afirmar que para que a casa voltasse a ficar organizada, foi necessário que outras partes da natureza sofressem uma desorganização.

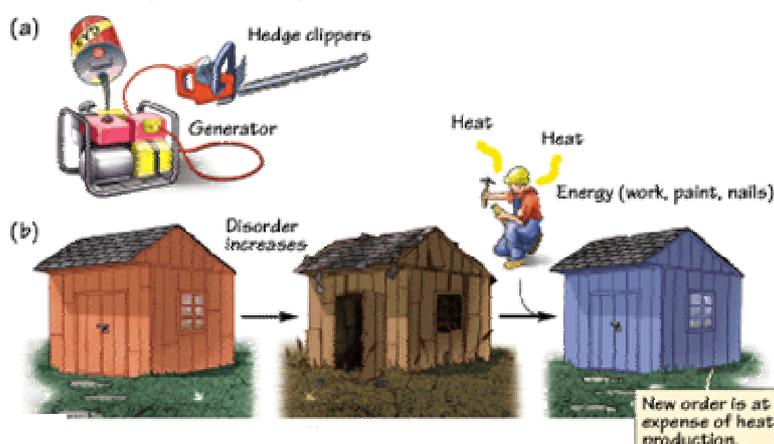


Figura 03 – representações da variação da entropia. Em (a), temos o combustível sendo colocado em um gerador que irá alimentar uma moto serra. É impossível conseguirmos transformar toda a energia armazenada pelo combustível exclusivamente em energia cinética. Parte se degrada. Em (b), uma casa recém construída (situação de ordem) irá, naturalmente, se deteriorar (situação de desordem). Para que ela volte a ter um aspecto de nova (nova ordem), é necessário que um agente externo realize trabalho.

2. A Entropia – uma nova grandeza para entender o destino do Universo:

A grandeza física que mede a desorganização de um dado sistema é chamada de **ENTROPIA**. Uma outra interpretação possível para a entropia é a qualidade das informações que se podem obter de um sistema. Assim, a casa “organizada” (nova) é aquela em que todos os seus componentes estão no seu devido lugar, possibilitando, assim, informações mais precisas acerca da posição dos seus componentes.

Veja o que acontece com as bolinhas coloridas abaixo.

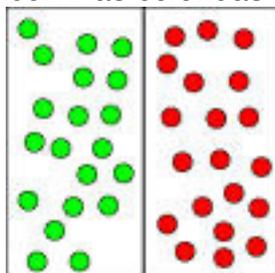


Figura 04 – situação de ordem apresentada pela separação entre as bolinhas. Repare que conseguimos retirar informações precisas acerca da localização das bolinhas de diferentes cores.

Inicialmente, temos um conjunto bem organizado. As bolas verdes estão à esquerda do recipiente e as vermelhas, à direita. Temos muitas informações sobre o comportamento desse conjunto, ou seja, sabemos onde encontrar as bolinhas coloridas.

A separação dos dois recipientes é retirada e o conjunto é chacoalhado. A nova configuração será mostrada a seguir.

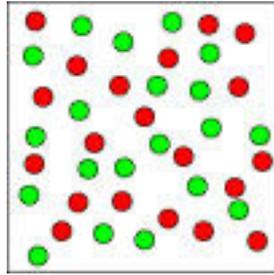


Figura 05 – situação de desordem. Com a retirada da separação entre as bolinhas, temos uma mistura. Houve um aumento da entropia, pois a desordem cresceu. Assim, podemos afirmar que o sistema perdeu a qualidade das informações que podem ser obtidas. Não podemos mais identificar claramente a localização das bolinhas de diferentes cores.

Haverá uma mistura entre as bolinhas e, portanto, teremos um aumento da desordem do sistema. Podemos perceber que a qualidade das informações que podiam ser obtidas do sistema diminuiu significativamente. Agora, não sabemos mais em que posição encontrar cada bola colorida. Houve um aumento de entropia no sistema. É impossível que, naturalmente, as bolinhas voltem à configuração inicial.

Uma análise mais profunda dos sistemas no permite concluir que a tendência é que a entropia de sistemas fechados aumente ou, no máximo, permaneça constante. Se houver uma redução de entropia em um certo sistema, um outro sistema irá, certamente, aumentar a desordem.

Um sistema é chamado de fechado quando puder trocar energia com o meio externo mas não trocar matéria. Quando houver troca também de matéria, o sistema é chamado de aberto. Se não houver troca nem de matéria, nem de energia, o sistema recebe o nome de isolado.

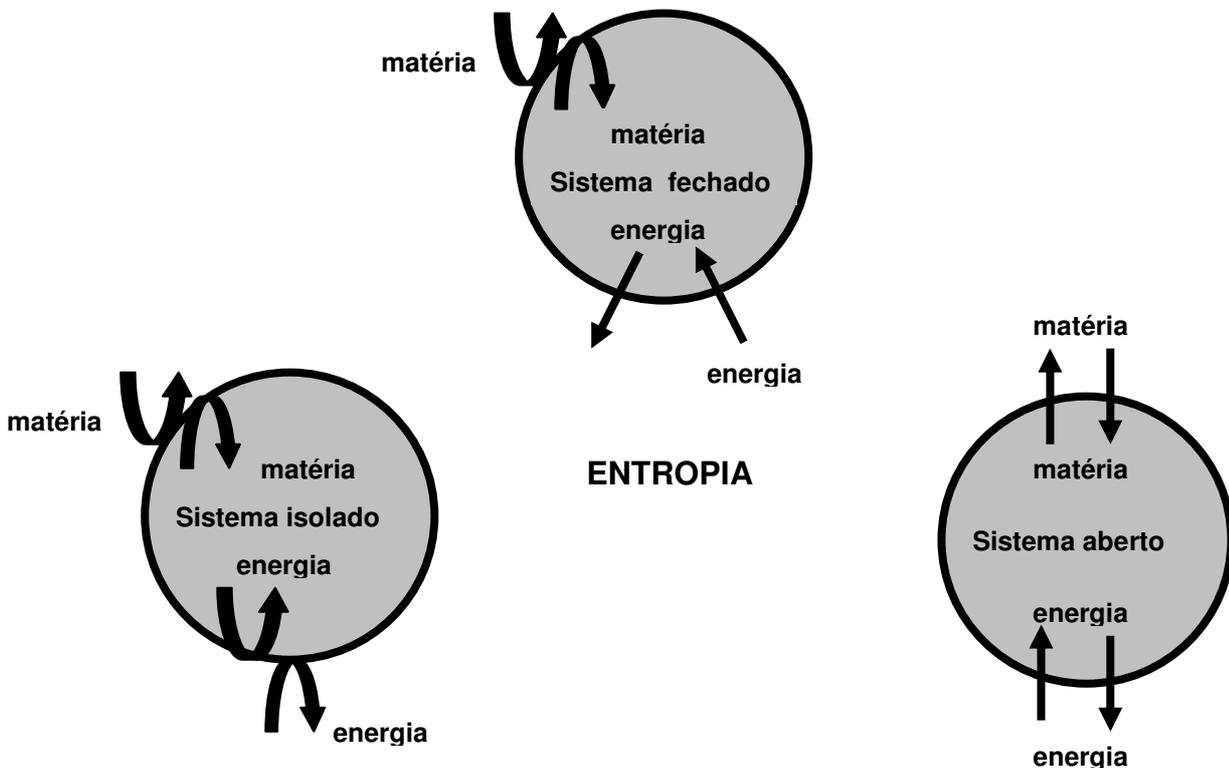


Figura 06 – Representação esquemática dos sistemas aberto, fechado e isolado.

Isso nos permite concluir que, apesar de a energia total do universo permanecer constante, ela não estará sempre disponível para a realização de trabalho. Por isso, não é possível que uma máquina possua um rendimento de 100%.

A termodinâmica possui duas leis principais:

A primeira lei afirma que a energia se conserva e pode ser expressa da seguinte forma: A variação da energia interna de um sistema é dada pela diferença entre o calor trocado entre o sistema e o meio externo e o trabalho realizado pelo ou sobre o sistema.

A segunda nos indica que os rendimentos nunca serão de 100%.

Uma outra maneira de mostrar o enunciado da segunda lei da termodinâmica é dizer que a entropia de um sistema fechado nunca diminui. Essa é uma lei muito importante e pode ser usada para discutirmos o destino do universo. Escrita de forma mais pomposa, temos:

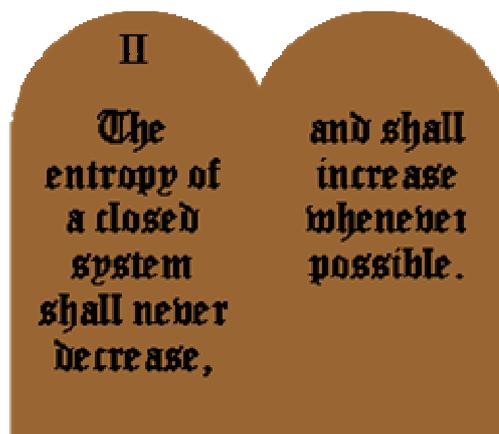


Figura 07 – Representação da Segunda Lei da Termodinâmica: “A entropia de um sistema fechado nunca diminuirá, e aumentará sempre que possível.”

3. Texto legal:

Como fechamento das atividades, escolhemos um texto muito interessante que fala acerca da entropia. O texto é de autoria do físico brasileiro Marcelo Gleiser.

Tempo, Vida e Entropia

O grande astrofísico britânico Arthur Eddington uma vez proclamou: 'Se a sua teoria contrariar alguma lei da física tudo bem, é possível que a lei deva ser modificada. Mas se essa lei for a segunda lei da termodinâmica, pode jogar a sua teoria no lixo'

Marcelo Gleiser é professor de física teórica do Dartmouth College, em Hanover (EUA), e autor do livro 'O Fim da Terra e do Céu':

A segunda lei da termodinâmica é, talvez, a lei natural mais fascinante. Em sua versão mais simples, proposta no século 19 por um médico alemão chamado Rudolf Clausius e pelo físico inglês Lord Kelvin, ela afirma que o calor sempre flui de um corpo quente para um corpo mais frio. 'Que lei mais óbvia', imagino que você esteja pensando.

É, nessa versão, ela é óbvia mesmo. Mas, por trás do óbvio, está escondido o mistério da passagem do tempo, do porquê da desordem tender sempre a crescer enquanto a ordem sempre decresce, do porquê de nós envelhecermos e várias outras questões fundamentais sobre o mundo e nossas vidas.

Vamos por partes, começando com fatos que são familiares para todo mundo. Quando você põe um cubo de açúcar no café, o cubo dissolve. Uma vez dissolvido, você não verá os grãos de açúcar voltarem a formar o cubo.

Se você abrir uma garrafa de perfume em um quarto fechado, você sentirá o cheiro agradável se espalhando pelo quarto. Isso ocorre por que as moléculas de perfume chocam-se entre si, escapando da garrafa, e, aos poucos, vão se chocando também com as moléculas de ar no quarto, e o perfume vai se difundindo. Você não verá o aroma agradável desaparecer devido ao fato de todas as moléculas espontaneamente terem resolvido voltar para a garrafa. Mais um exemplo: você quebra um ovo e prepara uma omelete. Jamais você verá a omelete se transformar de volta em um ovo. Todos esses processos mostram que existe uma direção preferencial para a passagem do tempo. Se você visse uma omelete se transformando em um ovo, você imediatamente concluiria, por mais estranho que fosse, que o tempo estaria andando para trás.

Os exemplos acima têm um aspecto em comum: todos eles começam em um estado organizado (o cubo de açúcar, a garrafa com o perfume dentro, o ovo) e terminam num estado muito mais desorganizado (o cubo dissolvido, o perfume espalhado, a omelete). Esse aumento inevitável da desordem não é uma propriedade exclusiva de cubos de açúcar, garrafas de perfume ou ovos. Ele ocorre com todos os sistemas que não trocam energia com o exterior. (No caso do ovo, o sistema tem de incluir a panela e a colher que bate o ovo e, se você quiser, o calor do fogão e a energia que você gasta.)

A quantidade de desordem de um sistema é representada pela sua entropia: quanto mais organizado o sistema, menor é a sua entropia. O cubo e a xícara de café do exemplo acima têm entropia menor do que os grãos de açúcar espalhados por todo o volume do café. Esse crescimento da entropia é outra expressão da segunda lei da termodinâmica: em um sistema isolado (que não troca energia com o exterior), a entropia nunca decresce, podendo apenas crescer ou permanecer constante.

E, como a segunda lei também está relacionada com a direção da passagem do tempo, podemos dizer que o tempo vai para frente porque a entropia cresce.

Não existe escapatória: um sistema deixado aos seus afazeres irá sempre ficar mais desorganizado (e, conseqüentemente, mais 'velho'). O que seria de sua casa se você nunca a limpasse?

Sempre que discuto a segunda lei, as pessoas me perguntam se ela não contradiz a teoria da evolução. Afinal, segundo essa teoria, a vida na Terra começou com seres unicelulares bastante simples e, com o passar do tempo, foi ficando cada vez mais complexa, cada vez mais organizada.

Nós somos seres complicados, com um grau de organização celular muito maior do que aquele de uma ameba ou de um simples vírus. Como foi possível que formas altamente organizadas se desenvolvessem em meio a esse aumento de entropia?

A resposta se encontra na formulação da segunda lei. Conforme expliquei acima, ela diz respeito a sistemas isolados, que não trocam energia e informação com o exterior. E esse não é, certamente, o caso dos seres vivos.

Qualquer animal depende de um influxo constante de energia e de alimentação para viver. A vida não é possível para um ser que exista completamente isolado dos outros animais e do mundo.

Ela só é possível quando existe um decréscimo local de entropia, um aumento local de ordem. Mas, quando consideramos as fontes de energia (o Sol, os alimentos), a entropia total sempre cresce. E o tempo, para o cosmo como um todo, continua sempre marchando avante, indiferente às nossas inquietações existenciais.

(Folha de SP, 19/5/2002)

Discuta com os seus colegas as impressões deixadas pelo texto e as registre no espaço a seguir.

4. Discutindo os conceitos:

A seqüência das atividades propostas e as discussões realizadas com os colegas e com o professor permitiram que cada um construísse um modelo de comportamento para as partículas que compõem um corpo e, assim, compreender os fenômenos térmicos que fazem parte de nosso mundo.

Nesse momento, vamos sistematizar tais conclusões para que você possa utilizar esse modelo nos próximos tópicos de estudo.

A entropia dos sistemas fechados nunca diminui. Portanto, quando colocamos em contato dois objetos que estão em temperaturas diferentes, o que deve acontecer? Se analisarmos a situação à luz do modelo de partículas, veremos que, inicialmente, as partículas dos corpos estão animadas com diferentes energias cinéticas. Em outras palavras, as energias cinéticas médias das partículas são diferentes para os corpos, sendo que o objeto mais quente possui partículas, em média, com energia cinética maior do que o mais frio. Podemos estabelecer uma **ordem** associada ao sistema: um dos objetos possui partículas com mais energia cinética enquanto que, no outro, a energia cinética das partículas é menor. Sabemos identificar os corpos em função das temperaturas.

Acontece que a entropia no sistema tende a aumentar. Portanto, é de se esperar que haja um fluxo de energia entre os corpos. Tal fluxo irá ocorrer, **sempre**, do mais quente para o mais frio. Dessa forma, a tendência é que os corpos atinjam a mesma temperatura. Assim, perderemos a ordem inicial, ou seja, haverá um aumento da entropia. Em outras palavras, a existência do calor está associada ao aumento da desordem dos sistemas, o que pode ser verificado em diversas situações.

