



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
Instituto de Física  
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física  
Mestrado Profissional em Ensino de Física

Marta Maximo Pereira

**“Ufa!! Que calor é esse?! Rio 40 °C”—  
Uma proposta para o ensino dos conceitos  
de calor e temperatura no Ensino Médio**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Vitorvani Soares

Rio de Janeiro  
Fevereiro de 2010



**“Ufa!! Que calor é esse?! Rio 40 °C”—  
Uma proposta para o ensino dos conceitos  
de calor e temperatura no Ensino Médio**

Marta Maximo Pereira

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

---

Prof. Vitorvani Soares (Presidente)

---

Prof. Filadelfo Cardoso Santos

---

Prof. Marco Antonio Barbosa Braga

Rio de Janeiro  
Fevereiro de 2010





## FICHA CATALOGRÁFICA

P436u Maximo Pereira, Marta

“Ufa!! Que calor é esse?! Rio 40 °C” — Uma proposta para o ensino dos conceitos de calor e temperatura no Ensino Médio / Marta Maximo Pereira. — Rio de Janeiro: UFRJ/IF, 2010.

xviii, 147f. : il. ; 29 cm

Orientador: Vitorvani Soares

Dissertação (mestrado) — UFRJ / Instituto de Física / Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2010.

Referências Bibliográficas: f. 113-118.

1. Ensino de Física. 2. Termodinâmica. 3. Atividade investigativa.

I. Soares, Vitorvani. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. III. Título.



Dedico esta dissertação aos professores-educadores que, assim como eu, acreditam que a educação pode contribuir para transformar o ser humano.



## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, que me dá o dom da vida, a sabedoria e o discernimento para tomar as atitudes mais acertadas; aos meus familiares e amigos, em especial, aos meus pais, Ademir e Nádia, pela compreensão e apoio incondicionais durante a realização do Mestrado; e a minha irmã, Milena, pela paciência, amizade e pelo *abstract* e revisão do presente texto.

Sou grata também aos professores Filadelfo Cardoso Santos e Marco Antonio Barbosa Braga, que gentilmente aceitaram o convite da Comissão Deliberativa do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da UFRJ para participarem da banca examinadora.

Agradeço à professora Deise Miranda Vianna, por ter apresentado um caminho para o desenvolvimento deste trabalho, durante a disciplina *Tópicos de ensino por investigação*, e aos colegas Alexsander, Anderson, Geraldo, Leandro Nery, Leandro Rubino, Marcelo e Marco, pelos pertinentes comentários e sugestões para o aprofundamento das atividades elaboradas nesta dissertação.

Agradeço também ao CNPQ e à FAPERJ.

E não poderia me esquecer de demonstrar aqui minha gratidão ao professor Vitorvani Soares, pela sua calma, paciência e sabedoria ao me orientar, e por ter sempre apoiado minhas ideias e acreditado que eu seria capaz de realizar este trabalho.



听而易忘，见而易记，做而易懂

*“Eu escuto e eu esqueço. Eu vejo e eu me lembro. Eu faço e eu entendo.”* — provérbio chinês atribuído a Confúcio (551 a.C. – 479 a.C.) ou a Xun Zi (295 a.C. – 238 a.C.), um de seus discípulos.





## RESUMO

Dentre os vários problemas existentes na aprendizagem de Física nas escolas de Ensino Médio brasileiras, Grings, Caballero e Moreira (2007) identificam que os conceitos que os alunos associam às grandezas físicas fundamentais da Termodinâmica, mesmo após a instrução formal, estão muito distantes do conhecimento cientificamente aceito. O objetivo desta dissertação é desenvolver uma proposta didática que auxilie o professor a construir com seus alunos os conceitos termodinâmicos de temperatura e calor. Para tanto, utilizamos como embasamento teórico o sociointeracionismo de Vygotsky e a realização de atividades investigativas. O produto de nossa dissertação consiste em *Guias de orientação para o professor*, nos quais ele irá encontrar não apenas a sequência de atividades investigativas que propomos para a aprendizagem dos conceitos de calor e temperatura e de outros aspectos da Física Térmica, mas também sugestões de como organizar a dinâmica em sala de aula e de como proceder como mediador durante a realização de tais atividades. No corpo da dissertação apresentamos um caminho possível para o desenvolvimento de cada uma dessas atividades. Uma etapa seguinte de desdobramento deste trabalho é a sua aplicação em sala de aula para a verificação de sua eficiência (ou não) para o ensino. No entanto, acreditamos que a articulação entre teoria–pesquisa–desenvolvimento, que permeou toda a dissertação, é um bom indício de que esta proposta pode contribuir para tentar facilitar a aprendizagem de Física no nível médio.

Palavras–chave: Ensino de Física, Ensino Médio, Termodinâmica, temperatura, calor, sociointeracionismo, atividade investigativa



## **ABSTRACT**

Among the many problems in the learning of Physics in Brazilian high schools, Grings, Caballero and Moreira (2007) observed that the concepts that the students associate with the basic thermodynamic physical quantities are very far from the scientifically accepted knowledge, even after formal instruction. This dissertation aims at developing a didactic proposal that may collaborate with the teacher in building the thermodynamic concepts of temperature and heat with the students. That is why our theoretical framework draws on Vygotsky's sociocultural theory and investigative activities. The product of our dissertation consists in an *Orientation guide for the teacher*, in which he/she will find not only the sequence of investigative activities that we propose for the learning of the concepts of heat and temperature and other aspects of Thermal Physics, but also suggestions on how to organize the classroom dynamics and behave as a mediator during the activities. We also present a possible route for the development of each of these activities. A next step for this study would be to carry out such activities in the classroom context in order to examine their efficiency (or not) for the teaching process. We believe, however, that the articulation among theory, research and development, which pervades this dissertation, is evidence that this proposal can contribute to facilitate the learning of Physics in high school.

Keywords: Teaching of Physics, High School, Thermodynamics, temperature, heat, sociocultural theory, investigative activity.



# ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 MOTIVAÇÕES .....	1
1.2 SITUAÇÃO DO ENSINO DE FÍSICA .....	2
1.2.1 <i>Breve histórico e panorama atual</i> .....	2
1.2.2 <i>As contribuições dos documentos oficiais</i> .....	4
1.3 ASSOCIAÇÃO ENTRE PESQUISA E ENSINO .....	7
1.4 EXPOSIÇÃO DO PROBLEMA.....	8
1.5 OBJETIVOS .....	12
1.6 ABORDAGEM FÍSICA DESTE TRABALHO.....	13
1.7 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	15
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>19</b>
2.1 INTRODUÇÃO.....	19
2.2 DESCRIÇÃO DOS TRABALHOS .....	19
2.3 COMENTÁRIOS.....	23
<b>3. PRESSUPOSTOS TEÓRICOS .....</b>	<b>25</b>
3.1 TEORIAS CONSTRUTIVISTAS E ESCOLHA DO REFERENCIAL TEÓRICO .....	25
3.2 VYGOTSKY E O SOCIOINTERACIONISMO.....	27
3.3 A TEORIA DE VYGOTSKY E O DESENVOLVIMENTO DESTE TRABALHO .....	30
3.4 POR QUE ATIVIDADES INVESTIGATIVAS? .....	32
3.4.1 <i>Atividades investigativas e ensino de Física</i> .....	32
3.5 POR QUE ATIVIDADES EXPERIMENTAIS? .....	34
3.5.1 <i>Atividades experimentais: breve histórico</i> .....	34
3.5.2 <i>Atividades experimentais e ensino de Física</i> .....	35
3.6 POR QUE PROGRAMA DE TV? .....	36
3.6.1 <i>Utilização de vídeos e ensino de Física</i> .....	36
<b>4. EMBASAMENTO FÍSICO .....</b>	<b>39</b>
4.1 INTRODUÇÃO.....	39
4.2 TEMPERATURA E CALOR: QUANDO ENSINAR? .....	40
4.3 TEMPERATURA E CALOR: O QUE ENSINAR? .....	45

<b>5. PROPOSTA DE INTERVENÇÃO EM SALA DE AULA.....</b>	<b>59</b>
5.1 INTRODUÇÃO.....	59
5.2 DESCRIÇÃO GERAL DAS ATIVIDADES INVESTIGATIVAS.....	60
5.3 CONSTRUÇÃO DO CONCEITO DE TEMPERATURA.....	62
5.4 CONSTRUÇÃO DO CONCEITO DE CALOR.....	66
5.4.1 <i>Introdução.....</i>	<i>66</i>
5.4.2 <i>Calor gerando mudança de temperatura ou de fase à temperatura constante.....</i>	<i>68</i>
5.4.3 <i>Calor gerando mudança de temperatura e trabalho.....</i>	<i>80</i>
5.4.4 <i>Calor gerando mudança de fase à temperatura constante e trabalho.....</i>	<i>86</i>
<b>6. COMENTÁRIOS FINAIS E CONCLUSÕES.....</b>	<b>109</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>113</b>
<b>APÊNDICE — GUIAS DE ORIENTAÇÃO PARA O PROFESSOR.....</b>	<b>119</b>
TEMPERATURA.....	119
CALOR.....	123

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Motivações

Como ensinar Física e de que forma se aprende ou se deve aprender essa ciência são questões que sempre preocuparam e seguem preocupando educadores e pesquisadores em educação. Em 1963 foi realizada a Primeira Conferência Interamericana sobre Ensino de Física, na qual Richard Feynman, físico norte-americano ganhador do Premio Nobel de Física de 1965, já se manifestava de forma “muito pessimista em relação à situação da educação ‘em qualquer lugar’, como ele mesmo colocou” (BARROS, 2002). Também de acordo com Barros (2002), Feynman defendeu nessa conferência a “necessidade implícita de se fazer ‘novas descobertas’ para resolver o problema de ‘ensinar física’, e sobre o qual, já nos idos anos de 1963, um físico ‘duro’ do calibre de Feynman teve profunda percepção, que expressou assim (FEYNMAN, 1963 *apud* BARROS, 2002):

*(...) O problema de ensinar física na América Latina é apenas parte de um problema maior, que é o de ensinar física em qualquer lugar que, aliás, está incluído num problema mais amplo, que é o de ensinar qualquer coisa e em qualquer lugar e para o qual não é conhecida uma solução satisfatória.*

*(...) o fato é que ninguém sabe bem como dizer aos outros como ensinar.*

*(...) Portanto, quando tentamos pensar como ensinar física devemos ser bastante modestos, porque realmente ninguém sabe como fazê-lo. Este é ao mesmo tempo um problema sério e uma oportunidade para novas descobertas.”*

Concordando plenamente com Feynman sobre a problemática relativa ao processo de ensino–aprendizagem, aceitamos a hipótese de que não existe uma condição única, necessária e suficiente, para que um indivíduo aprenda, assim como tampouco há uma resposta pronta e fechada para a pergunta de como ensinar Física de

forma eficiente. Porém, diante disso, ele aponta também um caminho a ser seguido, indicando que um novo leque de possibilidades pode se abrir para a melhoria do ensino de Física com a busca de “novas descobertas”, mencionadas na década de 1960 e que desde então têm sido objeto da pesquisa em ensino de Física e de ciências em geral.

Esse problema em aberto em que se configura o ensino de Física, somado à nossa insatisfação com o “estado da arte” desse ensino nas escolas de nível médio, motiva-nos a tentar propor reflexões que possam colaborar para o aprofundamento da questão e a elaborar estratégias que auxiliem o professor de Física em sua prática em sala de aula. A partir de nossa experiência docente no Ensino Médio, dos conhecimentos físicos necessários e da vasta literatura produzida pela pesquisa em ensino de Física nos últimos anos, pensamos ser capazes de propor uma intervenção que de alguma forma contribua positivamente para a aprendizagem de Física, mesmo que de uma pequena parte do extenso currículo do Ensino Médio brasileiro.

Nesse contexto, escolhemos dedicar-nos à Física Térmica, mais especificamente aos conceitos de temperatura e calor. Tal escolha será justificada mais adiante nesta dissertação, que pretende oferecer alguns aportes à reflexão sobre o ensino de Física e propor uma alternativa didática para o ensino desses conceitos no nível médio. Para tanto, iniciaremos nosso estudo fornecendo um breve panorama do ensino de Física no Brasil.

## **1.2 Situação do ensino de Física**

### **1.2.1 Breve histórico e panorama atual**

O ensino de Física e de ciências em geral é tradicionalmente baseado na transmissão e acúmulo de informações, no desenvolvimento de habilidades operacionais, num formalismo matemático fortemente abstrato, no estudo de fenômenos de modo descontextualizado e dissociado da vida cotidiana e na aceitação da ciência como detentora absoluta da verdade. Para Paniagua e Poblete (1994),

*No ensino da Física Básica, há em geral uma desvinculação com a realidade. Em todos os níveis os cursos dessa disciplina são dados baseando-se fundamentalmente nos aspectos teóricos, por isso a Física é ensinada na maior parte do tempo só com giz e quadro-negro,*



*esquecendo-se desse modo que tal disciplina é basicamente fenomenológica e, portanto, deve apoiar-se em experiências que mostrem os fenômenos naturais que tem interesse em explicar. Não é suficiente descrever oralmente o que deveria acontecer.<sup>1</sup>*

Em nosso trabalho de final de curso de graduação (MAXIMO PEREIRA, 2006) já comentávamos sobre as concepções que norteavam (e parecem ainda nortear) o ensino em nosso país:

*Historicamente, o ensino de Física nas escolas brasileiras, assim como das demais disciplinas integrantes do currículo obrigatório do atual Ensino Médio, constituiu-se tendo como base a pedagogia tradicional. De acordo com esse modo de pensar a educação, o professor é o detentor de todo o conhecimento, “depositando-o” em um aluno passivo, que o recebe e nada sabe, numa relação vertical identificada por Paulo Freire (1974) como estritamente “bancária”.*

Sobre a ineficiência dessa forma de conceber o processo de ensino-aprendizagem, com alunos que não questionam nem discutem entre si, Feynman já assim se manifestava no livro em que relata sua experiência de ensino no Brasil durante a década de 1950:

*Uma outra coisa que nunca consegui que eles [os alunos] fizessem foi perguntas. Por fim, um estudante explicou-me: “Se eu fizer uma pergunta para o senhor durante a palestra, depois todo mundo vai ficar me dizendo: “Por que você está fazendo a gente perder tempo na aula? Nós estamos tentando aprender alguma coisa, e você o está interrompendo, fazendo perguntas”.*

*(...) Expliquei a utilidade de se trabalhar em grupo, para discutir as dúvidas, analisá-las, mas eles [os alunos] também não faziam isso porque estariam deixando cair a máscara se tivessem de perguntar alguma coisa a outra pessoa. Era uma pena! Eles, pessoas inteligentes, faziam todo o trabalho, mas adotaram essa estranha forma de pensar,*

---

<sup>1</sup> Tradução nossa. Outras citações ao longo do texto, na falta de indicação contrária, também foram por nós traduzidas.

*essa forma esquisita de autopropagar a “educação”, que é inútil, definitivamente inútil!*

*(...) Por fim, eu disse que não conseguia entender como alguém podia ser educado neste sistema de autopropagação, no qual as pessoas passam nas provas e ensinam os outros a passar nas provas, mas ninguém sabe nada. (FEYNMAN, 2006)*

Infelizmente, esse panorama traçado por Feynman pouco mudou até os dias de hoje, ainda que saibamos que a forma como se tem dado o ensino nas escolas brasileiras não mais dá conta de uma realidade em constante transformação, na qual as novas formas de acesso à informação e ao conhecimento alteram profundamente a relação professor / conteúdo programático / alunos, pois estes são agora entendidos como “sujeitos construídos histórica, social e culturalmente, ativos em seu processo de aprendizagem” (MAXIMO PEREIRA, 2006).

### **1.2.2 As contribuições dos documentos oficiais**

A partir de estudos nas áreas de ensino–aprendizagem, metodologias de ensino e formação de currículos, que serão mencionados nesta dissertação na Seção 1.3, o Ministério da Educação de nosso país elaborou, entre outros documentos, os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) (BRASIL, 2000), as Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+ / Ensino Médio) (BRASIL, 2002) e as Orientações Curriculares para o Ensino Médio (BRASIL, 2006). Todos eles deveriam nortear o trabalho do professor em sala de aula e seu planejamento didático, ainda que se saiba a distância que há entre as propostas oficiais e a realidade do ensino nas escolas brasileiras.

Dentre as muitas contribuições que os parâmetros e orientações fornecem para a reflexão sobre o ensino de Física e para a prática do professor em sala de aula, mencionaremos a seguir aquelas que serão utilizadas como embasamento para a construção da presente dissertação e da proposta didática nela contida.

As Orientações Curriculares para o Ensino Médio (BRASIL, 2006) afirmam que

*Muito frequentemente ensinam-se as respostas sem formular as perguntas! E há um aspecto para o qual os professores devem se voltar*

*com especial atenção, relacionado com a característica fundamental da ciência: a sua dimensão investigativa, dificilmente trabalhada na escola nem solicitada nas provas vestibulares.*

Quanto aos objetivos do ensino de Física e ao tipo de aluno que deve resultar desse processo, o mesmo documento se manifesta da seguinte maneira:

*Assim, o que a Física deve buscar no ensino médio é assegurar que a competência investigativa resgate o espírito questionador, o desejo de conhecer o mundo em que se habita. Não apenas de forma pragmática, como aplicação imediata, mas expandindo a compreensão do mundo, a fim de propor novas questões e, talvez, encontrar soluções. Ao se ensinar Física devem-se estimular as perguntas e não somente dar respostas a situações idealizadas.*

*(...) O aluno cuja competência investigativa tiver sido adequadamente desenvolvida na escola, ao deparar-se com situações problema para cuja solução os conhecimentos adquiridos são insuficientes, poderá recorrer a livros, à Internet, ou consultar um especialista para encontrar respostas razoáveis.*

Assim, a questão do fazer perguntas (já mencionada por Feynman desde a década de 1950) e de um ensino por investigação, o qual possibilite ao aluno ser capaz de resolver problemas dos mais variados tipos e em diferentes situações, são centrais nas Orientações Curriculares para o Ensino Médio, e guiarão também nossa proposta didática, pois, de acordo com o mesmo documento (BRASIL, 2006):

*É importante que os métodos de ensino sejam modificados, capacitando o aluno a responder a perguntas e a procurar as informações necessárias, para utilizá-las nos contextos em que forem solicitadas.*

*(...) Os conhecimentos prévios dos alunos, e a exploração de suas contradições e limitações pelo professor, exigem que este elabore situações e problemas que o aluno não faria sozinho e que tenham o potencial de levar à aquisição de um conhecimento que o educando*

*ainda não possui, mas que passará a ter significância dentro dos esquemas conceituais do aluno.*

Também segundo os PCN+ / Ensino Médio (BRASIL, 2000):

*Muitas vezes a incompreensão do professor sobre certas respostas que os alunos apresentam em sala de aula deve-se a seu desconhecimento sobre esses modelos construídos intuitivamente. Da mesma forma, esses modelos explicam também a dificuldade dos alunos em compreender e assimilar os modelos que lhes são apresentados.*

*Para que ocorra um efetivo diálogo pedagógico, é necessário estar atento ao reconhecimento dessas formas de pensar dos alunos, respeitando-as, pois são elas que possibilitam traçar estratégias de ensino que permitem a construção da visão científica, através da confrontação do poder explicativo de seus modelos intuitivos com aqueles elaborados pela ciência.*

Desse modo, também levaremos em conta, no desenvolvimento e possível aplicação de nossa proposta (conforme ficará mais claro no decorrer deste texto), as concepções prévias dos alunos, cujo conhecimento por parte do professor pode auxiliá-lo em sua interação com os estudantes em sala de aula.

Outros aspectos contemplados nas atividades que iremos propor são a experimentação e a introdução à linguagem científica, já que os PCN+ / Ensino Médio (BRASIL, 2002) afirmam que “é indispensável que a experimentação esteja sempre presente ao longo de todo o processo de desenvolvimento das competências em Física, privilegiando-se o fazer, manusear, operar, agir, em diferentes formas e níveis”. Além disso, afirmam que deve ocorrer no Ensino Médio “(...) a introdução à linguagem própria da Física, que faz uso de conceitos e terminologia bem definidos, além de suas formas de expressão que envolvem, muitas vezes, tabelas, gráficos ou relações matemáticas.”

A situação do ensino de Física no Brasil e as propostas presentes nos documentos oficiais sobre educação em nosso país geram um campo bastante frutífero para a pesquisa em ensino de Física. Mencionaremos brevemente na seção seguinte

alguns temas de pesquisa em ensino e sua importância para a elaboração de propostas didáticas, em especial, para aquela que aqui iremos desenvolver.

### **1.3 Associação entre pesquisa e ensino**

De acordo com Barros (2002), a pesquisa em ensino de Física “é relativamente nova como área de estudos específicos e vem sendo desenvolvida como tal, no Brasil e no mundo, desde a década de 60 do século passado”. Para a mesma autora:

*O Brasil tem uma tradição de pesquisa em Ensino de Física com várias décadas de existência, realizações de peso, programas de pós-graduação bem estabelecidos e muitas publicações que atestam a fertilidade da produção dessa comunidade.*

Nos últimos anos, a pesquisa em ensino de ciências em geral e de Física em particular tem se desenvolvido de forma bastante significativa, tanto no Brasil como internacionalmente. Inúmeros são os congressos, conferências, simpósios e encontros em que são divulgados e discutidos os resultados de investigações sérias e consistentes sobre o processo de ensino–aprendizagem em Física. Revistas brasileiras e internacionais têm publicado uma série de interessantes trabalhos em termos de concepções prévias dos alunos; formas como aprendem (ou não) determinado tópico; utilização de espaços não–formais de aprendizagem; implicações da introdução da história da ciência, de novas tecnologias ou de uma abordagem de Ciência–Tecnologia–Sociedade (C–T–S) nas salas de aula de Física; concepções de ciência dos estudantes, entre outros temas. Paralelamente a isso, muitas são as propostas didáticas apresentadas — em revistas, anais de congressos e na Internet — para a aplicação em sala de aula: realização de experimentos de baixo custo, uso de simulações, aplicativos e plataformas virtuais de aprendizagem, utilização de textos históricos ou atuais durante as aulas. Contudo, tais propostas em geral não são elaboradas levando–se em conta os embasamentos teóricos presentes na literatura nem os resultados das pesquisas realizadas.

Podemos observar atualmente uma grande distância entre o que revelam as investigações em ensino de Física e a forma como os materiais didáticos são desenvolvidos e utilizados em sala de aula. Assim, concordamos com Moreira (2006):

*Pesquisa e desenvolvimento podem andar juntos (e/ou devem andar juntos), mas significam coisas distintas. Há, por exemplo, muita atividade de desenvolvimento instrucional e curricular sem nenhum referencial teórico, que não se constitui, portanto, a meu ver, em atividade de pesquisa em educação em ciências.*

Acreditamos que a pesquisa em ensino de Física pode e deve contribuir para a melhoria de nossas práticas em sala de aula, pois aponta dificuldades de aprendizagem de nossos alunos, indica aspectos a serem enfatizados no ensino, sugere possíveis caminhos a seguir. A transposição do conhecimento acadêmico produzido pela pesquisa em ensino de Física para o dia a dia da sala de aula, por intermédio do planejamento de atividades, elaboração de materiais e sugestões de propostas didáticas, é um desafio não só para os professores, mas sobretudo para a própria pesquisa em ensino.

Por tudo isso, a presente dissertação parte de um problema de aprendizagem real, identificado pela literatura, e se propõe a apresentar uma alternativa didática que oriente o professor a auxiliar seus alunos na superação das dificuldades sinalizadas pelas pesquisas. Tal proposta foi elaborada também de acordo com abordagens atuais de ensino de ciências, as quais, segundo os resultados da pesquisa, propiciam efetivamente aprendizagem por parte dos estudantes, sendo explicitadas mais adiante neste texto.

A pertinência desta dissertação reside no fato de tentar estreitar os laços entre pesquisa em ensino de Física e prática pedagógica, mostrando que é possível fazê-lo e que as perspectivas para sua implementação em sala de aula são bastante promissoras. Iniciamos nosso trabalho descrevendo o problema ao qual nos dedicaremos em nosso estudo.

#### **1.4 Exposição do problema**

Dentre os vários problemas existentes na aprendizagem de Física nas escolas de Ensino Médio brasileiras, Grings, Caballero e Moreira (2007) identificam que os conceitos que os alunos brasileiros de Ensino Médio associam às grandezas físicas fundamentais da Termodinâmica, mesmo após a instrução formal, estão muito distantes do conhecimento cientificamente aceito e compartilhado pela comunidade

científica. Além disso, os autores catalogam para os fenômenos termodinâmicos uma série de possíveis *invariantes operatórios*, que, de acordo com a teoria dos campos conceituais de Vergnaud (*apud* MOREIRA, 2002) nada mais são do que proposições tidas como verdadeiras para os estudantes. Dentre elas, destacamos as seguintes, presentes em Grings, Caballero e Moreira (2007):

- “A temperatura é a variação de um estado de quente para um estado de frio.”
- “A temperatura é a variação do calor.”
- “A temperatura é diretamente proporcional ao volume.”
- “É necessária uma fonte de calor para aumentar a temperatura de um corpo.”
- “Ocorre transferência de calor quando os corpos estão encostados.”
- “O corpo de menor temperatura recebe calor até os corpos atingirem o equilíbrio térmico.”

Analisando as seis sentenças acima, observamos que apenas a última é compatível com o conhecimento aceito cientificamente.

Yeo e Zadnik (2001) apresentam também uma série de concepções alternativas dos estudantes sobre Física Térmica muito bem identificadas na literatura, dentre as quais destacamos:

- “Pele ou toque podem determinar a temperatura.”
- “Quando a temperatura de mudança de fase permanece constante, alguma coisa está ‘errada’ .”
- “Calor e temperatura são a mesma coisa.”
- “Calor é uma substância.”
- “Calor sempre resulta num aumento de temperatura.”

Nesse caso, todas as sentenças apresentadas são não-científicas.

Sobre a última concepção, que é fortemente arraigada em nossos alunos e será bastante trabalhada nesta dissertação, muitas pesquisas relatam que, mesmo após a instrução formal, eles têm dificuldades para reconhecer processos isotérmicos (nos quais, em sistemas ideais, toda a energia devida ao calor é convertida em trabalho) e compreender que mudanças de temperatura podem ocorrer adiabaticamente. Por exemplo, na pesquisa realizada por Kautz et al. (2005) com alunos universitários de Física e Química nos Estados Unidos, muitos deles responderam que “isolamento térmico implica em temperatura constante até se outras mudanças são feitas no sistema”. De acordo com Loverude, Kautz e Heron (2002), para os estudantes, “o calor pode estar de tal forma associado à mudança de temperatura, que o conceito de trabalho pode parecer-lhes supérfluo.”

A partir desses resultados, podemos observar que a maioria das afirmações extraídas das falas dos estudantes pesquisados está mais associada aos conceitos cotidianos de temperatura e calor do que aos científicos, mesmo após a instrução formal. Isso pode dever-se ao fato de, em várias partes da Física, mas sobretudo em Física Térmica, a ciência se apropriar de palavras e expressões da linguagem cotidiana e lhes conferir significado bastante preciso, que muitas vezes difere completamente do sentido atribuído a cada uma delas no senso comum. Sendo assim, seria necessária uma ruptura entre as linguagens cotidiana e científica, mas como se dá a passagem de uma forma de conhecimento para a outra? Aguiar Jr. (1999) entende que “essa ruptura se dê por formas intermediárias de entendimento, por compromissos ambíguos e termos que apontam ora numa direção ora em outra.”

Introduzir o aluno na linguagem científica para que ele se aproprie dela e saiba usá-la em situações nas quais ela é requerida é um dos objetivos centrais do ensino de Física como um todo, e essa aprendizagem torna-se crucial no que se refere aos termos temperatura e calor. Todavia, não podemos esperar que um aluno de Ensino Médio — que tem em geral entre 15 e 18 anos e passou todo esse período de vida utilizando as palavras “temperatura” e “calor” com os significados que lhes são atribuídos em nosso dia a dia — entenda e passe a usar de uma hora para outra esses vocábulos em sua conotação científica.

No entanto, essa constatação não significa que ele não seja capaz de aprender os conceitos de forma sólida e fisicamente correta, nem que o papel do docente seja diminuído por conta disso. É comum escutarmos de alguns professores, que começam



a ter contato com resultados de pesquisa em ensino de Física, interpretações reducionistas como “Então, não preciso ensinar ‘temperatura’ e ‘calor’ porque os alunos não vão aprender mesmo...”. Não é isso que defendemos neste texto nem é essa a interpretação que fazemos da literatura.

Parece-nos um ganho considerável que consigamos reconhecer as dificuldades dos estudantes e entender suas origens e causas. Porém, essas informações não servem para delimitar até onde vai o nosso ensino, mas sim devem ser o ponto de partida para o trabalho docente na elaboração de currículos, materiais instrucionais, propostas didáticas e avaliações, já que, de acordo com Köhnlein e Peduzzi (2002), “apesar de o estudo das concepções alternativas ter praticamente se esgotado em termos de pesquisa, pouco chegou até hoje à sala de aula.”

Além disso, as dificuldades que os alunos apresentam para aprender os conceitos de temperatura e calor, distingui-los de seu uso cotidiano e utilizá-los na descrição de fenômenos térmicos só evidenciam ainda mais a importância do trabalho do professor em sala de aula e de suas mediações para a construção desses conhecimentos. Devemos apenas reconhecer que a aprendizagem e utilização desses conceitos se dão através de um processo, que tem seu início nas aulas iniciais de Física Térmica e deve ser retomado, aprofundado e consolidado ao longo da educação escolar e, por vezes, até mesmo universitária, em Física.

Diante do exposto, podemos refletir sobre algumas questões: que consequência o ensino de Física Térmica atualmente presente nas escolas tem para a vida de nossos alunos? A forma como temos trabalhado em sala de aula realmente permite ao estudante apropriar-se da linguagem científica e construir conhecimento que lhe seja útil e possa ser estendido a outros contextos e situações? Por que os alunos voltam a utilizar suas concepções prévias (nem sempre científicas) para explicar os fenômenos térmicos? É possível que o aluno se aproprie do conhecimento científico de forma mais sólida e que as concepções incorretas sejam esclarecidas e superadas? Será que nossa atividade docente está cumprindo sua função mediadora da aprendizagem de nossos alunos? Que estratégia utilizar para que nosso trabalho em sala de aula possa facilitar a compreensão de conceitos de Física Térmica e dos fenômenos térmicos em geral?

Apresentamos nesta seção um problema na aprendizagem dos conceitos de temperatura e calor: a permanência, mesmo após a instrução formal, de muitas ideias não-científicas, exemplificadas em dez das onze afirmações dos estudantes

mencionadas anteriormente. Também fizemos algumas reflexões sobre o ensino de tais conceitos e de Física Térmica em geral. Diante disso, qual seria a contribuição desta dissertação? Não é nosso objetivo propor uma solução final para esse problema nem fornecer respostas prontas a todas as questões mencionadas no parágrafo anterior, até porque muitas delas exigem uma reflexão bastante aprofundada, que foge ao escopo deste trabalho. No entanto, a proposta didática que iremos apresentar para o ensino de temperatura e calor foi pensada com base nessas perguntas e esperamos responder a algumas delas ao longo deste trabalho.

A seguir mencionaremos os objetivos desta dissertação.

## 1.5 Objetivos

Na seção anterior, identificamos um problema apresentado pela literatura: a permanência, mesmo após a instrução formal em Física Térmica, dos conhecimentos não-científicos e concepções alternativas listados acima, que versam basicamente sobre os conceitos de temperatura e calor. Silveira e Moreira (1996) *apud* Grings, Caballero e Moreira (2006) consideram que existem cinco conceitos fundamentais para a aprendizagem da Termodinâmica: calor, temperatura, trabalho, energia interna e entropia.

Partindo desses resultados, a presente dissertação visa propor uma intervenção no ensino que auxilie o professor a construir com seus alunos os conceitos de temperatura e calor, enfatizando os aspectos da Física Térmica que justamente foram apontados acima como sendo de difícil apreensão para os estudantes, ou seja, as dez sentenças identificadas como não-científicas ou alternativas.

A literatura nos mostra que a construção de conceitos pelos alunos é um processo que necessita de tempo e de diferentes interações para se consolidar. Acreditamos também que não conseguimos mudar de uma hora para a outra uma concepção antiga do aluno por uma nova, mas sim que as concepções prévias podem evoluir para conhecimentos científicos, e que até mesmo pode haver a coexistência de conceitos científicos e não-científicos, que são usados em situações e contextos diferentes pelos estudantes.

