

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO



INSTITUTO DE FÍSICA
LICENCIATURA EM FÍSICA

PROJETO DE INSTRUMENTAÇÃO PARA O ENSINO DE FÍSICA

Sobre a evolução dos conceitos de calor e temperatura e suas concepções alternativas

Carlos Alberto Silva Pontes

Orientador: Antonio Carlos Fontes dos Santos

18/2010

2010/1



p. Silva Pontes
18/08/10
CS

Sobre a evolução dos conceitos de calor e temperatura e suas concepções alternativas

Ficha catalográfica

Pontes, Carlos Alberto Silva

Sobre a evolução dos conceitos de calor e temperatura e suas concepções alternativas, Carlos Alberto Silva Pontes - Rio de Janeiro: Projeto de Instrumentação para o Ensino de Física - Instituto de Física/UFRJ, 2010.

1. Física Térmica 2. Calor 3. Temperatura 4. Ciência - Ensino

Médio. 3. Física Clássica

I. Título

Este trabalho é dedicado a todos aqueles
que lutam pela valorização da carreira docente
em nosso país.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor José Maria Filardo Bassalo (UFPA) o envio pelo correio de cópias de sua obra "Crônicas do Calor" que compõem em grande parte as observações históricas citadas neste trabalho. Igualmente agradeço à colega de trabalho Flávia Pereira de Albuquerque pelas cópias efetuadas do questionário e que foram enviadas aos diversos colegas licenciados e licenciandos do curso de Licenciatura em Física da UFRJ. Naturalmente, agradecimentos também aos colegas professores Fábio dos Santos Freitas, Douglas Baroni, Adriana Cobas Bugalo, Luis Carlos Gomes de Alcântara, Welf Araújo e Rodrigo Claid pelo recebimento, aplicação e devolução dos questionários pelos correios. E, como não poderia deixar de citar, ao Professor Orientador Antonio Carlos Fontes dos Santos do IF/UFRJ pela orientação neste trabalho assim como aos Professores Wilma Machado Soares Santos e Luiz Felipe de Souza Coelho pelas sugestões apresentadas bem como à minha família pelo apoio dado.

RESUMO

O que de fato é calor? É um fluido que nosso corpo "suga" ao tocarmos em objetos "frios"? E temperatura? Tais questões povoaram por séculos as mentes dos estudiosos. Calor e temperatura são conceitos que, embora distintos, foram e ainda são confundidos, especialmente entre alunos que invariavelmente trazem consigo suas concepções alternativas. Se, por um lado, os alunos trazem tais concepções, por outro, grande parte do material didático além de não levar em conta a existência delas, costuma não abordar a evolução histórica dos conceitos de calor ou de temperatura de forma merecida. Neste trabalho é realizada, então, uma revisão sobre a evolução histórica dos conceitos de calor e temperatura até nossos dias bem como uma pesquisa de algumas das concepções alternativas apresentadas por alunos do ensino médio. O presente trabalho está dividido da seguinte forma: num primeiro momento é feito um resumo da história da evolução dos conceitos de calor e temperatura. Logo após são apresentadas definições de calor e temperatura presentes em alguns livros didáticos seguidas de uma revisão das concepções alternativas dos estudantes. Por fim, são apresentados os resultados de uma pesquisa envolvendo a aplicação de 313 questionários sobre os conceitos de calor e temperatura em diferentes instituições de ensino das redes pública, particular e de pré-vestibular da região metropolitana do Rio de Janeiro e a conclusão deste trabalho.

ÍNDICE

RESUMO.....	8
1. INTRODUÇÃO.....	11
2. A HISTÓRIA DOS CONCEITOS DE CALOR E TEMPERATURA.....	14
3. DEFINIÇÕES PARA A TEMPERATURA E PARA O CALOR PRESENTES NOS LIVROS DIDÁTICOS.....	37
4. CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS. O QUE A LITERATURA EM ENSINO DE FÍSICA APRESENTA.....	48
5. CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS.....	53
CONCLUSÃO.....	72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75
ANEXO I.....	78

1. INTRODUÇÃO

Todos os dias a maior parte de nós ao acordar joga para o lado o lençol que usou para se cobrir durante a noite ou mesmo um cobertor, dependendo da época do ano. Nos sentamos à cama e colocamos os pés no chão. Se o chão for revestido por peças em cerâmica, provavelmente "sentiremos o frio" vindo do piso de nosso quarto nos pés, mesmo após uma "noite quente" de verão.

Levantamos e vamos ao banheiro. Ligamos o chuveiro e podemos nos espantar ao sentir a "água tão fria". Ligamos um aquecedor a gás ou um chuveiro elétrico e o ajustamos obtendo uma "temperatura confortável" para a água. Secamo-nos e talvez apliquemos um anti-transpirante, o que nos permitirá passar o dia sem suar muito "devido ao calor". Decidimos as roupas e os sapatos que usaremos pensando em se o dia será "quente ou frio". Num "dia quente", por exemplo, costumamos vestir roupas leves e brancas, numa tentativa de amenizar o "desconforto com o calor" que possamos ter na condução ou no trabalho ao longo do dia.

Tiramos o leite da geladeira e o colocamos em uma leiteira levando-o ao fogo até ferver. Antes de "fechar o gás" do fogão, aproveitamos para fazer um café. É possível que coloquemos o que sobrou do café em uma garrafa térmica para "evitar que esfrie". Ou quem sabe guardemos em uma geladeira para depois aquecer em um forno de micro-ondas.

Fechamos a porta de casa e notamos que durante o dia, ao receber a luz do sol, ela não se fecha tão facilmente. Fazemos algum esforço e ela fecha como que à força! Finalmente, saímos de casa e nos dirigimos ao trabalho. O veículo (um ônibus) que utilizamos no trajeto talvez disponha de ar condicionado. Se não dispor e "o dia estiver quente" desejaremos sentar junto às janelas do veículo. Durante o caminho, podemos ouvir um noticiário pelo rádio. Uma reportagem falando sobre um tal acordo de emissões de carbono entre os países e a preocupação com o efeito estufa e o aquecimento global nos chama a atenção. Da janela do ônibus vemos passar um relógio digital de rua indicando a temperatura de 35°C o que nos leva a pensar "que calor!".

O objetivo desta breve narrativa foi o de apenas mostrar, num relato simples e permeado de definições do senso comum (concepções não necessariamente corretas) sobre calor e temperatura, que o mundo natural é povoado de fenômenos térmicos. Entender os fenômenos térmicos é entender parte do funcionamento desse mesmo mundo natural. É claro que no relato aparecem apenas alguns dos vários momentos em nosso cotidiano (os mais simples e corriqueiros) em que nos vemos envolvidos pelos fenômenos térmicos e seus conceitos mais fundamentais sem que nos demos conta ou tenhamos a plena compreensão, mais especificamente, do real significado e da importância do que seja calor e do que seja temperatura, temas centrais deste trabalho. Nas palavras de Einstein e Infeld:

"Os conceitos mais fundamentais na descrição dos fenômenos térmicos são temperatura e calor. Foi necessário um tempo inacreditavelmente longo da história da ciência para que esses conceitos fossem distinguidos, mas uma vez feita essa distinção, resultou em rápido progresso" (EINSTEIN & INFELD, 1980 apud SILVA, D. ; FERNANDEZ NETO, V. ; CARVALHO, A. M. P, 1997)

Podemos ainda citar outras situações onde o entendimento correto do que seja calor e do que seja temperatura são importantes para que se compreenda o funcionamento de dispositivos tecnológicos ou mesmo se entenda o mundo a nossa volta: o emprego dos termostatos, o emprego dos materiais isolantes térmicos, a utilização das "propriedades térmicas" de alguns materiais para a indicação da temperatura, o uso médico do calor, a temperatura do corpo humano como indicador do estado de saúde, o funcionamento de processos biológicos diversos, as alterações climáticas globais, o funcionamento de eletrodomésticos como aparelhos de ar condicionado, geladeiras, ferros de passar roupas ou torradeiras elétricas, o conceito de calorias no estabelecimento das dietas alimentares, a compreensão do que ocorre em nosso Sol, o emprego dos combustíveis fósseis, a

compreensão das mudanças do tempo (meteorologia) e da formação dos ventos, o preparo e a conservação dos alimentos que ingerimos, os diversos processos da indústria química, o princípio de funcionamento dos motores à combustão e a vapor entre tantas outras situações não citadas aqui.