Veja que o conceito de calor que foi apresentado na leitura 02 é justificado pela segunda lei da termodinâmica. Há calor pois a entropia dos sistemas tende a aumentar. Havendo calor, a temperatura dos objetos tende a se igualar, em uma situação chamada de equilíbrio térmico.

Quando, em um futuro muito distante, a entropia do Universo atingir o seu valor máximo (essa é a tendência), teremos o equilíbrio térmico entre *todos* os objetos dos cosmos. Nesse momento, não haverá mais calor. Como a entropia for maximizada, o calor “perderá a sua necessidade de existir” e, portanto, não mais estará presente. A partir desse momento, todos os processos que mantêm um ser vivo não mais poderão ocorrer. Já não haverá mais estrelas, plantas, marés, ventos. Enfim, não haverá mais vida.

Somos uma deliciosa versão de um Universo que ainda não atingiu a sua “maturidade”. A vida é uma estranha permissão da natureza que quer chegar à máxima entropia. Fazemos parte de um Universo que precisa de nós para cumprir o seu destino. O nosso Cosmos ainda está em constante mudança e uma das mudanças mais significativas é a da entropia, que aumenta a cada instante!

Anexo II
Testes 1 e 2

Teste 1:

1. Um antigo comercial das Casas Pernambucanas continha o seguinte diálogo (musicado) entre uma dona de casa e um personagem que batia à porta:
“– Quem bate?
É o frio!
Não adianta bater, que eu não deixo você entrar. Nas Casas Pernambucanas é que vou aquecer o meu lar ...”
Do ponto de vista da Física Térmica, este comercial possui uma imprecisão. Identifique a imprecisão e justifique a sua indicação.
2. Imagine a seguinte cena: Um “iceberg” flutua no oceano e uma pessoa, sem qualquer tipo de proteção, nada nas proximidades. Dadas as temperaturas (1) da região interna do iceberg $\rightarrow -18^{\circ}\text{C}$; (2) da região externa do iceberg $\rightarrow -3^{\circ}\text{C}$; (3) da água $\rightarrow 5^{\circ}\text{C}$; (4) da superfície externa do corpo humano $\rightarrow 36^{\circ}\text{C}$; (5) da região interna do corpo humano $\rightarrow 38^{\circ}\text{C}$; (6) do ar ambiente $\rightarrow 7^{\circ}\text{C}$, apresente todas as transferências de energia envolvidas e identifique o sentido de cada transferência.
3. Suponha que você aqueça 1 litro de água no fogo por um certo intervalo de tempo, e que sua temperatura se eleve em 2°C . Se você colocar 2 litros de água no mesmo fogo pelo mesmo tempo, em quanto se elevará a temperatura?
4. Se você sacudir violentamente uma lata com líquido para cima e para baixo por mais de um minuto, a temperatura do líquido aumentará, diminuirá ou permanecerá constante? Explique o seu raciocínio.
5. Uma tachinha de ferro e um grande parafuso também de ferro são retirados de um forno quente. Eles estão vermelhos de tão quentes e se encontram à mesma temperatura. Quando forem mergulhados em recipientes idênticos, com água nas mesmas temperaturas, qual deles elevará mais a temperatura da água?

Teste 2:

1. Quando uma bola de gude veloz colide com um punhado de bolas de gude lentas, espalhando-as, normalmente a bola de gude originalmente veloz torna-se mais rápida ou mais lenta? Quem perde energia cinética e quem ganha energia cinética, a bola de gude inicialmente veloz ou as que eram inicialmente lentas? Como essas questões se relacionam com o sentido da transferência de calor?
2. Imagine que você necessita construir um termômetro. Apresente, com as respectivas justificativas, duas características fundamentais para que o instrumento construído seja um bom medidor de temperatura.
3. Uma vasilha contém água a 80°C . Se dividirmos seu conteúdo em dois copos, cada um deles contendo a mesma quantidade de líquido, o que deve acontecer com a temperatura? E se dividirmos em quantidades ainda menores? Explique.
4. Você esperaria que a temperatura da água na base de uma grande catarata fosse ligeiramente mais alta ou mais baixa do que a temperatura no topo desta catarata? Justifique a sua resposta.
5. Em que situação conseguiremos obter uma lata de refrigerante em menor temperatura: colocando-a em gelo, a 0°C , ou em água, a 0°C ? Justifique a sua resposta.
6. Quando o café está muito quente, é comum assoprarmos a superfície desses líquidos para esfriá-los. Explique, com base no modelo de partículas, a razão desse procedimento.
7. Considere dois sistemas a temperaturas diferentes: (1) um grande lago que está a 10°C e (2) uma xícara de chá que está a 90°C .
Compare
 - (A) o comportamento das moléculas de água num e noutro sistema.
 - (B) a energia cinética média das moléculas de água nos dois casos.
 - (C) a energia cinética total das moléculas de água nos dois casos.
 - (D) Se você colocar a xícara de chá quente em contato com a água fria do lago, seria possível que o chá se aqueça ainda mais, enquanto que o lago apresenta um ligeiro resfriamento? Justifique.

Anexo III

Planejamento das atividades da seqüência de ensino

DATA	NÚMERO DE AULAS	ATIVIDADE	PROVIDÊNCIAS
29/08 sex	1	Atividade de abertura → individual	Recolher tudo
29/08 sex	2	Texto 01 → leitura e discussão em grupo	Recolher 1, 2 e 4 -- filmar
01/09 seg	1	Aula Expositiva → Retomar o texto	
08/09 seg	1	Atividades 1 e 2 → em grupo → discussão com a turma	Filmar as atividades e a discussão;
12/09 sex	2	Atividades 3 e 4 → em grupo → discussão com a turma	recolher 2B; filmar
15/09 seg	1	Atividade 5 → em grupo	Filmar
19/09 sex	2	Atividade 6 → em dupla na informática →	Filmar a discussão e recolher o relatório
22/09 seg	1	discussão geral	
26/09 sex	2	Leitura 02 → individual; Resolução, por parte dos alunos, do teste 01	Recolher → verificar modelos explicativos 1
29/09 seg	1	Aula expositiva → modelo de partículas	
03/10 sex	2	Atividades 07 e 08 → em grupo	Recolher relatório individual
06/10 seg	1	Leitura 03	
10/10 sex	2	Atividades 09 (sala → em grupo) e 10 (informática → em dupla)	Filmar (at. 09) e Recolher Relatório (at.10)
17/10 sex	2	Atividade 11; Leitura 04 → discussão com a turma	Filmar
20/10 seg	1	Resolução, por parte dos alunos, do teste 02	Recolher → verificar modelos explicativos 2

Anexo IV

Questões para a entrevista

QUESTÃO 01:

Uma das práticas realizadas durante a seqüência de ensino foi o aquecimento de massas diferentes de água e de óleo por meio de fontes térmicas iguais. Pudemos verificar que os objetos se aquecem diferentemente, em função de características próprias tais como a massa e o tipo de material.

Suponha que você esteja em uma região muito fria e necessite aquecer a sua cama. Para isso, você dispõe de uma bolsa de borracha onde pode ser colocado 1,0 kg de água a 60°C ou 1,0 kg de ferro a essa mesma temperatura. Essa bolsa será colocada debaixo dos lençóis para aquecer, sua cama, sem que sejam postas em contato com seu corpo. Se você quiser que a cama fique aquecida por **MAIS TEMPO**, qual deve ser a sua escolha: a água ou o ferro? JUSTIFIQUE sua resposta.

QUESTÃO 02:

Considere a seguinte situação: uma xícara de porcelana com café quente é posta sobre uma mesa e vai, então, se resfriando lentamente.

- Como ocorre o resfriamento do café? Tente descrever, com o máximo de detalhes possível, como se dá esse processo.
- Existe, nesse caso, transferência de calor? Até quando ela ocorre e qual é o sentido dessa transferência?
- Ao assoprarmos o café, ele esfria mais rapidamente e, se tamparmos a xícara, ele esfria mais lentamente. Explique a razão desses fatos.

Obs.: variações possíveis, em função das respostas apresentadas pelos estudantes

- Solicitar uma explicitação sobre o que ocorre com as partículas do café e do ambiente durante o processo de resfriamento do primeiro.
- No caso do item (a), perguntar sobre as variações de temperatura verificados no café e no ambiente durante o processo com as devidas justificativas.
- Se a resposta do item (2) indicar uma ausência da noção de capacidade térmica, questionar sobre os fatores que influenciam na variação de temperatura de um determinado sistema.
- Em relação ao item (c), buscar outros problemas para relacionar com a questão levantada como, por exemplo, a sensação de frescor que existe quando assoprarmos a própria pele (qual a função de um ventilador?).

QUESTÃO 03:

Uma garrafa de cerveja e uma lata de cerveja permanecem durante vários dias numa geladeira.

- Quando se pegam com as mãos desprotegidas a garrafa e a lata para retirá-las da geladeira, o que se pode dizer sobre suas temperaturas?
- Quando tocamos cada um dos objetos citados, existe transferência de energia na forma de calor? Em caso afirmativo, qual é o sentido dessa transferência?

Imagine, agora, forno ligado na temperatura máxima. Dentro do forno existe, há muito tempo, uma tigela de vidro refratário e uma tigela semelhante, porém, feita de metal.

- Quando se pegam com as mãos desprotegidas as duas tigelas, o que se pode dizer sobre suas temperaturas?
- Quando tocamos cada uma das tigelas, existe transferência de energia na forma de calor? Em caso afirmativo, qual é o sentido dessa transferência?

Como se comparam as duas situações analisadas – garrafa e lata de cerveja na geladeira e tigelas de vidro e metal no forno?

EXPERIMENTO 01:

O balão de borracha que você está recebendo está com um pouco de água em seu interior. Aproxime a chama do isqueiro do balão, na parte em que existe água. Observe o que aconteceu. Repita o procedimento com outro balão, idêntico ao primeiro, porém cheio de ar. Compare as duas situações e explique as diferenças.

EXPERIMENTO 02:

Observe o aparelho que está sobre a mesa⁵⁶. Segure-o por alguns instantes e veja o que acontece. Coloque a parte superior do aparelho em contato com a sacola que contém gelo. Observe o que

⁵⁶ O aparelho utilizado é chamado de “ebulidor de Franklin”.

acontece. Explique o motivo do movimento do líquido dentro do aparelho.

Se colocarmos um objeto frio em contato com o aparelho, o que você espera acontecer?

E se colocarmos o gelo na parte superior do aparelho?

Depois de fazer a sua previsão, faça o experimento.

Como você explica o resultado observado?

Caso o resultado seja diferente da previsão, o que havia de errado em sua previsão e explicação anteriores?

Como se comparam as duas situações?

EXPERIMENTO 03:

O pássaro sedento no laboratório

Propósito

Investigar a operação do pássaro japonês bebedor de água.

Material

Pássaro japonês, proveta de 250 ml e água.

Objetivo

Muitos brinquedos ilustram princípios físicos fundamentais. O brinquedo denominado passarinho que "bebe água" é um bom exemplo de máquina térmica. O desafio para você é descobrir como ele funciona.

Atividades e procedimentos sugeridos

1. Monte o brinquedo do pássaro sedento próximo à proveta com água, de modo que ele inicie seu ciclo de operação.

Assegure-se, nessa montagem, que o bico do pássaro toca a água em cada ciclo. Talvez você precise ajustar o fulcro (apoio da alavanca de primeira espécie, a qual o pássaro todo é um exemplo) para garantir ciclos suaves e seguros.

2. Depois que o pássaro começar a beber, efetuando os ciclos sem interrupção, estude cuidadosamente sua operação. Examine atentamente o movimento do pássaro e o movimento do líquido em seu interior. Sua finalidade é explicar como ele trabalha. Como produto final, seria interessante de sua parte, fazer um desenho que explique, passo a passo, um ciclo completo do movimento do pássaro.

Perguntas opcionais

1. O que faz o fluido elevar-se no pescoço do pássaro?

2. O que faz o pássaro mergulhar sua cabeça na água?

3. Qual o propósito da "penugem" ou "outros enfeites" na cabeça ou corpo do pássaro?

4. O pássaro continuará seu ciclo removendo-se o recipiente com água? Explique.

5. O pássaro funcionará mais rapidamente (tempo de um ciclo completo) em lugar fechado ou ao ar livre? Qual o porque disso?

6. A temperatura da água no béquer (ou copo) afeta o ciclo de funcionamento do pássaro? Explique.

7. Indique as transformações de energia que ocorrem ao longo de 1 ciclo de funcionamento do pássaro.

Anexo V

Respostas dos alunos do grupo acompanhado

Atividade de Abertura - 29/08/2003 (Início: 8:10h – Término: 8:40h) – Respostas dos alunos

Aluno	Resposta
Ana Paula	<ol style="list-style-type: none"> 1. Temperatura é um meio para medir a unidade, o calor, o frio. Ela depende de vários fatores do ambiente e não é constante 2. Calor é quando a temperatura sobe, o que indica que a “fonte de calor” (sol) sobre o ambiente é grande 3. As faíscas são mínimas e talvez por isso “percam” o calor mais rápido e quando chegam na pele já estão em uma temperatura mais baixa, enquanto a faca por ser um objeto maior demora mais para adquirir o calor, mas também demora mais a perdê-lo o que produziria queimaduras graves 4. a) Para ter certeza que a temperatura da pessoa é aquela, pois se deixássemos por um curto período poderia haver alguma variação b) Não, pois a medida de temperatura no termômetro, independente de quanto tempo esteve no local não se altera a menos que a temperatura da pessoa se altere 5. Pois qualquer coisa quente se não for mantida a uma determinada temperatura esfria 6. Essa impressão é correta, pois acho que o metal tem mais “tendência” a esfriar que a madeira 7. O perfume evapora
Carla	<ol style="list-style-type: none"> 1. Uma variação que ocorre no tempo (quente/frio) 2. Algo quente 3. Sim, porque a faca fica quente por mais tempo e a faísca perde o calor quando sai da faca 4. a) O calor da pessoa passa para o termômetro para igualar a temperatura nos dois b) Não. Vai haver um equilíbrio entre os meios onde nenhum vai aumentar ou abaixar 5. Porque a xícara está fria e ela não é térmica (não conserva a temperatura) e o café também está em contato com o ar 6. Sim. A maçaneta dá a impressão de ser mais fria por causa do metal usado, mas a maçaneta está na mesma temperatura 7. O perfume sofre evaporação e assim se espalha por todo quarto
Cleiton	<ol style="list-style-type: none"> 1. Temperatura é quantidade de energia contida no ambiente 2. É uma quantidade de energia que excede ao normal do ambiente 3. Porque as faíscas não estão em nenhum corpo físico grande o suficiente para que chegue a queimar, enquanto a faca tem muito mais energia para queimar a pele da pessoa 4. a) Para que dê tempo dos dois corpos entrarem em equilíbrio térmico b) Não, porque os corpos tendem a ficar em equilíbrio térmico 5. Porque ele irá trocar calor com ambiente até entrarem em equilíbrio térmico 6. Não, ambos estão a mesma temperatura, mas como o coeficiente de calor do metal é menor o metal irá receber energia da pessoa mais rapidamente dando-lhe a impressão que o metal está mais frio 7. Por causa do efeito da homeostase, que é a tendência de um meio mais concentrado para o menos concentrado
Eduardo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Temperatura é a quantidade de calor (energia) presente em um corpo medida em (por exemplo) °C 2. Calor é a quantidade de energia presente em um corpo (energia → °C) 3. Pois a área de contato é pequena, as faísca tocará uma região muito pequena e a absorção do calor dela será “instantânea”. Já a faca tem uma “área” muito maior 4. a) Para que o mercúrio se dilate e que haja o equilíbrio das duas temperaturas