Contudo, de acordo com Vergnaud (1990) *apud* Moreira (2004):

*(...) os conhecimentos dos alunos são moldados pelas situações que encontram e progressivamente dominam, **particularmente pelas primeiras situações suscetíveis de dar sentido aos conceitos e procedimentos** [grifo nosso] que queremos que aprendam.*

Além disso, resultados da pesquisa relatada em Yeo e Zadnik (2001) com estudantes de 15 a 18 anos na Austrália indicam que “conforme os alunos são expostos a mais instrução em Física Térmica, suas concepções alternativas são gradualmente substituídas por outras mais apropriadas.”

Assim, o objetivo desta dissertação é apresentar uma proposta didática que consiste na realização de atividades investigativas (experimentais, de análise de dados dos experimentos ou baseadas na exibição de programa de TV) para a construção inicial dos conceitos de temperatura e calor. Em que consistem tais atividades e os motivos para a sua escolha serão explicitados na Seção 3.4.

Como conhecemos o que pensam os alunos sobre temperatura e calor, podemos elaborar um material que esclareça suas dúvidas e ofereça um contraponto ou argumento contrário a suas concepções não-científicas ou em desacordo com a experiência. Pensamos que desse modo estamos mais próximos de uma construção mais sólida desses conhecimentos por parte de nossos alunos.

Na seção seguinte iremos esclarecer e justificar a perspectiva física dos conceitos de temperatura e calor que escolhemos para ser utilizada em nossa proposta didática.

## **1.6 Abordagem física deste trabalho**

Os conceitos de temperatura e calor serão interpretados nesta dissertação à luz da Termodinâmica, entendendo este ponto de vista como sendo o de uma análise dos fenômenos e definição de conceitos em escala macroscópica. A definição de temperatura, por exemplo, será trabalhada em termos de uma medida da sensação de quente e frio em relação a um determinado padrão, e não em termos de uma medida do grau de agitação das moléculas de um material (descrição microscópica). Esse recorte se deve à extensão deste trabalho, que não permitiria o desenvolvimento simultâneo das descrições termodinâmica e estatística dos fenômenos térmicos. Além disso, baseados em nossa experiência e em Loverude, Kautz e Heron (2002),

pensamos que os conceitos de Física Térmica devem ser abordados inicialmente em termos macroscópicos, para posteriormente apresentarmos sua interpretação microscópica. A esse respeito, esses autores afirmam:

*Ainda que um modelo microscópico possa fornecer uma explicação causal que possa ter apelo entre os estudantes, descobrimos que as dificuldades conceituais e de raciocínio com tal modelo podem anular o benefício que um mecanismo visual de explicação poderia propiciar aos alunos. Também nos preocupa o fato de que uma introdução inicial de um modelo microscópico, quando desnecessário para dar conta dos fenômenos ou quando não é fortemente sugerido pelas evidências, pode dar aos alunos uma falsa impressão a respeito da natureza da ciência. Mais especificamente, a introdução inicial da teoria cinética dos gases pode reforçar a noção de que esse modelo microscópico prova a lei dos gases ideais. Os estudantes podem, portanto, não conseguir reconhecer que o modelo é desenvolvido para concordar com as observações experimentais dos fenômenos macroscópicos.*

Sobre as propostas didáticas elaboradas nessa perspectiva, os mesmo autores afirmam:

*Na maior parte do currículo desenvolvido por nosso grupo, inclusive nos materiais sobre Física Térmica, são oferecidas aos alunos oportunidades de se familiarizar com fenômenos macroscópicos e de usar suas observações como base para desenvolver modelos com potencial preditivo.*

Também como resultado de pesquisas sobre as relações entre os modelos micro e macroscópico na análise de fenômenos térmicos, Aguiar Jr. (2002) afirma que “a aceitação do modelo microscópico (cinético de partículas) não conduz os estudantes ao modelo básico da termodinâmica.” Além disso, concordamos com o autor quando afirma, no mesmo trabalho, que “nos parece necessário resgatar a importância de um tratamento macroscópico aos fenômenos térmicos pelo ensino de ciências a nível fundamental e médio de modo a elaborar modelos compatíveis com o pensamento termodinâmico.”

Concluindo nossa introdução, iremos na seção final deste capítulo explicitar a forma como este trabalho está organizado e o que se pode esperar dele.

## **1.7 Estrutura da dissertação**

Nas seções iniciais do Capítulo 1, foram mencionadas as motivações para a realização deste trabalho, a situação do ensino de Física em nosso país e a necessária associação entre ensino e pesquisa para a melhoria da aprendizagem de Física nas escolas. Posteriormente, explicitamos o problema no ensino de Física que esta dissertação se propõe a tentar resolver, nossos objetivos na elaboração do produto desta dissertação e a abordagem física na qual ele está baseado. Ao indicar a questão à qual iremos nos dedicar, são mencionados os resultados da pesquisa em que nos baseamos para a construção de nossa proposta.

No Capítulo 2 realizamos uma breve revisão da literatura existente na área de desenvolvimento de propostas didáticas para o ensino de conceitos de Física Térmica no Ensino Médio. Incluímos livros, artigos, trabalhos apresentados em congressos e dissertações que versam não só sobre a aprendizagem dos conceitos de calor e temperatura, objetivos desta dissertação, mas de outros assuntos também de Física Térmica em geral. Tentamos enriquecer e atualizar ao máximo esta pesquisa, ainda que alguns trabalhos interessantes e outros recentes não tenham sido contemplados nela. Alguns dos trabalhos mencionados em nossa revisão apresentam pontos em comum com o que iremos desenvolver e outros não, mas vale lembrar que não nos baseamos diretamente em nenhuma das propostas referidas nesse capítulo para a elaboração desta dissertação.

Os artigos teóricos e os trabalhos de pesquisa em ensino de Física que servem de suporte para nosso trabalho, no que se refere à elaboração do produto desta dissertação, encontram-se no Capítulo 3. Ele trata da fundamentação teórica da dissertação e se estrutura em quatro eixos principais: teorias construtivistas e o sociointeracionismo de Vygotsky, atividades investigativas, atividades experimentais e atividades baseadas na exibição de programa de TV. Procuramos justificar a importância e a pertinência desses embasamentos para o ensino de Física em geral e para o desenvolvimento desta dissertação em particular a partir do que nos revelam as conclusões e os resultados da pesquisa em ensino. Assim, nesse capítulo são citados vários artigos teóricos e trabalhos de pesquisa que diretamente nos serviram de base

para a construção de nossa proposta, os quais tentamos articular com o que de fato vamos propor.

O Capítulo 4 tenta responder a duas perguntas básicas que o professor deve se fazer antes de se propor a tentar ensinar qualquer assunto: o que ensinar e quando fazê-lo. Partimos do pressuposto básico de que o professor, como parceiro mais capaz, deve possuir profunda compreensão sobre os conceitos que deseja que seus alunos aprendam. Assim, nesse capítulo, fazemos uma proposta de quando ensinar os conceitos de temperatura e calor e de quais definições utilizar. Para tal, realizamos uma análise crítica de um conjunto de livros didáticos de Física de Ensino Médio (no que se refere tanto ao momento de introduzir os dois conceitos como às definições de temperatura e calor apresentadas) e baseamo-nos em resultados de pesquisas e em obras de referência em Física.

O Capítulo 5 traz a proposta de intervenção em sala de aula que desenvolvemos a partir do exposto nos Capítulos 3 e 4. Inicialmente, explicamos e descrevemos de forma geral as atividades investigativas que vamos propor e que se encontram na forma de *Guias de orientação para o professor*, no *Apêndice* desta dissertação. Posteriormente, indicamos um dos possíveis caminhos para que se atinjam os objetivos de aprendizagem de cada uma das dezesseis atividades investigativas propostas. Mencionamos *um dos possíveis caminhos* porque sabemos que as atividades investigativas são, por definição, abertas e que diferentes grupos de alunos podem desenvolver distintos tipos de estratégias para dar conta de resolver os problemas propostos para nortear o desenvolvimento de cada atividade. Nesse capítulo apresentamos sugestões de como realizar experimentos, construir gráficos a partir dos dados obtidos e analisar os mesmos para a resolução dos problemas a serem investigados. Além disso, ressaltamos também aspectos interessantes que surgem nas atividades investigativas e que podem ser abordados pelo professor paralelamente à resolução do problema inicial.

No Capítulo 6, fazemos comentários finais e expomos conclusões sobre o trabalho, na tentativa de que fossem coerentes com o que nos propusemos a fazer em nossos objetivos e com os referenciais teóricos em que nos apoiamos.

Seguem a esse último capítulo as *Referências Bibliográficas* e o *Apêndice*, no qual está o produto desta dissertação, que consiste em *Guias de orientação para o professor*. Neles há três atividades para a construção do conceito de temperatura (Atividades de 1 a 3 sobre temperatura) e treze para a construção do conceito de calor,

agrupadas do seguinte modo: Calor gerando mudança de temperatura ou de fase à temperatura constante (Atividades de 1 a 7), Calor gerando mudança de temperatura e trabalho (Atividades de 8 a 11) e Calor gerando mudança de fase à temperatura constante e trabalho (Atividades 12 e 13). O maior número de atividades relacionadas a calor deve-se ao fato de que os experimentos e o vídeo utilizados são bastante ricos em termos de aspectos a serem explorados no ensino, de forma que, além da construção do conceito de calor, outros assuntos interessantes sobre fenômenos físicos também surgem nas atividades propostas.

Além das atividades investigativas propostas para a aprendizagem dos conceitos de temperatura e calor, o docente encontra também nesses *Guias* uma forma de conduzi-las em sala de aula e de intervir nas discussões entre os grupos de alunos de modo a propiciar e fomentar a investigação, o debate, a postura crítica e, assim acreditamos, a construção coletiva do conhecimento.





## **2. REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1 Introdução**

Ainda que nos baseemos em trabalhos recentes sobre as dificuldades de nossos alunos com os conceitos de temperatura e calor (GRINGS, CABALLERO e MOREIRA, 2006; GRINGS, CABALLERO e MOREIRA, 2007; GRINGS, CABALLERO e MOREIRA, 2008), sabemos que este problema não é novo para a pesquisa em ensino de Física. Por isso, assim como nós, outros autores também já se preocuparam com essa questão e desenvolveram propostas e materiais instrucionais para tentar auxiliar os alunos na aprendizagem desses conceitos.

Neste capítulo apresentamos um breve panorama das contribuições anteriores da literatura no que se refere à elaboração de propostas didáticas sobre Física Térmica, com ênfase na abordagem dos conceitos de temperatura e calor. Mencionamos um livro e um trabalho apresentado em congresso baseados em ensino por investigação (CARVALHO et al., 1999 e BOSS, 2009, respectivamente) e três dissertações de mestrado profissional em ensino de Física que utilizam softwares, modelagens computacionais e/ou vídeos (GONÇALVES, 2005; SIAS, 2006 e CENNE, 2007). Citamos também duas dissertações de mestrado profissionalizante em ensino de Ciências Naturais e Matemática que utilizam textos (sobre aspectos históricos ou atuais extraídos da Internet) e experimentos (RAFAEL, 2007 e SILVA JR., 2007). Em Grings, Caballero e Moreira (2008) encontramos uma proposta de ensino por meio de situações-problema e em Carvalho Jr. (2009), uma intervenção didática com atividades individuais e coletivas, teóricas e empíricas, e resolução de problemas de “lápiz e papel”. Essas duas últimas contribuições são, respectivamente, um artigo publicado em revista e um trabalho apresentado em congresso.

### **2.2 Descrição dos trabalhos**

Um projeto bastante representativo do esforço da pesquisa em formular propostas para a aprendizagem de Física Térmica é apresentado em Carvalho et al. (1999). Esse livro, de acordo com os próprios autores,

*(...) é fruto de uma pesquisa cujo objetivo foi verificar a possibilidade de se obter a melhoria do aprendizado dos alunos sobre o conteúdo de Termodinâmica nas condições normais de trabalho no ensino médio das Escolas Públicas, a partir de uma mudança do ensino realizado por seus professores.*

*(...) Não se trata (...) de um manual de atividades, mas sim de sugestões e princípios norteadores para que o professor, a partir dessa leitura, possa desenvolver uma atividade docente em que, refletindo sobre sua prática, percebe a importância de um ensino de Física baseado na investigação, em que tanto professores como alunos possam participar na construção efetiva do conhecimento.*

Em Carvalho et al (1999) encontramos um conjunto de atividades investigativas sobre tópicos como medidas de temperatura, materiais isolantes e condutores, dilatação, calorimetria, mudanças de fase e outros. Há investigações baseadas na leitura de textos históricos e também demonstrações experimentais investigativas, laboratório aberto, questões e problemas abertos. O texto não somente relata as propostas didáticas baseadas em atividades investigativas, mas também comenta a sua implementação em sala de aula, as posturas do professor e dos alunos em atividades desse tipo e ilustra o texto com exemplos de aplicação em sala de aula e de falas dos alunos ao participarem das investigações. Ao final do livro, os autores apresentam uma proposta de planejamento para um curso semestral de Física Térmica e sugestões de vídeo, filmes, softwares e sites sobre o tema, além da extensa bibliografia em que se basearam para a realização do trabalho.

Boss et al (2009) relatam uma experiência pedagógica em Termodinâmica também baseada em ensino por investigação. Foram propostos experimentos sobre medida de temperatura pelo tato e calor por condução e convecção. Os autores utilizaram textos históricos para a conceituação de calor. Foram discutidos o conceito de temperatura e a utilização de escalas termométricas. Trabalhou-se também com a elaboração pelos alunos de modelos microscópicos para a estrutura da matéria, temperatura e dilatação. O trabalho foi implementado através de um minicurso realizado com alunos de escola pública.

Em Gonçalves (2005) encontramos uma proposta que, nas palavras da própria autora, utiliza “tecnologias educacionais — vídeos, animações e simulações interativas de eventos físicos — como atividades complementares às aulas expositivas e demonstrativas, visando à aprendizagem significativa de Física Térmica no ensino médio”. Tendo como referencial teórico a aprendizagem significativa de David Ausubel, a autora descreve uma série de animações por ela produzidas sobre uma vasta gama de assuntos de Física Térmica (temperatura e energia cinética, escalas termométricas, dilatação, calor, equilíbrio térmico, capacidade térmica, calor específico, condução em sólidos, estrutura da matéria, evaporação, transformações gasosas, 1ª Lei da Termodinâmica, entropia, máquinas térmicas, motores e compressores). Também apresenta vídeos com a gravação de experimentos demonstrativos sobre dilatação, formas de propagação de calor e máquinas térmicas. Esses materiais foram aplicados em uma escola pública, com alunos do 2º ano de Ensino Médio.

Sias (2006) utiliza a aquisição automática de dados com dispositivos do tipo CBL (do inglês *Calculator Based Laboratory*) para a aprendizagem de assuntos como calor, temperatura, energia interna, resfriamento de um corpo, mudança de fase, pressão de vapor e transmissão de calor por meio da realização de experimentos. De acordo com a autora:

*(...) como produto deste trabalho de dissertação, foi produzido material instrucional que compreende guias experimentais e textos envolvendo os conteúdos abordados, assim como material hipermídia sobre transmissão de calor contendo algumas animações e teste interativo desenvolvidos em Flash MX.*

O trabalho foi elaborado com base na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel e na teoria da interação social de Lev Vygotsky.

Esses também são os referenciais teóricos apresentados em Cenne (2007) para o desenvolvimento de atividades em Física Térmica utilizando modelagens computacionais feitas com os programas *Modellus* e *Excel* como recurso complementar às aulas de Física. Segundo o autor:

*O material elaborado abordou os tópicos sobre termometria, dilatação térmica, calorimetria, curvas de aquecimento, processos de transmissão*

*do calor, gases ideais e termodinâmica. Os conteúdos foram organizados em sete módulos didáticos, com a seguinte estrutura: um texto de apoio, as modelagens utilizadas, um guia de atividades com orientações para sua utilização e questionamentos acerca do conteúdo.*

O projeto foi aplicado em turmas de 2º ano do Ensino Médio de uma escola particular.

Rafael (2007) parte das concepções alternativas dos alunos sobre calor e temperatura para apresentar uma proposta didática que contém os seguintes elementos: leitura e discussão de textos sobre história da ciência, que versam sobre a evolução dos conceitos de calor e temperatura, máquinas térmicas e Revolução Industrial e suas implicações; realização de experimentos sobre condução, condutividade térmica e calor específico; leitura e discussão de textos atuais para a construção dos conceitos de calor e temperatura; e construção de um protótipo de máquina térmica com materiais de baixo custo. O trabalho foi aplicado em uma turma de 2º ano do Ensino Médio de uma escola pública.

Silva Jr. (2007) elabora e implementa, em uma turma de 2º ano do Ensino Médio, planos de aula para a aprendizagem de conteúdos de Física Térmica utilizando como principal recurso didático textos extraídos da Internet com um enfoque interdisciplinar. Cada plano de aula elaborado apresenta a seguinte estrutura, conforme as expressões usadas pelo próprio autor: *texto-base, autor, níveis de ensino, matérias, visão geral do plano de aula, tempo concedido, recursos / materiais, atividades / procedimentos, objetivos da aula, questões para discussão, síntese do conteúdo, enlaces na Internet e referências, conexões interdisciplinares, Parâmetros Curriculares Nacionais*. Temperatura, escalas termométricas, dilatação, calor e formas de transferência, pressão, máquinas térmicas, fontes e transformações de energia, potência, rendimento e funcionamento de motores são os tópicos de Física trabalhados nos planos de aula, que também sugerem a realização de experimentos.

Grings, Caballero e Moreira (2008) apresentam uma proposta didática para abordar o conceito de temperatura à luz da teoria dos campos conceituais de Vergnaud (*apud* MOREIRA, 2002). Os autores partem de situações-problema (listadas ao final do artigo e apresentadas a duplas de alunos) para introduzir esse conceito. O artigo relata a pesquisa realizada — a partir da gravação das falas de uma

dupla de alunas — a fim de avaliar a proposta e suas implicações para a aprendizagem dos estudantes.

Também baseado no mesmo referencial teórico, Carvalho Jr. (2009) propõe uma intervenção didática no ensino de Física Térmica em cursos técnicos. De acordo com o autor, a proposta está estruturada “a partir dos problemas que os estudantes deveriam saber resolver para, em seguida, compormos uma sequência de trabalho que privilegiasse a construção, testagem e reformulação de modelos explicativos”. O texto apresenta atividades individuais e coletivas, teóricas e empíricas, e resolução de problemas de “lápiz e papel”. Para Carvalho Jr. (2009), “essas estratégias de intervenção procuram apresentar os conceitos-chave da Física Térmica de forma recursiva, permitindo aos estudantes aplicá-los em diversas situações”.

### **2.3 Comentários**

Essa breve revisão da literatura não pretende dar conta de todos os trabalhos publicados nos últimos anos sobre o desenvolvimento de estratégias didáticas para o ensino de tópicos de Física Térmica. Sabemos que existem muitas outras contribuições igualmente interessantes, tanto nacionais quanto internacionais, que não foram contempladas neste trabalho devido à extensão do mesmo.

Ainda que todos os trabalhos mencionados acima visem a uma aprendizagem mais sólida de aspectos da Física Térmica, diferentes foram as abordagens utilizadas, os embasamentos teóricos e os objetivos específicos de cada autor ao propor sua estratégia didática. Em alguns deles encontramos elementos que são usados no desenvolvimento desta dissertação, como o ensino por investigação, a utilização de experimentos e vídeos e a teoria sociointeracionista de Vygotsky.

Contudo, não nos baseamos em nenhum deles em especial para a construção de nossa proposta, ainda que reconheçamos a importância do que foi elaborado anteriormente para o crescimento da área e como exemplo de que novas alternativas didáticas são possíveis de serem implementadas como opção ao ensino tradicional de Física que tem sido realizado.



### 3. PRESSUPOSTOS TEÓRICOS

Neste capítulo, dedicamo-nos à fundamentação teórica em que nos baseamos para a elaboração desta dissertação e de nossa proposta didática.

#### 3.1 Teorias construtivistas e escolha do referencial teórico

Todas as teorias de aprendizagem construtivistas possuem como pressuposto comum o fato de entenderem que o aluno não é um receptor *passivo* do conhecimento *transmitido* pelo professor, mas sim que o conhecimento é *construído* de forma *ativa* pelo estudante, que passa a ser sujeito de sua aprendizagem. Para Becker (1992),

*Construtivismo significa isto: a ideia de que nada, a rigor, está pronto, acabado, e de que, especificamente, o conhecimento não é dado, em nenhuma instância, como algo terminado. Ele se constitui pela interação do indivíduo com o meio físico e social, com o simbolismo humano, com o mundo das relações sociais.*

Também concordamos com Steffens (2008) quando afirma:

*Podemos considerar que, atualmente, duas são as ideias mais fundamentais destas teorias construtivistas sobre o conhecimento científico: que a ciência é uma construção humana e que a aprendizagem de ciências é uma construção de cada aluno.*

No Brasil, desde a década de 1970, muito tem se comentado sobre o construtivismo e seus aportes para o ensino em geral e de ciências em particular. Essa concepção, aparentemente simples, mas completamente nova e contrária às teorias comportamentalistas que vigoravam até então, provocou profundas alterações na forma de conceber e interpretar o processo de ensino–aprendizagem e a aquisição do conhecimento. Entretanto, até os dias de hoje, o termo *construtivismo* está presente nas falas das pessoas mais como uma palavra *da moda* ou um *jargão* da pesquisa em ensino e em psicologia da aprendizagem do que como uma concepção propriamente

dita de como o indivíduo aprende. Poucos professores têm clareza a respeito do que vem a ser a teoria construtivista e de suas implicações para o ensino e o desenvolvimento de propostas didáticas.

Adotamos neste trabalho a perspectiva construtivista por entendermos que o conhecimento não é transmitido do professor para o aluno e que a aprendizagem não é uma mera repetição de comportamentos observáveis, mas sim uma construção individual do sujeito.

O modo como se dá a construção desse conhecimento é objeto de estudo de inúmeros teóricos construtivistas (Ausubel, Bruner, Piaget, Vygotsky, Kelly, entre outros). Nesta dissertação, utilizamos como referencial teórico a obra de Vygotsky, por acreditarmos, com base em nossa formação e experiência docente, que a aprendizagem realmente ocorre quando os alunos interagem entre si, com o professor e com o material instrucional, levantando questões, formulando hipóteses, discutindo e analisando os resultados obtidos. Além disso, de acordo com Gehlen, Machado e Auth (2009), que investigaram a presença do pensamento de Paulo Freire e de Vygotsky como referenciais teóricos nos trabalhos apresentados nos Simpósios Nacionais de Ensino de Física (SNEFs) de 2003, 2005 e 2007,

*É significativo o número de estudos no SNEF que, de alguma forma, utilizam as referências tanto de Freire quanto de Vygotsky, o que indica que o ensino de Física, cada vez mais, tem procurado dialogar com esses autores. (...)*

*Dos 47 trabalhos que utilizam alguma obra de Vygotsky, em torno de 60% apresentam este autor como principal referência, em que a perspectiva teórica e a análise têm como foco a abordagem histórico-cultural, e compartilham premissas essenciais no processo ensino-aprendizagem, como as interações entre os sujeitos, a mediação, o papel da linguagem, a ZDP [zona de desenvolvimento proximal] e a relação entre os conceitos científicos e cotidianos.*

Como se pode observar, é grande o número de trabalhos em ensino de Física que têm como fundamentação teórica a obra de Vygotsky. No entanto, os mesmos autores apontam que



*(...) também há trabalhos que sinalizam nos objetivos que as discussões serão balizadas pelas ideias de Freire ou de Vygotsky, mas não dão o devido tratamento aos mesmos no corpo dos textos. Esta constatação converge com o estudo de Gehlen, Schroeder e Delizoicov (2007) referente aos trabalhos que utilizam como referência Vygotsky no ENPEC [Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências].*

Não pretendemos fazer parte desse último grupo, pois acreditamos que, ainda que demande muito tempo de estudo e de reflexão, a articulação de uma proposta didática com um referencial teórico é fundamental para que ela seja bem elaborada e obtenha êxito junto aos estudantes. É nosso desafio nesta dissertação relacionar de forma coerente e objetiva o ensino de Física e a psicologia do desenvolvimento vygotskyana na elaboração de nossa proposta didática. Para tanto, descrevemos abaixo os aspectos da teoria que são de maior relevância para a construção deste trabalho e, a seguir, como ocorre a articulação entre teoria de aprendizagem e prática em sala de aula.

### **3.2 Vygotsky e o sociointeracionismo**

A teoria sociointeracionista de Vygotsky (1896–1934) começou a chegar ao Brasil a partir do final da década de 1980 e início dos anos 1990. Ela parte da premissa de que não se pode compreender o desenvolvimento cognitivo do ser humano sem que se faça referência ao contexto social, histórico e cultural em que está inserido. Assim, os processos mentais superiores do indivíduo têm sua origem em processos sociais e o desenvolvimento cognitivo é a conversão dessas relações sociais em funções mentais.

As relações sociais se convertem em funções psicológicas através da mediação, que inclui o uso de *instrumentos* e *signos*. Um *instrumento* é aquilo que pode ser utilizado para fazer alguma coisa; um *signo* é algo que significa alguma outra coisa. De acordo com Moreira (1999):

*(...) instrumentos e signos são construções sócio-históricas e culturais; através da apropriação (internalização) destas construções, via interação social, o sujeito se desenvolve cognitivamente. Quanto mais o*

*indivíduo vai utilizando signos, tanto mais vão se modificando, fundamentalmente, as operações psicológicas das quais ele é capaz.*

Em outras palavras, o desenvolvimento cognitivo se dá a partir da apropriação de instrumentos e signos via interação social, a qual é “o veículo fundamental para a transmissão dinâmica (de inter para intrapessoal) do conhecimento social, histórica e culturalmente construído” (MOREIRA, 1999). É também por meio da interação social que ocorre o intercâmbio de significados entre os sujeitos e a apreensão dos significados compartilhados socialmente, processos que irão gerar a internalização dos signos.

Vygotsky valoriza e analisa em seus estudos os processos por meio dos quais ocorre o desenvolvimento cognitivo, e não os produtos desse desenvolvimento, como o fazem Piaget e Bruner. Além disso, afirma, contrapondo-se a outras perspectivas teóricas, que a aprendizagem é necessária para que haja desenvolvimento cognitivo, e não o contrário. De acordo com Rivière (1987) *apud* Moreira (1999):

*Desde o momento em que o desenvolvimento das funções mentais superiores exige a internalização de instrumentos e signos em contextos de interação, a aprendizagem se converte na condição para o desenvolvimento dessas funções, desde que se situe precisamente na zona de desenvolvimento potencial do sujeito [zona de desenvolvimento proximal], definida como a diferença entre o que ele é capaz de fazer por si só e o que pode fazer com ajuda de outros.*

Em outras palavras, para Vygotsky, a aprendizagem deve ocorrer dentro de uma região em que se encontram as habilidades ainda em desenvolvimento pelo sujeito, denominada *zona de desenvolvimento proximal (ZDP)*, pois é nessa zona em constante transformação que ocorre o desenvolvimento cognitivo. A ZDP é a distância entre o nível de desenvolvimento real de uma pessoa (medido por sua capacidade de resolver problemas individualmente) e o seu nível de desenvolvimento potencial (medido por sua capacidade de resolver problemas de forma orientada ou em colaboração com parceiros mais capazes).

Assim, percebemos alguns aspectos importantes da teoria de Vygotsky para o ensino, como

*(...) o papel fundamental do professor como mediador na aquisição de significados contextualmente aceitos, o indispensável intercâmbio de significados entre professor e aluno dentro da zona de desenvolvimento proximal do aprendiz, a origem social das funções mentais superiores, a linguagem, como o mais importante sistema de signos para o desenvolvimento cognitivo (...)* (MOREIRA, 1999)

Outro ponto de relevância para nós na teoria vygotskyana é a questão da formação de conceitos. Um conceito, para Rosa (2008), “ é uma abstração que traz em si os elementos essenciais de um conjunto de objetos concretos e abstratos”. Segundo o mesmo autor, Vygotsky distingue dois tipos de conceitos – os *espontâneos* e os *científicos*:

*Os primeiros, **conceitos espontâneos**, são aqueles conceitos que são formados a partir da interação do sujeito com o mundo físico do dia a dia, enquanto que os segundos, **conceitos científicos**, normalmente são enunciados no ambiente formal do ensino, não tendo, portanto, a mesma gênese dos conceitos cotidianos.*

*(...) Os conceitos científicos pressupõem, desde o início, um certo grau de generalização e de sistematização, tendo necessidade, desde o início, de um processo de mediação por outros conceitos.*

Essa diferenciação influencia sobremaneira o ensino, sobretudo o de Física, pois, segundo Fukui e Pacca (2002):

*A escola fornece a primeira possibilidade de um contato mais do que casual com um sistema estruturado de interrelações: os conceitos científicos. Ou seja, o ponto central da teoria de aprendizagem e desenvolvimento de Vygotsky é a mediação dos conceitos científicos em relação aos outros conceitos, forçando uma sistematização que tem como consequência uma consciência reflexiva; isto é, um pensar sobre o processo de pensar.*

### 3.3 A teoria de Vygotsky e o desenvolvimento deste trabalho

Retomamos agora alguns dos pontos do pensamento de Vygotsky expostos na seção anterior que são utilizados como base para o desenvolvimento desta dissertação.

Uma primeira influência das ideias vygotskianas na forma de elaboração de nossa proposta é a mudança de concepção do processo de ensino–aprendizagem e do papel do professor que elas implicam, pois, de acordo com Fukui e Pacca (2002), seria

*(...) uma concepção dialética do ato pedagógico, onde o foco é deslocado do conhecimento para as relações que se estabelecem entre os participantes. Cada um modifica e é modificado na aula e por todos os elementos agregados a ela. Então, o conhecimento não acontece mais de “fora para dentro”, mas é concretizado no momento em que cada parte assume uma postura essencialmente ativa: transforma–se e se é transformado quando se aprende e se ensina alguma coisa a alguém; o que cada um é e sabe constrói o ato educacional em um processo único, definido plenamente pelos participantes daquela situação naquele momento e em nenhum outro mais.*

Com isso, não queremos, de nenhuma forma, desvalorizar os conteúdos de Física a serem aprendidos pelos alunos, mas dar ênfase ao fato de que esse aprendizado não só permite ao estudante conhecer e compreender melhor o mundo físico e natural, como também desenvolver habilidades e transformar–se pela interação que estabelece com os demais colegas de classe e o professor. Nossa proposta, afinada com as ideias de Vygotsky, pretende valorizar os processos por meio dos quais o aluno constrói conhecimento, e não somente os produtos de sua aprendizagem.

Além disso, a função do docente em nosso trabalho é a de realizar mediações (como parceiro mais capaz) para facilitar a aprendizagem, tendo também outras implicações, na medida em que o “ensinar alguma coisa a alguém” transforma também quem tenta fazê–lo. Ou seja, as próprias situações de sala de aula influenciam a forma como o professor irá desenvolver e aplicar as propostas didáticas, que passam a ser pensadas de forma mais flexível, propiciando uma maior participação dos alunos.

Outros dois aspectos que também levaremos em conta para a construção de nossa proposta são as seguintes afirmações de Rosa (2008):

*O professor deve apresentar problemas que contenham elementos dentro da Zona de Desenvolvimento Real [compreende o conjunto de habilidades já dominadas pelo sujeito], mas que contenham também elementos da zona cognitiva que se encontra em fase de desenvolvimento, a Zona de Desenvolvimento Proximal. O trabalho em grupo e cooperativo entre os estudantes mais avançados (ou o próprio professor) fará com que os alunos avancem, transformando assim a Zona de Desenvolvimento Proximal em Zona de Desenvolvimento Real.*

*(...) Há uma diferença entre possuir um conceito e poder defini-lo verbalmente. Como em outras funções superiores, há, primeiro, uma apropriação operacional do conceito para depois haver a possibilidade de defini-lo de forma verbal. O adolescente primeiro usa o conceito para depois tomar consciência dele.*

Diante dos aspectos das ideias vygostkyanas mencionados nesta seção, pensamos que uma boa estratégia para concretizar essas concepções em nosso trabalho seja a utilização de *atividades investigativas*, pois elas possibilitam a interação verbal entre os alunos e destes com o professor e o trabalho em grupo e pressupõem a existência de uma situação problemática, que deve conter elementos de ambas as zonas de desenvolvimento, conforme mencionado acima, a fim de possibilitar a aprendizagem e, conseqüentemente, o desenvolvimento cognitivo do aluno. Além disso, essas investigações são pensadas de forma que o aluno possa primeiramente identificar as implicações de um determinado conceito para só então construí-lo mais formalmente a partir disso.

Na seção seguinte, iremos explicar mais detalhadamente o que são atividades investigativas e sua importância para o ensino de Física.

### 3.4 Por que atividades investigativas?

#### 3.4.1 Atividades investigativas e ensino de Física

As pesquisas em ensino apontam que os alunos aprendem mais sobre ciência e desenvolvem melhor seu conhecimento conceitual quando participam de investigações científicas (tanto no laboratório como com problemas de lápis e papel), semelhantes às realizadas em laboratórios de pesquisa (HUDSON, 1992, *apud* AZEVEDO, 2004).