Mas quais seriam os conceitos que os alunos têm sobre calor e temperatura? E os livros didáticos? Eles levam em conta a história da evolução dos conceitos de calor e temperatura e as concepções alternativas dos estudantes? Que conceitos eles apresentam? Qual seria a história e como se deu o desenvolvimento desses conceitos? Quais as concepções dos alunos sobre o calor e a temperatura em nossa região?

No intuito de tentar responder a tais questões é que nasceu o presente trabalho, dividido em cinco capítulos. No capítulo primeiro, é feita uma breve introdução ao tema. No segundo capítulo, é feito um resumo da história dos conceitos de calor e temperatura, sem deixar de lado fatos paralelos e importantes da história da Física Térmica. No terceiro capítulo, são apresentadas as definições para o calor e para a temperatura presentes em alguns livros didáticos. No capítulo quatro, são apresentadas as definições dos estudantes para o calor e para a temperatura, com destaque para as chamadas concepções alternativas citadas na literatura de ensino de Física. No quinto capítulo, são apresentados os resultados de pesquisa envolvendo a aplicação de 313 questionários sobre os conceitos de calor e temperatura em alunos do ensino médio da região metropolitana do Rio de Janeiro. No último capítulo, as conclusões do presente trabalho.

2. A HISTÓRIA DOS CONCEITOS DE CALOR E TEMPERATURA

Podemos encontrar na mitologia grega uma das mais antigas referências não diretamente aos conceitos de calor e temperatura, mas ao fogo, em Prometeu. Prometeu, na mitologia grega, teria sido o responsável por criar o homem e o teria animado usando do fogo que fora roubado dos deuses ajudado por Minerva:

"Prometeu era um dos titãs, uma raça gigantesca, que habitou a Terra (...). Ele e seu irmão Epimeteu foram incumbidos de fazer o homem e assegurar-lhe, (...), todas as faculdades necessárias (...). Assim, Epimeteu tratou de atribuir a cada animal seus dons variados (...). Quando, porém, chegou a vez do homem, que tinha de ser superior a todos os outros animais, (...) recorreu a seu irmão Prometeu, que, com a ajuda de Minerva, subiu ao céu e acendeu sua tocha no carro do sol, trazendo o fogo para o homem." (BULFINCH, Thomas; Capítulo II; O Livro de Ouro da Mitologia; Edição Especial, Ediouro-RJ)

Platão (428-348AC) interpretava o calor como algo muito próximo ao elemento fogo, comparável a corpúsculos deste mesmo elemento que se separavam em virtude da penetração do fogo (CINDRA, J.L.; TEIXEIRA, O.P.B., 2002).

Demócrito de Abdera (470-380AC) e Leucipo de Mileto (460-370AC) acreditavam na existência do átomo de fogo esférico (BASSALO, J. M. F, 1992). Tanto Demócrito quanto Leucipo acreditavam que o fogo era decorrente de átomos muito rápidos que se desprendiam sem parar de corpos aquecidos (GURGEL & PIETROCOLA, 2006).

Já Aristóteles de Estagira (384-322AC) nos traz uma concepção de universo formado por elementos essenciais, quais sejam, o frio, o quente, o úmido e o seco. Para Aristóteles, o fogo seria o resultado da mistura do quente com o seco:

"É justamente a mistura (...) desses elementos simples entre si que gera os entes naturais. (...) Esses quatro elementos possuem quatro propriedades, apresentadas em dois pares de opostos, que os caracterizam como tais, e é precisamente por meio dessas propriedades, a saber, do quente e do frio e do seco e do úmido, que ocorre a transformação (...) de um em outro desses elementos. Assim, o fogo é quente e seco (...). Cada qual se transforma em seu elemento consecutivo, de modo que o fogo se transforma em ar(...)" (PUENTE, Fernando Rey; Os sentidos do tempo em Aristóteles; Editora Loyola; 1a. Edição;2001)

Pode-se dizer que os gregos eram conhecedores dos graus de quente e frio (BASSALO, J. M. F, 1991). Platão e Aristóteles também escreveram sobre relações entre calor e movimento (GURGEL & PIETROCOLA, 2006).

Heron (10-70DC) também teria desenvolvido um aparato precursor do termômetro. Fílon de Alexandria (300AC-?) também teria desenvolvido o termoscópio, o precursor dos termômetros, aparelho que permitia perceber a expansão do ar com a variação da temperatura e que foi muito utilizado no século XVII (BASSALO, 1987).

Ainda na Idade Antiga, encontramos a primeira citação à temperatura feita por Galeno (129-200DC). Para Galeno, no corpo humano havia uma mistura ou mescla de quantidades iguais de frio e calor e a pessoa saudável teria quantidades iguais de ambos. Na tradução das obras de Galeno a palavra mescla foi traduzida para seu equivalente: temperatura. Assim, a palavra temperatura passou a ser empregada pelos cientistas séculos depois. Note-se que a partir deste ponto e por muito tempo, temperatura passou a significar medida de calor, ou seja, calor e temperatura expressavam o mesmo conceito (SILVA, D. ; FERNANDEZ NETO, V. ; CARVALHO, A. M. P, 1997).

Já na Idade Média, Abu Musa Jabir Ibn Hayyan (Geber) (721-815DC) acreditava que os quatro elementos gregos combinavam-se dando origem ao enxofre, onde este último constituía o princípio da combustão (fogo) (BASSALO, 1987).

Para Roger Bacon (1214-1294DC), o calor estaria associado ao movimento interno das partículas de um corpo. Contudo, ele não sabia ao certo se o calor é que levava ao movimento ou o inverso (CINDRA, J. L. & TEIXEIRA, O.B., 2002).

Já na Idade Moderna, a ideia de calor como relacionada à vibração pode ser atribuída a Francis Bacon (1561-1625) uma vez que para ele o calor se relacionava com a vibração de átomos e moléculas (SILVA, D. ; FERNANDEZ NETO, V. ; CARVALHO, A. M. P, 1997). Ainda para Francis Bacon o calor não gerava ou produzia movimento mas o calor ou algo dele era o próprio movimento (SILVA apud GURGEL, I. ; PIETROCOLA, M, 2006). O frio, para Francis Bacon, seria decorrente de um movimento de contração (DE BERG, 2008). Por outro lado, Galileu (1564-1642) bem como o filósofo e cientista italiano Telesius (1504-1630) acreditavam que o calor se tratava de um fluido (CINDRA, J. L. & TEIXEIRA, O.B., 2002). Bacon defendeu também o estudo da natureza objetiva do calor sem que se utilize as sensações táteis (tempera) para se quantificar o calor, algo típico de Galeno (SILVA, D. ; FERNANDEZ NETO, V. ; CARVALHO, A. M. P, 1997). Kepler (1571-1630), Leibniz (1646-1716) e Newton (1643-1727) compartilharam das ideias de Bacon.

Com Robert Boyle (1627-1691) temos também uma reafirmação da ideia do calor como forma de movimento:

"... Quando, por exemplo, um ferreiro martela vigorosamente um prego, ou um pedaço de ferro parecido, o metal golpeado ficará excessivamente quente, e não há nada que esteja produzindo este efeito, exceto o vigoroso movimento do martelo, que imprime uma impetuosa e variada agitação das pequenas

partes do ferro; o qual sendo antes um corpo frio, pela intensa comoção de suas pequenas partes, torna-se em diversos sentidos quente; (...) se um grande prego for conduzido por um martelo em uma tábua grossa, ou pedaço de madeira, ele receberá diversos golpes na cabeça antes de se tornar quente; mas quando sua cabeça é forçada, de tal forma que o prego não pode mais avançar, bastam poucos golpes para torná-la consideravelmente quente; por enquanto, a cada pancada do martelo, o prego entra mais e mais na madeira, o movimento, que é produzido, é basicamente progressivo, e é do prego como um todo indo em uma direção; ao passo que, quando o movimento cessa, então o impulso dado pela pancada, sendo incapaz tanto de destruí-lo, deve ser gasto em produzir uma violenta e desordenada comoção interna das partes entre si, de tal forma como primeiramente observamos consistir a natureza do calor. " (BOYLE apud SOUZA FILHO apud GURGEL, I. ; PIETROCOLA, M, 2006)

Em 1657 alguns cientistas da Accademia Del Cimento provaram que quantidades iguais e à mesma temperatura de vários líquidos não conseguiam fundir uma igual quantidade de gelo (BASSALO, 1992).