	<p>b) Não. Pois haverá equilíbrio das temperaturas</p> <p>5. Pois o seu calor vai sendo dissipado</p> <p>6. Não. Na verdade as duas tem a mesma temperatura, porém como o metal transporta calor mais rápido, a “troca” será instantânea (para equilíbrio)</p> <p>7. Pois o perfume vai evaporando e se espalhando</p>
Flávia	<p>1. Para mim, temperatura é a variação de um tempo, corpo, etc, quente ou frio</p> <p>2. Calor é um estado muito quente o que faz com que a temperatura seja também muito alta</p> <p>3. As faíscas não produzem queimaduras por serem “pequenas” já a faca que é um objeto e maior produziria queimaduras</p> <p>4. a) O motivo desse processamento (sic) é que a pessoa pode estar em um ambiente mais frio ou mais quente que sua temperatura, então, para haver precisão na medida da temperatura, o termômetro fica 2 minutos em contato com a pele</p> <p>b) Eu não concordo, pois ele marcará apenas a temperatura do corpo</p> <p>5. Porque está em contato com uma superfície mais frio com temperatura menor</p> <p>6. Essa impressão é correta pois a maçaneta metálica possui a temperatura menor</p> <p>7. O quarto fica perfumado porque o perfume “evapora”, as partículas vão se espalhando pelo ambiente</p>
Lara	<p>1. Para mim temperatura é uma variação no tempo e que podemos sentir, há temperaturas quentes e frias</p> <p>2. Para mim calor é quando algo ou alguém libera energia que é “transformada” em calor</p> <p>3. As faíscas são produzidas devido o calor que sai da faca sendo afiada e quando encostar em você não queima. Já a faca quente quando encosta em você queima devido o alumínio nela presente</p> <p>4. a) Se a temperatura corporal estiver elevada o termômetro em contato com a pele detectará isso, pois a temperatura “dele” irá subir mostrando se a pessoa está com febre ou não</p> <p>b) Não, pois quando o termômetro atingir a temperatura da pessoa ele irá estabilizar, ou seja, para de subir</p> <p>5. Porque ele vai liberando calor em contato com a temperatura ambiente</p> <p>6. É correta sim, pois o metal em temperatura ambiente é “mais frio” em relação à madeira</p> <p>7. Os componentes do perfume evaporam quando a tampa está aberta, deixando o quarto perfumado</p>
Samuel	<p>1. Temperatura é a quantidade de calor que algo possui</p> <p>2. Calor é uma temperatura “elevada” que leva à dilatação dos corpos</p> <p>3. As faíscas tendem a esfriar mais rápido do que a faca, sendo assim, não causam queimadura.</p> <p>4. a) O motivo é esperar que o termômetro absorva toda a quantidade de calor corpórea</p> <p>b) Não, pois a quantidade de calor liberado não irá mudar</p> <p>5. Porque o seu calor é absorvido pela xícara e também é liberado na forma de vapor</p> <p>6. É correto se ambas estiverem na sombra, pois se estiverem no sol a maçaneta, que é metálica, irá absorver mais calor</p> <p>7. As moléculas de perfume tendem a se espalhar pelo quarto através de seus movimentos</p>

Teste 1 – Verificação de Modelos Explicativos - 26/09/2003 (Início: 8:10h – Término: 8:40h) – Respostas dos alunos

Aluno	Resposta
Ana Paula	<ol style="list-style-type: none"> 1. A imprecisão está no fato do personagem não deixar o frio entrar para aquecer seu lar, sendo que é a diferença de temperatura de dois corpos ou ambientes que produz a sensação de calor ou frio, e como a Casa Pernambucanas se encontrava no mesmo local do frio, ela também deveria estar fria, a não ser se tivesse um sistema de aquecimento. 2. A baixa temperatura do iceberg vai ser transferida para a água, e a baixa temperatura da água vai ser transferida para a superfície do corpo, que vai se congelar eventualmente. 3. A temperatura se elevará 1 °C, já que a mesma fonte de calor é usada para um volume 2 vezes maior de água. 4. A temperatura do líquido aumentará, pois haverá agitação das moléculas, e essa agitação eleva a temperatura. 5. Ambos elevarão a mesma temperatura, pois possuem a mesma quantidade de calor em seus corpos, sendo assim a transferência de energia deverá ser a mesma.
Carla	<ol style="list-style-type: none"> 1. O frio entrará na casa sim, só que vai haver uma transferência de energia entre a temperatura da casa e o frio, assim não parecendo que ele entra. 2. Há transferência de energia da região interna do iceberg para a externa que por sua vez transfere para a água. A água junto com a região externa do iceberg transfere para o ar ambiente (assim ele fica equilibrado). O ar junto com a água transferem uma energia para o corpo (superfície externa) que conseqüentemente transferirá para a superfície interna. 3. Em 1 °C, já que há mais massa em 2 litros assim demorando mais para aquece-la toda. 4. Aumentará, já que pode conseguir calor pelo movimento. E como o movimento é brusco e repetido vai gerar energia capaz de elevar a temperatura. 5. O grande parafuso de ferro, já que vai demorar mais para a água “tentar esfriar” a superfície interna. Com o pequeno (a tachinha) a superfície de contato entre água e ferro é maior, assim havendo uma transferência de energia muito rápida não havendo um aumento da temperatura significativo.
Cleiton	<ol style="list-style-type: none"> 1. Que o frio (a baixa energia cinética das moléculas do ar) não deixaria de entrar por causa que a pessoa não quis ele automaticamente já estaria recebendo a energia do interior da casa, pelas mínimas frestas. 2. 1 para 2, 2 para 3 e 6; 3 para 4; 4 para 5 3. Ela se elevará 1 °C, porque fornecendo a mesma energia ela precisaria do dobro de tempo para aquecer o dobro da substância. 4. Aumentaria. Porque com esse movimento da lata ira propiciar um movimento das moléculas que iram (sic) entrar em atrito entre si e ocorrerá liberação de calor, mesmo que em pouca quantidade. 5. O grande parafuso de ferro, porque graça a sua superioridade de moléculas ele teria mais energia, a mesma quantidade de energia por molécula, igual a da tachinha, mas estariam em maior número então teriam mais energia a dispor para a água.
Eduardo	<ol style="list-style-type: none"> 1. ((Deixou em branco)). 2. Transferência do mais quente para o mais frio. ((por meio de um desenho, indicou as transferências de energia)) 3. 1 °C. Pois serão mais moléculas para “dividir a energia recebida” (a quantidade de energia recebida é a mesma, porém cada molécula receberá menos energia) 4. Aumentará (pouco). Pois aumentará o número de moléculas em contato com o ar (transferência de energia OU (levando em conta a aula de microondas) Pode ser que eleve, pois você dará energia cinética às moléculas e elas, “trombando”, “liberem energia”.

	5. O prego. Pois mesmo estando à mesma temperatura, o prego tem mais “energia”: são mais moléculas a esta mesma temperatura.
Flávia	<p>1. A imprecisão que aparece no comercial é que não podemos falar que o aumento de temperatura equivale ao calor. Quando a personagem diz que vai aquecer o lar, não quer dizer que o frio não possa “entrar”.</p> <p>2. Região interna do iceberg → região externa do iceberg → água → superfície externa do corpo humano → região interna do corpo humano.</p> <p>3. A temperatura se elevará em 1 °C. Se aquecermos 1 L, a temperatura aumenta 2 °C, se aquecermos 2L, a temperatura se elevará em 1 °C.</p> <p>4. Se sacudirmos a lata com o líquido para cima e baixo por mais de um minuto, a temperatura do líquido aumentará, pois a temperatura está diretamente relacionada com a agitação das partículas. Nesse caso, as partículas estão mais agitadas, o que levará à elevação da temperatura.</p> <p>5. O parafuso elevará mais a temperatura da água por sua superfície de contato ser menor. Sendo menor, ela elevará mais a temperatura da água.</p>
Lara	<p>1. A imprecisão do comercial é o modo como eles tratam frio e aquecimento. Se houver mudança de temperatura a pessoa “sentirá” frio de qualquer jeito, só que o casaco que ela usar, servirá de “isolante”, com mudanças de energia do casaco para o corpo dando a sensação de aquecimento.</p> <p>2. haverá transferência de energia do iceberg para a água e vice-versa; do ar ambiente para o iceberg; da água para o homem; do ar para o homem.</p> <p>3. Ao colocar dois litros de água a temperatura se elevará apenas 1 °C, pois a quantidade de água será maior e demorará mais para as moléculas se dilatarem e aquecer todo o conteúdo do recipiente.</p> <p>4. A temperatura do líquido aumentará, pois ao sacudir, as moléculas começarão a se agitar e vão dilatar-se, aumentando a superfície de contato com o ar fazendo assim com que esquente o líquido.</p> <p>5. A tachinha de ferro. Devido o seu tamanho as moléculas se resfriam mais rápido.</p>
Samuel	<p>1. A imprecisão é do frio não poder entrar, pois de acordo com a Física Térmica, quando os corpos entram em contato, há troca de calor entre eles.</p> <p>2. Transferência de energia de: 4 para 5; 2 para 1, 6 para 2; 6 para 3; 3 para 2; 4 para 3; 6 para 4</p> <p>3. A 1 °C, pois aumentou o volume de água, na qual para alcançar a outra temperatura, necessita de fornecer mais energia.</p> <p>4. Aumentará, pois o ato de sacudir violentamente o líquido, promoverá o choque entre algumas moléculas, gerando aumento da temperatura.</p> <p>5. O grande parafuso, pois a sua superfície de contato com a água é maior, facilitando a troca de calor.</p>

Teste 2 – Verificação de Modelos Explicativos - 20/10/2003 (Início: 8:10h – Término: 8:40h) – Respostas dos alunos

Aluno	Resposta
Ana Paula	<p>1. A bola de gude originalmente veloz torna-se mais lenta. Quem perde energia cinética é a bola veloz e quem ganha são as inicialmente lentas. A transferência de calor ocorre do corpo mais quente para o mais frio, assim como a energia cinética passa de um corpo mais veloz para o outro menos veloz.</p> <p>2. O termômetro tem que ser de mercúrio, pois o mercúrio sobe regularmente com o fluxo de calor.</p> <p>3. Permanecerá a mesma. Ainda permanecerá a mesma, pois a temperatura já estabelecida anteriormente não se modificará por causa do volume dividido.</p>

	<p>4. Eu esperaria que a temperatura fosse mais alta, pois essa parte sofreria maior pressão.</p> <p>5. Colocando-o em água a 0°C pois a elevação de temperatura da água será mais lenta que a do gelo, no momento em que a lata transferir seu calor para a água.</p> <p>6. A razão desse procedimento é fazer com que o café perca energia, e assim se resfrie.</p> <p>7. a) I – no lago as moléculas apresentam menor velocidade de locomoção que no chá. II – a energia cinética média do chá é maior que a da água do lago. III – a energia cinética do chá é maior do que a do lago.</p> <p>b) Acredito que seja não, pois a transferência de calor ocorre do corpo mais quente para o mais frio (mas acho que estou errada)</p>
Carla	<p>1. A bolinha de gude que estava veloz fica mais lenta, ou seja, a bolinha veloz perde energia cinética, enquanto as bolinhas lentas ganham energia cinética. Isso relaciona com a transferência de calor, porque a que está mais “quente” transfere energia para a mais “gelada” assim equilibrando os meios.</p> <p>2. O material usado precisa ter uma eficácia muito grande para medir o calor, assim se o calor varia um pouquinho, o material também tem que variar esse pouquinho. Além disso o material tem que ser resistente para agüentar os mais altos ou baixos níveis de calor. Que no caso é o mercúrio.</p> <p>3. A temperatura não vai variar, mesmo dividindo em pequenas quantidades. O fator que varia é a quantidade. Quando fornece um mesmo calor para um tipo só de conteúdo, todo esse conteúdo vai ter a mesma temperatura em qualquer ponto.</p> <p>4. Eu esperaria que a do alto fosse mais alta que a da base, já que para cair ela ganha uma velocidade que pode fazer a temperatura variar. Só que isso não ocorre.</p> <p>5. Em gelo, por causa do estado físico que é sólido.</p> <p>6. Ao assoprar separa um pouco as partículas, assim havendo menos movimento entre elas.</p> <p>7. a) I – As partículas no chá estariam em mais movimento do que no lago. II – A energia cinética no chá estará maior do que as do lago, por causa do movimento das partículas. III – Daria uma energia cinética baixa, já que o lago tem muito mais partículas que uma xícara.</p> <p>b) Não. O chá irá esfriar e o lago por ser bem maior que uma xícara continuará a mesma temperatura.</p>
Cleiton	<p>1. A bola de gude mais rápida vai doar energia cinética para as mais lentas, assim como um lugar mais quente, onde as moléculas estão mais agitadas, mais “rápidas” vai doar energia para as mais lentas pelo contato.</p> <p>2. Que o calor específico da substância usada para indicar seja baixo para ser mais rápido e preciso e que seu corpo seja de um material que retenha o mínimo possível de calor.</p> <p>3. A temperatura irá diminuindo na mesma velocidade e irá se dividirmos novamente, a temperatura irá diminuindo ainda na mesma velocidade. Talvez irá mudar por causa da perda de calor para o próprio copo e a questão da superfície de contato.</p> <p>4. Mais alto, por causa do movimento das moléculas na base da catarata que iria criar energia cinética e esquentaria.</p> <p>5. No gelo: porque o gelo ainda teria que absorver energia para mudar de estado físico, mesmo ainda na mesma temperatura.</p> <p>6. Que ao passar uma corrente de ar, esse ar capitaria (sic) mais energia do líquido em questão, assim esfriando-o</p> <p>7.a) I – As moléculas de água do lago estão mais estáveis e mais lentas em quanto (sic) na xícara de chá as moléculas estão mais agitadas por causa da grande energia cinética contida nelas. II – Na água do lago é baixa, e na água do chá é bem alta.</p>

	<p>III – Se misturar os dois sistemas a mudança seria imperceptível (sic), a xícara é milhares de vezes menor do que um grande lago, e assim a energia cinética ainda seria baixa.</p> <p>b) Não, porque a tendência é a do equilíbrio térmico.</p>
Eduardo	<p>Mais lenta. A bolinha rápida perde energia. E no “mundo calorífico” é o mesmo: a transferência de energia ocorre sempre do que tem mais calor para que tem menos.</p> <p>Que seja feito com mercúrio (bom condutor, alto calor específico e líquido a temperatura ambiente) e deve ter um “furo” muito pequeno para que não altere sua temperatura muito bruscamente.</p> <p>Irá se manter ou diminuir. Se diminuir, a causa será a grande superfície de contato.</p> <p>Mais alta. Pois com a queda, há um ganho de energia (que vira calor) cinética.</p> <p>Na água. Pois como a área de contato é maior, haverá mais transferência de energia da latinha para a água.</p> <p>Quando assopramos o café há um fluxo de partículas nele que faz haver maior transferência de energia.</p> <p>Não tem como! Pois o café perderá energia para o lago.</p>
Flávia	<p>1. Torna-se mais lenta. A bola rápida perde energia. A transferência de calor sempre ocorre do que tem mais calor pro que tem menos.</p> <p>2. Para se construir um termômetro, as duas características fundamentais seriam ser alta condutividade, baixo calor específico.</p> <p>3. A temperatura será igual nos dois copos. Se dividirmos em quantidades menores o líquido nos copos continuará tendo a mesma temperatura.</p> <p>4. A temperatura na base da catarata é maior do que no topo da mesma, já que maiores altitudes, temperaturas menores. E há também o ganho de energia cinética.</p> <p>5. Colocando-a em água já que sua superfície de contato é maior.</p> <p>6. Com base no modelo das partículas quando soprarmos a superfície do café, porque a temperatura está relacionada com o movimento das partículas.</p> <p>7. a) A energia cinética média está relacionada com a temperatura. No lago a energia cinética média é menor considerando sua temperatura em relação à do chá. O comportamento das moléculas, no chá, elas se movimentam mais e no lago as moléculas se movimentam menos.</p> <p>b) O chá só iria aquecer mais se suas partículas movimentassem mais, já que no lago, as partículas não movimentam com tanta facilidade não seria possível esse aquecimento.</p>
Lara	<p>1. Mais lenta. A que era mais veloz perde energia cinética e as inicialmente lentas ganham. A que perde energia cinética é como se tivesse transferido calor para as outras bolas.</p> <p>2. O líquido medidor dever ser bom condutor para esquentar uniformemente e ter calor específico baixo para que esquite mais rápido.</p> <p>3. A temperatura irá abaixar. E em quantidades ainda maiores a temperatura abaixará expressivamente devido o “contato” com o ar as moléculas vão resfriando até chegar à temperatura ambiente.</p> <p>4. Mais alta por causa da energia cinética</p> <p>5. Se o conteúdo da lata estiver abaixo de 0°C e a lata ser mantida num líquido a 0°C a temperatura da lata se manteria baixa por um bom tempo.</p> <p>6. Ao soprarmos, um maior número de moléculas entrará em contato com ar, resfriando mais rapidamente o café.</p> <p>7. a) As moléculas de água a 10°C praticamente não estão em movimento e a 90°C estão em grande movimentação.</p> <p>b) Não, pois ao entrarem em contato as moléculas estavam a 90°C se resfriariam pois entraram em contato com um líquido a 10°C</p>