Saraiva–Neves, Caballero e Moreira (2006) afirmam que atividades de natureza investigativa se relacionam com uma visão construtivista do ensino. Rodrigues e Borges (2008) mencionam que o ensino por investigação começou a ser pesquisado e debatido amplamente no Brasil somente após os Parâmetros Curriculares Nacionais (1998), o que faz com que essa abordagem ainda não esteja bem estabelecida em nosso país. Os autores citam Sá et al. (2007) para afirmarem que existem poucos artigos publicados sobre o tema. Contudo, Araújo e Abib (2003) analisaram os trabalhos sobre atividades experimentais publicados entre 1992 e 2001 na *Revista Brasileira de Ensino de Física*, na *Física na Escola* e no *Caderno Catarinense de Ensino de Física* e constataram que 28,8% deles eram de verificação e que a porcentagem de artigos sobre atividades experimentais de demonstração e de investigação era a mesma (35,6%). Assim, ainda que as atividades de verificação e demonstração constituam mais de 60% dos trabalhos analisados e geralmente estejam inseridas numa abordagem mais tradicional do ensino, atividades experimentais de investigação começam a aparecer como propostas facilitadoras de aprendizagem a partir de métodos dialógicos em que o aluno é sujeito de seu aprendizado, a fim de que possa aprender e fazer ciência.

Além disso, Borges (2002) afirma:

*Uma alternativa que temos defendido há mais de uma década, e mais recentemente temos investigado e utilizado com nossos alunos, consiste em estruturar as atividades de laboratório como investigações ou problemas práticos mais abertos, que os alunos devem resolver sem a direção imposta por um roteiro fortemente estruturado ou por instruções verbais do professor.*

Pesquisas sobre como os alunos aprendem a partir de atividades investigativas, sejam elas experimentais ou não, (LOCATELLI e CARVALHO, 2007; LOCATELLI e CARVALHO, 2005; CAPPECHI e CARVALHO, 2006; CAPPECHI, 2004) e propostas de tais atividades (CARVALHO, 1999; BOSS et al, 2009) estão cada vez mais presentes na literatura recente na área de ensino de ciências no Brasil. Esses estudos apontam o ensino por investigação como uma excelente estratégia para aprendizagem de conceitos, estabelecimento de relações de causa e efeito, realização de trabalho colaborativo e para o desenvolvimento do poder de argumentação dos estudantes e de uma visão mais autêntica do que é fazer ciência.

Para que uma atividade seja considerada investigativa, os alunos devem não somente observar fenômenos e manipular informações ou experimentos, mas também formular hipóteses, refletir e discutir em grupo, explicar os argumentos utilizados e relatar suas conclusões, ou seja, participar de todas as etapas características de uma investigação científica. Para tanto, o trabalho investigativo deve partir de um problema aberto que faça sentido para o aluno e possibilite a construção de um novo conhecimento, pois, de acordo com Bachelard (1996) *apud* Azevedo (2004), “todo conhecimento é resposta a uma questão”.

A participação efetiva do aluno na resolução de problemas favorece sua motivação e estimula sua curiosidade, criticidade, desejo de experimentar e de questionar certas afirmações tidas como verdades. Tudo isso lhe permite compreender que o conhecimento científico não é fruto de uma “receita” pronta dada pelo método científico, conforme é propagado nos livros de Ciências em geral, mas sim uma construção humana, aberta e dinâmica, da qual ele mesmo pode fazer parte. Portanto, resolver um problema instigante é fundamental não somente para a aprendizagem de conceitos e conteúdos, mas também de procedimentos, atitudes e de concepções sobre ciência, levando o estudante a desenvolver uma postura investigativa.

Vale lembrar que o termo “problema” utilizado neste texto não se refere, como na maioria dos livros didáticos, a “exercícios de aplicação repetitivos, com tendência ao operativismo” (AZEVEDO, 2004), mas sim a “investigações que suponham ocasião de aplicar a metodologia científica” (GIL e TORREGROSA, 1987). Acreditamos que a resolução de problemas conforme esta última definição pode ser um instrumento importante no desenvolvimento de habilidades como raciocínio, flexibilidade, argumentação e ação, pois possibilita ao aluno ser sujeito de sua

aprendizagem, dando-lhe maior autonomia e, ao mesmo tempo, proporcionando uma maior interação com os colegas de classe e com o professor.

Nas atividades investigativas, as etapas pelas quais os alunos passam para a construção de um conhecimento são tão importantes como o próprio conhecimento em si que se quer ensinar, ou seja, processo e produto são igualmente valorizados. Em geral, um ensino tradicional de ciências prioriza este em detrimento daquele; entretanto, conhecer como os alunos aprendem é fundamental para a formação de cidadãos que saibam não só utilizar os conhecimentos científicos na vida em sociedade, mas também atuar nas inúmeras situações de aprendizagem pelas quais passarão ao longo de sua vida.

As atividades investigativas presentes em nossa proposta estão baseadas em atividades experimentais e na exibição de um programa de TV. A seguir justificaremos a presença e a relevância dessas duas formas de intervenção em nosso trabalho.

### **3.5 Por que atividades experimentais?**

#### **3.5.1 Atividades experimentais: breve histórico**

De acordo com Deboer (2006) *apud* Rodrigues e Borges (2008), durante o século XIX surgiram três formas de ensino com a utilização do laboratório. A primeira delas foi denominada “descoberta verdadeira” (*true discovery*), na qual os estudantes atuavam como verdadeiros cientistas, pois tinham total liberdade para explorar o mundo natural de acordo com seus interesses. A segunda, chamada de “verificação”, consistia na confirmação, em laboratório, de leis e fatos científicos já conhecidos pelos estudantes. Era uma abordagem não-científica, na medida em que os alunos já sabiam os resultados que deveriam encontrar e poderiam ser, de certa forma, guiados e influenciados por eles. A terceira forma de ensino via atividades experimentais ficou conhecida como “investigação” e diz respeito a uma descoberta orientada, na qual o aluno não teria de descobrir tudo por si só, mas seria auxiliado a resolver problemas para os quais ele não conhece a solução.

De acordo com Cappechi e Carvalho (2006), até o final da década de cinquenta do século XX, as atividades experimentais realizadas durante as aulas de Ciências eram predominantemente de verificação, com os alunos apenas assistindo às



demonstrações ou seguindo roteiros rígidos. Já nos anos sessenta, o laboratório aparece como um espaço de investigação, para o desenvolvimento e teste de hipóteses, dentro dos grandes projetos didáticos da época, como PSSC (*Physical Science Study Committee*) (1956), Nuffield (1962) e outros. A partir de tais projetos, a pesquisa em ensino passou a dedicar-se mais ao papel do laboratório dentro do processo de ensino-aprendizagem.

### **3.5.2 Atividades experimentais e ensino de Física**

Cappechi e Carvalho (2006) e Saraiva-Neves, Caballero e Moreira (2006) evidenciam a importância das atividades experimentais no processo de ensino-aprendizagem. Para esses últimos autores, o trabalho experimental “é uma componente fundamental no ensino de ciências, reconhecido por tendências ou modelos de ensino mais representativos, apesar de estes lhe atribuírem ênfases e objetivos diferentes”. De acordo com Colinvaux e Barros (2002):

*(...) o laboratório representa um espaço privilegiado para a análise dos múltiplos processos de aprendizagem em Física, que envolvem desde a aprendizagem propriamente conceitual a habilidades procedimentais relacionadas, por exemplo, com o planejamento de experimentos, teste de hipóteses, etc, incluindo ainda a compreensão do papel da experimentação.*

Apesar desses resultados da pesquisa em ensino, verificamos que a utilização de atividades experimentais nas aulas de Física e de Ciências em geral, ao longo do tempo e até os dias de hoje, é ainda muito restrita. Muitos professores têm utilizado diferentes argumentos para justificar a ausência da realização de experiências nas salas de aula, como a dificuldade de conseguir materiais ou “kits”, a carência de laboratórios e estrutura física nas escolas, a necessidade de tempo extraclasse para o planejamento das atividades, a falta de suporte e apoio por parte da escola, o número excessivo de alunos por turma, a falta de tempo para a realização de experimentos pela obrigação de cumprir o currículo de Física do Ensino Médio, etc. No entanto, apesar de todos esses fatores, quando conseguimos introduzir práticas experimentais em sala de aula ou em laboratório, nos diferentes níveis de ensino, elas frequentemente se limitam à execução de procedimentos descritos em roteiros

herméticos, com o propósito de verificar resultados ou leis já conhecidos anteriormente.

Essa abordagem tradicional da atividade experimental possibilita muito pouca reflexão sobre o que se está fazendo e o porquê de se realizar determinado experimento. Além disso, acaba distorcendo a visão dos alunos sobre o que é e como se faz ciência, pois nenhum conhecimento científico é construído quando já se sabe aonde (a que lei, a que conceito) se quer chegar, nem seguindo uma sequência de passos determinada *a priori* por alguém de fora do contexto da descoberta.

Tanto docentes como alunos são unânimes em apontar as atividades experimentais como “uma das maneiras mais frutíferas de se minimizar as dificuldades de se aprender e se ensinar Física” (ARAÚJO e ABIB, 2003). Mas como auxiliar o professor a utilizar atividades experimentais em sala de aula e, ao mesmo tempo, fazer delas uma ferramenta didática que propicie a construção do conhecimento, o desenvolvimento de habilidades e competências e a inserção dos alunos no universo da pesquisa e da cultura científica? Uma alternativa bastante interessante e reconhecida na literatura para contemplar esses objetivos é a realização de atividades experimentais investigativas, que serão a base da proposta didática presente neste trabalho.

### **3.6 Por que programa de TV?**

#### **3.6.1 Utilização de vídeos e ensino de Física**

O uso de recursos audiovisuais tem sido bastante presente nos últimos anos no ensino de Física como alternativa didática ao binômio giz/quadro–negro, já que, para Moran (1995),

*A linguagem audiovisual desenvolve múltiplas atitudes perceptivas: solicita constantemente a imaginação e reinveste a afetividade com um papel de mediação primordial no mundo, enquanto que a linguagem escrita desenvolve mais o rigor, a organização, a abstração e a análise lógica.*

Em particular, os vídeos são materiais que possibilitam diferentes usos em sala de aula, visto que, de acordo com Mujica e Mederos (1996), podem “ser utilizados na

fase de orientação, na executiva ou durante o controle do que foi aprendido”. Quanto aos tipos de vídeo que mais aparecem sendo usados nas salas de aula de Física, destacamos: vídeos didáticos, especificamente elaborados e produzidos para contextualizar a aprendizagem de determinado tópico de Física; experimentos gravados (que seriam de difícil reprodução em sala de aula) com tomada de dados e a partir dos quais os alunos podem estabelecer relações entre grandezas físicas; documentários de TV e filmes (ou trechos deles), que abordam aspectos da ciência em geral e da Física em particular. Em nosso caso, o vídeo que utilizamos em duas das atividades investigativas propostas nesta dissertação consiste de um fragmento de um telejornal, especificamente, um quadro sobre como melhorar o dia a dia na cozinha. Ainda que essa não seja uma forma tradicional de utilizar vídeos para o ensino de Física, para Moran (1995)

*O vídeo está umbilicalmente ligado à televisão e a um contexto de lazer e entretenimento, que passa imperceptivelmente para a sala de aula. Vídeo, na cabeça dos alunos, significa descanso e não "aula", o que modifica a postura, as expectativas em relação ao seu uso. Precisamos aproveitar essa expectativa positiva para atrair o aluno para os assuntos do nosso planejamento pedagógico. Mas, ao mesmo tempo, saber que necessitamos prestar atenção para estabelecer novas pontes entre o vídeo e as outras dinâmicas da aula.*

Assim, é necessário que se desenvolva uma forma de trabalho com o vídeo que permita que ele se relacione com outras atividades em sala de aula e que os objetivos de aprendizagem sejam alcançados. A esse respeito, as pesquisas de Mujica e Mederos (1996) com vídeos didáticos indicam que

*Quando se interrompe o material e se dá ênfase à parte do vídeo que descreve alguma lei específica ou algum exemplo onde se aplica esta lei, são conseguidos resultados superiores a quando não se faz isso.*

*(...) Quando se interrompe o material e damos ao estudante um algoritmo para analisar as situações físicas, conseguimos resultados superiores a quando usamos o vídeo só de forma contemplativa.*

Para Duran (1995), o professor deve informar inicialmente apenas aspectos gerais do vídeo e não deve interpretá-lo antes da exibição, ou seja, não deve pré-julgar, a fim de que cada aluno possa fazer a sua leitura.

Também devemos levar em conta o que indicam Paniagua e Poblete (1994): “o problema dos vídeos é a falta de interação que existe com o estudante, já que esse assume em geral um papel de receptor passivo.”

A partir desses resultados fornecidos pela literatura, elaboramos as atividades investigativas que fazem uso da exibição de vídeo, as quais são descritas na Subseção 5.4.4 da presente dissertação.

## 4. EMBASAMENTO FÍSICO

### 4.1 Introdução

Este capítulo tem por objetivo propor uma reflexão sobre como os conceitos de temperatura e calor têm sido abordados nas aulas de Física do Ensino Médio e identificar algumas contribuições da pesquisa e de livros de referência em Física para o aprofundamento dessas concepções e de como ensiná-las de modo mais claro e preciso, facilitando a construção do conhecimento.

Relatamos inicialmente os estudos que fizemos e as conclusões a que chegamos sobre o momento que nos parece mais apropriado para introduzir as ideias de temperatura e calor no Ensino Médio. Posteriormente, apresentamos os conceitos de temperatura e calor que são utilizados neste trabalho e os argumentos em que nos baseamos para justificar essa escolha. Todo o estudo realizado parte da análise de livros (tanto de Ensino Médio como de obras de referência) e de uma revisão crítica de artigos sobre temperatura e calor e sobre processos de ensino–aprendizagem de Física Térmica presentes na literatura.

Para identificarmos quando e como temperatura e calor têm sido apresentados aos estudantes, analisamos nove livros didáticos de Física de Ensino Médio no que diz respeito ao momento em que essas noções são introduzidas e às definições de temperatura e calor propostas pelos autores. Os livros utilizados foram os seguintes:

- (AN) ANJOS, I. G. *Física – Curso Completo* (Coleção Novos Horizontes). São Paulo: IBEP.
- (GA) GASPAR, A. *Física – Volume Único*. 1. ed., São Paulo: Ática, 2008.
- (GT) GONÇALVES FILHO, A.; TOSCANO, C. *Física – Volume Único*. 1. ed., São Paulo: Scipione, 2007.
- (GF) GUIMARÃES, L. A. M.; FONTE BOA, M. C. *Física: terminologia e óptica*. 2. ed., Niterói, RJ: Galera Hipermídia, 2006.
- (MA1) MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. *Física – Volume Único*. São Paulo: Scipione, 1997.

- (MA2) MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. *Curso de Física: volume 2*. 6. ed., São Paulo: Scipione, 2006.
- (RFS) RAMALHO JUNIOR, F.; FERRARO, N. G. T.; SOARES, P. A. *Os Fundamentos da Física 2 – Termologia, Óptica, Ondas*. 6. ed. São Paulo: Moderna, 1995.
- (PT) PENTEADO, P. C. M.; TORRES, C. M. A. *Física, Ciência e Tecnologia – Vol 2*, São Paulo: Moderna, 2006.
- (SYF) SHIGEKIYO, C. T.; YAMAMOTO, K.; FUKU, L. F. *Os alicerces da física: termologia, óptica, ondulatória*. 12. ed. São Paulo: Saraiva, 1998.

Esses livros são identificados nesta dissertação, respectivamente, pelas siglas que aparecem antes de suas citações bibliográficas: AN, GA, GT, GF, MA1, MA2, RFS, PT e SYF.

## 4.2 Temperatura e calor: quando ensinar?

### Temperatura

Em todos os livros analisados que trazem explicitamente o conceito de temperatura, ele é apresentado no início do curso de Física Térmica. Em quatro dos livros (PT, RFS, GT e GF), a definição de temperatura aparece após uma apresentação inicial da teoria cinético-molecular da matéria; em MA1, ela aparece após a apresentação dos estados de agregação da matéria; em outros três livros (AN, MA2 e SYF), o que é temperatura aparece como primeiro assunto do conteúdo de Física Térmica. Em GA, não encontramos uma definição explícita para temperatura, ainda que o termo seja usado em seu sentido científico muitas vezes ao longo do livro.

Parece, assim, haver quase unanimidade entre os autores no que se refere a quando introduzir o conceito de temperatura: no início do curso de Física Térmica. Entretanto, metade deles opta por fazer isso após uma explicação sobre a teoria cinético-molecular da matéria. Essa escolha não nos parece adequada, na medida em que implicaria numa concepção inicial de temperatura não-intuitiva e desvinculada de nossa experiência sensorial macroscópica.

A esse respeito, é interessante notar que o momento em que o conceito de temperatura é apresentado deveria influenciar fortemente a definição utilizada pelos autores. No caso dos livros que o apresentam após a teoria cinético-molecular da matéria, haveria uma tendência a uma definição inicial já em termos do grau de

agitação das partículas do sistema, ou seja, a uma definição em termos microscópicos. Já para aqueles que trazem a temperatura como primeiro assunto de Física Térmica, seria coerente apresentá-la como uma medida das sensações de quente e frio em relação a uma determinada referência. Em outras palavras, com uma explicação macroscópica, termodinâmica do termo. Posteriormente, quando fosse introduzida uma abordagem estatística para os fenômenos termodinâmicos, a ideia de temperatura poderia ser interpretada em termos microscópicos. Todavia, essa coerência nem sempre se verifica em nossas explicações em sala de aula nem nos livros didáticos de Física, conforme observamos mais adiante neste texto, quando analisamos as definições de temperatura apresentadas nos manuais.

### **Calor**

Em quatro dos livros pesquisados (AN, GA, SYF e RFS), a definição de calor aparece no capítulo relativo à Calorimetria; em outros quatro livros (GA, PT, MA1, MA2), ela aparece após o capítulo sobre Teoria Cinética dos Gases; em MA1 e MA2, o calor aparece no capítulo sobre 1ª Lei da Termodinâmica e, finalmente, em três livros (GT, GF, PT), a definição de calor aparece antes do capítulo sobre Calorimetria. Somente em GT e GF a ideia de calor é apresentada nos capítulos iniciais do curso de Física Térmica.

Essa simples disposição dos livros didáticos, no que se refere à introdução da definição de calor no Ensino Médio, revela algumas características interessantes, tanto do ponto de vista do processo de ensino–aprendizagem como do entendimento da definição de calor de cada um dos autores. Segue–se uma análise do processo de ensino–aprendizagem do calor a partir das sequências didáticas apresentadas nos livros pesquisados.

Ainda que o lugar da aprendizagem do calor pareça ser unanimidade entre os autores, visto que em todos os livros didáticos analisados esta noção é apresentada, não parece ser consensual o momento de sua introdução durante a aprendizagem de Física Térmica, uma vez que vários livros o fazem de formas diferentes: junto com Calorimetria, após a Teoria Cinética dos Gases, junto com a 1ª Lei da Termodinâmica, ou antes de todos estes tópicos, como introdução ao curso.

Tradicionalmente, a definição de calor é feita, na maioria dos livros didáticos de Física, durante o ensino de Calorimetria. É possível observar que sua introdução nesse

ponto, juntamente com uma abordagem bastante quantitativa desse assunto via equação fundamental da Calorimetria e mudanças de fase, pode levar o estudante a pensar que o termo calor só se aplica a situações em que há mudança de temperatura ou de fase. Esse fato pode reforçar a concepção alternativa de muitos estudantes de que calor sempre resulta num aumento de temperatura, o que sabemos que não é verdade. Pensamos que a definição de calor no contexto da Calorimetria, se feita sem cuidado, pode ser interpretada pelos alunos como algo que *está associado* à mudança de temperatura, ou que *gera* mudança de temperatura, o que sabemos que nem sempre se verifica e pode ocasionar problemas futuros para a aprendizagem de Termodinâmica, como, por exemplo, para o entendimento de processos cíclicos, nos quais calor é convertido apenas em trabalho.

Além disso, observamos que muitas vezes o aluno não percebe que a definição de calor proposta na parte de Calorimetria é a mesma utilizada na Termodinâmica e que aparece em sua 1ª Lei, já que alguns artigos relatam que os alunos parecem saber operar com a 1ª Lei da Termodinâmica, mas não demonstram uma compreensão mais profunda sobre o que ela significa fisicamente. De acordo com os resultados das pesquisas de Loverude, Kautz e Heron (2002),

*(...) muitos estudantes não consideraram a 1ª lei da termodinâmica como uma relação de causa e efeito na qual trabalho pode provocar uma mudança na energia interna de um sistema físico. (...) Houve uma forte tendência de tratar teoremas como fórmulas, e não como modelos matemáticos de princípios físicos importantes.*

Em quatro dos livros pesquisados a Teoria Cinética dos Gases é apresentada antes do conceito de calor. Tal sequência não nos parece apropriada, na medida em que pode fazer parecer ao aluno que um modelo microscópico para os fenômenos térmicos é anterior e mais geral do que a Termodinâmica e que ele é válido em todas as situações, o que sabemos que não é verdade. Esse posicionamento se baseia em resultados de pesquisas como a de Loverude, Kautz e Heron (2002), que investigou a compreensão dos estudantes sobre a 1ª Lei da Termodinâmica. Esse artigo revela que, mesmo tendo estudado a 1ª Lei, poucos estudantes reconhecem a sua relevância e usam-na para explicar fenômenos físicos. Em contrapartida, muitos deles baseiam suas previsões e explicações em uma interpretação incorreta da Lei dos Gases Ideais.



Considerando as respostas de universitários que cursavam Cálculo e Física Térmica aos testes aplicados, os autores chegam a afirmar que “ainda que considerável ênfase seja dada à 1ª Lei nas abordagens típicas de Física Térmica, a importância desse princípio geral não é percebida por muitos estudantes” e que “para muitos alunos a Lei dos Gases Ideais foi a equação mais significativa do curso”.

Por tudo isso e por entendermos que a definição de calor é fundamental para a compreensão dos fenômenos termodinâmicos, pensamos que ela deve ser apresentada antes ou em associação com a Termodinâmica, mas nunca após a Teoria Cinética dos Gases. Entretanto, nos dois livros pesquisados em que o calor é apresentado no capítulo referente à Termodinâmica (MA1 e MA2), isso é feito após a introdução da Teoria Cinética dos Gases.

### **Conclusões**

A partir da análise feita, voltamos à questão inicial: em que momento do estudo da Física Térmica devem aparecer pela primeira vez os conceitos de temperatura e calor?

Um primeiro ponto a salientar é que a proposta didática que aqui elaboramos pressupõe que a aprendizagem de Física Térmica seja posterior à de Mecânica, pois alguns temas, como o conceito de trabalho mecânico e o teorema trabalho energia-cinética, são necessários à compreensão do conceito de calor, conforme se torna mais claro ao longo desta dissertação.

Pensamos que o primeiro assunto do curso de Física Térmica deve ser o conceito de temperatura, como o fazem três dos livros analisados (AN, MA2 e SYF), e que a noção de calor deve ser introduzida logo em seguida e em associação com a de temperatura, antes de Calorimetria, Termodinâmica e Teoria Cinética dos Gases. Essa última disposição aparece em apenas dois dos livros pesquisados (GT e GF).

É interessante notar que não houve coincidência entre os três livros que apresentam o conceito de temperatura no início do curso e os dois que o fazem com o calor. Vale lembrar também que propomos que seja apresentado no início do curso de Física Térmica o conceito termodinâmico de temperatura, como mencionado anteriormente neste texto, o que nem sempre aconteceu nos três livros citados acima.

A escolha de quando apresentar o conceito termodinâmico de temperatura e a noção de calor se deve ao fato de que temperatura e calor, juntamente com trabalho,

energia interna e entropia, perpassam toda a aprendizagem de Física Térmica, e, de acordo com Silveira e Moreira (1996) *apud* Grings, Caballero e Moreira (2006), constituem os cinco conceitos fundamentais para a aprendizagem de Termodinâmica, conforme citado na Seção 1.5 desta dissertação. Além disso, construir o conceito termodinâmico de temperatura no início da aprendizagem de Física Térmica é coerente com a abordagem macroscópica que estamos utilizando, e apresentar o conceito de calor antes de todo o desenvolvimento da Calorimetria e da Termodinâmica pode ser uma alternativa para que o aluno compreenda sua importância para o desenvolvimento da Física Térmica e perceba que essa definição é a mesma que aparece tanto na Calorimetria em particular como na Termodinâmica de forma geral.

Pensamos que os dois conceitos devem ser apresentados no início para que haja melhores condições e pré-requisitos para os aprendizados futuros e também para que se possam estabelecer diferenças e relações entre temperatura e calor, esclarecendo as concepções não-científicas dos estudantes identificadas nas dez sentenças que constam na Seção 1.4 desta dissertação, já que, de acordo com Kautz et al (2005), a habilidade de diferenciar os conceitos termodinâmicos “é crucial para prever o comportamento dos gases ideais, nos quais mudanças de temperatura podem ocorrer adiabaticamente e transferências de calor podem acontecer sem mudanças de temperatura.”

### **Comentários**

O que acabamos de sugerir não é introduzir as noções de temperatura e calor no início do curso e pensar que o aluno, por ele mesmo, fará as correlações necessárias para utilizá-las e aplicá-las posteriormente à Calorimetria e à Termodinâmica; ao contrário, propomos que as definições sejam construídas de forma bastante conceitual e sólida no início da Física Térmica, e que o professor as retome e aprofunde com seus alunos, voltando a elas durante a aprendizagem da equação fundamental da Calorimetria, das mudanças de fase, das leis da Termodinâmica, dos processos termodinâmicos e em outros contextos.

Em nossa proposta, podemos contemplar outro aspecto importante do processo de ensino-aprendizagem: a retomada de conhecimentos construídos previamente, isto é, valer-se de um ensino em espiral para utilizar conceitos gerais aprendidos

inicialmente em situações novas, aprofundando suas aplicações, implicações e relações com outros conceitos. Para Doll (1997) *apud* Aguiar Jr. (1999), o currículo de ciências deve ser recursivo, de modo a:

*permitir que o aluno se depare, em diferentes momentos de sua formação, com certos conceitos fundamentais em diferentes níveis de complexidade e em diferentes contextos. Tal característica do currículo permite uma maior adequação entre os tempos de aprendizagem (não padronizados e imprevisíveis) e os tempos de ensino (sujeitos às normas e limites institucionais).*

### **4.3 Temperatura e calor: o que ensinar?**

#### **Introdução**

Tendo argumentado sobre o momento de introduzir as definições de temperatura e calor no Ensino Médio, dedicamo-nos agora a refletir sobre como elas têm sido apresentadas nos livros e que implicações isso traz para as concepções dos estudantes sobre calor e temperatura relatadas na literatura. Utilizamos também as contribuições de alguns artigos e obras de referência em Física para a formulação das definições de calor e temperatura que são propostas e usadas neste trabalho.

Em Axt e Brückmann (1989) encontramos um estudo semelhante ao que realizamos, no qual os autores comparam as definições de calor, temperatura e energia interna de livros didáticos de Ciências (Química e Física de 8ª série, atual 9º ano) utilizados no período de 1985 a 1986 na cidade de Porto Alegre. Após essa análise, eles concluem que a conceituação apresentada nesses livros “não satisfaz os requisitos do formalismo científico”, pois está “bastante próxima daquela que, quando manifestada pelos alunos, é considerada espontânea, intuitiva ou errônea”. São mencionadas definições presentes na literatura que são coerentes com o formalismo científico e, ao final do artigo, aparecem sugestões de como trabalhar esses conceitos em sala de aula e um texto elaborado pelos autores sobre o tema.

## Temperatura

O conceito termodinâmico de temperatura tem sua origem nas sensações táteis de quente e frio que já eram notadas desde a Grécia Antiga. De acordo com Middleton (1966),

*A oposição de “quente” e “frio”, como a de “seco” e “úmido”, é um produto inevitável das nossas sensações táteis. Essas antíteses, observadas pelos filósofos pré-socráticos da Grécia Antiga, foram usadas por Aristóteles na sua doutrina dos opostos, ao passo que, a partir das combinações deles, foram constituídos os quatro elementos – terra, água, ar e fogo. Ao fazer isso, Aristóteles não tentou atribuir números para essas quantidades. O grande físico Galeno parece ter introduzido a ideia de “graus de calor e frio”, em número de quatro, a partir de um ponto neutro intermediário. O ponto neutro deveria ser uma mistura de quantidades iguais de gelo e água em ebulição, substâncias que Galeno parece ter considerado como os materiais mais frios e mais quentes. Não se pode precisar se as quantidades eram pesos ou volumes e podemos nos perguntar se Galeno realmente fez tal experimento, mas essa é a primeira noção que se tem de um ponto fixo ou padrão de temperatura.*

No entanto, como podemos observar na Tabela 1, em cinco dos nove livros pesquisados (AN, GT, PT, RFS e SYF), o conceito inicial de temperatura apresentado pelos autores refere-se a uma medida do “grau de agitação das moléculas de um corpo”, de modo que, “quanto maior o grau de agitação, maior a temperatura”. Conforme comentamos na parte referente à *Temperatura* da Subseção 4.2.1, essas definições são coerentes com uma abordagem inicial em termos do modelo cinético-molecular da matéria.

Assim, iniciar o estudo de Física Térmica pelo modelo cinético-molecular da matéria e sua definição de temperatura não nos parece adequado, pois pode levar o aluno a pensar que o conceito de temperatura surge nesse contexto, o que não é verdade, conforme pode ser observado na citação acima.

**Tabela 1. Livros pesquisados e suas definições de temperatura.**

<i>Livro</i>	<i>Definição da temperatura</i>
ANJOS (AN)	“Temperatura é uma medida do estado de agitação das partículas que constituem um corpo.”
GASPAR (2008) (GA)	Não há definição explícita.
GONÇALVES FILHO E TOSCANO (2007) (GT)	“A temperatura de um gás é uma medida relacionada com a intensidade da agitação (movimento desordenado) das moléculas que o constituem. Moléculas muito agitadas – temperatura alta. Moléculas pouco agitadas – temperatura baixa.”
GUIMARÃES e FONTE BOA (2006) (GF)	“A temperatura de um corpo, uma 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.”
MÁXIMO e ALVARENGA (1997) (MA1)	“A temperatura é uma grandeza física usada para indicar se um corpo está mais 'quente' ou mais 'frio' do que outros tomados como referência.”
MÁXIMO e ALVARENGA (2006) (MA2)	“A temperatura de um corpo é uma propriedade relacionada com o fato de o corpo estar mais quente ou mais frio.”
RAMALHO JR., FERRARO e SOARES (1995) (RFS)	“Podemos considerar a temperatura de um corpo como sendo a medida do grau de agitação de suas moléculas.”
PENTEADO e TORRES (2006) (PT)	“Temperatura de um corpo é a medida do grau de agitação de suas partículas.”
SHIGEKIYO, YAMAMOTO e FUKE (1998) (SYF)	“Temperatura: medida do nível de agitação térmica das partículas ou medida do nível da energia térmica por partícula de um corpo ou sistema físico.”

Pensamos também que pode não ficar claro para o aluno que esse modelo foi elaborado para tentar explicar qual é a causa do aparecimento da grandeza temperatura, que já era conhecida anteriormente a ele e bastante utilizada para caracterizar o estado de um sistema por intermédio de medições com o termômetro. Além disso, entre esses cinco livros, dois deles (AN e SYF) apresentam diretamente a definição microscópica de temperatura (sem uma justificativa em termos da teoria que dá suporte a essa definição), o que pode confundir ainda mais os alunos.

Alguns professores poderiam argumentar que uma definição inicial microscópica de temperatura poderia facilitar a aprendizagem dos estudantes, visto

que eles chegariam a ela de qualquer forma, utilizando a teoria cinética. No entanto, ainda que concordemos com as definições de temperatura que aparecem nesses cinco livros, pensamos que apresentá-las nesse ponto pode representar a “queima” de etapas importantes para os alunos, tanto do ponto de vista de seu desenvolvimento cognitivo (pois nos parece mais coerente começar com um tratamento macroscópico mais próximo da experiência cotidiana para posteriormente aumentar o grau de sofisticação dos estudos e introduzir modelos microscópicos) como no que se refere a conhecer como se deu historicamente a construção do conhecimento científico. Além disso, tratamos a Termodinâmica como uma disciplina independente da Física Estatística.

Em GF, encontramos inicialmente a definição termodinâmica de temperatura e em seguida sua definição microscópica. Já em MA1 e MA2, encontramos a definição termodinâmica de temperatura que usamos neste trabalho: *uma medida das sensações de quente e frio em relação a um determinado padrão, de modo que, quanto maior a sensação de quente, maior a temperatura.*

Tal definição também aparece em Hewitt (2002): “A quantidade que informa quão quente ou frio é um objeto em relação a algum padrão é chamada de temperatura.”