Tais avanços no entendimento dos fenômenos térmicos foram ainda acompanhados de ideias um tanto exóticas. Em 1669 Johann Joachim Becher (1635-1682) chegou a afirmar que a combustão era devida à terra pinguis (terra gordurosa ou combustível), ou seja, da queima de uma substância haveria liberação da terra combustível. Mariotte (1629-1684) chegou a afirmar em 1679 que o calor emitido por uma lareira era diferente do calor emitido pelo Sol. Em 1697, Georg Ernst

Stahl (1660-1734) formulou a teoria do flogístico (consumido pelo fogo), teoria esta que sobreviveu até o século XVIII (BASSALO, 1992):

“Para Stahl, uma espécie de espírito do fogo, o flogisto ou flogístico (do grego phlogistos, que significa queimando – igneo, combustível), estava presente nas substâncias e era liberado quando essas eram aquecidas. O calor era então, juntamente com a luz, efeito perceptível desse princípio do fogo.” (RAMME & BURKARTER, 2006)

Foi também na Idade Moderna, em meados do século XVII, que se deu a confecção dos primeiros termômetros de relativa precisão acompanhada da determinação de coeficientes de dilatação de líquidos e pontos de fusão e ebulição de vários materiais (GREF, 1998). Destacaram-se Galileu, Santorio Santorio (1562-1636), Giovanni Francesco Sagredo (1571-1620), Jean Rey (1582-1632), Fernando II de Toscana (1610-1670), Vincenzo Viviani (1622-1703), Torricelli (1608-1647), Olaüs Römer (1644-1710), Fahrenheit (1686-1736), Réamur (1683-1757), Celsius (1702-1744) e Von Linné (1707-1778) (BASSALO, 1991). Hooke (1635-1703) e Huygens (1629-1695) teriam sido os pioneiros na adoção de um método com ponto fixo na calibração de termômetros (DE BERG, 2008). Em 1688, Joachim Dalencé (1640-1707?) mostrou que uma escala termométrica precisa ser definida a partir de duas temperaturas fixas, escolhendo como pontos as temperaturas de fusão do gelo e da manteiga, adotando os valores de -10°C e $+10^{\circ}\text{C}$ respectivamente para estes pontos e dividindo os intervalos entre estes dois pontos em vinte partes iguais. Em 1694, Carlos Renaldini (1615-1698) adotou o ponto de ebulição da água no lugar do ponto de fusão da manteiga (BASSALO, 1991).

Boerhaave (1668-1738) afirmou em 1724 que o calor se distribuía pelo volume e não pela massa dos corpos, chegando a propor a equação para o equilíbrio térmico entre a mistura de duas partes de uma mesma substância a temperaturas diferentes como sendo (BASSALO, 1992):

$$t = (V_1 t_1 + V_2 t_2) / (V_1 + V_2) \quad (1)$$

Tanto para Boerhaave como para outro estudioso da época, Musschenbroeck (1632-1761), o calor se distribuía de forma uniforme entre corpos em equilíbrio térmico (LOURENÇO & BAIERL, 2004).

Em 1727, Euler (1707-1783) formulou uma teoria cinética do ar considerando-o como formado por moléculas esféricas gigantes, em movimento de vórtex e densamente juntas (BASSALO, 1992).

Em 1729, Klingestjerna (1698-1765) aventou a hipótese de que havia uma diferença entre grau e quantidade de calor (LOURENÇO & BAIERL, 2004).

Em 1738, Bernoulli (1700-1782) apresentou um modelo cinético dos gases, modelo este ignorado por não existirem meios adequados para se determinar as velocidades médias das partículas dos gases e a predominância de um modelo para o comportamento dos mesmos (LOURENÇO & BAIERL, 2004). Na transcrição abaixo, Bernoulli descreve sua visão de um cilindro vertical, dotado de um pistão no topo sobre o qual encontra-se apoiado um peso, ambos sustentados pela pressão no interior do cilindro:

"Imagine que a cavidade contenha partículas muito pequenas, que se movimentam freneticamente para lá e para cá, de modo que quando estas partículas batam no pistão elas o sustentam com repetidos impactos, formando um fluido que expande sobre si caso o peso for retirado ou diminuído ..." (BERNOULLI apud BERTULANI, 2010)

Mikhail Vasilyevich Lomonosov (1711-1765) em 1740 afirmou:

"A causa do calor e do frio é devida ao movimento mútuo de diminutas e imperceptíveis partículas" (BASSALO, 1992).

Richmann (1711-1753) propôs em 1747 que a temperatura de equilíbrio dada pela equação 1 seria na realidade obtida pela média ponderada das massas (BASSALO, 1992):

$$t = (m_1 t_1 + m_2 t_2) / (m_1 + m_2) \quad (2)$$

Em 1757, Joseph Black (1728-1799) afirmou que nenhuma dessas equações correspondiam à realidade. Misturando água a 78°C com uma mesma quantidade de gelo a 0°C, notou que o gelo mesmo fundindo se mantinha a 0°C. Em outras palavras, o calor "podia ser adicionado" à água misturada com gelo, sem que se percebesse um aumento da temperatura de tal mistura (LOURENÇO & BAIERL, 2004). Para Black, a fusão era produzida por um pequeno acréscimo de calor a um corpo sólido quando aquecido até seu ponto de fusão e, o retorno para o estado sólido, dependeria apenas de uma pequena redução de tal quantidade de calor após seu resfriamento em um mesmo número de graus (SILVA, D. , FERNANDEZ NETO, V. & CARVALHO, A. M. P, 1997):

"Acreditava-se que esta pequena adição de calor ao corpo não fazia necessariamente o aumento de um pequeno valor na temperatura de um corpo, indicada pela medida de um termômetro, colocado no líquido resultante.(...) encontrei uma razão para desaprová-la, como inconsistente em relação a muitos fatos observáveis quando atentamente considerados.(...) Quando o gelo ou outra substância é fundida, eu penso que ele recebe uma grande quantidade de calor, maior que aquela que é perceptível nele, imediatamente depois por meio de um termômetro. Uma grande quantidade de calor penetra a substância naquela ocasião sem aparentemente fazê-lo mais quente. Este calor, contudo deve ser introduzido para lhe dar forma de líquido e eu afirmo que esta maior adição é a principal causa da liquefação produzida. Se fosse suficiente

uma quantidade muito pequena de calor transmitida pelo ar, na primavera, para reduzir em água imensas quantidades de gelo e neve, formados ao longo do inverno, assim a fusão seria operada em poucos minutos e inevitavelmente iria produzir inundações catastróficas." (BLACK apud FERNANDEZ NETO, V. & CARVALHO, A. M. P, 1997).

Black observou ainda que:

"(...) não podem ser persuadidos (os filósofos na natureza) de que a liquidez é um efeito do calor, mas suponham que esta qualidade é algo essencial da água, dependendo da forma esférica e polida da superfície de suas partículas e o congelamento delas depende da introdução de corpos estranhos, sutis" (BLACK apud RODILLO, 1957 apud DE BERG, 2006)

A similaridade entre os processos de fusão e ebulição foi reconhecida por Black e possibilitou uma definição para o calor latente:

"Eu imaginava que durante a ebulição, o calor é absorvido pela água e entra na composição do vapor produzido da mesma maneira como ele é absorvido pelo gelo derretendo e na composição da água resultante. E, como o efeito aparente do calor no último caso, não está aquecendo os órgãos adjacentes, mas na conversão de gelo na água, de modo que na ebulição, o calor não aquece os corpos em torno, mas transforma a água em vapor. Em ambos os casos, (...) a sua presença (do calor) é oculta ou latente, e daí o nome de calor latente" (BLACK apud RODILLO, 1957 apud DE BERG, 2006)

Black, em 1760, observando um bloco de ferro e outro de madeira de mesmo volume e à mesma temperatura, notou que o bloco de ferro parecia mais quente. Foi assim que, para Black, o ferro teria maior "capacidade" de armazenar calor do que a madeira. Chegou a afirmar que:

"Devemos, portanto, concluir que diferentes corpos, embora de mesmo tamanho ou de mesmo peso, quando reduzidos à mesma temperatura, podem conter diferentes quantidades de matéria de calor" (BLACK apud BASSALO, 1992).