Samuel	<ol style="list-style-type: none">1. Mais lento. A bola inicialmente veloz, perde energia cinética e as inicialmente lentas ganham energia. Quando há diferença de energia, assim como de calor, a tendência é entrar em equilíbrio, havendo transferência de energia e calor.2. Possui um ponto de muito pequeno, para que o mercúrio não passe para o outro lado com facilidade e possua mercúrio, pois é um bom condutor de calor.3. Abaixar, pois na hora da troca, transfere calor para o ar e para os respectivos copos a serem colocados. Irá abaixar mais, pelo mesmo motivo anterior.4. Mais alto, pois na queda d'água, as moléculas se chocam e esse choque libera calor.5. Colocando-o na água a 0°C, pois a superfície de contato da água com a lata é maior do que o gelo.6. Ao soprarmos, movimentamos as partículas dentro do café, no qual elas entram em contato com o ar, perdendo calor, como estão em movimento, as partículas do fundo sobem e da superfície descem.7. a) I – Na água as moléculas estão menos agitadas e na xícara mais. II – No 1 a energia cinética média é menor em relação ao 2. III – No 2 seria maior que no 1b) Não, pois a tendência do sistema é sempre entrar em equilíbrio, no qual o mais quente perde calor e o mais frio ganha.
--------	---

Anexo VI

Entrevistas – 1º semestre de 2004

Aluna: Ana Paula

Pesquisador: Você está num lugar muito frio e está precisando esquentar a sua cama e tem duas possibilidades. Você tem uma bolsa de borracha e pode colocar 1 kg de água a 60°C dentro da bolsa e colocar debaixo do seu lençol. Ou, então, você pode colocar 1 kg de ferro a 60°C e colocar no mesmo lugar. Então, eu quero saber o seguinte: você quer que a cama fique aquecida por mais tempo. Qual você escolhe, a água ou o ferro? Porque?

Ana Paula: Eu escolheria a água. Porque, como a água tem uma capacidade maior de manter aquela temperatura, como seu ponto de ebulição é 100°C e seu de fusão é 0°C é ... ela continua a ter por mais tempo a sua temperatura. Acho que ela tem esta estabilidade maior, assim, do que o ferro. Porque o ferro pode perder o seu calor mais facilmente.

Pesquisador: Você falou em perder calor, o fluxo de calor vai ter qual sentido?

Ana Paula: Como assim? Se vai ser do ambiente para água? Do ferro (...)

Pesquisador: em qual sentido? Se é do objeto para o ambiente ou o contrário?

Ana Paula: Do objeto para o ambiente. Porque como o objeto está numa maior temperatura que o ambiente, a tendência é a perda do calor para o ambiente.

Pesquisador: Isso vai implicar em variação de temperatura da água e do ferro?

Ana Paula: Os dois vão perder? É ... os dois vão perder ((calor))

Pesquisador: Perde calor para sempre?

Ana Paula: Não, até o ponto de equilíbrio.

Pesquisador: E você acha que essa temperatura, a de equilíbrio, ela vai ser maior no caso da água ou no caso do ferro?

Ana Paula: Em maior número?

Pesquisador: É, de valor maior. Tanto a água quanto o ferro perdem calor, aí, diminuem a temperatura até estabilizar. Vai estabilizar num mesmo valor ou vai ser diferente para a água e para o ferro?

Ana Paula: Não. Eu acho que no mesmo valor. Não sei! Eu acho que no mesmo valor. Tá certo?

Pesquisador: Não sei! ((risos))

Ana Paula: Ou no caso da água, né?

((muda a questão))

Pesquisador: Você tem uma xícara de porcelana com café, o café está quente e você o coloca na mesa. Aí, eu queria que você explicasse como ocorre o resfriamento do café. Queria que você descrevesse, com maior riqueza de detalhes possível, qual é o processo de resfriamento.

Ana Paula: Existe calor que vai do café pro ambiente. O café perde calor pro ambiente para manter o equilíbrio da temperatura.

Pesquisador: E você espera que esse equilíbrio ocorra em qual temperatura? Imagine que o ambiente está a 20°C e o café a 90°C.

Ana Paula: A temperatura média, seria 45°C. Não ... é, ficaria com 45°C. Ah! Não sei.

Pesquisador: Você está somando as duas temperaturas e tirando a média?

Ana Paula: É.

Pesquisador: Então, como é que é esse processo. O calor está sendo transferido do café para o ambiente a partir ... como é que é esse processo? Tem vários mecanismos aí ...

Ana Paula: Eu não sei!

Pesquisador: Tenta imaginar o seguinte: o que o café tem mais ... moléculas da água e tal.

Ana Paula: O café tem temperatura maior do que o ambiente ().

Pesquisador: E quando a gente sopra o café, ele esfria mais rapidamente do que se a gente tampar. Por que acontece isso?

Ana Paula: Tem alguma coisa a ver com as moléculas?

Pesquisador: O que você acha?

Ana Paula: Acho que tem a ver com as moléculas que mexem. Ah! Não sei!

Pesquisador: Imagina o café quente, ele vai transferir calor para as moléculas que estão mais próximas (...)

Ana Paula: Ah! Porque a gente sopra, as moléculas vem pro lado mais próximo da xícara, que ajuda a perder calor mais rápido. Totalmente errado, né?

Pesquisador: É a mesma coisa de você imaginar quando você sopra a sua pele. Parece que ..., você tem a sensação de frescor no lugar que você sopra, se estiver molhado, então, mais ainda. A idéia é a seguinte: a sensação de quente e frio está relacionada, em parte, ao fluxo de calor que se estabelece. Concorda?

Ana Paula: Sim.

Pesquisador: Então, se você sopra, a sensação de frescor é maior. Então, o que você pode falar a respeito da intensidade do fluxo de calor. Imagine que você saiu da piscina, bateu um ventinho e você

está sentindo num frio danado. Por que você sente essa sensação de frio?

Ana Paula: Por causa da diferença de temperatura do seu corpo com o (...) ambiente.

Pesquisador: Imagina, com ou sem vento, a diferença de temperatura do seu corpo para o ambiente vai ser, basicamente, a mesma. Você está em torno de 36°C e o ambiente está na temperatura que está. Aí, você perde calor para o ambiente, tudo bem? Mas, se bater um vento, a sensação é mais intensa.

Ana Paula: Eu não sei.

Pesquisador: Pensa que, para ter esse fluxo de calor, você mesma disse que é necessário ter a diferença de temperatura.

Ana Paula: Sim.

Pesquisador: Se a diferença de temperatura for maior, o fluxo de calor tende a ser (...)

Ana Paula: Maior.

Pesquisador: Mais intenso. Quando bate o vento, imagina as moléculas de água nesse copinho que já passaram para o estado gasoso, que já evaporaram. Elas estão aqui. O que acontece se eu tirá-las daqui? O que acontece se eu soprar e tirá-las daqui? Fica ... há uma possibilidade maior de outras moléculas evaporaram. Concorda?

Ana Paula: Sim.

Pesquisador: O que acontece como consequência quando essas moléculas evaporaram? É ... quais são as moléculas que têm mais chance de se desprender, as com mais ou com menos energia?

Ana Paula: Mais energia.

Pesquisador: Se as mais energéticas saírem, o que vai acontecer com a temperatura de quem ficou?

Ana Paula: Diminuir.

Pesquisador: Se diminuir a temperatura da água, você vai perder mais ou menos calor?

Ana Paula: Mais calor.

Pesquisador: Aí, a sensação vai ser de mais frio ou de menos frio?

Ana Paula: De mais frio.

Pesquisador: Então, associado à evaporação, se você sopra, se bater um ventinho, você permite que mais moléculas de água evaporem e a temperatura do que fica (...)

Ana Paula: Ah! Diminui.

((muda a questão))

Pesquisador: Eu coloquei, num mesmo momento, uma latinha de cerveja e uma garrafa de cerveja no refrigerador. Aí, eu fui na geladeira e peguei, com uma mão, a lata e, com a outra, a garrafa. Qual a sensação que eu tive?

Ana Paula: Que a lata estava mais gelada.

Pesquisador: É verdade que a lata estava mais gelada?

Ana Paula: Não.

Pesquisador: O que te permite concluir isso?

Ana Paula: A lata ... o metal é melhor condutor térmico. Então, ele tá mais gelado.

Pesquisador: Então, a temperatura dele é menor que a da garrafa?

Ana Paula: Não, mas dá a sensação de que é menor.

Pesquisador: E as temperaturas dos dois, o que você pode falar sobre elas?

Ana Paula: São as mesmas porque estavam no mesmo freezer. Então, provavelmente, a temperatura é a mesma.

Pesquisador: Se a gente fizer o contrário. Ao invés de fazer a experiência na geladeira, se eu pegar um pirex e uma bandeja de metal e deixar muito tempo e uma bandeja de metal e deixar muito tempo no forno e, depois, pegar com a mão desprotegida?

Ana Paula: Ela vai estar mais quente.

Pesquisador: Ela vai estar mais quente ou (...)

Ana Paula: A sensação é de que ela está mais quente.

Pesquisador: Essa sensação de mais quente e mais frio está associada só à temperatura do objeto?

Ana Paula: Não, a condutividade térmica do objeto também.

((experimento do balão))

Pesquisador: O que está com água você vê que ele resiste bem mais. O que aconteceu de diferente?

Ana Paula: Ah! Eu não sei.

Pesquisador: Há transferência de calor?

Ana Paula: Há.

Pesquisador: De quem para quem?

Ana Paula: Do isqueiro para o balão.

Pesquisador: Se eu colocar a chama à mesma distância dos dois, o fluxo de energia é o mesmo, praticamente. A borracha do balão, para ela se romper, ela precisa de uma temperatura mínima (...)

Ana Paula: Então, com a água impede que a borracha atinja essa temperatura.

Pesquisador: E o quê a água tem de tão especial assim?

Ana Paula: Que ela ... tem a ver com o fluxo de calor que ela ... Ah! Não sei! Tem a ver com essa coisa de condutividade de calor, do fluxo, ai! Que confusão que eu estou arrumando!

Pesquisador: O sistema recebeu a mesma quantidade de calor em todos os casos?

Ana Paula: Recebeu.

Pesquisador: O que te garante isso é o fato da chama e da distância serem as mesmas. A variação de temperatura será que foi a mesma?

Ana Paula: Não! Porque a água está gelada.

Pesquisador: E isso significa dizer o que?

Ana Paula: Que vai demorar mais.

Pesquisador: Eu posso arrebentar esse balão, mas para isso eu teria que fornecer uma quantidade o quê?

Ana Paula: Maior de calor.

Pesquisador: Então, de uma certa forma, quando o sistema tem água, a temperatura dele varia mais ou menos lentamente.

Ana Paula: Varia mais lentamente.

((experimento do ebulidor de Franklin))

Pesquisador: A idéia é tentar explicar por que esse líquido sobe.

Ana Paula: Por causa da transferência de calor da minha para o líquido.

Pesquisador: O líquido recebe calor (...)

Ana Paula: É, da minha mão.

Pesquisador: E o que acontece com ele?

Ana Paula: As moléculas se agitam e a tendência é subir.

Pesquisador: Então, se eu esfriar em cima, vai acontecer a mesma coisa?

Ana Paula: Se eu esfriar em cima? Não. Desce. Não!

Pesquisador: ((coloca água fria na parte superior e o líquido sobe)). Todo bem, quando você segurou em baixo, transferiu calor. E aí?

Ana Paula: Como essa parte aqui ((a de cima)) está mais fria do que essa ((a de baixo)), faz o líquido subir. Porque quando a minha mão estava em baixo a parte de cima estava mais fria.

Pesquisador: Mas o que motiva isso? Só de falar assim: um está mais quente que o outro; então, a tendência é subir, está faltando a explicação do fenômeno, né? Porque essa diferença de temperatura está associada à movimentação desse líquido?

Ana Paula: Tem alguma coisa a ver com pressão, ou com o movimento das moléculas.

Pesquisador: Pressão de quem?

Ana Paula: Do líquido. Do ar que tá aqui dentro sobre o líquido.

Pesquisador: Então, quando você segura aqui ((embaixo)), onde a pressão é maior?

Ana Paula: A pressão é maior aqui ((embaixo)) e o líquido vai subir pro lugar onde tem menos pressão.

Pesquisador: E se eu esfriar em cima?

Ana Paula: A menor pressão é aqui ((em cima)), aí, ele vai subir também. É isso?

Pesquisador: É.

((experimento do passarinho))

Pesquisador: Ele é a mesma coisa do ebulidor, só que tem álcool, mas não é colorido. A gente molha o feltro. Vamos observar ... A idéia é tentar explicar o que está acontecendo.

Ana Paula: Quando você molha o biquinho dele, a pressão diminui, aí o líquido sobe.

Pesquisador: E a pressão diminui, exatamente, por quê? Por que tem que molhar primeiro?

Ana Paula: Quando molha o biquinho, essa parte mais de dentro perde mais calor, não é?

Pesquisador: O que tem a ver molhar o biquinho ... Não sei se você percebeu, eu soprei para adiantar o processo ...

Ana Paula: Água fria ...

Pesquisador: Porque? Você falou que achava que era água fria, o que a água fria tem de diferente e que pode fazer o ciclo ser mais rápido?

Ana Paula: Por causa da pressão. Ah! Não sei!

Pesquisador: Acha que com a água fria a pressão lá em cima vai ficar menor ou maior do que se a água fosse quente?

Ana Paula: Vai ficar menor.

Pesquisador: Então, a diferença de pressão vai ser o quê?

Ana Paula: Maior.

Pesquisador: Então, sobe mais depressa ou mais devagar?

Ana Paula: mais depressa>

Pesquisador: Então, o ciclo vai ficar o quê? Mais rápido, não é isso?

Ana Paula: É.

Aluna: Carla

Pesquisador: Bom, aí a idéia é a seguinte: imagina que você está num lugar muito frio, você está precisando de esquentar sua cama e tem uma bolsa de borracha em que você pode colocar 1 kg de água a 60°C ou 1 kg de ferro a 60°C. Você vai colocar isso debaixo do lençol, do colchão para esquentar. Aí, a pergunta é: Você escolheria a água ou o ferro e por quê você escolheria?