Além dos argumentos acima mencionados para o uso dessa conceituação nesse ponto, levamos em conta também os resultados da pesquisa com alunos de 2º ano do Ensino Médio relatada em Köhnlein e Peduzzi (2002), na qual as autoras verificaram que “ideias tais como pensar que temperatura se transfere de um corpo para o outro e não considerar temperatura como o número usado para traduzir o estado de ‘quente’ ou ‘frio’ de um corpo, ainda permaneceram após a instrução.”

Ademais, devemos enfatizar também que temperatura, ao contrário de calor, é um parâmetro termodinâmico que caracteriza um estado e, segundo Quiceno e Mosquera (2009), é “a magnitude intensiva que pode ser assumida como variável de estado, que permite dar conta da condição na qual se encontra um sistema.”

Passemos agora ao estudo do conceito de calor.

## **Calor**

De acordo com Silva, Laburú e Nardi (2008), um dos conceitos físicos mais difíceis de aprender e também de ensinar é o de calor. Para Romer (2001),

*A palavra ‘calor’ cria um dos nossos mais sérios problemas linguísticos. Não é somente um vocábulo corriqueiro, mas seu uso frequentemente inadequado na Física reforça visões antigas e errôneas do mundo físico e não favorece uma reflexão mais profunda.*

Modell e Reid (1983) também já chamavam a atenção para a dificuldade não só de ensinar e aprender, mas de definir *calor* em termos científicos:

*Calor é uma grandeza difícil de ser definida e que é reconhecível somente pelo seu efeito sobre as substâncias. Para a nossa discussão sobre trabalho, fomos afortunados ao adotarmos as definições e procedimentos da mecânica. Para uma discussão sobre calor nós não temos nenhum precedente para nos guiar uma vez que é tarefa da termodinâmica o desenvolvimento deste conceito. Deste modo, temos que nos esforçar para definir calor usando somente os conceitos já apresentados.*

Devido a essa complexidade mencionada pelos autores, vamos nos deter um pouco mais em nosso estudo sobre o conceito de calor do que o fizemos para temperatura, visto que há também uma vasta literatura sobre o tema e sua problemática, na qual nos baseamos para as reflexões que se seguem.

Algumas frases encontradas nos livros didáticos em geral, como “é o fluxo de calor cedido ou absorvido”, “passa calor do primeiro para o segundo”, “o calor que tem um corpo” e “a energia térmica que toma ou cede” (CINDRA e TEIXEIRA, 2004 *apud* SILVA, LABURÚ e NARDI, 2008), são mais coerentes com a teoria do calórico do que com a atual, ainda que aquela, segundo Silva, Laburú e Nardi (2008), não apresente problemas explicativos para a descrição de fenômenos da Calorimetria. Todavia, como afirma Romer (2001), “calor não é uma substância!”, ainda que esse modelo tenha sido utilizado até o final do século XIX e início do XX. Também de acordo com o mesmo autor,

*Se você fala de “transferência de calor” ou “fluxo de calor”, essa construção é aceitável porque as palavras esclarecem que calor é uma forma mais concisa para energia em trânsito.*

*(...) As ideias sobre a teoria do calórico continuam a contaminar as mentes e as frases dos alunos iniciantes — e também as de muitos de seus professores.*

De acordo com Uría *apud* Teixeira (1992), as definições de calor apresentadas nos livros–texto de Física variam basicamente entre três opções: “um processo de transferência de energia; a forma através da qual a energia se manifesta em tal processo; a quantidade de energia transferida nesse processo”. A maioria dos livros didáticos que pesquisamos, conforme podemos observar na Tabela 2, utiliza essa última definição:

**Tabela 2. Livros pesquisados e suas definições de calor.**

<b><i>Livro</i></b>	<b><i>Definição da calor</i></b>
ANJOS (AN)	“Calor é energia térmica em trânsito devido a uma diferença de temperatura.”
GASPAR (2008) (GA)	“Essa energia que se transfere de um corpo para outro por causa apenas da diferença de temperatura entre eles é chamada calor ou energia térmica.”
GONÇALVES FILHO E TOSCANO (2007) (GT)	“Calor é a transferência de energia de um objeto ou sistema para outro, devido, exclusivamente, à diferença de temperatura entre eles.”
GUIMARÃES e FONTE BOA (2006) (GF)	“O calor é uma forma de energia que se transfere de um sistema para outro em virtude de uma diferença de temperatura existente entre os dois. Ela se distingue das outras formas de energia porque só se manifesta num processo de transformação.”
MÁXIMO e ALVARENGA (1997) (MA1)	“Calor é a energia transferida de um corpo para o outro em virtude unicamente de uma diferença de temperatura entre eles.”
MÁXIMO e ALVARENGA (2006) (MA2)	“Calor é a energia transferida de um corpo para outro em virtude, unicamente, de uma diferença de temperatura entre eles.”
RAMALHO JR., FERRARO e SOARES (1995) (RFS)	“Calor é energia térmica em trânsito entre corpos a diferentes temperaturas.”
PENTEADO e TORRES (2006) (PT)	“Calor é a energia térmica que se transfere entre corpos a diferentes temperaturas.”
SHIGEKIYO, YAMAMOTO e FUKU (1998) (SYF)	“Calor: energia térmica em trânsito devido à diferença de temperatura.”



Nessa Tabela, observamos que, em oito dos nove livros pesquisados (AN, GA, GF, MA1, MA2, RFS, PT e SYF), calor é definido como “energia” e, desses oito, cinco identificam calor como “energia térmica” (AN, RFS, PT e SYF).

Assim como o trabalho, a palavra *calor* com o significado de *energia* só tem sentido e só aparece no momento em que acontece a interação, pois os estados do sistema são identificados por outros parâmetros (pressão, volume, temperatura, energia interna, etc), que não o calor. A preocupação com esse fato aparece na definição de calor apresentada em GF, na qual é mencionado que só se pode chamar *calor* à energia que é transferida, porque o calor “só se manifesta num processo de transformação” (GUIMARÃES e FONTE BOA, 2006).

Além disso, temos que estar atentos para definir *calor* de modo a não reforçar em nossos alunos concepções errôneas e não-científicas, como, por exemplo, a confusão entre esse conceito e o de temperatura, que é comum entre muitos estudantes e bem relatada na literatura. (ODETTI, 2001 *apud* CERVANTES et al., 2001; LOVERUDE, KAUTZ e HERON, 2002). De acordo com Arons (1997):

*Black deve ser reconhecido por redefinir o termo “calor” nesse sentido, distinguindo-o, sem deixar ambiguidade, de “temperatura” e, dessa forma, introduzindo nossa terminologia científica moderna, que condena o uso intercambiável das palavras “calor” e “temperatura”. Deve ficar claro que, quando falamos de transferência de calor (ou, por comodidade, reduzimos essa forma mais longa à palavra “calor” simplesmente), não estamos nos referindo a uma variável de estado no mesmo sentido em que velocidade, temperatura, pressão, densidade ou concentração o são. Estamos falando de um processo (...)*

Assim, concordamos com esse autor, pois, enquanto o calor não é uma função de estado, a energia por si só o é, ou seja, ela é um parâmetro que caracteriza um sistema termodinâmico, mecânico, quântico, etc. Conhecemos a energia interna de um gás, a energia que um corpo tem quando está em repouso a uma determinada altura ou quando está em movimento, a energia de um fóton, de um elétron, etc, mas é consenso, a partir do conhecimento científico atual de que dispomos, que um corpo

não tem calor. Pelo contrário, a quantidade de calor está associada a um processo, como está claro no fim da citação acima e já era sinalizado por Tolman (1934):

*De acordo com os princípios termodinâmicos, a energia contida em um sistema é uma função de seu estado e só pode ser alterada somente quando este estado é alterado. Quando ocorre tal mudança de estado, é importante, do ponto de vista termodinâmico, distinguir entre dois modos diferentes de transferência pelos quais a quantidade de energia pode ser afetada: por um fluxo de calor e pela realização de trabalho.*

Logo, ao definirmos *calor* como energia, devemos deixar claro que, no estudo dos sistemas termodinâmicos, *calor* é o nome dado à energia que é transferida (daí o termo energia em trânsito, que aparece nas definições de calor de AN, RFS e SYF na Tabela 2), e não à energia que o corpo possui. Além disso, é muito interessante chamar a atenção, como o faz Tolman na citação acima, para o fato de que calor e trabalho estão em “pé de igualdade” no que se refere à transferência de energia (o que está claro pela 1ª Lei da Termodinâmica). O trabalho é a energia transferida quando há um corpo que se desloca devido à ação de uma força ou, analogamente, quando há uma variação de volume em função da pressão. E o calor? Que energia transferida é essa? Alguns bons livros de referência estabelecem definições bastante precisas para *calor*, que passamos a descrever e comentar.

De acordo com Landau e Lifshitz (1958),

*Uma força externa aplicada a um corpo pode realizar trabalho sobre ele, definido pelas leis gerais da mecânica como o produto da força pelo deslocamento produzido por ela.*

*(...) Lembrando que a força que atua sobre um elemento unitário de superfície do corpo é a pressão e que o produto do elemento de superfície do corpo pelo seu deslocamento é o volume descrito por esse elemento, concluímos que o trabalho realizado sobre o corpo (por unidade de tempo) devido a uma variação do volume é*

$$\frac{\delta W}{dt} = -p \frac{dV}{dt}. \quad (1)$$

*(...) Se um corpo está termo-isolado, todas as modificações de sua energia são devidas ao trabalho que é feito sobre ele.*

*No caso geral de um corpo não termo-isolado, o corpo recebe (ou fornece) energia [E] pela transmissão direta de corpos que estejam em contato com ele. Esta parte da variação recebida (ou fornecida) pelo corpo é denominada de calor Q recebido (ou fornecido). Deste modo, a variação da energia do corpo (por unidade de tempo) pode ser representada sob a forma:*

$$\frac{dE}{dt} = \frac{\delta W}{dt} + \frac{\delta Q}{dt}. \quad (2)$$

*Da mesma forma que o trabalho, a quantidade de calor recebida pelo corpo das fontes exteriores é positivo.*

*A energia E figurando em (2) [Eq. (13.2) no original] é em geral a energia total do corpo, incluindo a energia cinética do movimento macroscópico.*

*Entretanto, habitualmente considera-se o trabalho relacionado a uma variação do volume com o corpo imóvel. Neste caso, a energia se reduz à energia interna do corpo.*

Note-se que, na notação original (em russo) utilizada na escrita das duas equações acima, a letra *R* é usada como símbolo para trabalho — *rabotat*, em russo — que aqui “traduzimos” para *W*. Além disso, os autores convencionam que o trabalho realizado sobre o sistema e o calor recebido por ele são positivos.

Outro aspecto interessante a mencionar é o fato de considerarem que a energia *E* de um sistema termodinâmico também engloba a energia cinética de seu movimento macroscópico, ou seja, que podemos estudar, por exemplo, um sistema constituído por um cilindro que se move com velocidade *v* contendo um gás que é comprimido por um pistão. Parece-nos importante essa observação, ainda que o próprio texto lembre que, como essa situação é pouco abordada e estudada, a energia *E* acaba se restringindo à energia interna *U* do sistema.

Quanto à definição de calor, os autores mencionam que, quando um corpo está isolado termicamente, ou seja, quando não interage com sua vizinhança, só é possível alterar sua energia se ele sofrer ou realizar trabalho. Quando ele não estiver isolado, o calor é *a energia que o corpo recebe (ou fornece) devido à transmissão direta de corpos que estejam em contato com ele*. É interessante ressaltar que o termo *contato* não se refere ao fato de só haver trocas de calor *quando os corpos estão encostados* (concepção não-científica dos estudantes mencionada por nós na Seção 1.4), conforme explicamos a seguir.

Quando um cubo de gelo derrete dentro de um copo (experiência que propomos em nossa sequência didática), o gelo está em contato tanto com o copo como com o ar, por isso há trocas de calor entre eles. Além disso, num processo de transferência de calor por radiação (como a interação com a luz solar, que está presente também em uma das atividades que propomos aqui), há contato entre a radiação e o objeto que será aquecido.

Vejamos agora o desenvolvimento de Modell e Reid (1983) para a conceituação de calor:

*(...) a diferença de energia entre dois estados pode sempre ser determinada considerando-se um processo adiabático conectando estes dois estados<sup>2</sup> (...). Agora, considerando ainda os mesmos dois estados, visualize outro processo qualquer (adiabático ou não) conectando-os. A diferença de energia é a mesma que aquela para o processo adiabático porque a energia é uma função somente do estado (isto é, independe do processo que conecta os dois estados [final e inicial]). Se o processo não é adiabático, a interação [por meio do] trabalho será diferente daquela para um processo adiabático. Entretanto, o trabalho pode sempre ser calculado (...). Nós então definimos calor como a soma da variação de energia e o trabalho realizado. Isto é,*

$$Q = (E_{\text{final}} - E_{\text{inicial}}) + W \quad (3)$$

*onde, por convenção,  $W$  é o trabalho feito pelo sistema sobre a sua vizinhança e  $Q$  é o calor "adicionado" ao sistema.*

---

<sup>2</sup> Dados dois estados termodinâmicos quaisquer, sempre é possível conectá-los através de um processo adiabático. (nota nossa)

*A definição de calor dada acima, como aquela dada para a energia, é desprovida de qualquer significado microscópico. Apesar disso, ela é de grande utilidade prática.*

Assim, pela equação (3) (Eq. 3-20 no original), observamos que os autores utilizam diretamente, para a definição de calor, a 1ª Lei da Termodinâmica, que, de acordo com Fermi (1956),

*(...) é essencialmente a afirmação do princípio da conservação da energia para sistemas termodinâmicos. Como tal, ela pode ser expressa pelo estabelecimento de que a variação da energia de um sistema durante qualquer transformação é igual à quantidade de energia que o sistema recebe de seu entorno. Para dar um significado preciso a essa afirmação, é necessário definir as expressões “energia do sistema” e “energia que o sistema recebe de seu entorno durante uma transformação”.*

Em um sistema mecânico conservativo, se não há forças externas atuando ou se a resultante é nula e o sistema está em repouso, a energia total  $E$  coincide com a sua energia interna  $U$  e se mantém constante. Assim, se  $A$  e  $B$  são dois estados sucessivos desse sistema isolado:

$$U_A = U_B. \quad (4)$$

Quando forças externas atuam nesse sistema, as energias  $U_A$  e  $U_B$  são diferentes, pois haverá um trabalho  $-W$  feito pelas forças externas durante a transformação do estado inicial  $A$  para o estado final  $B$ . Assim:

$$U_B - U_A = -W \quad (\text{Teorema Trabalho - Energia cinética}). \quad (5)$$

Por essa equação, percebemos que o trabalho depende somente dos estados inicial e final e não da forma particular como é feita a transformação de  $A$  para  $B$ . No entanto, se encontramos experimentalmente alguma situação em que essa propriedade não se verifique, isso significa ou que a energia não é conservada no sistema, ou que, além de trabalho mecânico, outras formas de transferência de energia devem ser levadas em conta (FERMI, 1956). Considerando que vale o princípio da conservação da energia, dedicamo-nos ao estudo de processos através dos quais energia pode ser

trocada entre um sistema e seu entorno, a fim de definir o que vem a ser a “energia que o sistema recebe de seu entorno durante uma transformação”.

Para tanto, consideremos dois estados  $A$  e  $B$  de um sistema formado por uma quantidade de água num dado recipiente à pressão atmosférica. A temperatura  $T_A$  do estado  $A$  é a temperatura ambiente de onde está o sistema e  $T_B$  é temperatura do estado  $B$ , sendo  $T_A < T_B$ .

É possível levar o sistema do estado  $A$  para o estado  $B$  simplesmente colocando o recipiente com água sobre a chama de um fogão (como também fazemos em uma das atividades propostas nesta dissertação). Nesse caso simples, se a mudança de temperatura não é acompanhada de uma variação significativa e mensurável do volume da água, podemos desprezar o trabalho realizado.

Também podemos levar o sistema do estado  $A$  para o estado  $B$  simplesmente fechando o recipiente e agitando-o de alguma forma. Nesse caso, realizamos trabalho sobre o sistema.

Se assumirmos que vale o princípio da conservação da energia para as duas situações, então devemos admitir que a energia que é transmitida para a água na forma de trabalho mecânico no segundo processo (devido ao movimento do recipiente) lhe é transmitida no primeiro processo de uma forma não-mecânica, que chamamos *calor*. Assim, o calor pode ser interpretado fisicamente como *a quantidade de energia que é recebida ou perdida por um sistema de formas outras que não trabalho* (FERMI, 1956; LANDAU e LIFSHITZ, 1958).

Por tudo isso, utilizamos, para o desenvolvimento de nossa proposta didática, o conceito de calor como sendo *a energia que é transferida entre um sistema e seu entorno e que não pode ser associada ao trabalho*.

Um aspecto interessante a destacar é que, em todas as definições de calor que aparecem nos livros didáticos de Ensino Médio na Tabela 2, os autores mencionam que ele é *devido a uma diferença de temperatura entre os corpos que interagem*. Entretanto, isso não é mencionado em nenhuma das obras de referência que consultamos (TOLMAN, 1934; MODELL e REID, 1983; LANDAU e LIFSHITZ 1958; FERMI, 1956). Também para Arons (1997):

*(...) Nas interações térmicas, parece estar envolvido um processo no qual um sistema influencia o estado do outro e em que as leituras do termômetro por si só não descrevem totalmente a interação. Às vezes*

*nem mesmo indicam que está ocorrendo uma interação. A esses processos de interação que agora começamos a reconhecer denominamos “transferência de calor”.*

O que ocorre é que os livros didáticos de Ensino Médio em geral utilizam a definição calorimétrica de calor, daí a necessidade de associar o aparecimento dessa grandeza física a uma diferença de temperatura entre o sistema e seu entorno. Em nosso caso, como utilizamos o conceito de calor que surge pelo princípio da conservação da energia, no contexto da Termodinâmica, esse último aspecto não será enfatizado. Porém, parece-nos importante, neste ponto, estabelecer a relação entre o conceito de calor que usamos nesta dissertação e a definição de calor para a Calorimetria. Para isso, tomamos como base a análise presente em Fermi (1956), que descrevemos a seguir.

A unidade calorimétrica de calor, a caloria (cal), é definida como sendo a quantidade de calor necessária para aumentar a temperatura de 1 g de água à pressão atmosférica de 14,5 °C a 15,5 °C. Então, para elevar a temperatura de uma massa  $m$  de água de 14,5 °C a 15,5 °C à pressão atmosférica, são necessárias  $m$  cal de calor. Sendo  $\Delta u_a$  a variação de energia de 1 g de água e  $w_a$  o trabalho feito como resultado da expansão quando a temperatura aumenta à pressão atmosférica, a variação de energia do sistema e o trabalho feito são dados por:

$$\begin{aligned}\Delta U_a &= m\Delta u_a, \\ W_a &= mw_a.\end{aligned}\tag{6}$$

Consideremos agora um sistema  $S$  que passa por uma transformação quando em contato com sua vizinhança. Para medir o calor trocado entre eles, nós colocamos o sistema dentro de um calorímetro contendo  $m$  gramas de água inicialmente a 14,5 °C e realizamos o mesmo processo de transformação original. Escolhemos a massa  $m$  de água de tal forma que, depois que a transformação é concluída, a temperatura da água é 15,5 °C. Caso não seja possível realizar o processo para aumentar a temperatura da água, observamos que também podemos fazer o inverso, ou seja, diminuir a temperatura da água de 15,5 °C para 14,5 °C.

Como um calorímetro ideal é perfeitamente isolado termicamente, o sistema complexo formado pelo sistema  $S$  e a água ao seu redor também é termicamente isolado durante a transformação. A variação total da energia é igual à soma:

$$\Delta U = \Delta U_s + \Delta U_a = 0,\tag{7}$$

onde  $\Delta U_s$  é a variação de energia do sistema  $S$  e  $\Delta U_a$  é a variação de energia da água dentro do calorímetro. Analogamente, para o trabalho total feito, temos:

$$W = W_s + W_a = 0. \quad (8)$$

Assim, aplicando a equação (5):

$$\begin{aligned} \Delta U &= -W \\ \Delta U + W &= 0 \\ \Delta U_s + \Delta U_a + W_s + W_a &= 0 \\ \Delta U_s + W_s &= -(\Delta U_a + W_a) \\ \Delta U_s + W_s &= -(m\Delta u_a + mw_a). \end{aligned} \quad (9)$$

Como  $\Delta U_s + W_s$  é a quantidade de calor  $Q_s$  recebida pelo sistema:

$$Q_s = -Q_a = -m(\Delta u_a + w_a). \quad (10)$$

Assim, vemos que a quantidade de calor, quando expressa em calorias, é proporcional à massa, e que o fato de que  $m$  gramas de água foram aquecidos de  $14,5^\circ\text{C}$  a  $15,5^\circ\text{C}$  significa que calor foi transferido do sistema  $S$  para a água. Além disso, pela equação (10), a quantidade de calor  $Q_s$  cedida pelo sistema gerou como efeitos na água no interior do calorímetro a variação de sua energia interna e a realização de trabalho, fato que é abordado em algumas das atividades de nossa proposta didática.

### Conclusões

Em resumo, utilizamos nesta dissertação, para o desenvolvimento da proposta de intervenção em sala de aula, o conceito termodinâmico de temperatura como sendo *uma medida das sensações de quente e frio em relação a um determinado padrão*, de modo que, quanto maior a sensação de quente, maior a temperatura, e o conceito de calor como sendo *a energia que é transferida entre um sistema e seu entorno e que não pode ser associada ao trabalho*. Enfatizamos, também, no caso do calor, que sua transferência pode gerar num sistema variação de temperatura (mas que isso nem sempre ocorre), mudança de fase à temperatura constante e trabalho.



## 5. PROPOSTA DE INTERVENÇÃO EM SALA DE AULA

Este capítulo tem por objetivo explicar como são desenvolvidas as atividades investigativas propostas por nós neste trabalho. Iniciamos descrevendo uma estrutura geral comum a todas elas e posteriormente indicamos caminhos possíveis para sua implementação em sala de aula.

### 5.1 Introdução

Nas atividades investigativas propostas neste trabalho, questões são respondidas mediante uma experiência, análise de dados de experimentos ou exibição de um programa de TV. Para tanto, o trabalho com os alunos é dividido em algumas etapas, que variam de acordo com o tipo de atividade investigativa realizada, e que estão especificadas abaixo.

- Etapas das atividades experimentais: proposta do problema; levantamento de hipóteses; elaboração do plano de trabalho, ou seja, de como a experiência deve ser realizada; montagem do arranjo experimental e coleta de dados; análise de dados; conclusão.
- Etapas das atividades de análise de dados de experimentos: proposta do problema; levantamento de hipóteses; análise de dados; conclusão.
- Etapas das atividades baseadas na exibição de programa de TV: proposta do problema; levantamento de hipóteses; exibição do programa de TV; identificação de informações relevantes e de contrastes entre as linguagens cotidiana e científica; análise das informações; conclusão.

Os momentos da interação entre alunos e professor em sala de aula, ao longo de cada uma das atividades investigativas propostas, estão descritos detalhadamente em forma de *Guias de orientação para o professor* no *Apêndice* desta dissertação. Ressaltamos que não pretendemos com isso fornecer receitas prontas, em que o professor deve seguir mecanicamente um conjunto estruturado e ordenado de passos

para a garantia de uma boa aula, primeiramente porque tal direcionamento seria incoerente com o que temos defendido ao longo desta dissertação, que é justamente a supressão de roteiros herméticos, que não estimulem a reflexão e a atitude científica. Se queremos desenvolver um espírito científico e crítico nos estudantes, devemos cultivar esse hábito em nós mesmos, professores, pois, assim como não se pode ensinar aquilo que não se sabe, não se pode exigir do aluno aquilo que não podemos oferecer-lhe.

Em segundo lugar, não acreditamos que haja um material didático perfeito, que garanta uma boa aula em 100% dos casos, nos mais diferentes contextos e para os mais diversos tipos de alunos. Até porque o próprio conceito de *boa aula* é bastante relativo. De acordo com Moreira (2000), “por melhor que sejam os materiais instrucionais, do ponto de vista de quem os elabora, a aprendizagem não é uma consequência natural.” No entanto, isso não invalida a proposta que aqui desenvolvemos, baseados em pesquisas na área de ensino de Física, como mais uma estratégia que pode oferecer novas possibilidades didáticas para o professor.

Como sabemos que o trabalho com atividades investigativas e o que ele pressupõe em termos de atuação docente não são ainda muito difundidos entre a grande maioria dos professores de Física, nosso objetivo com esses *Guias* é orientá-los em sua postura e em seu papel nessa nova forma de conceber o processo de ensino-aprendizagem e de estabelecer relações e interações com os alunos.

Ainda que saibamos pela literatura que o professor deve ser um mediador das interações e não assumir o papel de detentor do conhecimento, como isso se dá na prática? O que o professor pode fazer ou como deve agir durante as atividades investigativas para que os alunos desenvolvam habilidades científicas e construam conhecimentos em Física? Esses são grandes desafios para o professor, que pretendemos ajudar a resolver por intermédio desses *Guias*, cujo conteúdo descrevemos a seguir. É interessante ter em mãos os *Guias de orientação para o professor* (disponíveis no *Apêndice* da dissertação), para melhor acompanhar a leitura das Seções 5.2, 5.3 e 5.4.

## **5.2 Descrição geral das atividades investigativas**

Nas atividades investigativas presentes nos *Guias de orientação para o professor*, propomos inicialmente um problema de forma ampla e o mais próximo

possível do cotidiano dos alunos, a fim de estimular sua curiosidade científica e motivá-los para a investigação. Os estudantes, então, começam a formular hipóteses para tentar resolver o problema. Como o presente trabalho ainda não foi aplicado efetivamente em sala de aula, baseamo-nos em resultados de pesquisas anteriores sobre a questão da temperatura e do calor e em nossa experiência profissional para as possíveis hipóteses, listadas nos *Guias de orientação para o professor*, que poderiam ser mencionadas para cada um dos problemas propostos. O objetivo de catalogar essas possíveis hipóteses dos alunos e fornecê-las ao professor é prepará-lo para os possíveis questionamentos que poderão surgir em sala de aula e dar-lhe subsídios para atuar junto aos grupos de alunos e formular uma argumentação que esclareça as concepções não-científicas dos estudantes ou suas visões simplistas dos fenômenos físicos.

Nos *Guias*, marcamos com \* as hipóteses fisicamente corretas e consideradas mais completas. O conteúdo delas é o que queremos que nosso aluno aprenda. As hipóteses não marcadas ou não respondem à pergunta feita, ou estão parcialmente corretas ou incorretas, ou utilizam vocabulário muito próximo ao cotidiano, não apresentando a formalidade científica necessária.

A partir das hipóteses e para testá-las, o professor pode sugerir, dependendo da atividade, a realização de um experimento (Atividades 1, 2 e 3 sobre Temperatura e Atividades 1, 2, 4, 5, 6 e 8 sobre Calor), a análise de dados ou informações de atividades anteriores (Atividades 3, 7, 9, 10 e 11 sobre Calor) ou a exibição de um vídeo com um programa de TV (Atividades 12 e 13 sobre Calor). Os alunos se organizam em grupos e, nesse ponto, na Atividade 2 sobre Temperatura e nas Atividades 1, 5, 6 e 8 sobre Calor, fazem o planejamento da atividade experimental, momento em que o professor deve orientar os grupos nas tomadas de decisões que levarão à realização do experimento. Nos *Guias de Orientação para o professor*, as perguntas entre parênteses que aparecem ao lado das etapas do plano de trabalho de algumas atividades são possíveis indagações dos alunos, não devendo ser fornecidas a eles pelo professor.

Diferentemente de abordagens tradicionais, em que o docente conduz os procedimentos a serem realizados, no sentido de explicar o que deve ser feito para a observação do que se quer verificar, propomos aqui que os grupos de alunos sejam, pouco a pouco, encarregados de desenvolver um plano de trabalho para a realização do experimento, que poderá ser mais complexo e detalhado dependendo da atividade.

Depois dos problemas iniciais mais simples sobre Temperatura, os estudantes já começam a familiarizar-se com as atividades investigativas, sendo mais autônomos e sujeitos de seu aprendizado nas atividades seguintes sobre Calor.

Após a construção do plano de trabalho (Atividade 2 sobre Temperatura e Atividades 1, 5, 6 e 8 sobre Calor), ou diretamente depois do levantamento de hipóteses (Atividades 1 e 3 sobre Temperatura e Atividades 2 e 4 sobre Calor), os grupos devem realizar a experiência, organizando os dados obtidos de modo a facilitar a visualização dos resultados e a resolução do problema proposto inicialmente.

Nas Atividades 12 e 13 sobre Calor, as etapas de planejar e realizar o experimento são substituídas pela exibição de um programa de TV em que também aparece um experimento sendo realizado. No caso das Atividades 3, 7, 9, 10 e 11 sobre Calor, passa-se diretamente à etapa que agora descrevemos.

Cada grupo analisa as informações, elabora uma resposta ao problema e, por fim, os grupos debatem entre si a fim de encontrarem coletivamente a melhor solução e os argumentos mais consistentes para justificá-la. Todo o debate, tanto a interação dentro dos grupos como entre toda a turma, é orientado e mediado pelo professor, que mais do que um mero “fornecedor” de respostas prontas, deve propor questionamentos e reflexões, identificar inconsistências e estimular a participação de todos (PEREIRA e AGUIAR, 2006).

### **5.3 Construção do conceito de temperatura**

Algumas atividades investigativas são propostas a fim de que os alunos identifiquem que o tato não fornece uma boa medida da temperatura de um corpo e que a temperatura não é proporcional ao volume. A partir da solução aos problemas propostos, queremos construir o conceito de temperatura como sendo *uma medida da sensação de quente e frio em relação a um determinado padrão ou referência*. Chamamos também a atenção para o fato de que as medidas de temperatura são feitas quando se estabelece o equilíbrio térmico entre o instrumento de medida e o sistema que se quer estudar, e isso pode demorar certo tempo, dependendo de cada termômetro.

Conforme relatado na literatura e na Seção 1.4 desta dissertação, muitos de nossos alunos crêem que uma sensação tátil de quente ou frio pode determinar a temperatura de um corpo ou que a temperatura é diretamente proporcional ao volume

do corpo. As três atividades investigativas aqui propostas para a construção do conceito de temperatura, ainda que simples de serem realizadas, podem ser muito úteis para esclarecer as concepções não-científicas de nossos estudantes. Passamos a explicar nos três itens seguintes como os experimentos realizados via atividades investigativas (presentes nos *Guias de orientação para o professor*) e o conhecimento e atuação do docente podem levar à construção do conceito de temperatura.

### **Atividade 1: Está com febre?**

Esta primeira atividade investigativa tem por objetivo verificar que o tato não fornece uma boa medida da temperatura de um corpo, pois diferentes sensações podem ser experimentadas para uma mesma substância, ainda que a temperatura desta seja a mesma. Além disso, queremos chamar a atenção para o fato de que o termômetro só fornece a temperatura correta de um sistema após certo intervalo de tempo necessário para que se estabeleça o equilíbrio térmico entre eles.

Com tal atividade, pretendemos “atacar” as seguintes concepções não-científicas dos estudantes, identificadas na Seção 1.4 desta dissertação:

- “A temperatura é a variação de um estado de quente para um estado de frio.”
- “A temperatura é a variação do calor.”
- “Pele ou toque podem determinar a temperatura.”

Para tanto, através dos *Guias de orientação para o professor*, disponíveis no *Apêndice* deste trabalho, propomos a realização de um experimento simples, bastante utilizado na literatura, como em Carvalho et al. (1999), mas pensado inicialmente pelo filósofo inglês John Locke em 1660 (BASSALO, 1992 *apud* RESNICK e HALLIDAY, 1980). A experiência consiste em dispor de 3 vasilhas iguais: a primeira, com água gelada (tirada da geladeira); a segunda, com água à temperatura ambiente; e a terceira, com água morna (aquecida no fogão ou micro-ondas). Ao colocarmos a mão na água fria, teremos essa sensação; ao colocarmos a outra mão na água morna, também teremos a sensação de quente. Contudo, ao tirarmos a mão que estava na água quente e imediatamente a colocarmos na água à temperatura ambiente,

essa nos parecerá fria. Analogamente, se colocarmos a mão que estava na água fria na vasilha com água à temperatura ambiente, a mesma água (que nos parecia fria inicialmente), irá nos parecer quente agora. Podemos, então, nos perguntar: a água está quente ou fria? Assim, concluímos que, somente pelas sensações táteis, é impossível saber, pois a temperatura é uma medida de sensações de quente e frio em *relação a uma determinada referência*, a qual varia sensivelmente ao começarmos com a mão na água fria ou com a mão na água quente.