Black teria sido o responsável por estabelecer uma diferenciação entre os conceitos de grau e quantidade de calor (LOURENÇO & BAIERL, 2004).

Em 1761, concluiu que o calor necessário para fundir o gelo e para o solidificar era o mesmo (DE BERG, 2008). Em 1762, Black definiu calor latente de fusão como sendo aquela quantidade com que se pode fundir o gelo à pressão e temperatura invariantes. Mais tarde, em 1765, concluiu que o mesmo se sucedia com a água em ebulição. E foi mais longe, ao concluir que era necessária uma quantidade de calor maior para converter água em vapor do que a necessária para se transformar gelo em água (BASSALO, 1992).

Tanto James Watt (1736-1819) quanto Black concluíram que o calor que se perde numa expansão é igual ao calor necessário para produzi-lo (BASSALO, 1992).

Em 1772, Wilcke (1732-1796) afirmou:

"(...) quantidades iguais de substâncias distintas necessitam de diferentes quantidades de calor para a mesma elevação de temperatura" (WILCKE apud BASSALO, 1992).

Esta afirmação pode ser traduzida pela conhecida equação:

$$Q = (m.c. \Delta t) \quad (3)$$

Por outro lado foi com Irvine (1743-1787) que tivemos a definição da capacidade calorífica como sendo (BASSALO, 1992):

$$C = m.c \quad (4)$$

Lavoisier (1734-1794), através de suas experiências, passou a manifestar sérias dúvidas à teoria do flogístico em 1777, contando com o auxílio de Pierre-Simon, Marquês de Laplace (1749-1827). Lavoisier reparou detectou inúmeros problemas em suas experiências sobre fenômenos caloríficos: ora o flogístico tinha peso ora não, ora era fogo livre, ora era fogo combinado etc. No ano de 1777, Lavoisier afirmou que a causa do calor era um fluido imponderável chamado por ele de "matière du feu" que, dependendo da quantidade, conduzia aos estados sólido, líquido e gasoso (BASSALO, 1992).

Em 1783, Laplace e Lavoisier afirmaram:

"Os físicos estão divididos quanto à natureza do calor; uns pensam que se trata de fluido... que penetra mais ou menos nos corpos conforme a sua temperatura e a sua disposição... outros pensam que o calor não é mais do que o resultado dos movimentos insensíveis das moléculas da matéria... não escolheremos entre as duas hipóteses precedentes... talvez ambas se verifiquem" (LAVOISIER & LAPLACE apud BASSALO, 1992)

Lavoisier defendeu uma hipótese "corpuscular" do calor que, conforme sua quantidade, podia formar os três estados da matéria. Por outro lado, Black acreditava na teoria que afirmava ser o calor um fluido imponderável e indestrutível (BASSALO, 1992).

Foi assim que no ano de 1787, Lavoisier juntamente com Antoine-François (Conde de Fourcroy, 1755-1809), Claude-Louis (Conde Berthollet, 1748-1822) e Barão Louis-Bernard Guyton de Morveau (1737-1816) deram o nome de calórico à "matière du feu". O calórico era entendido como um fluido capaz de penetrar em todo o espaço e fluir através dos corpos. Não tardaram a surgir explicações para a teoria do calórico. Pierre Prévost (1751-1839) afirmou que se um corpo

esquentava isso devia ao fato de o mesmo estar recebendo calórico e que, por outro lado, se esfriava era porque o perdia. Para Laplace, a hipótese do calórico era verdadeira admitindo, no entanto, a existência de forças intermoleculares que explicavam as propriedades do calórico. Nascia, então, a teoria do calórico (BASSALO, 1992).

Na teoria do calórico, cada átomo está envolvido por uma "atmosfera" de calórico. A densidade do calórico diminui mais rápido do que a intensidade da atração gravitacional. Enquanto a atração gravitacional atrai os átomos conforme as leis newtonianas (força inversamente proporcional ao quadrado da distância) a "atmosfera" calórica gera uma repulsão entre os mesmos átomos. Tal repulsão obedeceria a uma lei logarítmica análoga à lei da atmosfera terrestre. Se, então, a força gravitacional atrai os átomos com uma força inversamente proporcional ao quadrado da distância, sendo mais forte que a repulsão do calórico, os átomos permanecem numa posição rígida, situação que ocorre nos sólidos. De forma análoga, nos líquidos "o poder" do calórico enfraquecia tal rigidez. Nos gases, a atração gravitacional é tomada como desprezível quando da presença da repulsão calórica (BASSALO, 1992).

A gênese da teoria do calórico residia na necessidade de se explicar o processo de mudança de temperatura dos corpos. Corpos com diferentes temperaturas teriam mais ou menos calórico. Em termos do senso comum, um corpo muito quente possuiria uma grande quantidade de calórico e se estivesse frio, pouco calórico. Na teoria do calórico, os materiais poderiam atrair o calórico. O calórico em si era tido como um fluido elástico, não sendo possível a sua criação ou destruição (GURGEL & PIETROCOLA, 2006).

Black se valeu de seus experimentos sobre as capacidades de armazenar calor pelos corpos para defender a teoria do calórico:

"A segunda melhoria em nosso conhecimento sobre o calor, que tem sido alcançada pelo uso de termômetros, é a noção que agora temos, mais que anteriormente da distribuição do calor

entre diferentes corpos (...). Pelo uso destes instrumentos (termômetros) aprendemos que se nós tomamos mil ou mais diferentes tipos de materiais (...) embora eles estejam todos, a princípio, a diferentes calores, deixando-os juntos numa mesma sala sem aquecimento e não iluminada pelo sol, o calor será comunicado dos corpos mais quentes para os mais frios durante algumas horas (...) ao fim desse tempo se nós usarmos um termômetro, veremos que eles estarão precisamente num mesmo grau. Anteriormente, era uma suposição comum que as quantidades de calor requeridas para aumentar o calor de diferentes corpos de um mesmo número de graus eram diretamente proporcionais à quantidade de matéria de cada um deles e, por isso, quando corpos fossem do mesmo tamanho as quantidades de calor seriam proporcionais à densidade deles. Mas logo depois comecei a pensar neste assunto (1760). Percebi que esta opinião era um erro e que as quantidades de calor que diferentes tipos de matéria devem receber para se reduzirem ao equilíbrio com outras, ou para aumentar suas temperaturas em um mesmo número de graus, não são proporcionais à quantidade de matéria de cada uma, mas em proporções amplamente diferentes destas e para quais nenhum princípio geral ou razão pode ser assinalada (...). Para elucidar isto com exemplos numéricos, suponhamos que a água esteja a 100 graus de calor e que uma igual medida de mercúrio aquecido esteja a 150 graus, sendo rapidamente misturados e agitados. Sabemos

que a temperatura média entre 100 e 150 é 125 e sabemos que esta temperatura será produzida pela mistura de água a 100 graus com igual quantidade de água a 150 graus; (...) Mas quando o mercúrio aquecido é usado no lugar da água, a temperatura da mistura é de 120 graus somente, em vez de 125. O mercúrio, portanto, fica 30 graus menos quente, enquanto a água fica apenas 20 graus mais quente e a quantidade de calor que a água ganhou é a mesma que o mercúrio perdeu. Isto mostra que a mesma quantidade de matéria do calor tem mais efeito ao aquecer o mercúrio que ao aquecer a mesma quantidade de água, (...) Talvez nem mesmo dois deles (materiais diferentes) recebessem precisamente a mesma quantidade, mas cada um, de acordo com sua capacidade particular ou particular força de atração por essa substância, atrairia ou requereria sua própria quantidade peculiar para aumentar a temperatura." (BLACK apud CASTRO apud GURGEL & PIETROCOLA, 2006)

O trecho sublinhado na transcrição acima assinala que o termômetro era entendido como um dispositivo capaz de indicar o "grau de calor" de uma substância (DE BERG, 2008).