Carla: Ah, eu escolheria a água, porque por mais que ... o ferro é melhor condutor, então, assim, o ferro é muito quente e poderia transferir mais energia para mim (...)

Pesquisador: Pois é, mas imagina assim, que o ferro está dentro da bolsa de borracha e não está em contato direto com o seu corpo.

Carla: Agora é o ferro (...) Então é o ferro.

Pesquisador: Ele vai esquentar a cama e a cama (...)

Carla: É o ferro, porque o ferro é melhor condutor do que a água.

Pesquisador: Você acha que quando colocar os dois, qual a situação em que a temperatura final da cama vai ser maior?

Carla: A do ferro vai transferir calor e a água não transfere tanto calor igual o ferro.

Pesquisador: Aí, a questão dois vai perguntar assim: Você tem uma xícara de porcelana com café, café quente. Você vai colocar isso em cima de uma mesa e ele vai esfriar. Eu gostaria que você descrevesse o processo de resfriamento do café com o maior número de detalhes que você der conta. Tente dizer se vai existir transferência de calor, de quem para quem, dizer qual dever ser a temperatura final, porque o café esfria, essas coisas todas.

Carla: Primeiro, ele vai perder calor tanto para a xícara, porque estará transferindo, quanto para o ar, pro meio, aí ... ele vai perdendo, vai perdendo ... é a única coisa pra mim, tipo assim, no processo eu vou interferir ou não?

Pesquisador: É ... por exemplo, se você assoprar, o que vai acontecer?

Carla: Aí, eu vou ... aí, eu não sei ((risos))

Pesquisador: Vamos pensar o seguinte: você falou que vai existir calor do café para a xícara e do café para o meio (...)

Carla: É

Pesquisador: Esse calor que você falou, ele vai existir sempre ou ele vai ter um momento pra ele existir?

Carla: Vai ter uma hora que vai ter um equilíbrio, ele vai chegar ao equilíbrio, ele vai tentar ficar na temperatura ambiente.

Pesquisador: Jóia. Essa temperatura final, ela tende a ser a do ambiente porque?

Carla: Por causa da transferência que ocorre para chegar no equilíbrio (...)

Pesquisador: Não, tudo bem. Nessa transferência, o café fornece calor pro ambiente. Porque é o café que chega na temperatura do ambiente e não o contrário?

Carla: Porque a tendência é de perder energia e não de ganhar. A tendência mais é de perder.

Pesquisador: Mas, por exemplo, se você pegar um objeto, se você entrar numa sauna (...)

Carla: Ele vai esquentar (...)

Pesquisador: Ele vai chegar na temperatura da sauna (...)

Carla: Só que o ambiente ... como é que eu vou explicar ... o café é muito pequeno pro ambiente ao todo, então, a proporção é do café esfriar.

Pesquisador: Então, voltando à idéia de assoprar. Quando você assopra, ele esfria mais rapidamente do que quando você tampa, por exemplo, quando você deixa ele aberto.

Carla: Pode ser por causa do movimento das partículas?

Pesquisador: De que maneira? O café tá aqui, esquentou, transferiu calor pra cá. Quando você assopra, você tá falando que o movimento é dessas moléculas aqui de cima?

Carla: É.

Pesquisador: O efeito é parecido se você mexer o café?

Carla: É. Porque aí você vai estar movimentando, esfriando o de baixo. Também, o café debaixo também. A tendência é a parte mais quente é subir e da mais gelada é descer.

Pesquisador: Você tem uma garrafa de cerveja e uma lata dentro do congelador e deixei muito tempo lá. Aí, ontem eu fui pegar, segurei as duas. Qual a sensação que eu tive?

Carla: De que a lata tava mais gelada.

Pesquisador: E por que isso? Será que a lata tá mesmo mais gelada?

Carla: Não, ta na mesma temperatura, porém, a lata é de material diferente do vidro e é metal e metal é bom condutor, ao contrário do vidro, assim que, não é que ele é mau condutor ... Mas, o metal é melhor.

Pesquisador: Então, você ta dizendo o seguinte: eu posso ter objetos na mesma temperatura e ter sensações térmicas diferentes.

Carla: Ahã! ((confirma)) A mão não é um bom ((medidor de temperatura)), então, assim, você vai sempre perceber ((mais frio)) por aquele que é melhor condutor.

((mudando de questão))

Pesquisador: ((mostra um balão de borracha)) Balão cheio de ar. Vou esquentar ((balão explode)). Este balão está com água dentro. Não estoura. A idéia é a seguinte: Porque aqui não estourou e aqui estourou? ((aponta para os dois balões))

Carla: Porque no gás as partículas estão mais separadas e, quando esquenta, a tendência é entrar em maior movimento. Assim, elas vão ocupar maior espaço. Aí, por isso que ele estoura, porque as partículas estão em maior movimento e a tendência é expandir.

Pesquisador: E com água?

Carla: Como a água é outro estado físico e ta mais ligado, assim, não totalmente, ta mais ligado, então, aí, o movimento é maior mas não maior do que ta no gás. No gás, assim ((as partículas)) são livres e, no, líquido, elas já tão mais ligadas.

Pesquisador: Você acha que o tanto de calor que eu forneci a cada segundo para os dois sistemas foi o mesmo?

Carla: Foi.

Pesquisador: O aquecimento dos dois foi o mesmo? A rapidez com que eles se aqueceram foi a mesma?

Carla: Ah! Eu acho que não porque mesmo com o mesmo fluxo, tipo é diferente. Lá é gás, aqui é líquido. Então acho que há uma diferença. Por mais que seja o mesmo calor, fornecem aquecimentos diferentes.

((O experimento é trocado. O pesquisador apresenta o ebulidor de Franklin para a entrevistada))

Pesquisador: Você vai segurar aqui embaixo sem apertar. Este é o ebulidor de Franklin. ((a entrevistada segura e o álcool sobre)). A idéia é tentar explicar o que está acontecendo com o líquido. Porque ele subiu? O que causou a movimentação?

Carla: Ah! Tem a ver com a pressão. O aquecimento ... minha mão ta mais quente assim ... Aí esquenta aqui. ((aponta para a base do aparelho))

Pesquisador: Esquenta o quê?

Carla: Esquenta o vidro. Aí fazendo com que a temperatura aumente. E a pressão também.

Pesquisador: A temperatura do quê?

Carla: A temperatura do vidro, aumentando a pressão lá dentro! ((frase exclamativa))

Pesquisador: Tudo bem. É o vidro que exerce pressão no líquido?

Carla: Porque o vidro vai transferir pro líquido. Aqui pro “ambiente” aqui dentro, vamos dizer assim. Aí, há uma ... a pressão varia.

Pesquisador: Pois é, mas eu quero saber é isso. Pressão de quem? Quem é que está exercendo a pressão sobre o líquido para fazê-lo subir?

Carla: Vai ser a minha mão, uai, sobre o vidro, aqui. ((pausa)) Acho que é o vidro, sei lá!

Pesquisador: É o vidro que empurra o líquido?

Carla: Não! Vou transferir pra cá ((aponta o vidro)). Aí o vidro vai transferir, mas não vai ser o vidro que vai transferir, é o ambiente, sei lá, é o que ta aqui dentro.

Pesquisador: Você ta falando que é o gás aqui dentro?

Carla: É! Pode ser!

Pesquisador: Que efeito você esperaria acontecer se, ao invés de esquentar embaixo, você esfriasse a parte de cima do aparelho?

Carla: O meio ia subir.

((pesquisador faz o experimento))

Carla: Hum! ((exclamação)) Porque aqui ((aponta para baixo)) ta mais quente.

Pesquisador: E o último é esse passarinho! ((professor mostra o experimento))

Carla: O álcool vai subindo, aí ele vai “beber água”.

Pesquisador: A idéia é você descrever isso aí. Porque o álcool sobe?

Carla: Só pode ter ou uma variação de pressão ou de temperatura pro álcool subir na cabeça do passarinho.

Pesquisador: Agora, essa variação de pressão que você diz é ... Em cima a pressão vai ter que ser o quê? Maior ou menor?

Carla: Acho que a pressão vai ter que ser me ... maior porque aí vai ...

Pesquisador: Onde que tem que ser maior?

Carla: Na cabeça, porque aí puxa do menor para o maior. Não, pera aí! ((conflito de idéias))

Pesquisador: ((volta ao ebulidor de Franklin)) Pode voltar e pensar aqui. Onde a pressão foi maior.

Carla: Não, foi maior embaixo. Então, a pressão tem que ser menor na cabeça do passarinho.

Pesquisador: Para essa pressão ser menor em cima, a temperatura de cima tem que ficar maior ou menor do que a de baixo?

Carla: Menor. Essa água no feltro influencia?

Pesquisador: Pois é, a pergunta final é essa: Se eu tirar esse copo, o passarinho pára de se movimentar imediatamente?

Carla: Imediatamente, eu acho que não! Porque o feltro ainda vai estar úmido. Mas, depois de um tempo, pára.

Pesquisador: Então esse negócio do feltro que você falou faz diferença?

Carla: Faz.

Pesquisador: Porque faz diferença?

Carla: Porque mantém a temperatura menor, fazendo com que haja variação da pressão.

Pesquisador: Qual o mecanismo? Porque ele, o feltro, mantém a temperatura menor? Porque eu posso pegar água em equilíbrio térmico com o ambiente, colocar aqui pra ele funcionar.

Carla: Mas, aí, ele não vai funcionar! Eles vão entrar em equilíbrio.

Pesquisador: Por exemplo, quando você sai da piscina, a água está em equilíbrio térmico com você. Isso é possível. Quando você sai, principalmente quando bate um vento, você sente um frio danado! A água tá em equilíbrio com você.

Carla: Mas a água é má condutora. Ela pode perder energia muito mais rápido.

Pesquisador: Mas ela não é má condutora?

Carla: É, mas ela não absorve tanta energia assim como um metal ou mesmo a gente, assim.

Pesquisador: Então não é absorver. Se ela é má condutora, o efeito dela seria equivalente ao de uma roupa de lã, que é má condutora, também.

Carla: No meu corpo, ela perde energia muito rápido pro ambiente.

Pesquisador: Mas, se ela perde energia muito rápido, ela deveria ser condutora.

Carla: Mas ela não é!

Pesquisador: Como ela não é condutora, e perde energia rápido?

Carla: Não sei!

((professor explica o processo da evaporação))

Carla: A temperatura da água no copinho influencia na velocidade do passarinho

Aluno: Cleiton

Pesquisador: Imagine que você está num lugar frio e nesse lugar você está querendo esquentar a sua cama. Você pega uma bolsa de borracha e vai colocar essa bolsa embaixo do lençol, de modo que não entre em contato com o seu corpo. Nessa bolsa de borracha, você pode colocar 1 kg de água a 60°C ou 1 kg de ferro a 60°C. Se você quiser que sua cama fique aquecida por mais tempo, que opção você escolheria e por que?

Cleiton: Eu usaria a água. Porque o ferro, mesmo estando na mesma temperatura, a troca de calor dele com o ambiente seria muito maior e com mais velocidade, então ele ficaria menos tempo aquecido. A água não, ela consegue distribuir por um período mais longo essa energia dela.

Pesquisador: A variação de temperatura da água é mais lenta do que a do ferro?

Cleiton: Teoricamente, sim. Se buscar mais a fundo, tem outros motivos, mas a água consegue conter essa energia e distribuir essa energia por mais tempo.

Pesquisador: Você acha que, por exemplo, colocando o ferro e colocando a água, a temperatura do equilíbrio vai ser igual para os dois ou vai ser maior para um deles?

Cleiton: A temperatura do equilíbrio? Acho que vai ser igual, mesmo que o ferro vá passar a energia mais rápido, mas o equilíbrio vai ser igual à temperatura do ambiente.

((muda a questão))

Pesquisador: Imagine que eu trouxe para cá uma xícara de café quente e coloquei aqui em cima ((da mesa)). O café está a 90°C e o ambiente está a 20°C. Eu preciso que você descreva com detalhes o princípio do resfriamento do café.

Cleiton: Bem, 90°C é ... e o ambiente a 20°C, o movimento das moléculas de água, principalmente do café, elas vão estimular as moléculas de ar, de água e aumentar a quantidade de movimento por uma área, aí vai distribuindo ..., mas é uma xícara de café com o ambiente, né? Aí, vai chegar num ponto que vai esfriando o café, o ambiente vai ter uma pequena variação de temperatura e as moléculas,

depois, vão diminuindo essa velocidade até chegar a um equilíbrio térmico.

Pesquisador: E deve ser em torno de qual temperatura, desses valores que eu te falei?

Cleiton: De 90 °C e 20 °C? Eu creio que seria 20 °C, provavelmente, porque é uma xícara de café para um ambiente, então a variação vai ser muito pequena.

Pesquisador: Qual é o sentido mesmo do fluxo de calor, que você falou?

Cleiton: Fluxo?

Pesquisador: Se vai haver fluxo de energia e para onde ela vai?

Cleiton: Da xícara para o ambiente.

Pesquisador: E quando você sopra o café, ele esfria mais rápido. Por quê?

Cleiton: Porque vai ter maior ... a passagem de ar ali perto, vai conseguir absorver a energia do café mais rapidamente, não vai ficar aquele ar quente que tava ali por perto. Vai haver uma troca.

Pesquisador: A gente tem alguns aparelhos, por exemplo, o ventilador, que quando é ligado perto da gente, dá uma sensação de frescor. Só que o ventilador não esfria o ar (...)

Cleiton: Ele aumenta a aceleração da evaporação. A sensação que refresca é quando a água está evaporando pelo corpo e está levando energia junto. O ventilador sopra em você e vai levando aquele vapor e vai permitindo que o seu corpo transpire mais, né, aí deixa aquela sensação de frescor.

((muda a questão))

Pesquisador: Então, imagine o seguinte: eu coloquei, no começo do ano, em minha geladeira, uma garrafa e uma lata de cerveja. Deixei lá. Aí, eu abri a geladeira para poder pegar. Antes de eu encostar, o que você pode falar da temperatura das duas?

Cleiton: Estão na temperatura igual, mas a sensação da latinha é de que está mais gelada.

Pesquisador: E a que se deve isso?

Cleiton: Por causa do metal, a lata é de alumínio e aí, na hora que você chega a ... que tá em equilíbrio, vai tentar entrar em equilíbrio com você muito mais rápido que a garrafa.

Pesquisador: Minha sogra falou o seguinte: a garrafa tem mais calor que a latinha. Essa expressão é coerente do ponto de vista físico?

Cleiton: Não, calor é a troca de energia entre dois corpos e, no caso, a troca vai ser a mesma, só vai mudar a velocidade.

Pesquisador: Então, se a gente for fazer uma torta ou um bolo e colocar dentro do forno num recipiente de vidro e o outro num recipiente de metal. Na hora que a gente pega com as mãos a sensação térmica é diferente. Qual dos dois você vai ter a impressão de estar mais quente?

Cleiton: Vai ser a de metal porque o calor específico dele é mais baixo.

Pesquisador: Essa questão toda está relacionada, como você disse, à intensidade do fluxo de calor. O metal te faz ter a sensação ou que o cara está mais frio ou que está mais quente. Então, dá para ter uma relação entre essas coisas, quer dizer, eu posso imaginar que o objeto que fornece bem calor vai receber também?

Cleiton: É, para ele ceder calor para você, para entrar em equilíbrio, ele vai ter que ceder calor, você vai ter que ceder calor para ele, mas isso, quando começar entrar num equilíbrio entre os dois. No momento em que ele está cedendo energia para você, você é o receptor, então, no momento, você não vai doar energia para ele.

((experimento do balão))

Pesquisador: Você pode ver o seguinte: o balão com água está demorando mais tempo para estourar. Qual a diferença entre eles?