Voltando ao problema proposto na atividade investigativa (*Como saber que alguém está com febre?*), essa experiência permite concluir que verificar se alguém está com febre utilizando apenas o tato não é confiável, de forma que instrumentos de medida de temperatura mais acurados, como termômetros de mercúrio e sensores termopar, devem ser utilizados para isso. Entretanto, esses instrumentos só fornecem o valor correto da temperatura de um sistema ao entrarem em equilíbrio com ele, o que coincide com o fato de termos que esperar certo tempo para determinarmos se alguém em contato com um termômetro de mercúrio está com febre ou não. No caso do experimento, podemos refazê-lo posteriormente usando um termopar para determinar verdadeiramente a temperatura das águas de cada vasilha, observando que há uma variação de temperatura no termopar até que se estabeleça o equilíbrio térmico entre ele e a água, para que, por fim, possamos determinar sua temperatura.

## **Atividade 2: Colher de pau vs. Colher de metal**

Esta segunda atividade tem por objetivo verificar que nem sempre as percepções sensoriais correspondem à temperatura verdadeira de um sistema. Com ela, pretendemos reafirmar as conclusões obtidas pelo experimento da Atividade 1, mas agora dando ênfase ao fato de que, ainda que com o mesmo padrão de referência, o tato segue não sendo um bom instrumento para a medida da temperatura. As concepções não-científicas dos estudantes aqui abordadas são as mesmas da Atividade 1.

O experimento realizado a partir da pergunta que norteia essa atividade investigativa (*Qual a relação entre as temperaturas de uma colher de pau e de uma colher de metal que estão sobre uma mesa?*) é bastante simples e consiste em que se toque simultaneamente uma colher de pau e uma colher de metal. Ao fazer isso, percebemos uma sensação de “frio” na colher de metal em relação ao que sentimos

com a colher de pau, ainda que os dois objetos estejam expostos às mesmas condições no ambiente. Isso ocorre porque a condutividade térmica do metal é maior que a da madeira, o que implica uma maior transferência de energia entre nossa mão e o metal do que entre nossa mão e a madeira. Quando nossa temperatura corpórea (em torno de 36 °C) é maior do que a temperatura ambiente, perdemos energia para o metal através de calor, gerando uma diminuição de nossa temperatura no local em contato com ele e a sensação de “frio” que sentimos.

No entanto, nosso objetivo nesse ponto não é chegar a essa explicação, mas sim questionar as sensações táteis como boas medidas de temperatura. Assim, como os alunos em geral acreditam que as duas colheres estão a temperaturas diferentes devido às diferentes sensações que proporcionam, quando eles realizam a medida com um termômetro para verificar suas conclusões iniciais, é motivo de muita estranheza o fato de os termômetros indicarem o mesmo valor. Mas, ao pensarmos conjuntamente nas Atividades 1 e 2, podemos concluir que uma sensação de temperatura não é a temperatura de um corpo; é a temperatura de um corpo que é uma medida de uma sensação de quente ou frio, desde que a partir de uma mesma referência.

Uma boa forma de realizar as medidas de temperatura das colheres é com um sensor termopar, já que termômetros de mercúrio ou digitais podem ser de difícil utilização nesse caso. Vale lembrar que essa escolha e a forma como essa medida vai ser realizada (como colocar a colher em contato com o sensor e quanto tempo esperar) também são questões importantes a serem discutidas com os alunos.

### **Atividade 3: Refrigerante em lata**

Tendo como ponto de partida o conceito de temperatura construído mediante as Atividades 1 e 2, esta atividade tem como objetivo ir de encontro à seguinte concepção não-científica dos estudantes:

- “A temperatura é diretamente proporcional ao volume.”

Para tanto, o problema inicial (*O que obtemos quando misturamos 250 ml de um refrigerante a 25 °C com 350 ml do mesmo refrigerante, também a 25 °C?*) pode ser resolvido realizando-se o experimento conforme descrito na pergunta, ou, de forma mais simples, com água em condições semelhantes às descritas, ou seja, dois

recipientes com quantidades diferentes à mesma temperatura, que não precisa ser 25 °C necessariamente.

Ao medirmos as temperaturas iniciais e ao misturarmos os dois líquidos, observamos que a temperatura do volume maior é a mesma dos dois volumes menores, indicando que a temperatura é uma grandeza intensiva, pois independe da quantidade de matéria que constitui o sistema, e exprime uma intensidade, não sendo, portanto, adicionável. Já as grandezas extensivas são aquelas que dependem da quantidade de matéria que constitui o corpo e exprimem uma quantidade, sendo, assim, adicionáveis.

A questão do termômetro a ser utilizado é relevante para a discussão com os alunos, pois, em princípio, dentro da escala de temperatura do termômetro de mercúrio, tanto este como o sensor termopar poderiam ser utilizados para as medidas. A rapidez com que se estabelece o equilíbrio térmico nos dois aparelhos e a precisão de cada um deles é que podem ser determinantes para a escolha do termopar para as medidas.

É importante notar também que a discussão sobre que experimento realizar (se o mencionado no problema ou outro análogo que descreva o mesmo fenômeno) é bastante relevante para as atividades que se seguem (sobretudo as de número 3, 4, 6, 8, 9, 10, 11 e 13 sobre Calor) e para que os alunos comecem a se familiarizar com o fato de que estudamos um fenômeno físico complexo ou de difícil reprodução a partir de configurações mais simples e que descrevam a mesma situação física de interesse.

## 5.4 Construção do conceito de calor

### 5.4.1 Introdução

Algumas atividades investigativas são propostas a fim de que os alunos construam o conceito de calor como sendo *a energia que é transferida entre um sistema e seu entorno e que não pode ser associada ao trabalho*. Em todas as atividades (tanto nas experiências como no vídeo), são estudados processos de transferência de energia entre um sistema e seu entorno. Sendo  $Q_{ent}$  o calor cedido ou recebido pelo entorno e  $W_{ent}$  o trabalho realizado pelo ou sobre o entorno, a variação de sua energia interna  $\Delta U_{ent}$  é dada por:



$$\Delta U_{ent} = Q_{ent} - W_{ent} . \quad (11)$$

Analogamente, também pela 1ª Lei da Termodinâmica, a energia interna  $U_{sis}$  do sistema em estudo varia devido à interação com seu entorno:

$$\Delta U_{sis} = Q_{sis} - W_{sis} , \quad (12)$$

sendo  $Q_{sis}$  o calor cedido ou recebido pelo sistema e  $W_{sis}$  o trabalho realizado pelo ou sobre o sistema.

Como, pela conservação da energia total  $U_{tot}$  :

$$U_{tot} = U_{sis} + U_{ent} = K , \quad (13)$$

onde  $K$  é uma constante, temos que

$$\begin{aligned} \Delta U_{tot} &= \Delta U_{ent} + \Delta U_{sis} = 0 , \\ W &= W_{ent} + W_{sis} = 0 . \end{aligned} \quad (14)$$

Então, como vimos na equação (10), obtemos

$$Q_{ent} = -Q_{sis} = -(\Delta U_{sis} + W_{sis}) . \quad (15)$$

Vemos que o calor fornecido pelo entorno  $Q_{ent}$  corresponde ao calor recebido pelo sistema  $Q_{sis}$  e que este se manifesta, em um caso geral, nas formas de variação de energia interna  $\Delta U_{sis}$  e trabalho  $W_{sis}$ . Essa relação é abordada ao longo das atividades, que são agrupadas do seguinte modo:

a) Calor gerando mudança de temperatura ou de fase à temperatura constante: nesse caso, como não há variação de volume sob uma dada pressão, não há trabalho realizado pelo sistema nem sobre ele. Assim, toda a variação de sua energia interna foi devida ao calor:

$$W_{sis} = 0 , \quad Q_{ent} = -\Delta U_{sis} . \quad (16)$$

b) Calor gerando mudança de temperatura e realização de trabalho: nesse caso, uma parte do calor trocado com o entorno foi usada para a realização de trabalho pelo sistema e a outra causou a variação da sua energia interna, como no caso geral (equação (15)).

c) Calor gerando mudança de fase à temperatura constante e realização de trabalho: também aqui, como no item b), uma parte do calor trocado com o entorno foi usada para a realização de trabalho pelo sistema e a outra causou a variação da sua energia interna, como no caso geral (equação (15)).

Além disso, as atividades investigativas propostas para a construção do conceito de calor também permitem abordar os seguintes aspectos: proporcionalidade existente

entre variação de volume e variação de temperatura e suas implicações para a construção de termômetros; o fato de a temperatura durante a mudança de fase permanecer constante para uma dada pressão e de ser maior (mas igualmente constante) para um valor maior de pressão; diferença entre linguagem científica e linguagem cotidiana, entre outros.

Passamos a descrever nos três itens seguintes uma forma de trabalhar com cada uma das atividades investigativas que permite que se atinjam os objetivos de aprendizagem estabelecidos. Para tanto, utilizamos realização de experimentos, construção de gráficos, análise de dados, introdução de conceitos novos a partir de conceitos anteriormente aprendidos, contraste entre linguagem científica e cotidiana e seleção de aspectos de interesse do vídeo usado.

Como as atividades investigativas possibilitam que os alunos participem mais efetivamente e que sua criatividade seja valorizada e contemplada na resolução dos problemas, sobretudo nas atividades em que elaboram um plano de trabalho (Atividades 1, 5, 6, 8 sobre Calor), o modo como aqui conduzimos e encaminhamos as etapas de resolução das questões propostas não é único, ou seja, pode sofrer variações dependendo do contexto escolar em que as atividades forem inseridas, do tempo e material disponíveis para elas e dos grupos de alunos. Por exemplo, experimentos que realizamos tendo como fonte de calor a chama do fogão podem ser feitos com um aquecedor de chá, e vice-versa. O que mencionamos aqui é apenas um caminho que nos parece possível de ser seguido pelo docente ou que ele pode levar em conta no momento em que estiver aplicando as atividades investigativas propostas nos *Guias de orientação para o professor*.

#### **5.4.2 Calor gerando mudança de temperatura ou de fase à temperatura constante**

##### **Atividade 1: Panela com água no fogão**

Utilizando um conceito não-científico de calor, os alunos tendem a pensar, a partir dos contextos em que essa palavra é usada em seu dia a dia, que *calor* em Física está somente associado a aumento de temperatura ou a uma sensação de “quente”. Essa atividade tem como objetivo central verificar que a energia transferida para um sistema devido ao seu entorno pode gerar tanto mudança de temperatura como

mudança de fase à temperatura constante, ou seja, variação de sua energia interna. A essa energia transferida, que não podemos associar ao trabalho, denominaremos *calor*.

Pretendemos “enfrentar” com essa atividade investigativa as seguintes concepções não–científicas dos estudantes, identificadas na Seção 1.4 desta dissertação:

- “Quando a temperatura de mudança de fase permanece constante, alguma coisa está ‘errada’.”
- “Calor e temperatura são a mesma coisa.”
- “Calor é uma substância.”
- “Calor sempre resulta num aumento de temperatura.”

Na experiência dessa atividade, consequência do problema proposto (*Que efeito(s) é (são) observado(s) quando colocamos água em uma panela sobre a chama do fogão? O que provocou tal (tais) efeito(s)?*), colocamos água dentro de uma panela sobre a chama do fogão por um certo tempo. Observamos inicialmente o aumento da temperatura e posteriormente a mudança de fase (de líquido para vapor) à temperatura constante, conforme o gráfico da Figura 1.

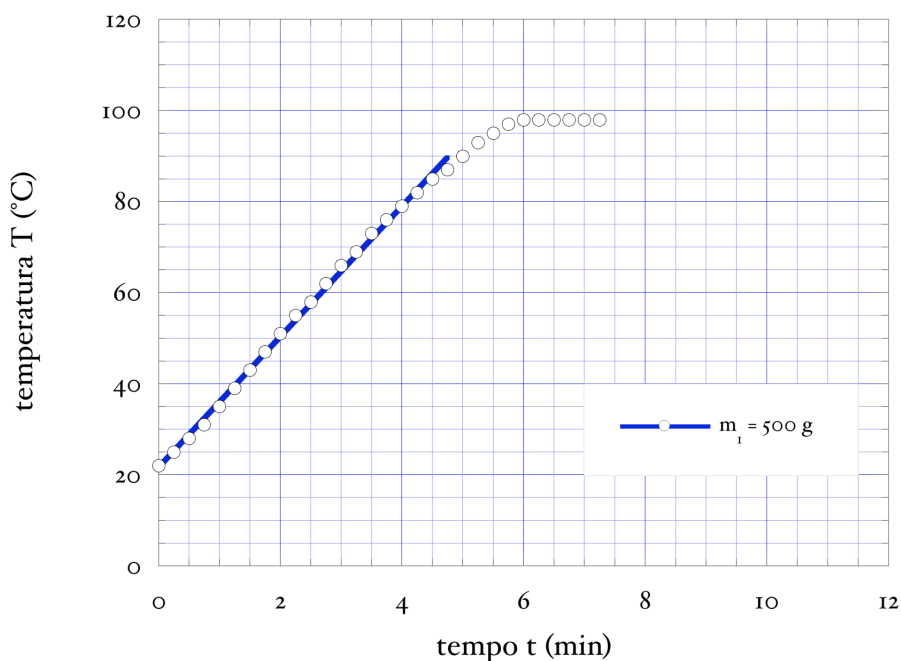


Figura 1. Gráfico de temperatura em função do tempo para a água numa panela sobre a chama do fogão ( $m_1 = 500$  g e intensidade máxima da chama). A reta representada no gráfico é somente um guia para acompanhar a evolução da temperatura, praticamente linear até o ponto de ebulição.

Esses dois efeitos aconteceram devido a alguma energia que foi transferida da chama do fogão e para a água, através da panela. A essa energia transferida, que não pode ser associada ao trabalho, denominaremos *calor*.

O fato de a temperatura se manter constante durante a mudança de fase é, em geral, algo inesperado e motivo de grande surpresa e inquietação para os alunos, pois contraria a ideia do senso comum de que calor (como conceito não-científico) sempre gera mudança de temperatura, inclusive quando há mudança de fase. É interessante observar também que, durante a vaporização, ocorre uma diminuição da massa de água no interior do recipiente, pois o vapor se difunde pelo ambiente. Se esperarmos tempo suficiente, toda a massa se evapora.

Apesar de essa ser uma experiência simples e bastante presente no cotidiano dos alunos, permite vários outros desdobramentos importantes além da observação dos efeitos do calor. Nas Atividades 2, 3 e 4 são abordados alguns deles, a fim de tentar esclarecer algumas concepções que os estudantes desenvolvem antes ou até mesmo

após a instrução formal e que se afastam do conhecimento científico atualmente aceito.

### Atividade 2: Panela com mais água no fogão

Nessa atividade, o problema proposto (*E se fizermos o mesmo experimento anterior com uma quantidade maior de água, o que acontece? Os resultados e conclusões serão os mesmos?*) permite que o experimento anterior seja repetido para um valor diferente de massa de água.

Observando o gráfico da Figura 2, construído com os dados dos experimentos das Atividades 1 ( $m_1 = 500$  g) e 2 ( $m_2 = 1000$  g), percebemos que uma alteração na massa de água a ser aquecida não influencia a temperatura de mudança de fase, que permanece constante e com o mesmo valor de antes.

Além disso, uma massa maior implica um maior tempo de aquecimento da substância (para uma dada intensidade da chama), comportamento que é contemplado na Atividade 3.

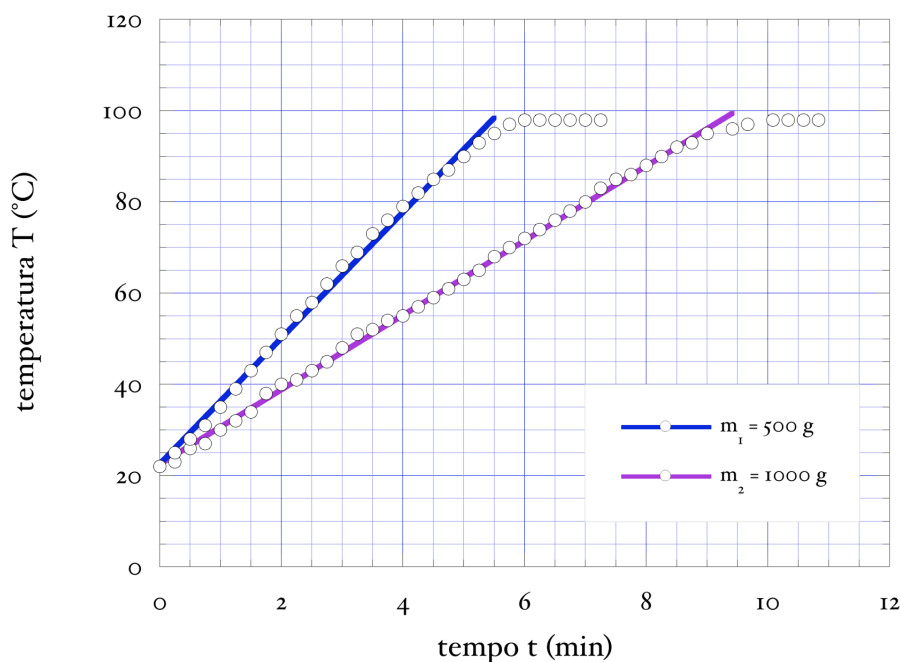


Figura 2. Gráfico de temperatura em função do tempo para duas massas diferentes de água (500 g e 1000 g) numa panela sobre a chama do fogão (intensidade máxima da chama)

### **Atividade 3: Leite que esquenta mais rápido**

Essa atividade investigativa consiste na análise dos dados obtidos nos experimentos das Atividades 1 e 2. O problema proposto (*A partir dos dados obtidos nas atividades anteriores responda: se estamos com pressa e queremos tomar um copo de leite quente pela manhã, é melhor colocar para esquentar todo o conteúdo da caixa de leite ou só a quantidade que iremos tomar? Justifique sua resposta.*) tem por objetivo chamar a atenção para o fato de que, para um mesmo intervalo de tempo e para uma mesma intensidade da fonte térmica, há mais variação de temperatura quando há menos massa de uma determinada substância.

A partir da análise das curvas do gráfico da Figura 2, é possível observar que a temperatura varia mais rapidamente para a menor quantidade de água, o que se traduz numa inclinação da reta (que pode ser ajustada aos pontos até antes do início da mudança de fase) maior no caso da massa menor. Em outras palavras, a rapidez com que a temperatura muda, para uma dada intensidade da chama, é maior para massas menores. Logo, aplicando esse modelo ao leite, um copo de leite aquece mais rapidamente que uma caixa inteira. Assim, se somente uma pessoa irá beber leite e ela tem pressa, é mais eficiente aquecer apenas o que ela irá consumir.

Se o fato de a inclinação da reta formada pelos dados da Atividade 2 ( $m_2 = 1000$  g) ser menor do que a da Atividade 1 ( $m_1 = 500$  g) (por conta do aumento da quantidade de água) já for identificado e mencionado pelos alunos durante a Atividade 2, a Atividade 3 se funde com a 2 e os dois problemas podem ser resolvidos simultaneamente.

### **Atividade 4: “Fogo forte” e panela de feijão**

As pessoas em geral pensam (corretamente) que um aumento na intensidade da chama do fogão ou da fonte de energia utilizada leva mais rapidamente ao aquecimento e à mudança de fase. Porém, a partir disso, concluem que a temperatura de mudança de fase também aumenta, o que não é verdade. Além disso, acreditam também que aumentar a intensidade da chama ou a potência do aquecedor durante a mudança de fase eleva a temperatura em que isso ocorre, o que sabemos que

tampouco acontece. Em ambas as situações, identificamos a seguinte concepção não-científica, já mencionada na Atividade 1:

- “Quando a temperatura de mudança de fase permanece constante, alguma coisa está ‘errada’.”

A ideia de que a temperatura de mudança de fase (desconsiderando mudanças de pressão devido à altitude) permanece constante, mesmo após a alteração de tantos parâmetros no sistema, é contraintuitiva para os estudantes.

Por meio do problema proposto (*Se aumentarmos a intensidade da fonte de energia para aquecer a mesma massa de água inicialmente utilizada, o que acontece? Se aumentarmos a chama do fogão quando o feijão já está fervendo, o que acontece?*), que remete à Atividade 1, podemos repetir o experimento com uma intensidade maior da chama do fogão (o que equivale a um aquecedor mais potente ou a mais de um aquecedor, por exemplo), mas com a mesma massa de água inicialmente utilizada (gráfico da Figura 3).

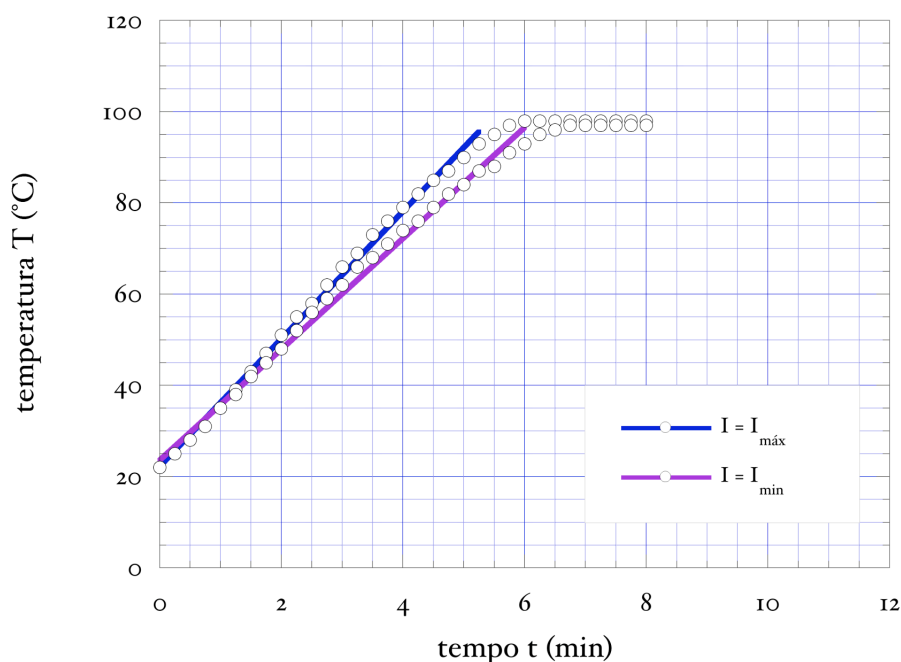


Figura 3. Gráfico de temperatura em função do tempo com duas intensidades de chama diferentes ( $m_1 = 500$  g). A chama de menor intensidade (curva de menor inclinação) foi aumentada para seu valor máximo após o início da mudança de fase (a partir de 7 min).

É possível observar que, para duas intensidades diferentes, a massa de água submetida à maior intensidade da chama realmente aquece mais rápido (maior inclinação na reta ajustada aos pontos do gráfico da Figura 3 durante o aquecimento), e começa a mudar de fase antes daquela submetida à menor intensidade da chama. No entanto, a temperatura de mudança de fase realmente permanece constante e tem o mesmo valor nas duas situações, dentro da incerteza associada às medidas.

Após o início da mudança de fase, aumentamos a chama de menor intensidade para o valor máximo e verificamos que a temperatura de mudança de fase não se altera, também dentro da incerteza associada às medidas.

Os experimentos das atividades investigativas sobre Calor mencionadas acima (de 1 a 4) foram realizados utilizando-se como fonte de energia a chama do fogão (ou poderia ser também um aquecedor de chá ou outra fonte). Esse fato é o ponto de partida para a próxima atividade investigativa proposta para a construção do conceito de calor. Por intermédio dela, objetivamos desconstruir uma concepção que parece ser bastante arraigada em nossos alunos: a de que, para produzir calor, precisamos ter fogo ou algum tipo de aquecedor explícito necessariamente.

### **Atividade 5: Copo com gelo**

Esta atividade investigativa também tem por objetivo verificar que calor pode gerar tanto mudança de fase à temperatura constante como mudança de temperatura e visa esclarecer as seguintes concepções não-científicas dos estudantes, identificadas na Seção 1.4 desta dissertação:

- “É necessária uma fonte de calor para aumentar a temperatura de um corpo.”
- “Ocorre transferência de calor quando os corpos estão encostados.”
- “Quando a temperatura de mudança de fase permanece constante, alguma coisa está ‘errada’.”
- “Calor sempre resulta num aumento de temperatura.”



O problema proposto (*Que efeitos são observados quando colocamos cubos de gelo dentro de um copo? O que provocou tais efeitos?*) nos leva à realização do experimento: deixamos cubos de gelo dentro de um copo sobre uma mesa e observamos o que acontece medindo a temperatura do gelo durante todo o processo. Analogamente ao que foi observado com o aquecimento da água, a temperatura do gelo, se estava negativa no início da experiência, aumenta até que se inicie o processo de mudança de fase. Quando isso acontece, a temperatura permanece constante até que todo o gelo derreta. Posteriormente, a temperatura da água já na fase líquida volta a aumentar, atingindo a temperatura ambiente, quando, então, não mais aumenta, pois ocorre o equilíbrio térmico com o ambiente (gráfico da Figura 4).

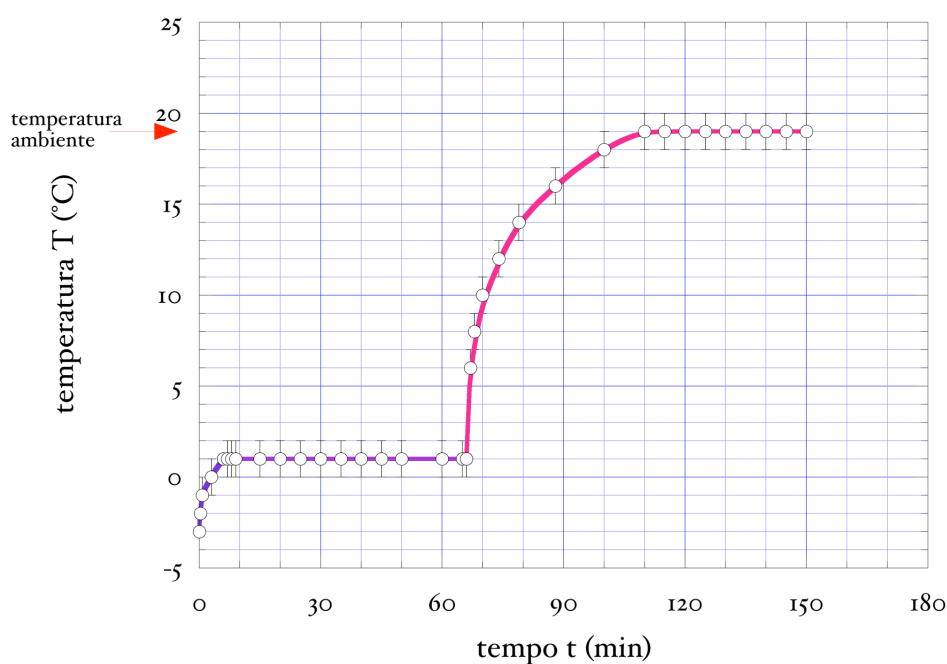


Figura 4. Gráfico de temperatura em função do tempo para dois cubos de gelo expostos à temperatura ambiente de 19 °C dentro de um copo.

Esses dois efeitos (mudança de temperatura e mudança de fase à temperatura constante) aconteceram devido a alguma energia que foi transferida do ambiente e do copo para o gelo, a qual, por analogia ao que foi feito no caso do aquecimento da água, também denominamos calor.

Vale lembrar aos alunos que essa transferência de energia (do ambiente e do copo para o gelo) aconteceu sem a presença de uma fonte térmica explícita, como o fogo ou o aquecedor. Nesse caso, o copo e o ambiente atuaram como “fonte térmica” para o gelo. É interessante notar também que, mesmo que não houvesse o copo, o gelo receberia energia somente do ambiente e os mesmos efeitos seriam observados, pois ocorre transferência de energia, na forma de calor, mesmo que não haja dois corpos rígidos encostados um no outro. O ar permeia o ambiente e estaria em “contato” com o gelo.

O experimento do derretimento do gelo, conforme podemos observar pelo gráfico da Figura 4, possui uma longa duração (em torno de 3h, para apenas dois cubos de gelo), se quisermos acompanhar todo o processo, até que se atinja o equilíbrio térmico. Como sabemos que este tempo inviabiliza a realização do experimento completo em sala de aula, sugerimos algumas alternativas para o professor:

a) solicitar aos alunos que realizem a medida conforme planejaram em sala, fora do horário de aula, em casa ou na escola, e que tragam os dados e/ou gráficos e/ou resultados para discussão em sala de aula;

b) realizar o experimento parcialmente em sala de aula, até o ponto em que o gelo começa a derreter à temperatura constante (após aproximadamente 10 min) e pedir que os alunos façam inferências, a partir das atividades anteriores, sobre o que vai acontecer com o gelo (agora transformado em água) e sua temperatura após a mudança de fase e por que e até quando isso acontece. Para verificar as hipóteses dos alunos, o professor pode fornecer-lhes um gráfico como o da Figura 4, obtido a partir da experiência realizada previamente;

c) transformar a Atividade 5 numa atividade investigativa de análise de dados de experimento, fornecendo, por exemplo, um gráfico como o da Figura 4 e propondo como problema descobrir que fenômeno(s) térmico(s) pode(m) ser descrito(s) por ele e o que provocou os efeitos observados.

### **Atividade 6: Refrigerante com gelo**

O objetivo dessa atividade investigativa é verificar que pode haver não só aumento, mas também diminuição de temperatura, devido ao calor. Por intermédio do problema (*O que acontece quando colocamos gelo a 0 °C e garrafas de refrigerante que acabamos de comprar no supermercado dentro de um isopor? O que provocou esse efeito? Para que serve o isopor?*), pretendemos dar conta de esclarecer a seguinte concepção não-científica dos estudantes:

- “Calor sempre resulta num aumento de temperatura.”

Conforme mencionamos em atividades anteriores, podemos utilizar um arranjo experimental mais simples que o indicado no problema, mas que permita que se observem os mesmos fenômenos que ocorrem na experiência da pergunta, a fim de respondê-la satisfatoriamente. Para tanto, realizamos o experimento com água e gelo dentro de um recipiente de isopor tampado (desses que se usa para conservar a temperatura de latas de refrigerante ou cerveja individualmente), introduzindo o termopar por um orifício na tampa (também de isopor).

Esse experimento envolve a medição de tempo e de temperaturas que variam, inicialmente, muito rapidamente no tempo, conforme pode ser observado no gráfico da Figura 5.

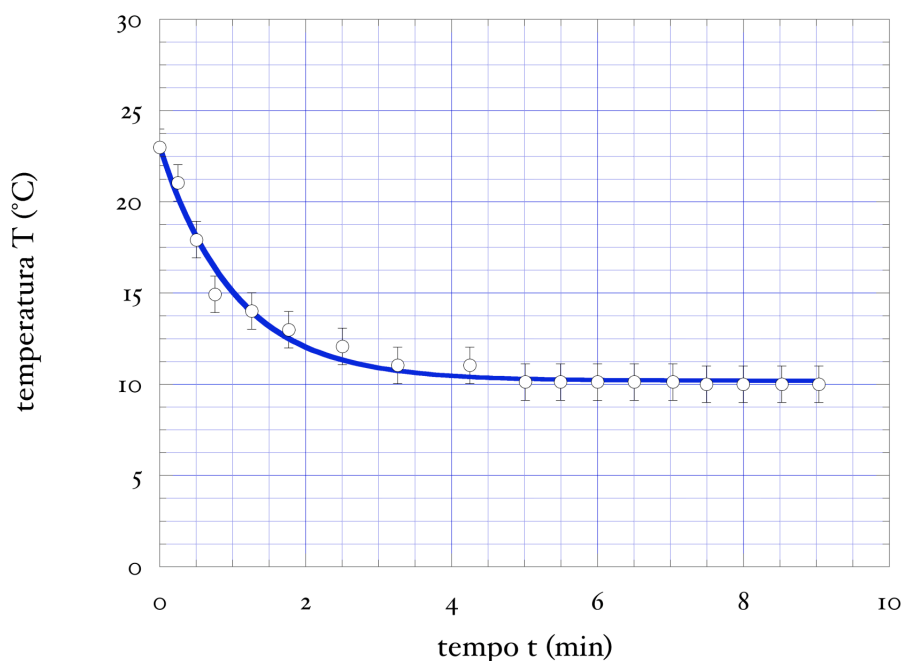


Figura 5. Gráfico de temperatura da água líquida em função do tempo em um ponto de uma mistura de gelo e água líquida num calorímetro.