Black também chegou a outras importantes conclusões, tendo sido capaz de demonstrar: que para uma mesma massa de água, a mudança de temperatura é proporcional à quantidade de calor que é transferida; que para uma determinada mudança de temperatura, a quantidade de calor transferida é proporcional à massa de água; que substâncias diferentes tem capacidade diferente para o calor; a quantidade de calor (H) "adicionada" à um corpo é diretamente proporcional à massa desse corpo (m) e ao aumento da temperatura (ΔT), ou seja, $H=sm\Delta T$, onde s foi chamado de

"afinidade pelo calor", "capacidade para receber o calor", "apetite pelo calor" ou "capacidade do calor" (ROLLER apud DE BERG, 2008).

O grande questionamento da teoria do calórico viria com outro estudioso. A história conta que Sir Benjamin Thompson, Conde Rumford (1753-1814) realizou experiências nas quais provou ser o calor uma forma de movimento, que corpos quentes não aumentam de peso e que tampouco os frios o perdem (BASSALO, 1992). Rumford atacou a teoria do calórico tanto do ponto de vista experimental como teórico, não aceitando uma teoria material em que não se pudesse ter acesso a uma determinada substância, no caso, o calórico (GURGEL & PIETROCOLA, 2006):

"Estando recentemente encarregado da superintendência de perfuração de canhões, numa oficina de arsenal militar em Munique, fiquei impressionado com o considerável grau de calor que uma peça metálica adquire, em pequeno tempo, sendo perfurada e com o calor até mais intenso (maior que o da água fervente como comprovei pela experiência) das lascas metálicas originadas pela perfuração. Quanto mais eu pensava nestes fenômenos mais eles pareciam ser para mim curiosos e interessantes. Uma completa investigação deles parecia, ao mesmo tempo, oferecer uma satisfatória interpretação para a natureza oculta do calor e nos tornar capazes de tecer algumas conjecturas razoáveis em relação à existência ou não de um fluido ígneo: assunto que há muito tem dividido a opinião dos filósofos (...). De onde vem o calor produzido na operação acima mencionada? É ele fornecido pelas lascas metálicas que são separadas do metal pelo perfurador? Se este fosse o caso, então, de acordo com as modernas doutrinas do calor latente e

do calórico, a capacidade para o calor das partes do metal reduzidas em lascas deveria não somente ser mudada, mas a mudança sofrida por elas deveria ser suficientemente grande para justificar o calor produzido. Mas tal mudança não ocorre. Tomando iguais quantidades em peso dessas lascas e de finas camadas do mesmo bloco metálico, separadas por meio de uma serra muito boa, coloquei-as a uma mesma temperatura (igual à água fervente), em quantidades iguais de água fria (temperatura de 59,5°F). A porção de água na qual as lascas foram colocadas não foi mais ou menos aquecida que a outra de água, na qual as placas metálicas foram colocadas. Este experimento foi repetido várias vezes; o resultado foi sempre o mesmo e não pude determinar nada, nem mesmo que a mudança tinha sido produzida no metal pela produção de lascas, através da observação de sua capacidade para o calor. É, pois, evidente que o calor produzido não podia ter sido fornecido pelo "gasto" do calor latente das lascas metálicas" (RUMFORD apud CASTRO, 1993 apud GURGEL & PIETROCOLA, 2006).

Rumford observou, durante a fabricação de canhões, que os blocos de bronze que os compunham ficavam incandescentes à medida que uma broca os perfurava e que o bronze continuava a aquecer ainda que a broca ficasse cega. Sob a ótica da teoria do calórico a broca, por estar afiada, permitia o escoar do calórico para o canhão. Como explicar, contudo, que mesmo cega, a broca conseguisse transferir calórico para o canhão? (BASSALO, 1992). Como o calor produzido pelos canhões era muito grande, começou a se aperceber da incongruência com a teoria do calórico.

Começou a se indagar de onde viria o calor produzido na perfuração (GURGEL & PIETROCOLA, 2006).

A produção do calor, do ponto de vista da teoria do calórico, advinha da liberação da substância calorífica, de sua combinação química ou mesmo associação mecânica entre a matéria de dois corpos atritados mutuamente. Imaginava-se que deveria haver uma proporcionalidade entre a quantidade de calor e o número de fricções. No entanto, para que se pudesse justificar tal ideia, conforme Rumford, se fazia necessária uma brusca mudança estrutural na matéria o que justificaria a quantidade de calor produzido. Isto não se evidenciava em seus experimentos. Rumford concluiu serem equivocadas as hipóteses dos caloristas de que as lascas perdiam calórico, havendo uma alteração em sua capacidade para o calor. Medindo o calor específico das lascas e do metal, encontrou valores iguais. Desta forma, o calor produzido através da fricção não se devia à liberação do calórico pelas lascas (GURGEL & PIETROCOLA, 2006).

Também nestes estudos, verificou que as brocas embotadas eram capazes de produzir mais calor e realizavam menos trabalho de perfuração do que as brocas afiadas, o que contrariava a teoria do calor que afirmava terem estas desgastado o material do canhão de forma mais eficiente e, como consequência, liberado maior quantidade da substância calorífica ligada ao metal. O calor, ficava evidente, originava-se da energia mecânica o que levou Rumford a concluir ser o calor uma forma de movimento mecânico (MASON, 1964 apud GURGEL & PIETROCOLA, 2006).

Rumford estava certo de que o calor se devia à fricção e para provar sua ideia mergulhou um canhão a ser perfurado em água, procurando observar se o calor produzido pela broca passava para o líquido (água). Colocando um cavalo a fazer girar o eixo da broca, constatou, após mais de duas horas e meia, que a água havia fervido tal como a broca fizera ao perfurar o canhão. Assim, em 25 de janeiro de 1798 afirmou:

" (...) torna-se quase desnecessário dizer que tudo aquilo que um corpo qualquer ou sistema de corpos é capaz de produzir

ilimitadamente não pode ser uma substância material, a mim parece difícil, senão impossível, formar a ideia de uma coisa que se desprenda e se comunique no decurso dessa experiência, a não ser movimento." (RUMFORD apud BASSALO, 1992).

Mais uma vez Rumford, em 1787, em outra experiência, usando dois frascos iguais contendo água e mercúrio cada um, lacrou-os, pesou-os e nas temperaturas de 61°F e 30°F. Uma vez que esses líquidos têm calores específicos muito diferentes, se o calórico tivesse peso, deveria-se encontrar uma diferença nos pesos, o que não ocorreu. Afirmou então:

"Todas as tentativas para descobrir qualquer efeito do calor sobre o peso aparente dos corpos são infrutíferas" (RUMFORD apud BASSALO, 1992).

Ficou claro para Rumford que eram inúteis todas as tentativas de se descobrir qualquer efeito do calor no peso dos corpos (CASTRO, 1993 apud GURGEL & PIETROCOLA, 2006):

"De onde vem o calor que é continuamente liberado desta maneira nos experimentos precedentes? Foi ele fornecido por pequenas partículas do metal, arrancadas da massa sólida que foi atritada? Este, como já vimos, não pode ter sido o caso. Foi ele fornecido pelo ar? Isto não pode ser, uma vez que em três experimentos o maquinário esteve imerso em água e o acesso do ar atmosférico foi completamente evitado. Foi ele fornecido pela água que envolve o maquinário? Que isto não pode ser é evidente. Primeiro, porque esta água estava recebendo continuamente calor e não poderia dar calor a um corpo ao mesmo tempo que o recebe dele. Segundo, porque não houve nenhuma decomposição química (o que não seria razoável

esperar). Se houvesse, um de seus componentes elásticos (mais provavelmente o ar inflamável) deveria ao mesmo tempo ter sido posto em liberdade e, escapando para a atmosfera, teria sido detectado. Embora eu tivesse examinado frequentemente a água para ver se alguma borbulha de ar subia através dela e tivesse igualmente preparado para pegá-las e examiná-las se algumas surgisse, não pude perceber nada; não havia sinal de decomposição de qualquer tipo, nem outro processo químico ocorreu na água (...). Não devemos esquecer de considerar esta mais remarcável circunstância, na qual a fonte de calor gerada por fricção parecia evidentemente inexaurível. É forçosamente necessário admitir que o que um corpo isolado ou sistema de corpos podia produzir de modo contínuo, sem limitação, não podia ser substância material e parece-me extremamente difícil, senão impossível imaginar algo capaz de ser produzido ou comunicado da forma como o calor o foi nestes experimentos, exceto se ele for movimento." (RUMFORD apud CASTRO, 1993 apud GURGEL & PIETROCOLA, 2006).