Cleiton: É o mesmo problema com a água, né, a água contida no balão demora muito mais tempo para doar a energia e para receber essa energia. O ar conseguiu, rapidamente, absorver e expandir essa energia e estourou. A água não, ela vai absorver lentamente, o que podia acontecer é furar o balão, a borracha com o calor (...)

Pesquisador: A idéia é essa mesmo. Porque a água impede que o balão estoure?

Cleiton: Ela demora mais tempo para absorver e mais tempo para dilatar.

Pesquisador: Mas, veja bem, a questão de absorver e de demorar mais tempo, a chama não é a mesma?

Cleiton: É a mesma.

Pesquisador: Então, a quantidade de calor fornecida não é a mesma a cada segundo. Será que o sistema balão + água e balão + ar não absorve a mesma quantidade de energia a cada segundo?

Cleiton: Absorve a mesma, só que a água, ela vai ter uma melhor distribuição dessa energia, ela vai conseguir conter essa energia de um modo diferente. Ela precisa de mais energia para fazer o que o ar faz com menos.

((ebulidor de Franklin))

Pesquisador: A idéia é explicar por que o líquido sobe quando você segura.

Cleiton: É a mesma situação do balão. É ... A diferença de pressão entre em cima e em baixo e o

calor da mão, que, no caso, seria uma fonte mais ... regular, quando aquece a água. Isso é uma água?

Pesquisador: É álcool.

Cleiton: Álcool é diferente de água, ele consegue distribuir essa energia bem melhor do que a água e quando ele aquece ele sobe igual a água.

Pesquisador: A questão é a seguinte: esse aquecimento, ele está associado à dilatação do álcool? É isso?

Cleiton: É. Eu ... também é um pouco da dilatação. A densidade dele vai ajudar, com a maior temperatura () vai esquentar o () dele. Os fatores são ...

Pesquisador: Se esses fatores estão associados ao aquecimento do álcool, seja por densidade, enfim. O que você esperaria acontecer se eu esfriasse a parte de cima? O líquido sobe o não sobe?

Cleiton: Subir, ele vai subir, talvez ele tenha um pouco mais de dificuldade de chegar lá em cima. Quando chegar lá em cima, ele vai querer voltar ao estado antes dele receber a fonte de calor.

Pesquisador: Imagina assim: Ele está assim ((o líquido todo em baixo)), aí, eu vou esfriar a parte de cima.

Cleiton: Ele vai subir com maior facilidade.

Pesquisador: Veja só, eu não alterei a temperatura do líquido, concorda?

Cleiton: Mas você fez o efeito ao contrário. Ao invés de esquentar o álcool pro álcool subir, agora, você ficou esfriando a parte de cima, vocês está tirando a energia do ar que estava ali dentro do recipiente. Então, diminuiu o volume, aí, para preencher o espaço, o álcool subiu.

Pesquisador: Diminuiu o volume?

Cleiton: Ela conseguiu deixar uma molécula mais perto da outra, porque elas estavam mais energéticas, né?

Pesquisador: E quando eu estou segurando em baixo (...)

Cleiton: Aí, você acelerou, você aumentou a energia (...)

Pesquisador: Esse fato de subir se deve, então ... O que eu quero perguntar é o seguinte: o que faz o líquido subir quando eu seguro em baixo e o que faz o líquido subir quando eu esfrio em cima são processos iguais do ponto de vista das leis físicas, ou são processos diferentes?

Cleiton: São processos iguais porque a idéia vai ser a mesma, talvez, o efeito foi ao contrário, um foi na expansão, ou na contração, mas na teoria eu creio que seja a mesma.

((experimento do passarinho))

Pesquisador: A idéia é você tentar explicar o funcionamento dele. Por que o álcool sobe?

Cleiton: Esse feltro, ele tá molhado, ele dá uma sensibilidade térmica, ele esfria. Aí, esfriou aquela parte de cima, ali. Aí, quando ela volta a ter um equilíbrio térmico com o ambiente, molha a cabeça de novo e desce (...)

Pesquisador: Mas, quando esfriou, aqui, subiu.

Cleiton: Molhou a cabeça, deu aquela diferença térmica no ambiente. Aí, desceu.

Pesquisador: Vamos pegar a partir de agora ((passarinho acaba de molhar o bico)). O líquido está subindo, tá vendo? Por que está subindo?

Cleiton: Por causa da diferença de pressão que teve.

Pesquisador: Então, a pressão maior está onde?

Cleiton: Em baixo.

Pesquisador: E por que a pressão em cima ficou pequena?

Cleiton: Porque esse feltro estabeleceu a diferença de temperatura com o ambiente nessa cabeça dele (...)

Pesquisador: Só o feltro?

Cleiton: A água. O feltro umedecido que eu estou falando. Aí, com essa diferença desse ambiente, aqui, ele ocupou menos espaço. Aí, o álcool subiu para completar. É um processo lento porque é ... essa troca aqui, foi água que foi utilizada, a água demora mais um tempo, de repente, se fosse álcool ou éter, seria mais rápido, né?

Pesquisador: E se a água fosse mais fria? Ficaria mais rápido ou mais lento?

Cleiton: Aí, vai subir mais rápido.

Pesquisador: Esse ciclo é contínuo?

Cleiton: É.

Pesquisador: Se eu tirar o copinho d'água, ele vai continuar?

Cleiton: Aí, não. Sem água não.

Pesquisador: É um ciclo que se sustenta por si só?

Cleiton: Ele depende da água para continuar o ciclo, se não o feltro vai secar. Esse feltro aqui, deu com o sistema da cabeça dele uma diferença de temperatura. Aí, o álcool teve que subir para suprir.

Aluno: Eduardo

Pesquisador: Uma das práticas que a gente fez era aquela em que se colocavam massas diferentes de água e de óleo para esquentar numa chama. Suponha que você está numa região muito fria e precisa esquentar a sua cama. Aí, você tem uma bolsa de borracha e, dentro dela, pode ser colocado 1 kg de água ou 1 kg de ferro a 60°C. Essa bolsa vai ser colocada debaixo do lençol, sem entrar em contato com o seu corpo. Se você quiser que a cama fique aquecida por mais tempo, qual será sua escolha? A água ou o ferro a 60°C?

Eduardo: ((pensativo)) A água, eu acho. Porque ela admite uma transferência mais lenta que no ferro, então o ferro seria mais vai esfriar mais rápido.

Pesquisador: Transferência de que você está dizendo?

Eduardo: De calor mais lentamente.

Pesquisador: Por exemplo, quando a gente colocar a água a 60°C ou o ferro a 60°C em contato com a cama, imagine que lá estava 1°C a temperatura, qual é a tendência, qual é o processo que vai acontecer, porque você falou que há uma transferência de calor, de quem para quem?

Eduardo: Da água para a cama.

Pesquisador: E essa transferência vai acontecer sempre, infinitamente?

Eduardo: Até atingir o equilíbrio.

Pesquisador: Qual das duas situações, do ferro ou da água, que esse equilíbrio vai estar numa temperatura maior? Ou vai ser na mesma temperatura?

Eduardo: Eu acho que o tempo vai ser diferente, mas a temperatura será a mesma.

((muda a questão))

Pesquisador: Imagine uma xícara de porcelana com café quente colocada aqui em cima da mesa e ela vai esfriando lentamente. A idéia é você tentar descrever qual é o processo do resfriamento, dizendo, com a maior riqueza de detalhes possível, como é o resfriamento, até quando ele vai se dar e qual vai ser a temperatura final desse sistema.

Eduardo: Vai haver transferência no contato da água ((café)) com a atmosfera e do café com a xícara e com o ambiente também. A temperatura final vai ser a média ((pensativo)). A média não!

Pesquisador: Imagina assim: o ambiente está a 20°C e o café está a 90°C.

Eduardo: O café vai perder calor pro ambiente e vai chegar à temperatura ambiente.

Pesquisador: Por que? Por que é a temperatura do ambiente que vai determinar a temperatura do equilíbrio e não o contrário? Por que o ambiente não esquentar até 90°C se ele está recebendo calor?

Eduardo: Porque a massa dele é muito maior, tem muito mais ambiente para esquentar do que água ((café)) pra esfriar.

Pesquisador: Quando a gente sopra o café para esfriar mais rapidamente, o que você acha que acontece?

Eduardo: As partículas – moléculas - de ar vão bater mais freqüentemente no líquido e vai haver transferência de energia mais rápido. O calor vai ser transferido mais rápido.

Pesquisador: Você consegue ver alguma relação entre isso e a função de um ventilador? Para quê serve o ventilador? O ventilador esfria?

Eduardo: O vento bate no corpo e vai – é – esfriando o corpo. Como vai haver mais partículas batendo, as partículas vão bater no corpo mais freqüentemente, elas tendendo a diminuir a temperatura ((do corpo)).

((muda a questão))

Pesquisador: Imagine o seguinte: você colocou na geladeira uma garrafa de cerveja e uma lata de cerveja. Você resolveu beber as duas depois de 6 meses. Antes de você pegar de verdade a garrafa e a lata, o que é possível dizer a respeito da temperatura?

Eduardo: Como assim?

Pesquisador: O que você pode afirmar a respeito da temperatura da garrafa e da lata? Elas são iguais, tem uma que está mais fria ...

Eduardo: Acho que elas são iguais. Já que elas estão há muito tempo lá dentro, elas estão em equilíbrio com a geladeira.

Pesquisador: A temperatura delas você está dizendo que é igual à temperatura do refrigerador?

Eduardo: Do refrigerador.

Pesquisador: Quando você pega com a mão desprotegida, você tem uma sensação diferente dessa que você acabou de afirmar que é a correta. O que acontece?

Eduardo: O alumínio transfere energia mais rápido do que o vidro, então, você encosta, ele ... tende ao equilíbrio como se tendesse ao equilíbrio mais rápido. É igual aquela história de colocar a mão na água quente, na água fria, e depois na morna, aí você tem sensações diferentes.

Pesquisador: Nesse caso, há transferência de calor em qual sentido?

Eduardo: Do alumínio para a mão.

Pesquisador: Então, de qualquer forma, existe um fluxo de calor ...

Eduardo: A intensidade dele é que é diferente.

Pesquisador: E se a gente fizesse o contrário. Ao invés de deixar a lata e a garrafa dentro da geladeira, a gente colocar uma forma de metal e uma de vidro dentro do forno e deixar lá muito tempo. Antes de eu pegar, o que você pode falar da temperatura dos dois?

Eduardo: É a mesma.

Pesquisador: A sensação térmica que eu vou ter quando pego o metal e vidro é igual ou não?

Eduardo: Não, é diferente. Pelo mesmo motivo, vai haver um fluxo maior.

Pesquisador: E esse fluxo vai ser em qual sentido nesse momento?

Eduardo: Da vasilha para a sua mão.

((experimento do balão))

Pesquisador: Se eu chegar com a chama no balão com ar, ele estoura. Se eu chegar a chama no balão com água, ele demora mais para estourar. Houve uma diferença significativa ... Por que o balão com ar estoura rapidamente e o balão com água pode ficar um tempão que não estoura?

Eduardo: Eu acho que tinha na apostila ((seqüência de ensino)) o experimento do papel com o cigarro e a moeda. O calor vai ser transferido para a água e o balão não vai ... o calor específico da água é maior, é como se ela esquentasse mais, recebesse mais energia

Pesquisador: Esquenta mais?

Eduardo: Não é que esquenta mais, ela tende a receber mais que o balão.

Pesquisador: Por exemplo, quando a gente estuda Geografia, vê que a presença de massa de água em certas regiões controla a amplitude térmica. Há alguma relação entre essas coisas?

Eduardo: É. Por causa do calor específico. A água pode receber muito calor porque o ponto de ebulição dela é muito alto e ela pode também esfriar muito né, 0°C, por exemplo.

Pesquisador: Então, eu queria voltar naquela primeira pergunta que eu te fiz. Você falou a respeito da bolsa com a água e o metal. Você falou que colocaria com a água, porque a água ... você falou que a temperatura do equilíbrio seria a mesma do ferro e da água. Você acha que realmente seria a mesma, se a água varia a temperatura mais lentamente?

Eduardo: A temperatura de equilíbrio ... ela varia lentamente, mas vai chegar a um ponto que pára

Pesquisador: Eu coloquei na cama ou a água ou o ferro. Eles estão em contato com o mesmo ambiente.

Eduardo: O tempo é que vai ser diferente, mas eles vão chegar na mesma temperatura do ambiente.

Pesquisador: Que vai ser a do ambiente?

Eduardo: É

((ebulidor de Franklin))

Pesquisador: O que fez o líquido subir?

Eduardo: Acho que ... transferência de calor, não no líquido, mas no ar aí dentro. Eu acho que ele dilata e aumenta a pressão pro líquido.

Pesquisador: E aumentando essa pressão, você espera qual efeito? Aqui você segurou em baixo e esquentou. Você disse que transferiu calor. Se eu esfriar a parte de cima, você esperaria acontecer o mesmo efeito?

Eduardo: Não sei

Pesquisador: O que você acha?

Eduardo: O ar, eu acho, iria comprimi-lo ... não é comprimi-lo, pois está () e o líquido vai tender a subir () o ar fica meio parado, não sei ()

Pesquisador: Mas o ar ocupa o volume todo do recipiente, um gás é expansível

Eduardo: Ele vai perder calor ()

Pesquisador: E qual a consequência dele perder calor? O que aconteceria com as partículas dele?

Eduardo: Elas iriam ficar menos agitadas e conseqüentemente elas poderiam ser comprimidas ()

((experimento do passarinho))

Pesquisador: Você dá uma olhada no ciclo de funcionamento dele. Aí, você tem que tentar explicar o que está acontecendo. Se vai haver transferência de energia, porque esse líquido subiu aqui

Eduardo: O que é isso dentro dele?

Pesquisador: Álcool. Igual ao do ebulidor de Franklin. ((pausa para observação)). O que faz o líquido subir até a cabeça do passarinho?

Eduardo: O movimento, talvez, eu acho que deve ser a mesma coisa da parte de cima do ebulidor.

Pesquisador: Você viu que eu molhei para começar o ciclo dele. Imagina o seguinte: você está numa piscina e está com o corpo molhado. Mesmo que a água esteja em equilíbrio com o ambiente. Quando você sai da água, você tem uma sensação de frio

Eduardo: Mesmo se tiver na temperatura ambiente?

Pesquisador: Por exemplo, você pega o éter e passa na pele. Está na temperatura ambiente e,

mesmo assim, dá um frescor.

Eduardo: No caso do éter, eu acho que ele facilita mais a transferência ... há! Perda de calor (...)

Pesquisador: Porque acontece essa perda de calor se o éter está na temperatura ambiente? Imagina uma situação assim: éter, seu corpo e ambiente estão a 36,5°C, está todo mundo em equilíbrio térmico. Você passa o éter e ele dá essa frescura no lugar. No éter acontece mais intensamente que na água.

Eduardo: Não sei explicar.

Pesquisador: Você vai ficar molhado para sempre?

Eduardo: Não, a temperatura dele de ebulição é muito baixa (...)

Pesquisador: Vamos pegar o caso da água, para ela secar no seu corpo, não precisa dela chegar a 100°C.

Eduardo: Não. Não sei explicar.

Pesquisador: No caso é a evaporação, a água evapora a qualquer temperatura e o que é mais fácil para evaporar, a água o qualquer outro líquido perder as partículas mais ou menos energéticas?

Eduardo: As menos energéticas.

Pesquisador: As menos energéticas? Imagina assim: você está num show e está todo mundo doido para chegar ao palco. Quem vai chegar primeiro? Os caras quietinhos ou os mais agitados?

Eduardo: Mais agitados.

Pesquisador: No caso da evaporação, a água perde as moléculas que são mais energéticas. E o que vai acontecer com a temperatura de quem fica?