Caso os alunos não tenham previsto isso em seu plano de trabalho, podem ficar confusos no momento de realizar as medidas, perdendo os valores de temperatura iniciais que a água passa a ter por não terem estabelecido um intervalo de tempo apropriado para as medidas ou por não conseguirem conciliar as medidas de tempo e temperatura com a colocação do gelo no calorímetro. Se os alunos não desenvolverem uma estratégia para resolver esse problema, o professor pode sugerir aos grupos de alunos que refaçam o experimento subdividindo-se de forma que alguns se dediquem a colocar o gelo dentro da água no calorímetro, enquanto outros, a partir desse momento, medem os valores de temperatura. Para que o experimento não tenha uma duração muito longa, sugerimos um volume inicial de água em torno de 250 ml e quatro cubos de gelo, que podem ser triturados para que derretam mais facilmente. Assim procedemos na experiência que deu origem ao gráfico da Figura 5, utilizando esse volume de água a 23 °C e os cubos de gelo triturados.

Nas condições mencionadas acima e medindo a temperatura na água, observamos que ela diminui ao mesmo tempo em que o gelo derrete, até que se

estabeleça o equilíbrio térmico. Como a temperatura final da mistura, em nosso experimento, foi de 10 °C, o gelo não só derreteu e virou água líquida, mas também teve sua temperatura aumentada até esse valor.

Nessa experiência, podemos observar que houve troca de calor entre a água e o gelo, de forma que a água cedeu calor para o gelo, pois essa energia transferida não pode ser associada ao trabalho. Como efeitos do calor, a temperatura da água diminuiu, o gelo muda de fase e posteriormente tem a sua temperatura aumentada até a temperatura de equilíbrio.

Fazendo uma analogia com a Atividade 5, é possível concluir que a temperatura ambiente próxima ao gelo também diminuiu quando ele derrete, assim como a água em volta do gelo. Percebemos, assim, que calor nem sempre resulta num aumento de temperatura.

O isopor utilizado serve para isolar a interação entre a água e o gelo (ou entre as garrafas de refrigerante e o gelo, como no problema) do ambiente externo (com o qual ambos também iriam interagir e trocar calor), a fim de manter o resfriamento da água (ou das garrafas de refrigerante) por mais tempo.

### **Atividade 7: Panela com água no fogão vs. Copo com gelo**

Essa atividade tem por objetivo sintetizar os resultados das atividades anteriores e estabelecer relações entre eles para a construção do conceito de calor e seus efeitos nos sistemas físicos. A partir do problema proposto (*Que efeitos do calor são observados nos experimentos da panela com água e do copo com gelo? Existe alguma relação entre o que acontece no experimento do copo com gelo e nas atividades anteriores com a panela com água no fogão?*), é possível concluir que nas duas situações o calor serviu tanto para variar a temperatura como para mudar de fase à temperatura constante. Além disso, é importante lembrar que o calor não existe apenas devido à presença de uma fonte térmica, como o fogo ou o aquecedor. Logo, os dois experimentos estão relacionados.

### 5.4.3 Calor gerando mudança de temperatura e trabalho

#### Atividade 8: Tanque cheio de gasolina ao sol

Essa atividade tem como objetivo verificar que o aumento de temperatura pode gerar aumento de volume. Ela é o primeiro passo para a introdução do conceito de trabalho termodinâmico a partir de sua definição mecânica.

O problema proposto (*Uma pessoa encheu completamente o tanque de gasolina de seu carro e deixou-o estacionado ao sol. Após algum tempo, quando voltou para buscá-lo, observou que certa quantidade de gasolina havia entornado. O que aconteceu com a gasolina dentro do tanque para que o vazamento ocorresse? Por que isso aconteceu?*) é bastante relacionado ao cotidiano dos alunos, ainda que não seja possível reproduzir uma situação igual à do problema para que possam ser feitas medidas em sala de aula. Assim, mais uma vez ganha relevância a questão de como realizar um experimento que permita observar os mesmos fenômenos mencionados na situação real do problema, a fim de resolvê-lo. Em nosso caso, sugerimos a utilização do aparato experimental proposto inicialmente por nós em Maximo Pereira (2006) e Maximo Pereira e Soares (2009), o qual reproduz as condições do problema proposto em menor escala e é descrito como se segue:

Enchemos com água um vidro de perfume vazio (cuja dilatação própria é desprezível em relação ao líquido), interligando verticalmente a sua tampa a um tubo mais fino (no caso, uma seringa de injeção). Esse conjunto é colocado dentro de um béquer com água, de modo a ficar, em grande parte, submerso. Colocamos um aquecedor de chá (do tipo “mergulhão”) dentro do béquer (Figura 6).



Figura 6. Foto do arranjo experimental, proposto originalmente em Maximo Pereira (2006) e Maximo Pereira e Soares (2009), que pode ser usado nas Atividades 8, 9, 10 e 11 sobre Calor.

Ao elevar-se a temperatura da água do béquer com o auxílio do aquecedor, ela se dilata nos dois recipientes, mas um pequeno acréscimo no seu volume eleva sensivelmente a altura do líquido na seringa do frasco de vidro. Foram medidos a temperatura inicial  $T_0$ , o volume inicial  $V_0$ , as variações de volume  $\Delta V$  e as temperaturas  $T$  ao longo do aquecimento.

Considerando esse arranjo simples, podemos identificar as seguintes analogias com o problema proposto:

- Vidro de perfume com tubo da seringa → tanque de gasolina do carro com tubo de injeção de combustível.
- Água dentro do béquer → ambiente externo ao tanque.
- Aquecedor de chá → Sol.

Realizando o experimento, observamos que a energia transferida do aquecedor para a água gerou na água dentro do vidro aumento de temperatura e aumento de volume (que pode ser medido através da seringa graduada), de modo que, quanto maior a variação de temperatura, maior a variação de volume (gráficos da Figura 7 e da Figura 8).

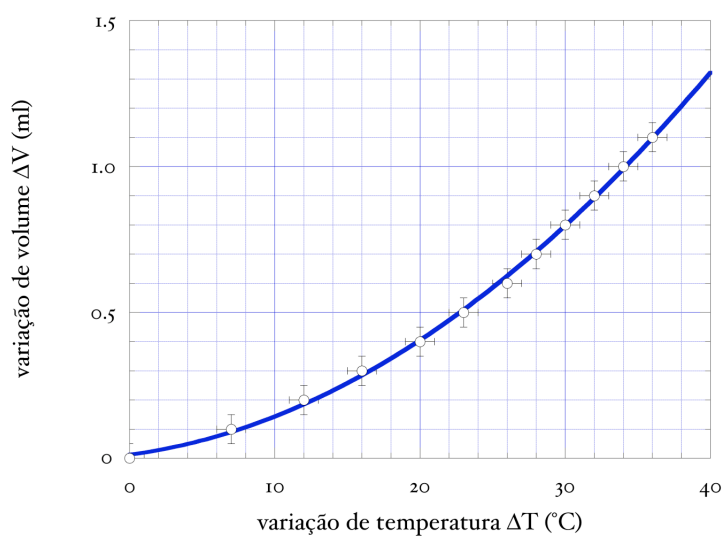


Figura 7. Gráfico de variação de volume em função de variação de temperatura para a água ( $V_0 = 122$  ml). A linha representa apenas um guia para mostrar o comportamento não-linear da dilatação.

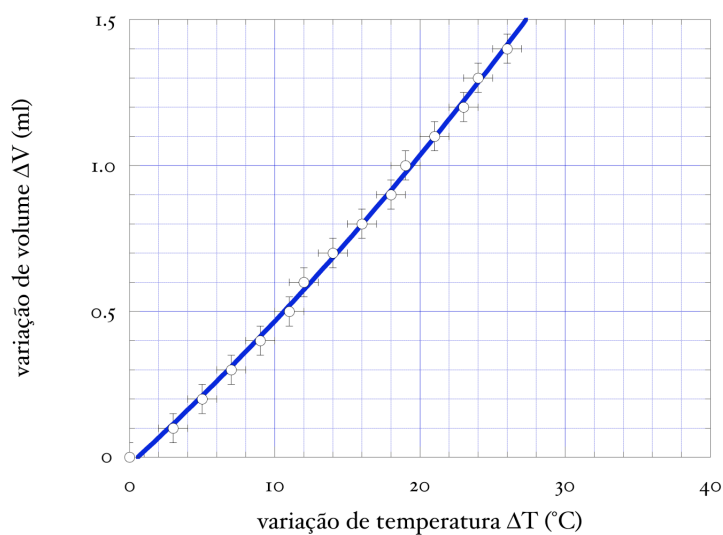


Figura 8. Gráfico de variação de volume em função de variação de temperatura para a água ( $V_0 = 245$  ml). A linha representa apenas um guia para mostrar o comportamento não-linear da dilatação.



Realizamos os experimentos com dois valores de volume inicial (122 ml e 245 ml), mas, em sala de aula, devido ao tempo de que dispomos, sugerimos fazer medidas com apenas um valor de volume inicial.

### **Atividade 9: Tanque cheio de gasolina ao sol por pouco tempo**

Essa atividade é uma continuação da Atividade 8, tendo como objetivo verificar que, para pequenos intervalos de variação de temperatura da água (até em torno de 10 °C) e suas respectivas variações de volume, as variações de volume são diretamente proporcionais às de temperatura. Para tanto, parte-se da seguinte situação: *Suponha que o carro do problema anterior foi deixado ao sol por pouco tempo, de modo que a variação de temperatura da gasolina foi pequena. Que tipo de relação existe entre variações de volume e de temperatura para pequenos intervalos de variação de temperatura? Considere que, para a água, esses pequenos intervalos vão até em torno de 10 °C.*

Para resolver esse problema, podemos analisar os gráficos obtidos na Atividade 8 e verificar que, para intervalos de variação de temperatura pequenos (até em torno de 10 °C para a água), existe um comportamento linear entre as variações de volume e as de temperatura, de forma que elas são diretamente proporcionais. Ao reconstruir os dois gráficos acima no mesmo sistema de eixos (gráfico da Figura 9) e tentar ajustar uma reta, passando pela origem, a cada conjunto de pontos, vemos que isso só é possível, dentro da incerteza associada às medidas, para valores até em torno de 10 °C para a variação de temperatura. Após esse intervalo, observamos que os pontos se afastam das retas traçadas originalmente (gráfico da Figura 9).

Essa análise pode ser estendida a qualquer outro líquido, de forma que, para pequenos intervalos de variação de temperatura, variações de volume são diretamente proporcionais a eles, ainda que a definição do que seja um “pequeno” intervalo varie de líquido para líquido.

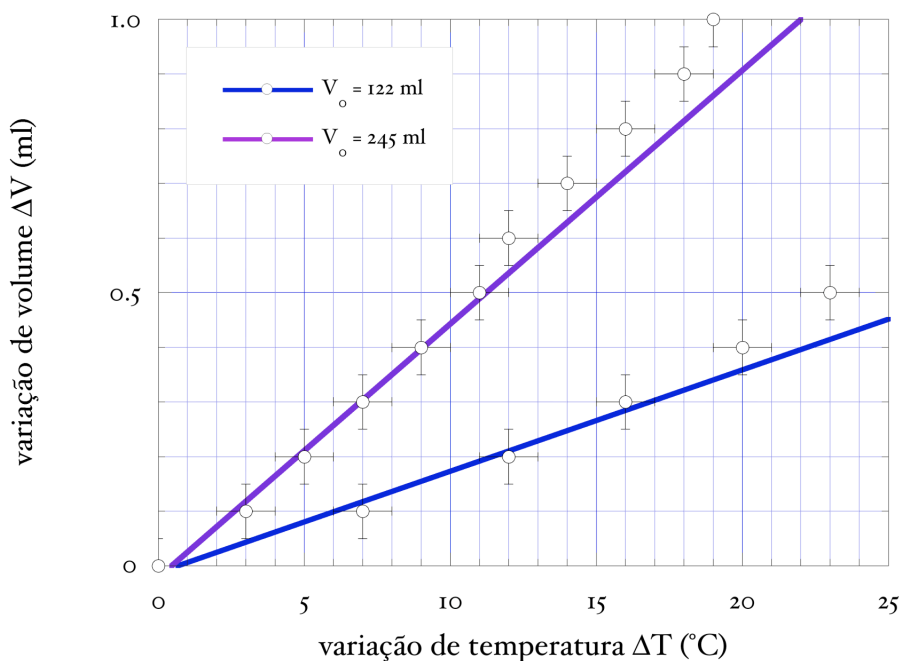


Figura 9. Gráficos de variação de volume em função da variação de temperatura ( $V_{o1} = 122$  ml e  $V_{o2} = 245$  ml), com ajuste linear até em torno de 10 °C de variação de temperatura.

### Atividade 10: Tanque cheio de gasolina ao sol: efeitos e suas causas

Pretendemos nessa atividade introduzir a noção de trabalho termodinâmico a partir do conceito de trabalho mecânico e definir calor como *a energia que é transferida entre um sistema e seu entorno e que não pode ser associada ao trabalho*. Nesse ponto, a intervenção do professor será mais efetiva do que nas atividades anteriores, visto que queremos introduzir um novo conceito, que já aparece na definição de calor, mas, agora, do ponto de vista termodinâmico.

A partir dos resultados das Atividades 8 e 9 e da noção de trabalho mecânico vista pelos alunos previamente, o problema proposto (*Que efeitos são observados quando o carro com o tanque cheio de gasolina é colocado ao sol? O que provocou tais efeitos?*) permite que sejam retomadas as observações sobre o que aconteceu no experimento realizado na Atividade 8 e que se perceba que, de alguma forma, a água

foi “empurrada” para cima dentro do tubo da seringa. Para estudar esse fenômeno, podemos empregar a definição do trabalho mecânico  $W$ , dada por:

$$W = F.\Delta h, \quad (17)$$

onde  $F$  é a resultante das forças externas que atuam no sistema considerado na direção e no sentido do deslocamento e  $\Delta h$  é o deslocamento produzido. Nesse ponto, o professor pode retomar o conceito de pressão  $p$  visto pelos alunos na Hidrostática:

$$p = \frac{F}{A}, \quad (18)$$

onde  $A$  é a área do tubo da seringa, já que a água ocupa todo o volume dele.

Os alunos, com o auxílio do professor, podem associar as duas relações para que se obtenha a definição de trabalho termodinâmico em termos de grandezas macroscópicas:

$$F = p.A \quad (19)$$

Logo:

$$W = p.A.\Delta h, \quad (20)$$

ou ainda

$$W = p.\Delta V, \quad (21)$$

onde  $\Delta V = A.\Delta h$  é a variação de volume sofrida pela água e medida pela graduação da seringa.

Assim, podemos concluir que, no experimento com o tubo da seringa, a energia interna da água  $\Delta U_{sis}$  variou não somente devido ao trabalho  $W_{sis}$  realizado por ela, mas também a uma outra parcela de energia transferida para a água, a qual denominamos *calor*  $Q_{sis}$ . Como o calor recebido pela água  $Q_{sis}$  é igual ao calor cedido pelo entorno  $Q_{ent}$ , podemos observar, conforme mencionamos na *Introdução* da Seção 5.4, que:

$$\Delta U_{sis} = Q_{sis} - W_{sis} \quad (22)$$

e

$$Q_{ent} = -Q_{sis}. \quad (23)$$

Então:

$$Q_{ent} = -(\Delta U_{sis} + W_{sis}). \quad (24)$$

Analogamente, o que provoca o aumento de temperatura da gasolina e o trabalho realizado por ela em sua expansão é a energia transferida do Sol para o tanque e deste para a gasolina, ou seja, o calor, cuja transferência, nesse caso, ocorre por radiação.

### **Atividade 11: Termômetro vs. Experimento do tanque de gasolina**

Como uma extensão de nossos objetivos com a realização do experimento mencionado na Atividade 8, propomos essa última atividade, que consiste numa reflexão sobre como podemos construir instrumentos de medida de temperatura a partir de propriedades térmicas de líquidos. Queremos que os alunos percebam que o experimento realizado para modelar o transbordamento do tanque de gasolina é análogo a um termômetro de mercúrio, pois relaciona dilatação com temperatura.

A pergunta da qual partimos (*Existe alguma semelhança entre o experimento realizado para modelar o transbordamento do tanque de gasolina e um termômetro de mercúrio? Justifique sua resposta.*) pretende que os alunos cheguem à conclusão de que os dois processos são idênticos, ou seja, que tanto o termômetro como o arranjo experimental proposto na Atividade 8 foram construídos de forma que uma variação de temperatura provoque uma variação apreciável de volume, a qual pode ser calibrada para indicar temperatura. Em outras palavras, assim como o mercúrio dentro do tubo fino do termômetro se dilata em contato com o nosso corpo, o que retoma a Atividade 1 (*Está com febre?*), e indica nossa temperatura corpórea, também a dilatação da água dentro do tubo da seringa poderia nos indicar a temperatura da água dentro do vidro de perfume ou do béquer, desde que estabelecêssemos uma escala para isso e que selássemos o tubo da seringa, para que não se perdesse água por evaporação.

#### **5.4.4 Calor gerando mudança de fase à temperatura constante e trabalho**

##### **Introdução**

Duas atividades investigativas são propostas tendo como objetivo geral que os alunos retomem o conceito de calor citado anteriormente nesta dissertação e identifiquem que ele pode gerar mudança de fase à temperatura constante e realização

de trabalho. Em ambas as atividades, os problemas mencionam a utilização da panela de pressão. Assim, teoricamente, deveríamos ter que cozinhar algo (ou simplesmente colocar água para ser aquecida) em uma panela de pressão, observando o que acontece e tentando explicar por que isso ocorre ou o que gerou tais efeitos. Contudo, sabemos que a utilização da panela de pressão deve ser bem cuidadosa, pois seu mau uso pode provocar acidentes. E como, em geral, trabalhamos com turmas de, no mínimo, 30 alunos, realizar esse experimento em sala de aula, mesmo que apenas qualitativamente, é bastante difícil do ponto de vista de sua implementação e dos cuidados que se deve ter ao manusear uma panela de pressão.

Desse modo, houve a necessidade de desenvolver uma estratégia que permitisse que as duas atividades fossem sugeridas neste trabalho sem a realização do experimento pelos alunos em sala de aula. O recurso encontrado por nós foi transformar essas atividades, que seriam inicialmente experimentais, em atividades baseadas na exibição de um fragmento de programa de TV, o qual não somente contextualiza o uso da panela de pressão e aproxima a temática do cotidiano dos alunos, mas também exibe interessantes experimentos realizados por professores de Física da Universidade de São Paulo (USP), e que serão abordados nos problemas propostos.

O vídeo utilizado é um quadro do telejornal SPTV – 1ª edição, da Rede Globo de Televisão, chamado *Cozinha Popular*, que atualmente faz parte da programação do telejornal às terças e quintas-feiras. De acordo com a informação dos próprios apresentadores do SPTV – 1ª edição (primeiros 25 s do vídeo), às quintas-feiras, uma repórter indica as melhores opções de alimentos nas feiras e ensina uma receita e, às terças-feiras, dá dicas de como melhorar o dia a dia na cozinha. O quadro *Cozinha Popular* (Figura 10 e Figura 11) que vamos utilizar nessa atividade investigativa e na seguinte foi exibido em 10 de março de 2009 (terça-feira) e obtido em <http://www.youtube.com/watch?v=kzWekDe4slo> .



Figura 10. Vinheta do quadro *Cozinha Popular*, do SPTV (Rede Globo).



Figura 11. Apresentadores do SPTV iniciando o quadro *Cozinha Popular*.

O vídeo escolhido é bastante rico em conteúdo e informação, de modo que outros temas de interesse, além dos relativos especificamente à resolução dos problemas das atividades, também podem ser abordados pelo professor em sala de aula durante sua exibição. Em especial, damos atenção também à questão do contraste ‘linguagem cotidiana vs. linguagem científica’, solicitando aos alunos que, a partir do que já sabem, identifiquem, sobretudo nas falas da repórter e de uma das participantes

da reportagem (a "culinarista"), o uso de vocabulário cotidiano, e o reconstruam em termos dos conceitos da Física.

Essa última utilização do vídeo está de acordo com o que afirma Moran (1995):

*Um dos campos mais interessantes de utilização do vídeo para compreender a televisão na sala de aula é o da análise da informação, para ajudar professores e alunos a perceber melhor as possibilidades e limites da televisão e do jornal como meio informativo.*

### **Atividade 12: Cozinhando feijão na panela de pressão**

O objetivo dessa atividade é introduzir a noção de que, quanto maior a pressão, maior a temperatura de ebulição da água e, por isso, a panela de pressão cozinha mais rapidamente os alimentos que uma panela comum. Para tanto, propomos um problema (*Em qual recipiente cozinhamos feijão mais rapidamente: em uma panela comum ou na panela de pressão? Por que isso acontece?*), que é resolvido com o auxílio do vídeo.

Passemos agora a descrever o conteúdo do programa de TV, chamando especial atenção para os aspectos que consideramos mais relevantes para a aprendizagem de Física e de ciência em geral e para a resolução do problema dessa atividade.

Após a descrição inicial do quadro *Cozinha Popular* pelos apresentadores do telejornal, eles introduzem o assunto do dia (o uso da panela de pressão na cozinha) e passam a palavra à repórter encarregada da matéria (Figura 12), que, nesse momento, dá um panorama do conteúdo da reportagem (no vídeo, do instante 39 s ao 1 min 6 s) e responde à primeira pergunta do problema, informando diretamente que a panela de pressão cozinha os alimentos três vezes mais rápido que as comuns (Figura 13).



Figura 12. Repórter conversando com os apresentadores ao iniciar o quadro *Cozinha Popular*.



Figura 13. Repórter começando a falar sobre a panela de pressão.

Em seguida, a repórter informa que uma culinária irá preparar feijão na panela de pressão, dando sugestões de como utilizá-la. A culinária diz a quantidade de água indicada para colocar na panela, e a repórter menciona que se pode também fazer doce de leite enquanto se cozinha o feijão, explicando como isso pode ser feito (Figura 14). Ao ser perguntada se o alumínio da lata de leite condensado colocada dentro da



panela não prejudica o sabor do feijão (entre os instantes 1 min 47 s e 1 min 56 s do vídeo), a culinária responde que não, mas não justifica muito bem a sua resposta, falando apenas que a lata “não solta um produto que *não* tem toxina”, querendo dizer, pensamos nós, que nenhum produto tóxico é liberado para o feijão devido ao aquecimento da lata.



Figura 14. Lata de leite condensado sendo colocada junto com o feijão dentro da panela de pressão.

No discurso da culinária, podemos identificar duas questões de interesse, que podem ser trabalhadas com os alunos: a ausência de argumentação científica que justifique o fato de a lata de leite condensado não influenciar o sabor nem a composição do feijão e a utilização de vocabulário não-científico, como no caso da palavra *toxina*.

No primeiro caso, a culinária não esclarece por que nenhum produto tóxico é liberado para o feijão devido ao aquecimento da lata. Pode até ser sugerido aos alunos que pesquisem em casa sobre o fato de a lata influenciar (ou não) a composição do feijão de alguma forma. No segundo, utiliza o termo *toxina*, bastante relacionado à biologia, à química e à medicina, entre outras áreas, em um contexto cotidiano, como um sinônimo de *substância prejudicial à saúde*. A diferenciação entre linguagem científica e cotidiana está clara na citação da enciclopédia *wikipédia* (disponível em <http://pt.wikipedia.org/wiki/Toxina>) para o termo *toxina*:

Uma **toxina**, num contexto científico, é uma substância de origem biológica que provoca danos à saúde de um ser vivo ao entrar em contacto ou através de absorção, tipicamente por interacção com macromoléculas biológicas, tais como enzimas e receptores.

O termo obteve um uso mais alargado, erroneamente, no contexto de medicina complementar e charlatanice, em que se refere a substâncias prejudiciais genéricas (por vezes de composição química não provada ou não especificada) que prejudicam a saúde.

A seguir, com a panela no fogo e seu pino começando a girar, a repórter afirma que “a panela está cheia de pressão”, o que, na linguagem da Física, corresponderia a “a pressão está alta no interior da panela”.

Nesse ponto, para entender melhor como funciona a panela de pressão, a repórter vai até o laboratório didático de Física da USP (Figura 15), e um professor de Física realiza o experimento que poderíamos ter realizado com a panela de pressão para resolver o problema proposto.



Figura 15. Professor de Física da USP organizando o aparato que será utilizado no experimento com a panela de pressão.

Observamos na Figura 15 a preparação do experimento. O professor coloca água em uma panela de pressão sobre a chama do fogão e verifica a temperatura

dentro da panela e sua pressão interna, com o auxílio, respectivamente, de um termômetro e de um manômetro (Figura 16 e Figura 17), previamente conectados à panela de pressão (entre os instantes 1 min 59 s e 2 min 18 s do vídeo).



Figura 16. Termômetro e manômetro conectados à panela de pressão.



Figura 17. Aparato experimental pronto para começar a funcionar.

Conforme passa o tempo, verifica-se que a temperatura e a pressão aumentam até o momento em que a água começa a mudar de fase (Figura 18), ou seja, quando passa a sair vapor pelo pino sobre a válvula (entre os instantes 2 min 18 s e 2 min 24 s do vídeo). A repórter pergunta à culinária se “tem que abaixar o fogo depois que pega pressão”. Aqui mais uma vez aparece a questão da linguagem, já que a expressão “pegar pressão” deve fazer referencia ao fato de *sair vapor pela válvula de segurança* devido à mudança de fase, pois a pressão interna é maior que a externa.



Figura 18. Vapor saindo pela válvula de segurança da panela de pressão devido à vaporização da água.

A culinária responde que abaixa o fogo porque teria “excesso de pressão no fogo alto” e, como já tem a pressão suficiente, economiza gás, e o alimento cozinha normalmente (esse diálogo ocorre entre os instantes 2 min 24 s e 2 min e 34 s). Novamente verificamos uma resposta cientificamente correta da culinária, mas sem a sua justificativa física.

Podemos, então, solicitar aos alunos que retomem os resultados da Atividade 4 para justificar o fato de poder diminuir a intensidade da chama (“abaixar o fogo”) após início da mudança de fase, como informou a culinária. Nessa atividade anterior, concluímos que a temperatura de mudança de fase é constante para uma dada pressão, e que esse valor de temperatura para a passagem da água de líquido a vapor,

dentro da incerteza associada às medidas, não se altera, mesmo que se aumente a intensidade da chama após o início desse processo.

Quando a reportagem volta a exibir o experimento, observamos que, durante a mudança de fase, a temperatura (como já se esperava) e a pressão dentro da panela se mantêm constantes, não mais aumentam (entre os instantes 2 min 35 s e 2 min 49 s). Porém, é possível observar, aproximadamente, os seguintes valores de temperatura e pressão registrados nos medidores na panela: 116,6 °C e 1,6 atm, respectivamente (Figura 19, Figura 20 e Figura 21).

Observamos, então, que os valores de temperatura e pressão registrados são maiores do que aqueles normalmente observados em panelas comuns. O professor pode aproveitar essa oportunidade e promover uma discussão entre os alunos para que percebam que, quanto maior a pressão sobre a água, maior a sua temperatura de ebulição. Por essa razão, a panela de pressão cozinha mais rapidamente os alimentos, já que a água ali se mantém na fase líquida a temperaturas mais elevadas do que em uma panela usual.



Figura 19. Indicações de temperatura e pressão no interior da panela de pressão durante a mudança de fase.

Cozinha Popular - Como usar corretamente a panela de pressão



Figura 20. Temperatura indicada pelo termômetro no interior da panela durante a vaporização.

Cozinha Popular - Como usar corretamente a panela de pressão



Figura 21. Pressão indicada pelo manômetro no interior da panela durante a vaporização.

### Atividade 13: Observando a panela de pressão

O objetivo dessa atividade é verificar que o calor pode gerar num sistema tanto trabalho como mudança de fase à temperatura constante e retomar o conceito de calor mencionado anteriormente neste texto. Para tanto, propomos o seguinte problema: *Que efeito(s) é (são) observado(s) quando colocamos água em uma panela de pressão sobre a chama do fogão? O que provocou tal (tais) efeito(s)?*

Nesse momento, damos continuidade à exibição do vídeo (a partir do instante 2 min 49 s) e, como ele é bastante rico em assuntos de interesse, abordamos alguns outros conteúdos físicos mencionados nele, além daqueles relacionados ao tema do problema proposto.

Na sequência do vídeo, a repórter afirma que devemos resfriar a panela de pressão (Figura 22) antes de abri-la (“para tirar a pressão, precisa esfriar a panela”). Fisicamente, “tirar a pressão” significa *diminuir a pressão dentro da panela*. Ela também pede cuidado ao se retirar a lata de doce de leite, pois “ela também tem pressão dentro”, ou seja, *a pressão também é alta no interior da lata*. Essas informações são dadas entre os instantes 2 min 49 s e 3 min do vídeo.



Figura 22. Culinarista resfriando a panela de pressão antes de abri-la.

Outro aspecto interessante explicitado a seguir pela culinarista, além dos exemplos de linguagem não-científica mencionados acima, aparece entre os instantes

3 min 2 s e 3 min 13 s. A culinária diz (sobre a lata de doce de leite retirada da panela de pressão) que “as pessoas às vezes põem dentro do freezer e acham que a parte de fora está gelada e abrem, é muito perigoso, pode espirrar e [dar] queimadura séria”.

Aqui notamos claramente a questão de que o tato não é um termômetro eficiente, pois, ainda que nossa sensação seja de que a lata já está fria (já que o metal é um bom condutor térmico), o seu conteúdo pode não estar e, por isso, pode ocorrer de o conteúdo da lata estar à alta temperatura e provocar acidentes. Essas questões já foram mencionadas nas Atividades 1 e 2 sobre Temperatura e podem ser retomadas pedindo-se aos alunos que justifiquem fisicamente, utilizando os resultados das atividades anteriores, a fala da culinária, que retira e abre corretamente a lata (Figura 23).



Figura 23. Culinária abrindo a lata (já de doce de leite) após esperar seu resfriamento, a fim de evitar acidentes.

O vídeo, a partir desse ponto, pode ser utilizado para tentar dar conta de resolver o problema dessa Atividade, pois, a partir do instante 3 min 13 s, a reportagem se detém mais especificamente no funcionamento da panela de pressão. Esperamos que os alunos já tenham percebido que ocorre primeiramente um aumento da temperatura da água dentro da panela e que, em seguida, quando começa a mudança de fase de líquido a vapor, a temperatura não mais aumenta, ficando constante, conforme foi



possível observar pela Atividade 12. Isto é, o calor gerou mudança de temperatura e mudança de fase à temperatura constante, como nas Atividades de 1 a 6 sobre Calor.

Contudo, no momento em que está ocorrendo mudança de fase à temperatura constante, observamos também a saída de vapor pelo pino da panela, que ocorre através do levantamento do pino pelo vapor à alta pressão dentro da panela, que quer se expandir. Em outras palavras, o vapor realiza trabalho para sair, já que a força que faz na superfície da tampa gera o deslocamento do pino para cima. Assim, o calor proveniente da chama  $Q_{ent}$  serviu agora tanto para mudar a água de fase à temperatura constante como para realizar trabalho, o que responde à pergunta do problema. Em outras palavras, uma parcela do calor  $Q_{sis}$  recebido pela água é associada ao trabalho  $W_{sis}$  e a outra corresponde à variação da energia interna da água  $\Delta U_{sis}$ . Conforme visto na *Introdução* desta Seção 5.4:

$$\Delta U_{sis} = Q_{sis} - W_{sis} , \quad (25)$$

e

$$Q_{ent} = -Q_{sis} . \quad (26)$$

Então:

$$Q_{ent} = -(\Delta U_{sis} + W_{sis}) . \quad (27)$$

A partir do instante 3 min 13 s do vídeo, a repórter começa a falar sobre a questão da segurança no uso da panela de pressão e menciona o entupimento do pino ou da válvula de segurança, ou seja, a não realização de trabalho pelo gás, que é simulada no experimento pelo professor de Física da USP quando ele segura o pino da panela, impedindo-o de levantar. Nesse momento (Figura 24 e Figura 25), deixa de ocorrer realização de trabalho pelo gás. Assim, a pressão interna aumenta muito, já que passa a aproximadamente 2,1 atm (Figura 26), e a temperatura também, ficando em torno de 117,5 °C (Figura 27). Desse modo, pode haver risco de estourar a tampa ou mesmo de explosão, como afirma o professor da USP (até o instante 3 min 33 s).



Figura 24. Professor da USP impedindo a realização de trabalho pelo gás ao apertar o pino para baixo e não deixar o vapor sair (pressão de aproximadamente 1,7 atm).



Figura 25. Temperatura no interior da panela de pressão com o pino pressionado para baixo durante a vaporização.