Em 1789, Ingenhouss (1730-1799) se dedicou ao estudo da condutibilidade do calor pelos metais. Por outro lado, Rumford se dedicou ao estudo dos corpos não metálicos, demonstrando em 1797 que a água e outros líquidos não-metálicos eram maus condutores de calor. Concluiu que a transmissão de calor naqueles líquidos se dava sobretudo por convecção (BASSALO, 1992).

Em 1799, Sir Humphry Davy (1778-1829) ao friccionar pedaços de substâncias que se fundem a baixas temperaturas concluiu que o calor não era matéria mas sim ocasionado por um movimento em particular das partículas que formam os corpos (BASSALO, 1992).

Johann Heinrich Lambert (1728-1777) fixou o valor de -270°C para o ponto de menor agitação térmica (zero absoluto) (BASSALO, 1991).

No ano de 1804, Rumford demonstrou a propagação do calor no vácuo, ao colocar um termômetro no interior de um balão do qual se retirara ar e, tendo levado-o fechado a um recipiente contendo água quente observou, ao mergulhá-lo, uma pequena alteração na temperatura indicada pelo termômetro. Rumford notou ainda que a temperatura de um corpo enegrecido se relacionava com a intensidade da radiação solar e que superfícies que irradiam calor mais fracamente são as que o refletem de forma mais intensa. Estas observações também foram compartilhadas por Leslie (1766-1832). (BASSALO, 1992).

Em 1807, Gay-Lussac (1778-1850) observou que um gás em uma câmara de vácuo em expansão livre deixava a temperatura invariável, o que contrariava a explicação da teoria do calórico segundo a qual o aquecimento de um gás ao ser comprimido isobaricamente se devia à diminuição de seu volume e à perda de sua capacidade em reter calórico, com perda do calor para o exterior (BASSALO, 1992).

Em 1824, Sadi Carnot (1796-1832) ao idealizar uma máquina ideal sem atrito e que realiza um ciclo completo em que a substância empregada (vapor ou ar atmosférico) retorna ao seu estado inicial, concluiu que o calor é independente dos agentes empregados para produzi-lo e sua quantidade é determinada unicamente pelas temperaturas dos corpos entre os quais, ao fim, ocorre a transferência do calórico. Essa conclusão pode ser sintetizada como sendo o rendimento da máquina de Carnot, dado pela equação (BASSALO, 1992):

$$n = (T_1 - T_2) / T_1 \quad (5)$$

Posteriormente, Carnot concluiu que a máquina por ele idealizada poderia trabalhar em modo reversível ou, em outras palavras, ora deixando o calórico sair da fonte quente para a fonte fria, ora fazendo-o ir da fria para a quente. Em 1832 realizou experiências em que buscava

determinar o equivalente mecânico do calor. Observe-se que Carnot rejeitou a hipótese de que o calor (o calórico) se conserva no ciclo que leva seu nome (BASSALO, 1992).

Em 1834, Clapeyron (1799-1864) representou graficamente o ciclo de Carnot (diagrama PV) que incluía duas transformações isotérmicas e duas adiabáticas. Foi baseado nesse gráfico e empregando a sua notória equação dos gases perfeitos que Clapeyron provou, matematicamente, que a produção do trabalho na máquina de Carnot dependia unicamente da diferença de temperatura entre os reservatórios térmicos idealizados por Carnot. Notou também que a máquina e o gás empregado retornavam ao estado inicial, ao fim de cada ciclo, ficando o calórico conservado nesse ciclo (BASSALO, 1992).

Em 1836, John Herapath (1790-1868), de forma semelhante ao que fora proposto por Bernoulli, propôs uma expressão matemática para o movimento das moléculas dos gases, onde v é a velocidade das partículas e ρ a densidade do gás (CINDRA & TEIXEIRA, 2004):

$$p = (1/3)\rho v^2 \quad (6)$$

O termo ao quadrado na equação anterior representa uma medida da energia cinética média atrelada ao movimento de translação das partículas (excluiu-se, por exemplo, as energias cinéticas devidas à rotação ou de vibração). Neste modelo, somente a energia cinética de translação influi na definição da temperatura de um gás, dada em termos absolutos (CINDRA & TEIXEIRA, 2004).

Em 1838, Dulong definiu a unidade de quantidade de calor como sendo o calor necessário para elevar de um grau a massa de uma grama de água e em 1850 o nome de caloria foi dado a tal unidade (BASSALO, 1992).

Em 1840, Rudolf Julius Clausius (1822-1888) afirmou ser a produção de trabalho nas máquinas térmicas resultante também do consumo do calor e não somente do deslocamento do calor da fonte quente para a fria. Também afirmou que o calor poderia ser produzido às expensas de trabalho mecânico. A equivalência entre calor e trabalho e a impossibilidade de se realizar um processo cíclico que tenha como único efeito transferir calor de um corpo mais frio para um mais

quente, constituiriam, respectivamente a Primeira e a Segunda Lei da Termodinâmica (BASSALO, 1992).

Também foi em 1840 que Joule (1818-1889) iniciou suas primeiras experiências sobre a conservação da energia e demonstrou o efeito que leva seu nome, o Efeito Joule, em que um condutor aquece ao ser percorrido por uma corrente elétrica. Em 1841, Joule provou que o calor advindo da combustão dos equivalentes dos corpos é proporcional às intensidades de suas afinidades pelo oxigênio. Neste mesmo ano, mediu a força eletromotriz de uma pilha empregada na decomposição de óxido eletroliticamente. Em 1843, Joule realizou a medição de J ao comparar o calor gerado por uma corrente produzida através da indução eletromagnética e o excesso de trabalho gasto pela máquina que produz essa corrente (BASSALO, 1992).

Em 1842, Mayer (1814-1878) fez o cálculo do equivalente mecânico do calor (J) através da relação entre o trabalho realizado ao deixar um peso cair de uma altura aproximada de 365m e a quantidade de calor necessária para aquecer o mesmo peso de água de 0°C a 1°C, chegou a um valor para J de 3,65 Joules/caloria (BASSALO, 1992).

Em 1845, John James Waterston (1811-1883) defendeu a teoria cinético-molecular ao descrever um modelo para os gases em que as moléculas estavam em movimento de translação (CINDRA & TEIXEIRA, 2004).

Entre 1845 e 1850, Joule realizou as notórias experiências com a agitação de água e de óleo de cachalote, mercúrio e ferro fundido com o uso de pás, empregando um dispositivo cujo eixo dotado de pás agitadoras era rotacionado por meio da queda de um peso suspenso. Concluiu que para se aumentar a temperatura de uma libra de água em 1°F era necessária a queda de um peso de 772 libras para um percurso de queda de 1 pé (BASSALO, 1992).

Em 1847, Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (1821-1894) formalizou matematicamente o princípio geral da conservação da energia (BASSALO, 1992).

A palavra energia, conforme adotamos hoje, equivalente à capacidade de realizar trabalho, só veio a ser empregada nas décadas de 1850 e 1860 por Rankine (1820-1872) e William Thomson (Lorde Kelvin) (1824-1907). O princípio da conservação da energia é também conhecido como a Primeira Lei da Termodinâmica, cujo enunciado pode ser traduzido nas seguintes palavras:

"Todo sistema termodinâmico possui, em estado de equilíbrio, uma variável de estado chamada energia interna U , cuja variação é dada por $dU = \Delta Q - \Delta W$, onde Q é a troca de calor e ΔW é o trabalho externo realizado sobre/pelo sistema" (BASSALO, 1992).