Eduardo: Diminui.

Pesquisador: Dá para pensar, então...

Eduardo: Não é a mesma história de quando você põe a parte fria (...)

Pesquisador: Mas, aqui, eu não precisei colocar a parte fria como no ebulidor. Agora, aqui, não. Eu coloquei água aqui. Poderia ter colocado na temperatura ambiente que ele vai ter um ciclo de funcionamento. Então, assim, qual é o papel do feltro?

Eduardo: Ele tá molhado. É o negócio do ar poder ser ((faz um gesto com as mãos, sugerindo que o ar foi comprimido))

Pesquisador: Agora veja, é ... a água que está aqui não está necessariamente fria.

Eduardo: É a evaporação com o ar poder ser comprimido.

Pesquisador: Você acha que se eu tirar essa água, ele continua fazendo o ciclo dele ou pára imediatamente?

Eduardo: Pára depois de um tempo.

Pesquisador: O que determina o passarinho parar de fazer o ciclo dele?

Eduardo: A água do feltro, enquanto ela estiver aí, ou pelo menos uma parte dela, aí continua.

Pesquisador: Você acha que a temperatura da água, aqui, no recipiente, influencia em alguma coisa?

Eduardo: Não.

Pesquisador: Se eu quisesse um ciclo mais lento, eu colocaria água quente ou água fria aqui? Por exemplo, se eu colocar água gelada ou água na temperatura ambiente ...

Eduardo: Na temperatura ambiente o ciclo vai ser mais lento.

Pesquisador: A gente ouve coisas do tipo: Isso aqui poderia ser um exemplo de uma máquina que funciona sem energia? Esse é um objeto que funciona sem eu precisar de dar energia pra ele? É necessário algum tipo de energia para ele funcionar?

Eduardo: Não, só a transferência.

Pesquisador: Ele, por ele mesmo, funcionaria?

Eduardo: Não.

Aluna: Lara

Pesquisador: Imagine que você está numa região muito fria e você quer esquentar a sua cama. Você tem uma bolsa de borracha e aí você pode colocar 1 kg de água a 60°C ou 1 kg de ferro a 60°C. Você quer que a cama fique aquecida por mais tempo. Qual é a sua escolha, água ou ferro?

Lara: Eu acho que é a água, por que o ferro tem um calor específico menor, não é?

Pesquisador: O que é isso, ter um calor específico menor?

Lara: Não; acho o seguinte: é porque o ferro vai esquentar muito mais rápido que a água e vai esfriar muito mais rápido que a água. Como você quer que a cama fique quente por mais tempo, a água vai demorar um pouco mais para aquecer, mas também vai demorar pra esfriar (...)

Pesquisador: Leva a água a 60°C, gasta mais energia pra água do que pro ferro (...)

Lara: É isso. A água vai permanecer mais quente por mais tempo do que o ferro.

Pesquisador: Então, imagina assim: quando você colocar água ou o ferro a 60°C, lá tá frio, vai haver fluxo de calor de onde para onde?

Lara: Do mais quente para o mais frio.

Pesquisador: Esse fluxo de calor vai existir indeterminadamente ou vai ter um momento em que pára?

Lara: Eu acho que vai ter um momento em que pára, porque vai entrar em equilíbrio. Ah! Não sei

Pesquisador: Que equilíbrio é esse?

Lara: É equilíbrio térmico mesmo, né.

Pesquisador: O que caracteriza o equilíbrio térmico? Quer dizer, qual o momento em que você fala assim: a partir de agora, não tem mais fluxo de calor.

Lara: Eu acho assim: por exemplo, quando eu estou sentindo frio, eu vou colocar blusa pra poder esquentar, esquentar entre aspas, aí o momento que eu vou entrar em equilíbrio é o momento que eu não estiver mais sentindo frio, vai ser o momento em que a temperatura do meu corpo vai entrar em equilíbrio com a temperatura ambiente, aí, nesse caso ((da bolsa com ferro ou água)), eu estou em dúvida se vai entrar em equilíbrio ou não, porque ... não vai ter um momento que vai entrar (...)

Pesquisador: O que você quer dizer é o seguinte: o ponto que você pode admitir como equilíbrio térmico é quando tiver a mesma temperatura.

Lara: É ... Não sei te explicar. Não é exatamente na mesma temperatura, é quando o fluxo de energia tá ... como se fosse um fluxo de energia equilibrado mesmo.

Pesquisador: Como assim? Se eu estiver em equilíbrio térmico com o ambiente, o que significa o fluxo de energia estar equilibrado? Eu dou energia e recebo energia na mesma proporção, é isso?

Lara: É isso!

Pesquisador: Houve essa troca de energia, aí, eu quero saber o seguinte: no momento em que há esse equilíbrio, a temperatura, quando eu coloco a cama e a água e a temperatura quando eu coloco a cama e o ferro, vai ser a mesma? Por exemplo, os dois estavam a 60°C no início, e imagina que a cama está a 10°C. A temperatura final da água e a temperatura final do ferro, elas vão ter o mesmo valor?

Lara: Eu acho que não.

Pesquisador: Qual vai ser o valor mais alto, então?

Lara: Eu acho que não chegaria a 10°C, mas seria bem abaixo de 60°C.

Pesquisador: Mas os valores vão ser diferentes para água e pro ferro? O que eu quero saber é o seguinte: no momento que atingir o equilíbrio térmico, tem duas camas idênticas, no mesmo ambiente, tudo igualzinho, uma vai ter água, outra vai ter ferro. A temperatura final, do equilíbrio, vai ter um valor pra essas duas camas, ou uma vai ter um valor diferente da outra?

Lara: Eu acho que vai ser diferente, eu acho que a temperatura do ferro vai ser mais baixa do que a da água. Tá certo?

((muda a questão))

Pesquisador: Outra coisa é a seguinte: você tem uma xícara de porcelana com café, você acabou de fazer o café, 100°C, você deixou aqui e o café vai esfriando lentamente. A idéia é você descrever como se dá esse resfriamento, com a maior riqueza de detalhes que você der conta. Se há transferência de calor, de quem para quem ...

Lara: Acho que há transferência de calor do café pro ambiente, pra temperatura ambiente e o resfriamento vai acontecer assim: a parte mais fria tende a descer e a parte de cima tem maior superfície de contato com o ambiente, aí, ela vai esfriando e vai descendo e a parte quente vai subindo e, aos poucos, vai esfriando, como se fosse um ciclo mesmo.

Pesquisador: Imagina assim: o café a 95°C e o ambiente a 20°C. A temperatura do equilíbrio vai ser o que? Próxima de 95°C, de 20°C, a média das temperaturas? O que você acha?

Lara: Mais próximo de 20°C, um pouquinho abaixo da média, mais próximo de 20°C.

Pesquisador: Se a gente pegar 95°C mais 20°C é igual a 115°C. Dividindo por dois, dá 57,5°C. A temperatura do equilíbrio entre esses dois sistemas (...)

Lara: Acho que ficaria uns 40°C, assim (...)

Pesquisador: E porque você acha que ficaria abaixo?

Lara: Eu não sei explicar. Acho que é a questão da transferência de calor mesmo. Vai ter uma hora que vai chegar ao equilíbrio. Não sei explicar.

Pesquisador: O que é mais fácil da gente variar a temperatura: se eu pegar 10g de água ou 500 mil toneladas de ferro?

Lara: Da água.

Pesquisador: Mesmo tendo calor específico mais alto.

Lara: Por causa da quantidade.

Pesquisador: Então, na hora que a gente coloca a xícara aqui, dá para comparar a massa do café, café e xícara, com o ar que está aqui?

Lara: Eu acho que não porque o ar vai ter uma massa maior do que a do café com a xícara.

Pesquisador: E isso influencia de que maneira nisso que a gente está conversando?

Lara: Eu acho que o ar ... não sei ... o ar vai ter uma influencia maior do que a xícara vai ter no ar.

Pesquisador: A variação de temperatura do café, portanto, comparada com a do ar, vai ser o quê? Maior, menor ou igual?

Lara: Vai ser um pouquinho maior ... aí, eu não sei ... fiquei na dúvida, agora ((fica pensando))

Pesquisador: Quando a gente quer acelerar o resfriamento do café, a gente sopra e funciona. Por que você acha que esse processo é válido para esfriar?

Lara: É aquele mesmo esquema ... só que a gente soprar é como se fosse um catalisador para resfriar mais rápido porque ta aumentando a superfície de contato, eu to soprando, ta indo, ta entrando em contato mesmo com o café, a parte de cima vai resfriar mais rápido do que se fosse só o ar ambiente e vai descer e vai, o ciclo vai ser mais rápido.

Pesquisador: Pensando no modelo de partículas que a gente trabalhou, esse fato de soprar, do ponto de vista das partículas, como você explicaria esse processo?

Lara: Você está querendo saber se elas vão ficar mais rápidas, mas devagar? Questão de energia?

Pesquisador: Sim.

Lara: Quando você está soprando ... elas vão se movimentar ... como está muito quente, elas estão movimentando demais, eu acho que aos poucos, as que estão em cima vão movimentar menos e as que estão em baixo e estão mais rápidas vão para cima. Vai acontecendo um fluxo de energia dentro do próprio café entre as partículas.

((mudando de questão))

Pesquisador: No começo do ano, eu coloquei dentro de minha geladeira uma lata de cerveja e uma garrafa de cerveja e está lá desde janeiro. O que você pode falar sobre a temperatura delas?

Lara: As duas estão no mesmo lugar?

Pesquisador: Estão dentro da minha geladeira, no mesmo lugar.

Lara: Da cerveja, a temperatura é a mesma.

Pesquisador: Mas quando você pega, a sensação que você tem é de que a temperatura é a mesma?

Lara: Não! A de alumínio está mais gelada.

Pesquisador: A que se deve isso?

Lara: Eu acho que é o calor específico. O do alumínio é mais baixo que o do vidro. Eu fico confusa se é mais baixo ou mais alto ... É mais baixo, não é?

Pesquisador: E em que isso influencia? Por que quando eu pego a lata, eu tenho a sensação que ela está mais fria, sendo que a temperatura é a mesma da outra?

Lara: Bom, acho que é por causa da energia mesmo. Por exemplo, aquele caso do chão. Se você pisar descalço num chão de madeira e de azulejo, como se fosse o fluxo de energia que passa. Pelo fato dele ter calor específico, ele vai esquentar mais rápido, esfriar mais rápido, é como se ele absorvesse e desabsorvesse (sic) também com mais facilidade.

Pesquisador: Você sai da piscina sentindo frio, seu corpo está molhado e o calor específico da água é alto. Não era para você sentir menos frio, então, com o corpo molhado?

Lara: Ah! Eu acho que não, porque tem vento batendo também, tem outros fatores externos (...)

Pesquisador: O que tem o vento bater? Você está dizendo que o calor específico baixo do alumínio permite que a gente tenha uma sensação térmica mais aguda. Então, na verdade, o contrário deve ser verdade, também. O calor específico alto vai te dar uma sensação térmica menos intensa (...)

Lara: Por causa da sua temperatura corporal. Porque a temperatura da água não vai estar igual à sua temperatura corporal. Eu acho que por ela ter calor específico alto, vai ser difícil da temperatura da água e do seu corpo entrar em equilíbrio. Não tem jeito.

Pesquisador: Mesmo se a água estiver ... se você está numa piscina aquecida, quando você sai da água, sente frio, mesmo se a água estiver até mais quente que você.

Lara: É mesmo.

Pesquisador: Eu vou trocar essa piscina de água por uma de éter. Lembra que o éter é mais volátil que a água. Quando eu sair, a sensação vai ser mais aguda, frio mais intenso? O que você acha que deveria acontecer?

Lara: Eu acho que ficaria mais intenso. Mesma coisa não vai ficar pelo fato de não ser a mesma substância, de um ser mais volátil do que o outro.

Pesquisador: No que isso influencia? Você passa éter no corpo (...)

Lara: O éter é mais ... Não tem coisa de calor específico?

Pesquisador: Tem. O calor específico dele é até menor que o da água. Mas, você passa éter de um lado e água do outro. No lugar em que você passou o éter, parece estar mais frio, tem algumas substâncias que se comportam dessa maneira.

Lara: Eu acho que é porque é mais volátil. Não sei explicar.

Pesquisador: O que é ser volátil?

Lara: Eu sei o que é, mais não sei explicar com palavras.

Pesquisador: Eu derramei água e éter aqui em dois lugares. Aí, eu saio e quando eu volto, uma das poças secou. Qual que secou?

Lara: O éter.

Pesquisador: É isso que é ser volátil.

Lara: É!

Pesquisador: Na mesma hora que eu colocar a mão sobre a poça seca, eu vou sentir que tá frio. A questão de estar frio significa fluxo de energia, ganhar ou perder calor?

Lara: Se eu mergulhasse, é como se água que está no meu corpo vai demorar mais a evaporar e já o éter vai evaporar rápido e eu vou sentir mais frio.

Pesquisador: Só que para evaporar, qualquer líquido precisa de retirar calor do seu corpo.

Lara: É ... é ... Entendi.

((mudando para o experimento do balão com ar e com água))

Pesquisador: A idéia é você tentar explicar o porquê da diferença de comportamento dos dois balões.

Lara: Eu acho que quando o balão está cheio de ar, as partículas que estão lá dentro vão entrar em movimento muito mais rápido do que o cheio de água, então ele vai estourar mais rápido. E o balão que está com água, por causa do calor específico dela, vai demorar a esquentar a água mas, uma hora, vai estourar. Mas eu acho que é essa questão mesmo. Com o balão cheio de ar, as partículas vão esquentar muito mais rápido, vão entrar em movimento muito mais rápido. Vão expandir, tá esquentando, tende a expandir e, como não tem lugar para sair, o balão estoura. Aí, nesse daqui ((aponta o balão com água)) tem a água e ia demorar mais para esquentar, ser mais lento mesmo, até esquentar a água para expandir.

((muda o experimento))

Pesquisador: Esse é o ebulidor de Franklin. Ele tem álcool aqui dentro. Pode segurar aqui ((aponta para a parte inferior do ebulidor)).

Lara: O álcool tá subindo um pouquinho.

Pesquisador: Tente explicar porque o álcool sobe.

Lara: Eu acho que quando segura, você está transferindo calor para ele. Aí, as partículas vão expandir e vai subir.

Pesquisador: Qual partícula? Partícula de quê?

Luisa: Do líquido.

Pesquisador: Você está dizendo que eu esquento o líquido e ele dilata?

Lara: É.

Pesquisador: O que você espera acontecer se esfriar a parte de cima?

Lara: Eu acho que ((o líquido)) continua na parte de baixo.

((pesquisador faz o experimento))

Lara: ((risos)) ((surpresa)). A parte de baixo vai ficar mais quente do que a de cima e vai fazer o líquido subir.

Pesquisador: Mas, quem vai fazer o líquido subir? O líquido não sobe sem motivo.

Lara: As partículas do líquido.

Pesquisador: Mas eu não entrei em contato com o líquido.

Lara: ((perguntando sobre o ebulidor)) Ele não desce sozinho, não?

Pesquisador: Desce. Eu não entrei em contato com o líquido! Eu coloquei um objeto frio em cima. A influência que eu tive sobre o líquido foi praticamente inexistente. Há uma troca de calor, mas é muito fraca.

Lara: Eu não sei explicar.

Pesquisador: Além do líquido, o que mais há aí dentro?

Lara: Tem ar.

Pesquisador: Como são as moléculas do ar, aí dentro?

Lara: Elas estão em movimento constante, constante que eu falo é assim, elas estão sempre se movendo.

Pesquisador: Esse movimento, ele depende de alguma coisa? Quando eu esquento, o que acontece?