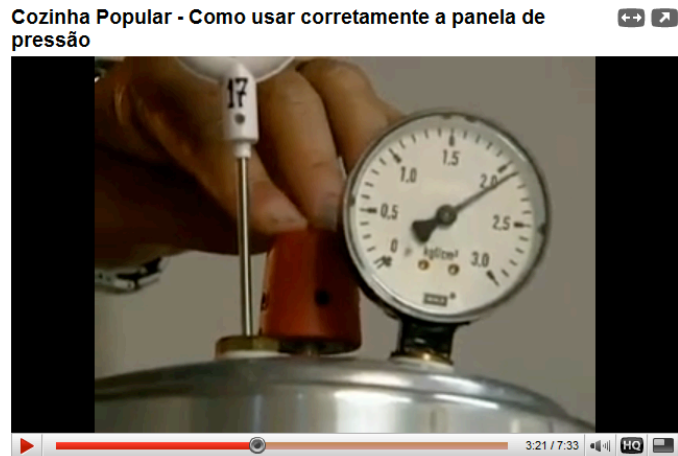


Figura 26. Pressão no interior da panela de pressão com o pino pressionado para baixo durante a vaporização (aumento de pressão para aproximadamente 2,1 atm).



Figura 27. Temperatura no interior da panela de pressão com o pino pressionado para baixo durante a vaporização (aumento de temperatura para 117,5 °C).

Entre os instantes 3 min 33 s e 4 min 26 s do vídeo, a reportagem volta a focar a questão do uso da panela de pressão na culinária (modo de fazer feijão e de temperá-lo posteriormente, após seu cozimento na panela, e receita de macarrão e de preparação de carne de segunda). A culinária confirma a rapidez no cozimento como

a maior vantagem da panela de pressão (Figura 28), e a repórter mais uma vez faz uso da linguagem cotidiana para dizer que o macarrão “fica pronto em 5 min, depois que começa a sair a pressão”, ou seja, *depois que começa a sair vapor de água porque a pressão interna é maior do que a externa, diminuindo a pressão interna*.



Figura 28. Culinarista comentando sobre a rapidez de cozimento dos alimentos com a panela de pressão.

A partir do instante 4 min 26 s, a reportagem retorna ao laboratório da USP, onde o professor realiza dois experimentos que simulam o que acontece na panela de pressão, a fim de que se possam perceber os efeitos que o mau uso da panela de pressão pode provocar (Figura 29).

No primeiro deles, um pequeno balão de vidro com água é aquecido, de forma que, quando a água entra em ebulição, o vapor que é liberado por um pequeno tubo na extremidade superior do balão faz girar um disco disposto horizontalmente e preso pelo eixo (Figura 30), ou seja, acontece mudança de fase à temperatura constante e trabalho, como na panela de pressão funcionando normalmente. A repórter diz que o vapor que sai do balão “é energia”. Fisicamente, o vapor *tem energia*, que é transformada em energia mecânica para girar o disco.



Figura 29. Professor da USP preparando os experimentos que são realizados para o estudo da panela de pressão.



Figura 30. Vapor sendo liberado durante a mudança de fase e realizando trabalho, como na panela de pressão funcionando normalmente.

No segundo experimento, feito dentro de um recipiente aberto apenas na parte superior (caixa de acrílico), a água no pequeno balão é aquecida sem que o vapor possa escapar (Figura 31).



Figura 31. Água sendo aquecida no interior de um pequeno balão completamente fechado, como numa panela de pressão funcionando de forma inadequada.



Figura 32. Água líquida à alta temperatura dentro do recipiente, pois, como a pressão é grande no interior do balão, a temperatura de mudança de fase aumenta muito.

Nesse caso, não se observa no vídeo a formação de bolhas, ou seja, a mudança de fase não ocorre tão rapidamente como no recipiente aberto, já que a pressão no balão fechado é maior do que no aberto, o que aumenta a temperatura de ebulição da

água (Figura 32). Mas como o vapor quer realizar trabalho, ou seja, se expandir (aumentar de volume), após certo tempo observamos no vídeo que o pequeno balão com água explode, quebrando o acrílico da caixa de vidro onde estava o balão (Figura 33 e Figura 34).



Figura 33. Caixa de acrílico quebrada pela explosão do balão.



Figura 34. Aparato experimental destruído por conta da explosão do balão.

O físico chama a atenção para o fato de que uma pequena quantidade de água no balão provocou uma grande destruição e que, se essa explosão acontecesse com a panela de pressão, devido ao entupimento do pino, a força seria equivalente ao peso de um objeto de 500 kg na Terra! (Figura 35)



Figura 35. Professor da USP explicando os efeitos da explosão de uma panela de pressão.

Nesse ponto, podemos perguntar aos alunos se essa estimativa está correta. A partir da informação fornecida pelo professor para o raio aproximado da tampa de uma panela ( $r = 10 \text{ cm}$ ) e lembrando-se do valor médio da pressão  $p$  no interior da panela de pressão quando a válvula foi impedida de subir (2 atm), os grupos de alunos podem calcular a força  $F$  com a qual a tampa seria empurrada, retomando a relação entre força, pressão e área vista pelos alunos na Hidrostática e mencionada na Atividade 10 sobre Calor:

$$\frac{F}{A} = p, \quad (28)$$

sendo  $A = \pi r^2$  a área da tampa da panela:

$$\begin{aligned} A &= (3,14)(10^2 \text{ cm}^2) \\ &= (3,14) \left( 10^2 \text{ cm}^2 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{cm}^2} \right), \\ &= 3,14 \times 10^{-2} \text{ m}^2 \end{aligned} \quad (29)$$



Deve ser informado também que 1 atm corresponde a aproximadamente  $10^5 \text{ N} / \text{m}^2$ . Assim, temos que:

$$\frac{F}{3,14 \times 10^{-2} \text{ m}^2} = (2 \text{ atm}) \left( 10^5 \frac{\text{N} / \text{m}^2}{\text{atm}} \right) \quad (30)$$

ou, ainda,

$$F = (3,14 \times 10^{-2} \text{ m}^2) \left( 2 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right). \quad (31)$$

Finalmente,

$$F = 6280 \text{ N}. \quad (32)$$

Ou seja, uma força que equivale ao peso de um objeto de 628 kg de massa (considerando  $g = 10 \text{ m} / \text{s}^2$ ), pois

$$P = m \cdot g \quad (33)$$

ou, ainda,

$$m = \frac{P}{g} = \frac{6,28 \times 10^3 \text{ N}}{10 \text{ m} / \text{s}^2} = 628 \text{ kg}. \quad (34)$$

Finalmente,

$$m = 628 \text{ kg}. \quad (35)$$

Essa conta simples permite que os alunos verifiquem que a estimativa do professor da USP está correta e que os conhecimentos construídos nas aulas de Física podem e devem ser estendidos para a explicação de situações do cotidiano.

A partir do instante 5 min 38 s, a reportagem retorna à questão da culinária e chama a atenção para a questão da higiene (limpeza da válvula e lavagem do anel de vedação) como um aspecto que contribui para o bom funcionamento da panela de pressão, além da troca periódica do anel de vedação e da substituição da válvula quando danificada. A culinária conclui que não há risco de explosão de uma panela desse tipo, desde que as normas de segurança sejam seguidas (respeitar o limite de capacidade de líquido na panela, não tampar a válvula nem deixá-la entupir devido a restos de alimentos e lavar separadamente o anel de vedação).

Por fim, a apresentadora do telejornal passa a palavra para a repórter, que termina a reportagem informando sobre peças de reposição para a panela de pressão, a fim de que ela funcione sempre de forma segura. (Figura 36)

Cozinha Popular - Como usar corretamente a panela de pressão



Figura 36. Repórter concluindo o quadro *Cozinha Popular*.

## 6. COMENTÁRIOS FINAIS E CONCLUSÕES

Ao longo desta dissertação, elaboramos uma proposta didática para o ensino dos conceitos termodinâmicos de temperatura e calor. Justificamos a sua pertinência e apresentamos argumentos favoráveis ao seu desenvolvimento no atual contexto das aulas de Física do Ensino Médio. Explicitamos os referenciais teóricos que deram suporte à elaboração da proposta e tentamos articulá-los de forma que tais ideias pudessem ser identificadas no conjunto de atividades que propusemos. Discutimos também quais conceitos de temperatura e calor ensinar e em que momento fazê-lo.

Como nossa sequência didática ainda não foi implementada efetivamente em sala de aula, não temos até o presente momento dados que indiquem se ela auxilia ou não o professor em sua prática docente e, sobretudo, se ela é capaz de facilitar a aprendizagem dos alunos no que se refere não só aos conceitos de temperatura e calor, mas também à apreensão da linguagem científica e ao desenvolvimento da argumentação. Uma etapa futura de desdobramento deste trabalho é a sua aplicação em sala de aula para a verificação de sua eficiência (ou não) para o ensino. Contudo, clarificamos abaixo alguns aspectos que podem justificar a sua possível relevância para o ensino a partir da articulação teoria–pesquisa–desenvolvimento, que permeou todo o nosso trabalho.

Nossa proposta didática baseia-se em atividades investigativas, cuja forma de realização e cuja dinâmica em sala de aula estão estritamente relacionada ao sociointeracionismo vygotskyano, já que pressupõe a interação entre os alunos e destes com o professor e o material instrucional como principal meio para a construção do conhecimento. Além disso, essa abordagem é mencionada na literatura como sendo bastante eficiente para promover aprendizagem (HODSON, 1992, *apud* AZEVEDO, 2004), visto que, nas pesquisas, as falas gravadas dos alunos durante a realização de atividades investigativas (LOCATELLI e CARVALHO, 2007; LOCATELLI e CARVALHO, 2005; CAPPECHI e CARVALHO, 2006; CAPPECHI, 2004) demonstram que realmente constroem conhecimento, estabelecem relações de causa e efeito e aprendem a desenvolver um plano de trabalho, a trabalhar

cooperativamente e a argumentar de modo cada vez mais consistente, à medida que vão tomando familiaridade com o assunto tratado e com o tipo de atividade em si.

Sabe-se que o êxito na aprendizagem segundo essa perspectiva não ocorre com 100% dos alunos, já que apenas um recorte de suas falas é analisado nos artigos científicos. Assim, poder-se-ia questionar a validade da escolha e a pertinência de atividades investigativas para o ensino de Física. Entretanto, com nenhuma outra estratégia metodológica, muito menos com o ensino tradicional, iremos conseguir atingir a todos. E, ainda que isso fosse possível, deveríamos nos perguntar o que significa *atingir* nosso aluno, pois, se isso for sinônimo apenas de desenvolver nele habilidades mecânicas para a memorização de fórmulas sem sentido e para a resolução de problemas numéricos repetitivos e descontextualizados, não queremos chegar a ele desse modo. Pensamos que restringir o ensino de Física a somente isso é empobrecer a aprendizagem dessa ciência nas suas dimensões investigativa e fenomenológica, o que até mesmo pode ter ocasionado a perda de interesse dos alunos pela Física e demais disciplinas científicas nos últimos anos.

Particularmente no que se refere aos conceitos termodinâmicos de temperatura e calor e suas implicações para a aprendizagem de Física Térmica, procuramos desenvolver as atividades investigativas de forma a não só introduzir esses conceitos, mas também contemplar as dez sentenças não-científicas relacionadas a eles que foram identificadas na literatura como sendo mantidas nas falas dos alunos mesmo após a instrução formal. Tais concepções foram apresentadas inicialmente na Seção 1.4 deste texto e retomadas uma a uma sempre que a atividade investigativa era desenvolvida com o objetivo de questioná-las e esclarecê-las. Todavia, a sequência didática que propusemos não se restringiu a isso, pois a riqueza dos experimentos e do vídeo utilizados possibilitou que fossem discutidos também os efeitos do calor num sistema, a dilatação, o trabalho termodinâmico, a variação da temperatura de mudança de fase com a pressão, o funcionamento da panela de pressão, entre outros, além da diferenciação entre linguagem cotidiana e linguagem científica. Por intermédio de nossa sequência articulada de atividades investigativas (experimentais, de análise de dados de experimentos ou baseadas na exibição de programa de TV), pensamos ser possível sensibilizar para a investigação o maior número possível de alunos e, assim, auxiliá-los a construir conhecimento que lhes seja útil e possa ser estendido a outros contextos e situações.

Sabemos que as noções cotidianas de temperatura e calor estão bastante arraigadas não só em nossos alunos, mas em todos aqueles que convivem em sociedade. Nossa meta não é rechaçar esses conceitos cotidianos, mas sim apresentar uma nova forma de ver e compreender o mundo e os fenômenos físicos, na perspectiva da Física, a qual requer uma linguagem particular e bastante precisa para tais conceitos. Assim, buscamos que o aluno construa conhecimento científico em Física Térmica e o utilize nas situações em que ele for requerido, como, por exemplo, para compreender as falas do professor da USP no programa de TV utilizado em duas das atividades investigativas e diferenciá-las da linguagem não-científica da repórter que aparece no mesmo vídeo.

Da forma como foram elaborados, os *Guias de orientação para o professor* tentam se contrapor a ou ser um caminho alternativo para um ensino de Física tradicional, marcado pela transmissão passiva do conhecimento. Pensamos que esse material traz duas contribuições interessantes, que estão subjacentes às atividades investigativas, no que se refere aos papéis de aluno e professor no processo de ensino-aprendizagem: de mero reprodutor do que lhe é transmitido, o aluno passa a ser sujeito de sua aprendizagem, na medida em que é ativo nesse processo e não se apropria simplesmente do conhecimento do outro, mas argumenta, reflete e constrói seus próprios conhecimentos a partir da interação com os demais alunos e com o professor; de simples fornecedor de respostas prontas, o professor converte-se agora em mediador da discussão, em provocador de questões, em orientador dos caminhos para a construção coletiva do conhecimento e, nos termos de Vygotsky, em *parceiro mais capaz*.

Sabemos que os *Guias* que desenvolvemos não são uma solução final nem uma receita pronta que o docente deve seguir em sua sala de aula, mas acreditamos que eles contribuem para a melhoria do ensino de Física, podendo ser aplicados no Ensino Médio e adaptados às realidades dos professores que com eles quiserem trabalhar. Ainda que, concordando com Feynman a respeito de que “o fato é que ninguém sabe bem como dizer aos outros como ensinar”, pensamos que a discussão presente neste texto sobre que Física ensinar, quando e como fazê-lo fornece algumas contribuições para a reflexão sobre, como disse o mesmo Feynman, o problema “de ensinar física em qualquer lugar” (FEYNMAN, 1963 *apud* BARROS, 2002).



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR JR., O. Calor e temperatura no ensino fundamental: relações entre o ensino e a aprendizagem numa perspectiva construtivista. *Investigações em ensino de ciências*, Porto Alegre, v. 4(1), p. 73–90, 1999.

AGUIAR JR., O. As relações entre modelos micro e macroscópico na análise de fenômenos térmicos: superando contradições na sala de aula. In: VIII ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 2002. Águas de Lindóia. Anais do VIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 2002. v. 1. (versão eletrônica em CD-ROM)

ANJOS, I. G. *Física – Curso Completo* (Coleção Novos Horizontes). São Paulo: IBEP.

ARAÚJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. S. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 25, n. 2, junho, 2003.

ARONS, A. B. *Teaching Introductory Physics*. 1. ed. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 1997.

AXT, R.; BRÜCKMANN, M. E. O conceito de calor nos livros de ciências. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 6, n. 2, p. 128–142, agosto, 1989.

AZEVEDO, M. C. P. S. Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula. In: CARVALHO, A. M. P. (org). *Ensino de Ciências*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, p. 19–33, 2004.

BARROS, S. S. Reflexões sobre 30 anos da pesquisa em ensino de Física. In: VIANNA, D. M.; PEDUZZI, L. O. Q.; BORGES, O. N.; NARDI, R. (orgs). *Anais do VIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*. São Paulo: SBF, 2002. (CD-ROM, arquivo: SA\_1.pdf)

BASSALO, J. M. F. A Crônica do Calor: Calorimetria. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.14, n.1, 1992.

BECKER, F. O que é construtivismo?. *Revista de Educação AEC*, Brasília: v. 21, n. 83, p. 7–15, abr./jun. 1992.

BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v.19, n.3, dez. 2002.

BOSS, S. L. B. et al. Ensino por Investigação: relato de uma experiência pedagógica em Termodinâmica. In: XVIII SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 2009. Vitória. Anais do XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física. Vitória: 2009.

BRASIL. Ministério da educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Parâmetros curriculares nacionais – Ensino Médio. Brasília: SEMTEC/MEC, 2000.

BRASIL. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. PCN+ ensino médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais; ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC/SEMTEC, 2002.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. Orientações curriculares para o ensino médio. Brasília, 2006.

CARVALHO, A. M. P. et al. *Termodinâmica: Um ensino por investigação*. 1. ed. São Paulo: Universidade de São Paulo – Faculdade de Educação, v. 1, 1999.

CARVALHO JR., G. Uma abordagem neopiagetiana para o planejamento do ensino de Física em cursos técnicos: uma aplicação à Física Térmica. In: XVIII SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 2009. Vitória. Anais do XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física. Vitória: 2009.

CAPECCHI, M.C.M. *Aspectos da Cultura Científica em Atividades de Experimentação nas Aulas de Física*. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

CAPECCHI, M. C. V. M.; CARVALHO, A. M. P. Atividade de laboratório como instrumento para a abordagem de aspectos da cultura científica em sala de aula. *Revista Pro-Posições*, Faculdade de Educação da Unicamp, v. 17, n.1 (49), p. 137–153, jan./abr. 2006.

CENNE, A. H. H. *Tecnologias computacionais como recurso complementar no ensino de Física Térmica*. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

CERVANTES, L. et al. El concepto de calor en Termodinámica y su enseñanza. In: XVI CONGRESO NACIONAL DE TERMODINÁMICA, 2001. Colima (México). Memorias del XVI Congreso Nacional de Termodinámica. Colima (México): 2001.

COLINVAUX, D.; BARROS, S. S. O papel da modelagem no laboratório didático de Física: o que há para se aprender? In: VIII ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 2002. Águas de Lindóia. Atas do VIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 2002. v. 1. (versão eletrônica em CD-ROM)



- FERMI, E. *Thermodynamics*. Nova Iorque: Dover, 1956.
- FEYNMAN, R. et al. *O Senhor está Brincando, Sr. Feynman? – As Estranhas Aventuras De Um Físico Excêntrico*. 1. ed. Trad. Sob a direção de Alexandre Carlos Tort. Rio de Janeiro: Campus, 2006.
- FUKUI, A.; PACCA, J. L. A. Os problemas de método de pesquisa em psicologia apontados por Vygotsky e os testes sobre conceitos relacionados a circuitos elétricos. In: VIII ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 2002. Águas de Lindóia. Anais do VIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 2002. v. 1. (versão eletrônica em CD-ROM)
- GASPAR, A. *Física – Volume Único*. 1. ed., São Paulo: Ática, 2008.
- GEHLEN, S. T.; MACHADO, A.; AUTH, M. A. Freire e Vygotsky no Simpósio Nacional de Ensino de Física. In: XVIII SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 2009. Vitória. Anais do XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física. Vitória: 2009.
- GIL, D.; TORREGROSA, J. M. *La resolución de problemas de física*. Madri: Mec, 1987.
- GONÇALVES, L. J. *Uso de animações visando à aprendizagem significativa de Física Térmica no ensino médio*. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- GONÇALVES FILHO, A.; TOSCANO, C. *Física – Volume Único*. 1. ed., São Paulo: Scipione, 2007.
- GRINGS, E. T. O.; CABALLERO, C.; MOREIRA, M. A. Possíveis indicadores de invariantes operatórios apresentados por estudantes em conceitos de termodinâmica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 24, p. 1–9, 2006.
- GRINGS, E. T. O. ; CABALLERO, C.; MOREIRA, M. A. Significados dos conceitos da termodinâmica e possíveis indicadores de invariantes operatórios apresentados por estudantes de Ensino Médio. *Revista Liberato* (Novo Hamburgo), v. 8, p. 7–12, 2007.
- GRINGS, E. T. O.; CABALLERO, C.; MOREIRA, M. A. Avanços e retrocessos dos alunos no campo conceitual da Termodinâmica. *REEC. Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, v. 7, p. 23–46, 2008.
- GRINGS, E. T. O.; CABALLERO, C.; MOREIRA, M. A. Uma proposta didática para abordar o conceito de temperatura a partir de situações à luz da teoria dos campos conceituais de Vergnaud. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*. v.1, n.1, jan./abr. 2008.
- GUIMARÃES, L. A. M.; FONTE BOA, M. C. *Física: mecânica*. 2. ed. Niterói, RJ: Galera Hipermídia, 2006.

GUIMARÃES, L. A. M.; FONTE BOA, M. C. *Física: terminologia e óptica*. 2. ed., Niterói, RJ: Galera Hipermídia, 2006.

HEWITT, P. G. *Física Conceitual*. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

KAUTZ, C. H. et al. Student understanding of the ideal gas law, Part I: A macroscopic perspective. *Am. J. Phys.* v. 73, n. 11, p. 1055–1063, 2005.

KÖHNLEIN, J. F. K.; PEDUZZI, S. S. Um estudo a respeito das concepções alternativas sobre calor e temperatura. *Revista Brasileira de Investigação em Educação em Ciências*, v. 2, n. 3, p. 84–96, 2002.

LANDAU, L.; LIFSHITZ, E. *Physique Statistique*. Moscou: Mir, 1958.

LOCATELLI, R. J. ; CARVALHO, A. M. P. Como os alunos explicam os fenômenos físicos. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra (VII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias), Barcelona: 2005.

LOCATELLI, R. J. ; CARVALHO, A. M. P. Uma análise do raciocínio utilizado pelos alunos ao resolverem os problemas propostos nas atividades de conhecimento físico. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 7, n. 3, 2007.

LOVERUDE, M. E.; KAUTZ, C. H.; HERON, P. R. L. Student understanding of the first law of thermodynamics: Relating work to the adiabatic compression of an ideal gas. *Am. J. Phys.* v. 70, n. 2, p. 137–148, 2002.

MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. *Física – Volume Único*. São Paulo: Scipione, 1997.

MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. *Curso de Física: volume 2*. 6. ed., São Paulo: Scipione, 2006.

MAXIMO PEREIRA, M. *Uma abordagem alternativa para o ensino da dilatação térmica de líquidos no Ensino Médio*. Monografia (Trabalho de conclusão de curso de licenciatura em Física) – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

MAXIMO PEREIRA, M; SOARES, V. Uma abordagem alternativa para o ensino da dilatação térmica de líquidos no Ensino Médio. In: XVIII SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 2009. Vitória. Anais do XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física. Vitória: 2009.

MIDDLETON, W. E. K. *A History of the Thermometer and Its Uses in Meteorology*. Maryland: The Johns Hopkins University Press, 2002.

MODELL, M.; REID, R. C. *Thermodynamics and its applications*. Nova Jersey: Prentice–Hall, 1983.

MORAN, J. M. O vídeo na sala de aula. *Revista Comunicação & Educação*. São Paulo, ECA–Ed. Moderna, n.2, p. 27–35, jan./abr. 1995.

MOREIRA, M. A. *Teorias de Aprendizagem*. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária Ltda (E.P.U.), 1999.

MOREIRA, M. A. Ensino de Física no Brasil: Retrospectivas e Perspectivas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 2, n. 1, março, 2000.

MOREIRA, M. A. A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. *Investigações em Ensino de Ciências*. Porto Alegre, v. 7, n. 1, p.7–29, 2002.

MOREIRA, M. A. Pesquisa básica em educação em ciências: uma visão pessoal. Disponível desde 2006 em <http://www.if.ufrgs.br/~moreira/Pesquisa.pdf>.

MUJICA, V. M.; MEDEROS, M. J. A. A. Algunos métodos activos para el uso del video en la enseñanza de la Física. *Investigações em ensino de ciências*, Porto Alegre, v. 1, n. 3, p. 233–240, 1996.

NEVES, M. S.; CABALLERO, C.; MOREIRA, M. A. Repensando o papel do trabalho experimental na aprendizagem de física, em sala de aula – um estudo exploratório. *Investigações em ensino de ciências*, Porto Alegre, v. 11, n. 3, dez. 2006.

PANIAGUA, A.; POBLETE, H. El uso de los multimedios en la enseñanza de la Física. In: II CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE INFORMÁTICA EDUCATIVA, 1994. Lisboa. Anais do II Congresso Ibero-americano de Informática Educativa. Lisboa: 1994.

PENTEADO, P. C. M.; TORRES, C. M. A. *Física, Ciência e Tecnologia – Vol 2*, São Paulo: Moderna, 2006.

PEREIRA, D. R. O.; AGUIAR, O. Ensino de Física no nível médio: tópicos de Física Moderna e experimentação. *Revista Ponto de Vista*, Viçosa, v. 3, n. 1, p. 65–81, dez. 2006.

QUICENO, D. E. G.; MOSQUERA, Y. A. La formalización de los conceptos de calor y temperatura desde la perspectiva de sistemas. In: X CONFERENCIA INTERAMERICANA SOBRE EDUCACIÓN EN FÍSICA, 2009. Medellín. Anais de X Conferencia Interamericana sobre Educación en Física. Medellín: 2009. v. 1.

RAFAEL, F. J. *Elaboração e aplicação de uma estratégia de ensino sobre os conceitos de calor e de temperatura*. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Naturais e Matemática) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

RAMALHO JUNIOR, F.; FERRARO, N. G. T.; SOARES, P. A. *Os Fundamentos da Física 2 – Termologia, Óptica, Ondas*. 6. ed. São Paulo: Moderna, 1995.

ROMER, R. H. Heat is not a noun, *Am. J. Phys.* v. 69, n. 2, p. 107–109, 2001.

RODRIGUES, B. A.; BORGES, A. T. O ensino de ciências por investigação: reconstrução histórica. In: XI ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 2008. Curitiba. Anais do XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 2008.

ROSA, P. R. S. Instrumentação para o ensino de Ciências. UFMS, Campo Grande, 2008. Disponível em <<http://www.dfi.ccet.ufms.br/prrosa/instrumentacao/>>

SHIGEKIYO, C. T.; YAMAMOTO, K.; FUKU, L. F. *Os alicerces da física: termologia, óptica, ondulatória*. 12. ed. São Paulo: Saraiva, 1998.

SIAS, D. B. *A aquisição automática de dados proporcionando discussões conceituais na Física Térmica do ensino médio*. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

SILVA, O. H. M.; LABURÚ, C. E.; NARDI, R. Reflexões para subsidiar discussões sobre o conceito de calor em sala de aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 25, p. 383–396, 2008.

SILVA JR., W. R. R. *Desenvolvimento de um programa de ensino de física térmica para o nível médio*. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Naturais e Matemática) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

STEFFENS, C. A. *Um olhar sobre medidas em Física*. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

TEIXEIRA, O.P.B. *Desenvolvimento do conceito de calor e temperatura: a mudança conceitual*. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

TOLMAN, R. C. *Relativity, Thermodynamics, and Cosmology*. Nova Iorque: Dover, 1934.

YEO, S.; ZADNIK, M. Introductory Thermal Concept Evaluation: assessing student's understanding. *The Physics Teacher*. v. 39, p. 496-504, 2001.

## APÊNDICE — GUIAS DE ORIENTAÇÃO PARA O PROFESSOR

OBS<sub>1</sub>: Marcamos com \* as hipóteses fisicamente corretas e consideradas mais completas. O conteúdo delas é o que queremos que nosso aluno aprenda. As hipóteses não marcadas ou não respondem à pergunta feita, ou estão parcialmente corretas ou incorretas, ou utilizam vocabulário muito próximo ao cotidiano, não apresentando a formalidade científica necessária.

OBS<sub>2</sub>: As perguntas entre parênteses que aparecem ao lado das etapas do plano de trabalho de algumas atividades são possíveis indagações dos alunos, não devendo ser fornecidas a eles pelo professor.

### Temperatura

#### Atividade 1: Está com febre?

1.1 – Objetivos: verificar que não é confiável medir a temperatura por meio do tato; identificar que temperatura é uma medida da sensação de quente ou frio em relação a um determinado padrão; identificar que os instrumentos de medida de temperatura demoram certo tempo para entrarem em equilíbrio com o sistema do qual se quer conhecer a temperatura e para fornecerem seu valor correto.

#### 1.2 – Problema: Como saber se alguém está com febre?

1.3 – Algumas possíveis hipóteses formuladas pelos alunos:

- Colocamos a parte de cima de nossa mão na testa da pessoa;
- Colocamos a parte de cima de nossa mão em seu pescoço;
- Colocamos um termômetro embaixo do braço da pessoa e verificamos a temperatura;

- Colocamos um termômetro embaixo do braço da pessoa, esperamos um pouco e verificamos a temperatura;\*
- ...

#### 1.4– Etapas para a solução ao problema:

- A partir das hipóteses e para testá-las, o professor sugere a realização de um experimento simples, que permite resolver o problema acima sem necessitar de alguém que esteja realmente com febre.

#### Experimento proposto

- O professor coloca à disposição de cada grupo de alunos 3 vasilhas iguais e com a mesma quantidade de água, sendo que numa delas há água fria, na outra, água à temperatura ambiente e, na terceira, água morna (essas informações não devem ser fornecidas aos alunos). O professor pede, então, que um dos alunos do grupo coloque a mão dentro da primeira vasilha e diga a sua sensação. Sem tirar a mão da primeira vasilha, o aluno deve colocar a outra mão no terceiro recipiente e igualmente descrever a sua sensação. Por fim, pede que o aluno coloque uma das mãos no segundo recipiente e diga se está quente ou frio, e depois a outra, informando também a sensação que tem agora;
- Os grupos realizam o experimento, debatem entre si sobre os resultados obtidos e tiram conclusões;
- Todos os grupos se reúnem e cada um apresenta seus resultados e sua solução para o problema;
- Com a orientação e mediação do professor, os grupos discutem para chegar à melhor solução coletiva.

## **Atividade 2: Colher de pau vs. Colher de metal**

2.1– Objetivos: identificar que nossa percepção sensorial nem sempre corresponde à temperatura verdadeira de um sistema.

**2.2– Problema: Qual a relação entre as temperaturas de uma colher de pau e de uma colher de metal que estão sobre uma mesa?**

2.3– Algumas possíveis hipóteses formuladas pelos alunos:

- A colher de metal é mais “geladinha” que a de pau;
- A temperatura da colher de metal é menor que a da colher de pau;
- A temperatura da colher de pau é maior que a da colher de metal;
- A colher de pau é mais fria porque, quando cozinhamos com ela, o calor não chega à nossa mão, ao contrário do que ocorre com a colher de metal;
- As duas colheres estão à mesma temperatura, apenas temos percepções diferentes ao tocá-las;\*
- ...

2.4– Etapas para a solução ao problema:

- A partir dessas hipóteses e para testá-las, o professor sugere a realização do experimento mencionado no problema;
- Os alunos se organizam em grupos para o planejamento da atividade experimental (elaboração do plano de trabalho);

Plano de trabalho proposto pelo professor aos alunos:

- Que instrumento usar para medir temperatura? (Tato? Termômetro de mercúrio? Sensor termopar?)

- Como medir? (Como colocar o termômetro ou o termopar em contato com a colher? Medir a temperatura ao mesmo tempo nas duas colheres ou separadamente?)
- Os grupos debatem e escolhem o(s) melhor(es) procedimento(s) experimental(ais) proposto(s);
- Os grupos realizam o experimento, debatem entre si sobre os resultados obtidos e elaboram sua solução para o problema;
- Todos os grupos se reúnem e cada um apresenta seus resultados e sua solução;
- Com a orientação e mediação do professor, os grupos discutem para chegar à melhor solução coletiva.

### **Atividade 3: Refrigerante em lata**

3.1– Objetivo: verificar que a temperatura não é diretamente proporcional ao volume.

3.2– **Problema: O que obtemos quando misturamos 250 ml de um refrigerante a 25 °C com 350 ml do mesmo refrigerante, também a 25 °C?**

3.3– Algumas possíveis hipóteses formuladas pelos alunos:

- Temos 600 ml de refrigerante a 50 °C;
- Temos 600 ml de refrigerante a 12,5 °C;
- Temos 600 ml de refrigerante a 25 °C;\*
- ...

3.4– Etapas para a solução ao problema:



- A partir dessas hipóteses e para testá-las, o professor sugere a realização de experimento análogo ao mencionado no problema, porém realizado com água;
- Os grupos realizam o experimento, debatem entre si sobre os resultados obtidos e elaboram sua solução para o problema;
- Todos os grupos se reúnem e cada um apresenta seus resultados e sua solução;
- Com a orientação e mediação do professor, os grupos discutem para chegar à melhor solução coletiva.

## Calor

### Atividade 1: Panela com água no fogão

1.1– Objetivos: verificar que a energia transferida para um sistema devido ao seu entorno pode gerar tanto mudança de temperatura como mudança de fase à temperatura constante, ou seja, variação de sua energia interna; conceituar calor como sendo essa energia transferida que não podemos associar ao trabalho.