Em 1848, Kelvin propôs a criação de uma escala absoluta:

"A propriedade característica da escala que ora proponho é a de que todos os graus têm o mesmo valor; isto é, a unidade de calor que desce de um corpo A na temperatura T° desta escala, para um corpo B na temperatura $(T-1)^\circ$, dará o mesmo efeito mecânico, qualquer que seja o número T . Isto pode ser justamente denominado uma escala absoluta, visto que sua característica é inteiramente independente das propriedades físicas de qualquer substância específica" (KELVIN apud BASSALO, 1992).

Foi a partir das relações obtidas por Carnot que Kelvin propôs a adoção de uma escala absoluta, adotando a ideia de Celsius da escala centesimal e atribuindo o zero da escala, o zero absoluto de Amontons, correspondente a $-273,15^\circ\text{C}$. No entendimento de Kelvin, o zero absoluto correspondia ao ponto em que a energia cinética das moléculas se anulava e não o volume, conforme afirmou em 1856 (BASSALO, 1992).

Em 1850, Rankine (cujo nome é empregado em uma escala termométrica utilizada em engenharia) baseando-se na hipótese dos vórtices moleculares, provou a equivalência entre o calor e o trabalho ao igualar o trabalho produzido na rotação da atmosférica elástica que envolve partículas de matéria com o calor produzido (BASSALO, 1992). Foi a partir deste ano que a teoria cinética começou a ser estabelecida mais solidamente (CINDRA & TEIXEIRA, 2004).

Em 1851, William Thomson apresentou uma nova versão da Segunda Lei da Termodinâmica que se assentava na ideia da irreversibilidade e na dissipação do calor. Em outras palavras:

"É impossível realizar um processo cíclico cujo único efeito seja remover calor de um reservatório térmico e produzir uma quantidade equivalente de trabalho" (BASSALO, 1992).

Também em 1851, Waterston tornou-se um dos primeiros a defender a definição moderna para a temperatura, como sendo proporcional à energia cinética:

"A vis viva do movimento caótico de uma dada quantidade de gás constitui a quantidade de calor nela contida.(...) A temperatura, portanto, em todos os gases, é proporcional à massa de um átomo multiplicado pela média quadrática das velocidades dos movimentos moleculares, sendo medida a partir de um zero absoluto 491° abaixo do zero Fahrenheit" (WATERSTON apud BASSALO, 1992).

O conhecimento da evolução da compreensão sobre a natureza dos fenômenos térmicos ao longo do século XIX assume importância uma vez que foi a partir dos inúmeros experimentos e trabalhos teóricos acima relatados que o princípio da conservação da energia mostrou-se mais abrangente do que a conservação do calor sobrepujando, por conseguinte, a teoria do calórico (FOX apud DE BERG, 2008).

3. DEFINIÇÕES PARA A TEMPERATURA E PARA O CALOR PRESENTES NOS LIVROS DIDÁTICOS

Para que se possa definir de forma rigorosa o conceito de temperatura, de forma a não se confundi-lo com as sensações de "quente" e "frio", é essencial que se defina o que seja equilíbrio térmico, principalmente no que concerne à temperatura. Se tomarmos dois sistemas inicialmente isolados (sem que matéria ou energia possa ser trocada entre eles) que, em um momento posterior, são colocados em contato por meio de um condutor térmico (material que permita o fluxo de energia na forma de calor), uma eventual passagem de calor através deste último ocasionará variação nas propriedades (se por exemplo os dois sistemas forem gases, ocorrerá variação de pressão) dos dois sistemas. A partir do momento em que houve constância no valor de tais propriedades poderá se dizer que os dois sistemas estão em equilíbrio térmico (RESNICK, HALLIDAY & KRANE, 2003).

Muitas vezes pode ser difícil, senão impossível, estabelecer-se o contato de dois sistemas por meio de um condutor térmico e uma das formas para contornar tal situação pode ser o emprego de um terceiro sistema que permita constatar o equilíbrio térmico entre os dois sistemas iniciais. Colocando-se o terceiro sistema em contato com o primeiro e posteriormente com o segundo, podemos verificar se existe equilíbrio térmico entre os dois sistemas iniciais. Estas conclusões são resumidas no postulado chamado de Lei Zero da Termodinâmica (a atribuição do nome de lei zero deve-se ao fato de que tal postulado, mesmo tendo surgido na década de 1930, embasa o conceito de temperatura, fundamental este para as definições da Primeira e da Segunda Leis da Termodinâmica):

"Se cada um dos sistemas A e B está em equilíbrio térmico com um terceiro sistema C, então A e B estão em equilíbrio térmico entre si" (RESNICK, HALLIDAY & KRANE, 2003).

Assim, se temos dois sistemas em equilíbrio térmico, podemos afirmar que eles estão à mesma temperatura. Ao se imaginar que o terceiro sistema seja um termômetro, fica claro que se ao

verificar a temperatura do primeiro e a do segundo sistema obtivermos a mesma leitura, o primeiro e o segundo sistemas estão em equilíbrio térmico. Sintetizando a Lei Zero em termos de temperatura, pode-se afirmar que:

"Existe uma grandeza escalar chamada de temperatura, que é uma propriedade de todos os sistemas termodinâmicos em equilíbrio. Dois sistemas estão em equilíbrio térmico se e somente se as suas temperaturas são iguais" (RESNICK, HALLIDAY & KRANE, 2003).

Já com relação às escalas empregadas na medição da temperatura em Física, permanece em uso a escala Kelvin, uma vez que esta possui um significado físico mais profundo (zero absoluto) ao contrário, por exemplo, das escalas Celsius e Fahrenheit, ainda que estas duas últimas sejam empregadas no dia a dia e em alguns experimentos. O estabelecimento do tamanho do grau na escala Kelvin envolve a execução de uma montagem em que se tomará como base o ponto triplice da água, uma vez que o emprego do ponto triplice é de reprodução mais consistente. Usando dados do ano de 1954, o kelvin (nome do grau na escala Kelvin) ficou definido, então, como sendo $1/273,16$ da temperatura do ponto triplice da água. Esta opção permitiu que o tamanho de um grau kelvin fosse igual ao tamanho de um grau na escala Celsius (RESNICK, HALLIDAY & KRANE, 2003).

Na construção de dispositivos para a medição da temperatura, qualquer propriedade de uma determinada substância que apresente variação com a temperatura pode ser usada como base para um termômetro (o volume de um líquido, a pressão de um gás a volume constante, a resistência elétrica de um fio, o comprimento de um metal, a cor de um filamento de lâmpada entre outros). É importante notar que as propriedades podem acabar por tornar o próprio dispositivo construído de aplicação restrita. Usando-se como referência a escala Kelvin, alguns destes termômetros, ainda que

convenientemente calibrados em uma "escala particular" podem fornecer informações inconsistentes com a citada escala Kelvin (RESNICK, HALLIDAY & KRANE, 2003).

A tendência ao equilíbrio térmico observada entre um sistema e sua vizinhança envolve um tipo de troca de energia. Nesse contexto, o calor pode ser definido como sendo energia transferida:

"O calor é energia que flui entre um sistema e a sua vizinhança devido a uma diferença de temperatura entre eles" (HALLIDAY, RESNICK & KRANE, 2003).

Se a temperatura de um determinado sistema é inferior à temperatura de sua vizinhança, o fluxo de energia sob a forma de calor se dá da vizinhança para o sistema. No caso inverso, em que a temperatura do sistema é maior do que a temperatura da vizinhança, o fluxo de energia (calor) se dá do sistema para a vizinhança. Já no caso em que a temperatura do sistema é igual à temperatura da vizinhança, inexistente fluxo de energia (calor). Por convenção, no caso em que o fluxo de energia se dá da vizinhança para o sistema, adota-se o calor como sendo positivo, o que se faz acompanhar de um aumento da energia interna do sistema. Na situação inversa, em que o fluxo se dê do sistema para a vizinhança, adota-se o sinal negativo. Na ausência de fluxo, o calor será tomado como igual a zero. Por se tratar de uma forma de energia, o calor pode ser expresso em unidades do Sistema Internacional (SI) em Joules (J) (HALLIDAY, RESNICK & KRANE, 2003).