Lara: Quando você esquentou em baixo, expandiu o líquido e o ar de cima, também, e fez subir. O de cima que eu falo é o ar. Aí, aqui, no caso, você esfriou. Aí, eu não sei, no caso quando você coloca aqui pra esfriar, você esfria o ar?

Pesquisador: O que é esfriar? Quando eu coloco ((o balão com água fria na parte superior do aparelho)) há um fluxo de energia?

Lara: Do vidro pro balão.

Pesquisador: Só do vidro?

Lara: Não! Desse componente ((ebulidor)) para cá.

Pesquisador: Então, esse objeto cedeu calor. O que deve ocorrer com sua temperatura?

Lara: Deve diminuir.

Pesquisador: Então, o que você pode dizer sobre a velocidade das moléculas?

Lara: Vai diminuir.

Pesquisador: E isso influencia de alguma maneira, na questão da movimentação do líquido dentro do aparelho?

Lara: Ah! Eu não sei explicar.

Pesquisador: Numa situação mecânica de equilíbrio, qual é a principal característica?

Lara: Tem que ficar como se fosse constante, mesmo.

Pesquisador: Mas, o que caracteriza o equilíbrio?

Lara: Quando as forças se anulam.

Pesquisador: Há alguma relação com o que acontece com o ebulidor?

Lara: Como esfriou aqui ((parte de cima)), as partículas que estão em menor movimento vão ter que entrar em equilíbrio. Para entrar em equilíbrio, uma parte do líquido vai ter que subir até que chega uma hora em que ele vai para de subir. E acho que na hora que parar, é quando entrar em equilíbrio.

Pesquisador: Para entrar em equilíbrio, você tem que ter forças e pressões iguais. Quem é que está aplicando essas forças e pressões para entrar em equilíbrio?

Lara: Eu acho que é a transferência de calor que está fazendo o líquido se movimentar. Aí, eu acho que vai parar de subir quando essa temperatura aqui ((aponta para a parte superior)) estiver igual à de lá ((parte inferior)). Temperatura que eu falo quando os gases ... as partículas do gás tiverem ... porque, igual aqui ((em cima)), elas estão mais resfriadas do que aqui ((em baixo)). Eu acho que vai entrar em equilíbrio quando as partículas ... porque é o seguinte: aqui ((em cima)) vai esfriar e vai descer. ((apresenta dúvidas, como se estivesse buscando um modelo explicativo coerente, mas não consegue)) Eu não sei explicar.

((muda o experimento))

Pesquisador: A idéia é explicar o ciclo de funcionamento do pássaro.

Lara: ((observa o pássaro)) É a mesma idéia do outro. Vai chegar uma hora que vai parar, não vai?

Pesquisador: Vamos ver isso. Por que eu tive que molhar aqui ((feltro na cabeça do pássaro))?

Lara: É a mesma idéia. Quando você esfria a parte de cima, o líquido subiu e ele abaixo.

Pesquisador: Se eu tirar esse copinho de água, imediatamente ele pára o ciclo?

Lara: Imediatamente, não!

Pesquisador: Qual será o momento em que ele pára?

Lara: Acho que é quando a temperatura do feltro igualar com a do ambiente.

Pesquisador: Enquanto ele estiver molhado, isso poderá acontecer?

Lara: Acho que não. A água vai evaporar, mas vai chegar uma hora que ... eu acho que ...

Pesquisador: Se a água vai evaporar, a temperatura do que resta no feltro vai ficar o quê? Maior, menor ou igual ao do ambiente?

Lara: Vai ficar igual à do ambiente. Não! Um pouquinho maior do que a do ambiente. Não! Eu acho que igual ao do ambiente.

Pesquisador: E aquela sensação do frio, saindo da piscina?

Lara: Ah é! Vai ficar menor.

Pesquisador: O que vai ficar menor?

Lara: A temperatura do feltro, quando a água evaporar.

Aluno: Samuel

Pesquisador: (...) Imagine que você mora numa região muito fria e precise esquentar sua cama. Você tem uma bolsa de borracha que pode colocar 1kg de água a 60°C ou 1kg de ferro a 60°C. O que você escolhe para ter a cama aquecida por mais tempo?

Samuel: Por mais tempo?

Pesquisador: É

Samuel: Vai colocar debaixo do colchão?

Pesquisador: É. Sob o colchão e não vai entrar em contato com o seu corpo. Claro!

Samuel: Eu colocaria a barra de ferro.

Pesquisador: Por que você colocaria a barra de ferro?

Samuel: Porque eu acho que ela permanece ... perde menos calor do que a água, permanece com calor mais tempo do que a água. A água, a perda de calor é maior.

Pesquisador: Então, você acha que a forma de variação de temperatura depende do fluxo de calor? É

isso?

Samuel: É isso!

Pesquisador: Então, o que você está dizendo é que o ferro (...) Porque, então, como vocês viram na Geografia, quando você tem massas de água grandes, lagos, rios, a amplitude térmica tende a ser menor do que (...) A presença de grandes massas de água controla a variação de temperatura. Esse papo não estaria sendo contrário a essa resposta que você deu?

Samuel: Estaria ... Você quer que eu explique por que, né?

Pesquisador: Olha só, quando a gente pega uma certa quantidade de água em represa, alguma coisa assim, a variação de temperatura tende a ser menor do que se ali tivesse areia (...) Entre o ferro e a água e a areia e a água (...)

Samuel: Seria o contrário, é o contrário do que eu falei!

Pesquisador: Só muda a propriedade, o processo é o mesmo.

((mudando de questão))

Pesquisador: Você tem uma xícara de porcelana com café quente em cima da mesa. O café está esfriando. Tenta descrever, com o máximo de detalhes possível, o processo do resfriamento do café. Se existe fluxo de calor, de onde para onde, o que acontece com o café, com o ambiente.

Samuel: Primeiro, o fluxo de calor vai do café para o ar, o café está mais quente que o ar, ele perde calor pro ar, depois para a porcelana, o café passa calor para a porcelana e a porcelana também com o ar. Ela vai esquentar mais do que o ar porque o ar tem muito mais massa e o ar também troca calor com a xícara.

Pesquisador: Imagine: o café está a 80°C e o ambiente está a 20°C. O que deve acontecer com essas temperaturas?

Samuel: A tendência das temperaturas é entrar em equilíbrio.

Pesquisador: Esse equilíbrio vai ser mais próximo da temperatura do café, do ar ou vai ser a média?

Samuel: Eu acho que vai ser ... a tendência é ficar mais próximo da do ar, mas (...)

Pesquisador: A temperatura vai ficar mais próxima de quem?

Samuel: Dependendo do tempo, né, também.

Pesquisador: Eu coloquei a xícara de café aqui, com o passar do tempo vai transmitir calor e com o passar do tempo, a temperatura do café vá o quê?

Samuel: Vai diminuir.

Pesquisador: E você falou que a temperatura tende a equilibrar. O que vai ser mais significativo: o aumento de temperatura do ar ou a diminuição da temperatura do café?

Samuel: A redução da temperatura do café vai ser mais significativa que a temperatura do ar.

Pesquisador: Que fator que é fundamental, que faz com que a temperatura do café diminua drasticamente e a temperatura do ambiente aumente um pouco?

Samuel: Primeiro, que a massa do ar é bem maior em relação ao café, que a área é menor. É isso!

((mudando a questão))

Pesquisador: Você tem uma garrafa de cerveja e uma lata de cerveja. Você colocou as duas na geladeira e deixou lá durante uma semana. Aí, você vai lá e pega as duas, você pega a lata e pega a garrafa, que sensação você tem?

Samuel: Em acho que a lata é mais fria que a garrafa.

Pesquisador: E essa sensação é verdadeira?

Samuel: Não! A diferença é do material e da condutividade térmica dele.

Pesquisador: Imagine a situação: eu vou fazer uma torta e colocar no forno. Eu uso uma tigela de vidro e uma tigela de metal. E com as mãos desprotegidas eu tento tirar uma e outra do forno. A sensação que eu tenho, qual é?

Samuel: A de ferro vai ficar na temperatura maior do que a de vidro.

Pesquisador: E essa sensação é correta?

Samuel: Na verdade, elas estão na mesma temperatura.

Pesquisador: Que relação a gente pode estabelecer a partir dessa sensação que a gente tem de temperatura? Ela está relacionada a quais fatores?

Samuel: Material, densidades diferentes, massa, condutividade térmica, como é que se chama (...)

Pesquisador: Em relação à condutividade térmica, de que maneira ela pode afetar, porque a sensação do vidro da garrafa e da lata é diferente e isso afeta em quê?

Samuel: Fica mais fácil a perda de calor, quem conduz mais eu acho que fica mais fácil essa perda de calor do que quem conduz menos.

Pesquisador: Em qual situação dessas duas a perda de calor pode acontecer? Do seu corpo para a latinha que está na geladeira ou do seu corpo para a tigela que está no forno?

Samuel: Acho que nos dois, se eu vou estar com uma temperatura maior.

Pesquisador: Aí, eu gurei na latinha, o sentido do fluxo de calor é de onde para onde?

Samuel: Seu para a latinha.

Pesquisador: Eu segurei a tigela para tirar de dentro do forno (...)

Samuel: Da tigela para a sua mão.

((mudando para o experimento do balão com água))

Pesquisador: A idéia é a gente comparar as duas situações: o que mudou que fez o balão com ar estourar e o com água, não.

Samuel: O primeiro é que esse material esquentou ((pegou um pedaço do balão que estourou)) e estava passando calor pro ar dentro dele, que já tinha a temperatura maior que a da água. E nesse caso aqui ((aponta para o balão com água)), você forneceu o mesmo tanto de calor, passou energia para ele, para água. Acho que primeiro teria que esquentar toda a água para passar pro ar que tá aqui dentro também até chegar a uma temperatura que esse material não vai mais resistir.

Pesquisador: Isso faz alguma relação com a 1ª pergunta? Aquela da bolsa de borracha com água e ferro?

Samuel: Com certeza!

Pesquisador: A propriedade que a água tem aqui pode ser aplicada lá?

Samuel: Sim.

((experimento do ebulidor de Franklin))

Pesquisador: Por que esse líquido se movimenta?

Samuel: Você transmite calor do seu corpo para o vidro e quando você esquentar alguma coisa, a tendência é subir, crescer.

Pesquisador: Então, você está dizendo que o líquido está se dilatando e subindo?

Samuel: Se você esquentar, você diminui a densidade e a tendência dele é subir.

Pesquisador: Mas será que está menos denso do que o ar?

Samuel: Aí, acho que não.

Pesquisador: No momento em que eu segurei aqui, houve transferência de calor?

Samuel: Acho que houve.

Pesquisador: O que vai acontecer se, ao invés de esquentar em baixo, eu esfriar em cima? Você espera observar algum tipo de movimento?

Samuel: Eu acho que sim, porque vai alterar o ar aqui no caso (...)

Pesquisador: Qual o movimento você espera acontecer?

Samuel: Espero que o líquido suba.

((pesquisador coloca o balão com água gelada na parte de cima do ebulidor. O líquido sobe))

Pesquisador: Nesse momento em que eu coloquei o gelado, o fluxo de energia foi de onde para onde?

Samuel: Do aparelho para o balão.

Pesquisador: Em consequência disso, o que você espera acontecer? A temperatura que ficou aí (...)

Samuel: Temperatura do objeto ou do líquido?

Pesquisador: Veja bem, o líquido entrou em contato com o balão gelado?

Samuel: Não. Você está perguntado se a temperatura dele vai mudar?

Pesquisador: Isso!

Samuel: Eu acho que não. Eu acho que o que vai acontecer é que como a tendência é o equilíbrio térmico, no mesmo meio, assim, como houve fluxo, é sempre do mais quente para o menos quente. É por isso que o líquido vai subir e a temperatura ...

Pesquisador: Se esfriar em cima, você tá dizendo que o líquido, por ele estar mais quente, ele tende a subir para poder igualar a temperatura, é isso?

Samuel: É isso!

Pesquisador: Agora, imagine o seguinte: eu estou mais quente que o ambiente, eu tenho fluidos e eles não vão se deslocar para fora para transportar calor.

Samuel: É.

Pesquisador: Claro que se eu cortar meu braço vai jorrar sangue, mas por que jorra sangue?

Samuel: Por causa da pressão que o coração faz, ele fica bombeando.

Pesquisador: Quem aumenta a pressão aí?

Samuel: Se você fornece calor... Não sei, não! Se está mais quente, você altera a densidade, com isso a pressão também altera.

Pesquisador: Quando a gente falou que forneceu calor, o que a gente fez? Um dos efeitos, se você tem um aumento de temperatura, o que significa? O gás, aqui, ele está a uma temperatura um pouco maior? O que significa temperatura?

Samuel: O que significa temperatura?

Pesquisador: É. Está associada a quê?

Samuel: À quantidade de calor ...

Pesquisador: Por exemplo, se temperatura é a quantidade de calor: Se a gente pegar água e óleo e esquentar, se eu fornecer a mesma quantidade de calor para os dois, eles não vão ter a mesma variação de temperatura. Então, se temperatura é a quantidade de calor, não é coerente com o que se observa. Concorda?

Samuel: É.

Pesquisador: Pode ser que exista uma relação entre temperatura e calor, mas não é uma relação direta. Na hora em que eu seguro aqui ((no ebulidor de Franklin)), estou fornecendo calor para o ar. Pensa, em relação às partículas do ar. Se elas recebem energia, a tendência delas (...)

Samuel: É movimentar mais (...)

Pesquisador: E se elas movimentam mais, a probabilidade delas se chocarem aqui ((aponta para o líquido)) é menor ou maior?

Samuel: Maior.

Pesquisador: Isso vai produzir qual efeito sobre a pressão?

Samuel: Será maior.

Pesquisador: E o quê deverá acontecer com o líquido?

Samuel: Tende a expandir, a subir.

((Experimento do passarinho))

Pesquisador: A idéia é a gente tentar explicar o que faz o álcool subir, se ele continua funcionando para sempre ou ele pára, se a temperatura da água influencia. O que você acha que está acontecendo, se a energia que está chegando para se movimentar, porque ele tem esse ciclo?

Samuel: Primeiro, que a temperatura da água, com certeza, influencia. Ele esfriou, então vai dar diferença na pressão, no calor. Aí, vai fazer o líquido subir, o líquido subiu ... esfriou lá em cima. Deu a diferença da pressão, o líquido subiu ... aí, o formato da cabeça acho que influencia, por causa do líquido subir e distribuir mais pro lado eu ele cai.

Pesquisador: E se eu tirar esse copinho, ele vai continuar fazendo o ciclo?

Samuel: Não! Se bem que ele tá molhado. ((dá a entender, com as mãos, que continua a funcionar))

Pesquisador: Se não vai continuar para sempre, quando ele pára?

Samuel: Quando a temperatura da água do biquinho dele chegar mais próximo possível do álcool.

Pesquisador: Mas, veja: a água, quando você sai da piscina, ela pode estar na mesma temperatura do ambiente e você sente frio. Se a piscina fosse de éter, você iria sair sentindo mais frio ainda, mesmo ele estando na temperatura ambiente. O que faz a diferença?

Samuel: A água ... tem a ver com equilíbrio térmico e eu não me lembro muito bem.

Pesquisador: Se você soprar, vai interferir na velocidade do seu ciclo? ((espera um pouco e, em seguida sopra))

Samuel ((fica sem saber explicar))

Pesquisador: Se a temperatura for um pouco menor do que esta aí, faz o ciclo ficar mais rápido?

Samuel: Acho que sim.

Pesquisador: E se, por exemplo, eu trocar o líquido. Colocar um líquido mais volátil?

Samuel: O ciclo fica mais rápido. ((apesar dessa resposta, Samuel não conseguiu chegar à relação da evaporação com o resfriamento))