1.2– **Problema: Que efeito(s) é (são) observado(s) quando colocamos água em uma panela sobre a chama do fogão? O que provocou tal (tais) efeito(s)?**

1.3.1– Algumas possíveis hipóteses formuladas pelos alunos para a primeira pergunta (Que efeito(s) é (são) observado(s) quando colocamos água em uma panela sobre a chama do fogão?):

- A água fica quente;
- A temperatura da água aumenta;
- Após certo tempo, a água ferve;
- A temperatura da água vai aumentando, até que começa a ferver e a temperatura continua aumentando;

- Inicialmente, não acontece nada, mas depois começam a aparecer bolhas na água;
- A chama esquentando a panela, que esquentando a água;
- A água dilata;
- A temperatura da água vai aumentando, até que a água começa a passar de líquido a vapor. A temperatura fica constante nesse processo de mudança de fase;\*
- ...

1.3.2– Algumas possíveis hipóteses formuladas pelos alunos para a segunda pergunta (O que provocou tal (tais) efeito(s)?):

- A chama do fogão;
- O calor que passa para a água;
- O fogo que passa para a água;
- O calor que passa para a panela, que passa para a água;
- A energia que é transferida da chama para a panela e dessa para a água, denominada calor;\*
- ...

1.4– Etapas para a solução ao problema:

- A partir dessas hipóteses e para testá-las, o professor sugere a realização do experimento mencionado no problema;
- Os alunos se organizam em grupos para o planejamento da atividade experimental (elaboração do plano de trabalho):

Plano de trabalho proposto pelo professor aos alunos:

- O que observar? (Temperatura? Massa? Volume? Tempo?)

- O que medir? (Temperatura? Massa? Volume? Tempo? Calor? Energia?)
- Que materiais usar? (Panela? Fogão ou aquecedor de chá? Termômetro? (Qual?) Cronômetro ou relógio?)
- Que procedimento utilizar?
- Como medir? (De quanto em quanto tempo? Onde posicionar o termômetro?)
- Como organizar os dados coletados? (Tabela? Gráfico?)
- Os grupos debatem e escolhem o(s) melhor(es) procedimento(s) experimental(ais) proposto(s);
- Os grupos realizam o experimento, debatem entre si sobre os resultados obtidos e elaboram sua solução para o problema;
- Todos os grupos se reúnem e cada um apresenta seus resultados e sua solução;
- Com a orientação e mediação do professor, os grupos discutem para chegar à melhor solução coletiva.

A partir da solução encontrada, o professor propõe um novo problema.

### **Atividade 2: Panela com mais água no fogão**

2.1– Objetivo: verificar que a temperatura de mudança de fase possui um valor constante durante esse processo, independentemente da massa de água utilizada.

**2.2– Problema: E se fizermos o mesmo experimento anterior com uma quantidade maior de água, o que acontece? Os resultados e conclusões serão os mesmos?**

2.3– Algumas possíveis hipóteses formuladas pelos alunos:

- Demora mais para esquentar a água;

- A temperatura aumenta mais lentamente;
- Demora mais para a água ficar quente e a temperatura de mudança de fase é menor que antes;
- Como a quantidade de água é maior, então a temperatura de mudança de fase é maior;
- Demora mais para aumentar a temperatura da água, mas a temperatura de mudança de fase permanece constante e igual ao experimento anterior;\*
- ...

2.4– Etapas para a solução ao problema:

- Os grupos realizam o experimento, debatem entre si sobre os resultados obtidos e elaboram sua solução para o problema;
- Todos os grupos se reúnem e cada um apresenta seus resultados e sua solução;
- Com a orientação e mediação do professor, os grupos discutem para chegar à melhor solução coletiva.

### **Atividade 3: Leite que esquentar mais rápido**

3.1– Objetivo: identificar que, para um mesmo intervalo de tempo e uma mesma intensidade da fonte térmica, a temperatura de uma substância aumenta mais se sua massa é menor; concluir que uma massa menor aquece mais rapidamente que outra maior da mesma substância.

3.2– **Problema:** A partir dos dados obtidos nas atividades anteriores **responda:** se estamos com pressa e queremos tomar um copo de leite quente pela manhã, é melhor colocar para esquentar todo o conteúdo da caixa de leite ou só a quantidade que iremos tomar? **Justifique sua resposta.**

3.3– Algumas possíveis hipóteses formuladas pelos alunos:

- É melhor colocar toda a caixa de leite para esquentar, pois pode ser que queiramos tomar mais leite;
- É melhor colocar para esquentar só um copo de leite, pois essa quantidade esquentará mais rapidamente que o conteúdo de toda a caixa. Isso ocorre porque, quanto menor a quantidade de leite, mais rápida é a sua variação de temperatura para uma dada intensidade da chama do fogão;\*
- ...

3.4– Etapas para a solução ao problema:

- Os grupos analisam os dados / gráficos obtidos, debatem entre si e elaboram sua solução para o problema;
- Todos os grupos se reúnem e cada um apresenta suas conclusões;
- Com a orientação e mediação do professor, os grupos discutem para chegar à melhor solução coletiva.

#### **Atividade 4: “Fogo forte” e panela de feijão**

4.1– Objetivos: verificar que, com um aumento na intensidade da fonte de energia, a temperatura aumenta mais rapidamente e a mudança de fase acontece na mesma temperatura constante de antes, mas esse processo é mais rápido; identificar que, após o início do processo de mudança de fase, a temperatura não mais aumenta, mesmo que se aumente a intensidade da fonte de energia.

**4.2– Problema: Se aumentarmos a intensidade da fonte de energia para aquecer a mesma massa de água inicialmente utilizada, o que acontece? Se aumentarmos a chama do fogão quando o feijão já está fervendo, o que acontece?**

4.3.1– Algumas possíveis hipóteses formuladas pelos alunos para a primeira pergunta (Se aumentarmos a intensidade da fonte de energia para aquecer a mesma massa de água inicialmente utilizada, o que acontece?):

- A água esquenta mais rapidamente e a temperatura de mudança de fase será maior que antes;
- A temperatura da água aumenta mais rapidamente, mas a temperatura de mudança de fase permanece a mesma;\*
- ...

4.3.2– Algumas possíveis hipóteses formuladas pelos alunos para a segunda pergunta (Se aumentarmos a chama do fogão quando o feijão já está fervendo, o que acontece?):

- A temperatura de mudança de fase permanece constante, mas com um valor maior que antes;
- A temperatura de mudança de fase vai aumentando continuamente, à medida que aumentamos a intensidade da chama;
- Ele ferve mais rapidamente, mas a temperatura de mudança de fase permanece a mesma;\*
- ...

4.4– Etapas para a solução ao problema:

- Os grupos discutem se precisam realizar um novo experimento com o feijão, conforme mencionado na pergunta, ou se o modelo desenvolvido com a água não seria aplicável à resolução do problema proposto;
- Realizam o experimento escolhido, debatem entre si sobre os resultados obtidos e elaboram sua solução para o problema;
- Todos os grupos se reúnem e cada um apresenta seus resultados e sua solução;
- Com a orientação e mediação do professor, os grupos discutem para chegar à melhor solução coletiva.

### **Atividade 5: Copo com gelo**

5.1– Objetivos: verificar que calor pode gerar tanto mudança de fase à temperatura constante como mudança de temperatura; identificar que o ambiente ou qualquer corpo pode fornecer energia, na forma de calor, para outro, e não somente fontes térmicas como o fogo ou aquecedores.

**5.2– Problema: Que efeitos são observados quando colocamos cubos de gelo dentro de um copo? O que provocou tais efeitos?**

5.3.1– Algumas possíveis hipóteses formuladas pelos alunos para a primeira pergunta (Que efeitos são observados quando colocamos cubos de gelo dentro de um copo?):

- O gelo derrete;
- O gelo vira água;
- A temperatura do gelo vai aumentando, ele derrete e vira água;
- A temperatura do gelo vai aumentando, ele derrete, vira água, e a temperatura continua aumentando indefinidamente;
- A temperatura do gelo vai aumentando, ele vira água à temperatura constante, e depois a temperatura continua aumentando até ficar igual à temperatura ambiente;\*
- ...

5.3.2– Algumas possíveis hipóteses formuladas pelos alunos para a segunda pergunta (O que provocou tais efeitos?):

- O ambiente;
- O ar em volta do gelo;
- O calor do ambiente que passa para o gelo;
- O calor que passa para o copo, que passa para o gelo;

- O calor, que é a energia transferida do ambiente e do copo para o gelo;\*
- ...

#### 5.4– Etapas para a solução ao problema:

- A partir dessas hipóteses e para testá-las, o professor sugere a realização do experimento mencionado no problema;
- Os alunos se organizam em grupos para o planejamento da atividade experimental (elaboração do plano de trabalho);

#### Plano de trabalho proposto pelo professor aos alunos:

- O que observar? (Temperatura? Volume? Massa? Tempo?)
- O que medir? (Temperatura? Volume? Massa? Tempo?)
- Que materiais usar? (Copo? Quantos cubos de gelo? Termômetro? (Qual?) Cronômetro ou relógio?)
- Que procedimento utilizar?
- Como medir? (De quanto em quanto tempo? A cada intervalo de que valor de temperatura? Onde posicionar o termômetro?)
- Como organizar os dados coletados? (Tabela? Gráfico?)
- Os grupos debatem e escolhem o(s) melhor(es) procedimento(s) experimental(ais) proposto(s);
- Os grupos realizam o experimento\*\*, debatem entre si sobre os resultados obtidos e elaboram sua solução para o problema;
- Todos os grupos se reúnem e cada um apresenta seus resultados e sua solução;



- Com a orientação e mediação do professor, os grupos discutem para chegar à melhor solução coletiva.

\*\* Como o experimento do derretimento do gelo possui uma longa duração (em torno de 3 h, para apenas dois cubos de gelo), sua realização em sala de aula torna-se inviável se quisermos acompanhar todo o processo, até que se atinja o equilíbrio térmico. Assim, sugerimos ao professor as seguintes alternativas para abordar esse problema:

a) solicitar aos alunos que realizem a medida conforme planejaram em sala, fora do horário de aula, em casa ou na escola, e que tragam os dados e/ou gráficos e/ou resultados para discussão em sala de aula;

b) realizar o experimento parcialmente em sala de aula, até o ponto em que o gelo começa a derreter à temperatura constante (após aproximadamente 10 min) e pedir que os alunos façam inferências, a partir das atividades anteriores, sobre o que vai acontecer com o gelo (agora transformado em água) e sua temperatura após a mudança de fase e por que e até quando isso acontece. Para verificar as hipóteses dos alunos, o professor pode fornecer-lhes um gráfico obtido a partir da experiência realizada previamente por ele;

c) transformar a Atividade 5 numa atividade investigativa de análise de dados de experimento, fornecendo, por exemplo, um gráfico obtido a partir da experiência realizada previamente e propondo como problema descobrir que fenômeno(s) térmico(s) pode(m) ser descrito(s) por ele e o que provocou os efeitos observados.

### **Atividade 6: Refrigerante com gelo**

6.1– Objetivos: verificar que pode haver não só aumento, mas também diminuição de temperatura, devido ao calor;

**6.2– Problema: O que acontece quando colocamos gelo a 0 °C e garrafas de refrigerante que acabamos de comprar no supermercado dentro de um isopor? O que provocou esse efeito? Para que serve o isopor?**

6.3.1– Algumas possíveis hipóteses formuladas pelos alunos para a primeira pergunta (O que acontece quando colocamos gelo a 0 °C e garrafas de refrigerante que acabamos de comprar no supermercado dentro de um isopor?):

- O refrigerante esfria;
- O refrigerante congela;
- A temperatura do refrigerante diminui;
- O gelo derrete e a temperatura do refrigerante diminui;
- O gelo derrete à temperatura constante e a temperatura do refrigerante diminui, até que se atinja o equilíbrio térmico;\*
- ...

6.3.2– Algumas possíveis hipóteses formuladas pelos alunos para a segunda pergunta (O que provocou esse efeito?):

- O gelo;
- O isopor;
- O calor;\*
- ...

6.3.3– Algumas possíveis hipóteses formuladas pelos alunos para a terceira pergunta (Para que serve o isopor?):

- Para colocar o gelo;
- Para que o gelo não derreta, como aconteceu quando ele estava no copo, e possa resfriar o refrigerante;
- Para o gelo não derreter tão rapidamente;
- Para conservar a temperatura que o refrigerante atinge;

- Para isolar do ambiente externo as interações que ocorrem dentro do isopor, ou seja, para que só haja transferência de energia, na forma de calor, entre as garrafas e o gelo, e não com o ambiente, como ocorreu no caso do copo com gelo;\*
- ...

#### 6.4– Etapas para a solução ao problema:

- A partir das hipóteses e para testá-las, o professor sugere a realização de um experimento análogo ao mencionado no problema, porém colocando água, em vez de refrigerante, diretamente dentro de um pequeno isopor com gelo.
- Os alunos se organizam em grupos para o planejamento da atividade experimental (elaboração do plano de trabalho);

#### Plano de trabalho proposto pelo professor aos alunos:

- O que observar? (Temperatura? Massa? Volume? Tempo?)
- O que medir? (Temperatura? Massa? Volume? Tempo?)
- Que materiais usar para as medidas? (Termômetro? (Qual?) Cronômetro ou relógio?)
- Que procedimento utilizar?
- Como medir? (De quanto em quanto tempo? Onde posicionar o termômetro?)
- Como organizar os dados coletados? (Tabela? Gráfico?)
- Os grupos debatem e escolhem o(s) melhor(es) procedimento(s) experimental(ais) proposto(s);
- Os grupos realizam o experimento, debatem entre si sobre os resultados obtidos e elaboram sua solução para o problema.

- Todos os grupos se reúnem e cada um apresenta seus resultados e sua solução;
- Com a orientação e mediação do professor, os grupos discutem para chegar à melhor solução coletiva.

### **Atividade 7: Panela com água no fogão vs. Copo com gelo**

7.1– Objetivo: verificar que nas duas situações o calor serviu tanto para variar a temperatura como para mudar de fase à temperatura constante; concluir que o calor não existe apenas devido à presença de uma fonte térmica, como o fogo ou o aquecedor.

**7.2– Problema: Que efeitos do calor são observados nos experimentos da panela com água e do copo com gelo? Existe alguma relação entre o que acontece no experimento do copo com gelo e nas atividades anteriores com a panela com água no fogão?**

7.3.1– Algumas possíveis hipóteses formuladas pelos alunos para a primeira pergunta (Que efeitos do calor são observados nos dois experimentos?):

- A temperatura da água aumenta e depois fica constante; com o gelo, ela aumentou, ficou constante e depois aumentou de novo;
- Aquecimento e vaporização da água; derretimento e aquecimento do gelo;
- Variação de temperatura e mudança de fase à temperatura constante;\*
- ...

7.3.2– Algumas possíveis hipóteses formuladas pelos alunos para a segunda pergunta (Existe alguma relação entre o que acontece no experimento do copo com gelo e nas atividades anteriores com a panela com água no fogão?):

- Não, porque com a água havia o fogo ou o aquecedor, logo, havia calor envolvido;
- Não, porque só há calor quando há aquecedor ou fogo;
- Não, porque o gelo demorou muito mais para derreter do que a água para ferver, ainda que houvesse mais água do que gelo proporcionalmente nas duas situações;
- Sim, porque em ambas as situações passou calor de um corpo para o outro;
- Sim, porque em ambas as situações houve energia transferida de um corpo para o outro, ou seja, calor;\*
- ...

7.4– Etapas para a solução ao problema:

- Os grupos analisam os resultados das atividades anteriores, debatem entre si e elaboram sua solução para o problema;
- Todos os grupos se reúnem e cada um apresenta suas conclusões;
- Com a orientação e mediação do professor, os grupos discutem para chegar à melhor solução coletiva.

### **Atividade 8: Tanque cheio de gasolina ao sol**

8.1– Objetivo: verificar que o aumento de temperatura pode gerar aumento de volume;

8.2– **Problema:** Uma pessoa encheu completamente o tanque de gasolina de seu carro e deixou-o estacionado ao sol. Após algum tempo, quando voltou para buscá-lo, observou que certa quantidade de gasolina havia entornado. O que aconteceu com a gasolina dentro do tanque para que o vazamento ocorresse? Por que isso aconteceu?

8.3.1– Algumas possíveis hipóteses formuladas pelos alunos para a primeira pergunta (O que aconteceu com a gasolina dentro do tanque para que o vazamento ocorresse?):

- A gasolina vazou e caiu fora do tanque;
- A gasolina aumentou de tamanho e, por isso, não coube mais dentro do tanque;
- Como o tanque estava completamente cheio, a gasolina dilatou (aumentou de volume) e não conseguiu manter-se dentro dele; por isso, transbordou;\*
- ...

8.3.2– Algumas possíveis hipóteses formuladas pelos alunos para a segunda pergunta (Por que isso aconteceu?):

- Isso aconteceu porque a temperatura da gasolina estava muito alta;
- Isso aconteceu porque o volume do tanque diminuiu, a gasolina não conseguiu ficar mais lá dentro e transbordou;
- Devido ao aquecimento provocado pelos raios solares, houve um aumento na temperatura da gasolina, o que gerou sua dilatação;\*
- ...

8.4– Etapas para a solução ao problema:

- A partir das hipóteses e para testá-las, o professor sugere a utilização de um aparato simples, proposto originalmente por nós em Maximo Pereira (2006) e Maximo Pereira e Soares (2009), que modela o fenômeno descrito no problema e permite resolvê-lo sem a necessidade de um carro com o tanque cheio ao sol.

Descrição do aparato:

Enchemos com água um vidro de perfume vazio (cuja dilatação própria é desprezível em relação ao líquido), interligando verticalmente a sua tampa a um tubo mais fino (no caso, uma seringa de injeção). Esse conjunto é colocado dentro de um béquer com água, de modo a ficar, em grande parte, submerso. Colocamos um aquecedor de chá (do tipo “mergulhão”) dentro do béquer.

Por intermédio desse arranjo simples, podemos identificar as seguintes analogias com o problema proposto:

Vidro de perfume com tubo da seringa → tanque de gasolina do carro  
com tubo de injeção de combustível;  
Água dentro do béquer → ambiente externo ao tanque;  
Aquecedor de chá → Sol.

- Os alunos se organizam em grupos para o planejamento da atividade experimental (elaboração do plano de trabalho):

Plano de trabalho proposto pelo professor aos alunos:

- O que observar? (Tempo? Temperatura? Volume? Variação de temperatura? Variação de volume?)
- O que medir? (Variação de temperatura? Variação de volume? Temperatura? Volume?)
- Que procedimento utilizar? (Medir volume a cada intervalo fixo de temperatura ou temperatura a cada intervalo fixo de volume? Que intervalos utilizar entre uma medida e outra? Até que ponto efetuar as medições?)
- Como medir? (Que termômetro utilizar? Onde posicioná-lo?)
- Como organizar os dados coletados? (Tabela? Gráfico?)
- Os grupos debatem e escolhem o(s) melhor(es) procedimento(s) experimental(ais) proposto(s);

- Os grupos realizam o experimento, debatem entre si sobre os resultados obtidos e elaboram sua solução para o problema;
- Todos os grupos se reúnem e cada um apresenta seus resultados e sua solução;
- Com a orientação e mediação do professor, os grupos discutem para chegar à melhor solução coletiva.

### **Atividade 9: Tanque cheio de gasolina ao sol por pouco tempo**

9.1– Objetivo: verificar que, para pequenos intervalos de variação de temperatura da água (até em torno de 10 °C) e suas respectivas variações de volume, as variações de volume são diretamente proporcionais às de temperatura.

**9.2– Problema: Suponha que o carro do problema anterior foi deixado ao sol por pouco tempo, de modo que a variação de temperatura da gasolina foi pequena. Que tipo de relação existe entre variações de volume e de temperatura para pequenos intervalos de variação de temperatura? Considere que, para a água, esses pequenos intervalos vão até em torno de 10 °C.**

9.3– Algumas possíveis hipóteses formuladas pelos alunos:

- Quando aumenta a temperatura, aumenta o volume;
- Quando aumenta a variação de volume, aumenta a variação de temperatura;
- Para pequenas variações de temperatura (no caso da água, até em torno de 10 °C), as variações de volume são diretamente proporcionais às de temperatura;\*
- ...

9.4– Etapas para a solução ao problema:

- Os grupos analisam os dados e os gráficos obtidos na atividade anterior, debatem entre si e elaboram sua solução para o problema;



- Todos os grupos se reúnem e cada um apresenta suas conclusões;
- Com a orientação e mediação do professor, os grupos discutem para chegar à melhor solução coletiva.

### **Atividade 10: Tanque cheio de gasolina ao sol: efeitos e suas causas**

10.1– Objetivo: introduzir a noção de trabalho termodinâmico a partir do conceito de trabalho mecânico; verificar que calor pode gerar tanto mudança de temperatura como trabalho; definir calor como sendo a energia transferida entre um sistema e seu entorno que não pode ser associada ao trabalho.

10.2– **Problema: Que efeitos são observados quando o carro com o tanque cheio de gasolina é colocado ao sol? O que provocou tais efeitos?**

10.3.1– Algumas possíveis hipóteses formuladas pelos alunos para a primeira pergunta (Que efeitos são observados quando o carro com o tanque cheio de gasolina é colocado ao sol?):

- Saída da gasolina do tanque;
- Aquecimento da gasolina;
- Aumento da temperatura da gasolina e sua dilatação;
- Aumento da temperatura da gasolina e trabalho realizado por ela ao se dilatar devido ao *calor* transferido pelo Sol;\*
- ...

10.3.2– Algumas possíveis hipóteses formuladas pelos alunos para a segunda pergunta (O que provocou tais efeitos?):

- O tanque, que é muito pequeno para a gasolina;
- O Sol;

- A energia que é transferida do Sol para o tanque e desse para a gasolina, denominada calor;\*
- ...

10.4– Etapas para a solução ao problema:

- Os grupos analisam os resultados das atividades anteriores e debatem entre si;
- Todos os grupos se reúnem e cada um apresenta suas contribuições;
- Partindo do que se observou no experimento realizado, o professor relembra aos alunos o conceito de trabalho mecânico, aplicando-o com os alunos à situação do experimento;
- Pela dificuldade de determinar o trabalho desse modo, o professor pode citar o conceito de pressão, visto pelos alunos anteriormente, e propor que eles associem os dois de alguma forma;
- A partir dessa associação, ele introduz para os alunos a ideia trabalho termodinâmico, necessária para a compreensão do que ocorre no experimento;
- Associando essa nova informação com os conhecimentos construídos anteriormente, os grupos propõem soluções para o problema;
- Com a orientação e mediação do professor, os grupos discutem para chegar à melhor solução coletiva.

### **Atividade 11: Termômetro vs. Experimento do tanque de gasolina**

11.1– Objetivo: verificar que o experimento realizado para modelar o transbordamento do tanque de gasolina é análogo a um termômetro de mercúrio, pois relaciona dilatação com temperatura.

**11.2– Problema: Existe alguma semelhança entre o experimento realizado para modelar o transbordamento do tanque de gasolina e um termômetro de mercúrio? Justifique sua resposta.**

11.3– Algumas possíveis hipóteses formuladas pelos alunos:

- Não, pois o termômetro é de mercúrio e o experimento é feito com água;
- Não, pois o termômetro mede temperatura e no experimento foi usado outro termômetro, que era um termopar;
- Sim, pois tanto para o termômetro como para o experimento, uma variação de temperatura provoca uma variação apreciável de volume (na coluna de mercúrio ou na água no tubo da seringa do experimento), que pode ser calibrada para indicar temperatura;\*
- ...

11.4– Etapas para a solução ao problema:

- Os grupos analisam as atividades anteriores, debatem entre si e elaboram sua solução para o problema;
- Todos os grupos se reúnem e cada um apresenta suas conclusões;
- Com a orientação e mediação do professor, os grupos discutem para chegar à melhor solução coletiva.

### **Atividade 12: Cozinhando feijão na panela de pressão**

12.1– Objetivos: introduzir a noção de que, quanto maior a pressão, maior a temperatura de ebulição da água e, por isso, a panela de pressão cozinha mais rapidamente os alimentos que uma panela comum;

**12.2– Problema: Em qual recipiente cozinhamos feijão mais rapidamente: em uma panela comum ou na panela de pressão? Por que isso acontece?**

12.3.1– Algumas possíveis hipóteses formuladas pelos alunos para a primeira pergunta (Em qual recipiente cozinhamos feijão mais rapidamente, em uma panela comum ou na panela de pressão?):

- Nas duas panelas o tempo de cozimento do feijão é o mesmo;
- Na panela comum;
- Na panela de pressão;\*
- ...

12.3.2– Algumas possíveis hipóteses formuladas pelos alunos para a segunda pergunta (Por que isso acontece?):

- Porque a panela de pressão foi feita para cozinhar os alimentos mais rapidamente;
- Porque dentro da panela de pressão a pressão é maior;
- Como a pressão dentro dessa panela é maior do que nas comuns, a temperatura de mudança de fase da água é alterada, de modo que seu ponto de ebulição ocorre a uma temperatura superior à que ocorreria numa panela comum, na mesma altitude. Assim, dentro da panela de pressão, há água na fase líquida a uma temperatura mais alta, o que acelera o cozimento do feijão;\*
- ...

12.4– Etapas para a solução ao problema:

- A partir dessas hipóteses e para testá-las, o professor sugere a exibição do vídeo sobre a panela de pressão, que está disponível em <http://www.youtube.com/watch?v=kzWekDe4slo> ;
- O professor inicia a exibição do programa e pode pausá-la aproximadamente ao término da primeira fala da repórter fora do

estúdio (por volta do instante 1 min 16 s), perguntando aos grupos se já são capazes de responder à primeira pergunta do problema;

- Após as respostas dos grupos, o professor pode continuar a exibição da reportagem até o momento (instante 1 min 59 s, aproximadamente) em que a culinária responde à pergunta da repórter sobre haver algum problema em fazer doce de leite colocando a lata de leite condensado dentro da panela de pressão com o feijão. Nesse ponto, ele pode parar o vídeo e perguntar aos grupos se a culinária fornece um embasamento científico para a sua resposta e se eles estão de acordo com o que ela afirma. É interessante perguntar também se os alunos conhecem algum efeito que o aquecimento da lata de leite condensado imersa no feijão pode gerar nele e pedir que pesquisem posteriormente em casa sobre essa questão. Por fim, o docente pode voltar para as duas últimas falas do vídeo nesse bloco (a da culinária sobre a lata de doce de leite e a da repórter, na sequência, sobre o funcionamento da panela de pressão,) e perguntar aos grupos se elas fazem uso ou não da linguagem científica e em que elementos elas se basearam para fornecer suas respostas;
- Dando prosseguimento ao vídeo, para entender melhor como funciona a panela de pressão, a repórter vai até o laboratório didático de Física da USP. Lá um professor coloca água em uma panela de pressão sobre a chama do fogão e verifica o aumento da temperatura dentro da panela e de sua pressão interna, com o auxílio, respectivamente, de um termômetro e de um manômetro, previamente conectados à panela de pressão (entre os instantes 1 min 59 s e 2 min 18 s do vídeo);
- Por volta do instante 2 min 34 s, após o diálogo entre a repórter e a culinária sobre se “tem que abaixar o fogo depois que pega pressão” (fala da repórter), o professor pode interromper o vídeo e solicitar aos grupos que retomem os resultados da Atividade 4 sobre Calor, para justificar o fato de poder diminuir a intensidade

da chama (“abaixar o fogo”) após início da mudança de fase, como informou a culinária, e que analisem a sua fala;

- Na sequência da reportagem, o experimento de aquecimento da água na panela de pressão volta a ser exibido. O professor pode parar o vídeo próximo ao instante 2 min 49 s e, por fim, perguntar aos grupos o que acontece na panela de pressão que difere do que acontece numa panela comum (como observado nas Atividades de 1 a 6 sobre Calor) para que os alimentos cozinhem mais rapidamente dentro dela;
- Os grupos analisam as informações do vídeo, retomam os resultados das atividades anteriores, debatem entre si e elaboram sua solução para o problema;
- Todos os grupos se reúnem e cada um apresenta suas conclusões;
- Com a orientação e mediação do professor, os grupos discutem para chegar à melhor solução coletiva.

### **Atividade 13: Observando a panela de pressão**

13.1– Objetivos: verificar que calor pode gerar tanto trabalho como mudança de fase à temperatura constante; retomar a conceituação de calor como sendo a energia transferida entre um sistema e seu entorno que não pode ser associada ao trabalho.

13.2– Problema: **Que efeito(s) é (são) observado(s) quando colocamos água em uma panela de pressão sobre a chama do fogão? O que provocou tal (tais) efeito(s)?**

13.3.1– Algumas possíveis hipóteses formuladas pelos alunos para a primeira pergunta (Que efeito(s) é (são) observado(s) quando colocamos água em uma panela de pressão sobre a chama do fogão?):

- A água esquenta e depois começa a ferver;
- A água ferve mais rápido do que na panela comum;

- Sai “fumaça” pela válvula quando a água começa a ferver;
- Quando a água começa a ferver, sai “fumaça” pelo pino, que começa a subir e a descer;
- A temperatura da água aumenta até o ponto em que ela começa a mudar de fase à temperatura constante. Quando isso acontece, o vapor de água realiza trabalho para levantar o pino e sair da panela. Em outras palavras, o calor transferido serviu inicialmente para a mudança de temperatura e, posteriormente, para a mudança de fase à temperatura constante e realização de trabalho;\*
- ...

13.3.2– Algumas possíveis hipóteses formuladas pelos alunos para a segunda pergunta (O que provocou tal (tais) efeito(s)?)

- A panela de pressão;
- O fato de a panela estar fechada;
- A energia que é transferida da chama para a panela, e dessa para a água, denominada calor;\*
- ...

13.4– Etapas para a solução ao problema:

- O professor pode inicialmente pedir que os alunos retomem o conteúdo do vídeo exibido até então para que possam tentar responder à primeira pergunta, ainda que parcialmente;
- A exibição da reportagem é iniciada a partir do instante 2 min 49 s até próximo ao instante 3 min 13 s, quando o docente pode parar o vídeo e pedir aos grupos de alunos que justifiquem fisicamente, utilizando os resultados das atividades anteriores, a fala da culinária sobre a lata de doce de leite retirada da panela de pressão: “as pessoas às vezes põem dentro do freezer e acham que

a parte de fora está gelada e abrem, é muito perigoso, pode espirrar e [dar] queimadura séria”. Além disso, pode perguntar aos alunos se nas duas falas da repórter sobre pressão ela utiliza esse conceito de modo científico ou cotidiano, voltando a exibir, se necessário, o trecho do vídeo mencionado acima;

- Continuando a exibição da reportagem, é interessante que o professor pare no instante 3 min 33 s e refaça para os grupos a pergunta do problema, a fim de que eles percebam a associação entre o levantamento do pino pela saída do vapor e o trabalho realizado por ele e notem que este é devido ao calor, assim como a mudança de fase da água, e que ambos os processos acontecem simultaneamente;
- Os grupos utilizam as informações fornecidas no vídeo, analisam os resultados da atividade anterior, debatem entre si e elaboram sua solução para o problema;
- Todos os grupos se reúnem e cada um apresenta suas conclusões;
- Com a orientação e mediação do professor, os grupos discutem para chegar à melhor solução coletiva;
- Voltando a ver o vídeo até o instante 4 min 26 s, o professor pode perguntar mais uma vez sobre a fala da culinária sobre pressão durante o cozimento do macarrão e pedir aos alunos que expliquem fisicamente o que ela quer dizer;
- Exibindo o programa a partir desse ponto até o instante 5 min 19 s aproximadamente, o professor pode pedir aos grupos que associem as experiências realizadas no vídeo ao funcionamento da panela de pressão e expliquem por que uma panela de pressão pode explodir. Além disso, pode solicitar que os alunos comentem a frase da repórter sobre o vapor que sai do balão com água durante a mudança de fase: “Vapor é energia.”;



- Os grupos utilizam as informações fornecidas no vídeo, debatem entre si e elaboram sua solução para o problema;
- Todos os grupos se reúnem e cada um apresenta suas conclusões;
- Com a orientação e mediação do professor, os grupos discutem para chegar à melhor solução coletiva;
- Continuando a exibição do vídeo até o instante 5 min 37 s, o professor pode pedir aos grupos que verifiquem se a estimativa do físico para a força com a qual a tampa da panela de pressão seria empurrada no caso de um mau funcionamento devido a um entupimento no pino ou na válvula de segurança (equivalente a aproximadamente um peso de uma massa de 500 kg na Terra) é correta;
- Para tanto, os grupos devem ter tempo para retomar a Atividade 10 sobre Calor e para ter acesso às informações do vídeo e a outras que acharem pertinentes para efetuar os devidos cálculos;
- Todos os grupos se reúnem e cada um apresenta suas conclusões;
- Com a orientação e mediação do professor, os grupos discutem para chegar à melhor solução coletiva;
- Após esse trabalho dos grupos, a reportagem pode continuar a ser exibida até o fim.