O calor se assemelha ao conceito de trabalho uma vez que ambos correspondem à formas de transferência de energia. Nem um nem outro podem ser considerados como propriedades intrínsecas de um sistema (um sistema não contém calor ou trabalho). O calor não é uma propriedade de estado de um sistema e nem uma função de estado. Tanto o calor como o trabalho podem, sim, ser entendidos como uma quantidade de energia que se transfere para dentro ou para fora de um sistema. Calor e trabalho se associam a um processo termodinâmico, qual seja aquele em que ocorre interação entre um sistema e sua vizinhança quando da mudança de um estado de equilíbrio para outro. É frequente a confusão entre calor e temperatura e energia interna assim como é comum

também referir-se ao calor gerado pelo atrito quando na verdade o que se dá é o aumento da temperatura e da energia interna devido ao trabalho do atrito. O aumento da temperatura que se observa não se dá por transferência de calor, neste caso, de um objeto externo a temperatura mais elevada. A transferência do calor se dá de três formas: condução térmica, convecção e radiação (HALLIDAY, RESNICK & KRANE, 2003).

Na condução térmica e mais especificamente na condução térmica nos metais, alguns dos elétrons estão livres para se mover dentro dos limites do objeto e, desta maneira, conseguem passar devido ao aumento de suas energias cinéticas de regiões onde a temperatura é mais alta para regiões de temperatura menor. Já na convecção, um fluido em contato com um objeto de temperatura mais alta do que a de sua vizinhança, sofre aumento de sua temperatura e se dilata. Como o fluido aquecido é de densidade menor do que o fluido mais frio que se encontra no seu entorno, o fluido aquecido sobe devido às forças de sustentação. Por outro lado, o fluido mais frio desce de forma a ocupar o lugar deixado pelo fluido aquecido que ascende, estabelecendo-se o que se chama de circulação convectiva. Exemplos de convecção podem ser encontrados na atmosfera terrestre, nos oceanos, na fotosfera do Sol e mesmo a provocada de forma forçada pelos ventiladores. Por fim, no caso da transferência do calor por radiação, a energia é transportada pelo espaço (ou vácuo) por meio das ondas eletromagnéticas. Todos os objetos que estão a nossa volta emitem radiação eletromagnética em razão de sua temperatura e, da mesma forma, absorvem parcela da radiação que neles chega oriunda de outros objetos. Quanto mais alta for a temperatura de um corpo, mais energia ele irradia (a energia irradiada é proporcional à quarta potência da sua temperatura absoluta) (HALLIDAY, RESNICK & KRANE, 2003).

Na tabela a seguir são apresentadas as definições para o calor e para a temperatura bem como a citação à teoria do calórico e a interpretação para o zero absoluto presentes em alguns livros didáticos do Ensino Médio.

Obra	Autor, Livro e/ou Volume, Editora, Ano e/ou Edição	Definição do Calor	Teoria do Calórico	Definição da Temperatura	Interpretação do Zero Absoluto
1	Alberto Gaspar, Física Volume Único, Editora Ática, 1a. edição, 2002	Energia que se transfere de um corpo a outro, devida apenas à diferença de temperatura entre eles	Faz comentários	Se todos os corpos num ambiente termicamente isolado tendem a atingir a mesma temperatura, é possível criar um instrumento para medi-la. Basta colocar um dispositivo sensível à variação de temperatura e definir a temperatura do ambiente como sendo o valor que esse dispositivo marcar no equilíbrio térmico	Temperatura mínima para a qual a pressão do ar se anularia
2	Djalma Nunes da Silva Paraná, Física Termologia Óptica Ondulatória, Editora Ática, Volume 2, 6a. edição, 1998	Calor é a energia transferida de um corpo para outro em consequência da diferença de temperatura entre eles	Não observado	Temperatura é uma grandeza que permite avaliar o grau de agitação térmica das moléculas de um corpo	Como a temperatura está relacionada à agitação das moléculas, o corpo com zero absoluto de temperatura não possuiria agitação molecular
3	Luiz Alberto Guimarães & Marcelo Fonte Boa, Termologia e Óptica Física para o 2o. grau, Editora Harbra, 1998	Calor é a energia que se transfere de um corpo para outro, em virtude de uma diferença de temperatura entre eles e só se manifesta num processo de transformação	Sim, esclarece de forma explícita	A temperatura é a expressão macroscópica do grau de agitação que ocorre em nível microscópico	Representa a temperatura mais baixa possível e, portanto, a menor agitação interna da matéria
4	GRAF, Física 2 física térmica óptica, EDUSP, 2a. edição, 1993	Sistemas a mesma temperatura não trocam calor e estão em equilíbrio térmico. O calor é definido como uma das formas de transferência de energia entre sistemas a diferentes temperaturas	Não observado	O grau de aquecimento de um objeto é caracterizado numericamente por sua temperatura	A mais baixa temperatura possível corresponderia ao momento em que a velocidade das moléculas se tornaria praticamente nula
5	Antônio Máximo & Beatriz Alvarenga, Física de olho no mundo do trabalho, volume único, Editora Scipione, 1a. edição, 2004	Calor é a energia transferida de um corpo para outro em virtude unicamente de uma diferença de temperatura entre eles	Sim, afirmando que a expressão calor contido no corpo é destituída de significado físico	A temperatura é uma grandeza física usada para indicar se um corpo está mais "quente" ou mais "frio" do que outros tomados como referência	Temperatura mínima impossível de ser atingida por um corpo
6	Antônio Máximo & Beatriz Alvarenga,	Calor é a energia transferida de um	Sim, comenta de forma explícita	A temperatura de um corpo está relacionada	Limite inferior para a

	Curso de Física, volume 2, Editora Harbra, 3a. edição, 1993	corpo para outro em virtude, unicamente, de uma diferença de temperatura entre eles		com o fato de o corpo estar "mais quente" ou "mais frio"	temperatura de um corpo
7	José Luiz Sampaio e Caio Sérgio Calçada, "Física Sampaio & Calçada - Volume Único", Atual Editora, 2005	Calor é a energia térmica em trânsito, entre dois corpos ou sistemas, decorrente apenas da existência de uma diferença de temperatura entre eles	Não observado	Temperatura é uma grandeza física que mede o estado de agitação das partículas de um corpo, caracterizando o seu estado térmico	Não observado
8	Regina Azenha Bonjorno, José Roberto Bonjorno, Valter Bonjorno e Clinton Marcico Ramos, "Física Completa - Volume Único", FTD Editora, 2001	Calor é uma forma de energia que se transmite de um corpo a outro em razão da diferença de temperatura. Essa energia só é chamada calor enquanto está sendo transferida (energia em trânsito). Depois que ela é absorvida pelo corpo não pode ser chamada de calor. Não é correto falar em calor contido em um corpo	O calor seria um fluido invisível e muito "leve", que mais tarde foi chamado de "calórico" por Lavoisier	A temperatura está relacionada com a agitação das moléculas de um corpo. Temperaturas são os valores indicados pelos termômetros	Aquela em que cessaria toda vibração molecular e que, segundo a Mecânica Quântica é impossível de ser alcançada

A seguir são apresentadas mais algumas definições sobre calor, temperatura e outros conceitos térmicos de diversos autores:

"A energia é uma propriedade do sistema que se manifesta de muitas formas, e que pode variar por intervenção de trabalho e/ou de calor" (SEVILLA apud AXT & BRÜCKMANN, 1989)

"Há duas maneiras pelas quais a energia interna de um corpo pode ser alterada: pela realização de trabalho ou por transformação de calor" (WARREN apud AXT & BRÜCKMANN, 1989)

"Supondo que o sistema é um recipiente que contém gás, facilmente aceitaremos que as moléculas do mesmo se encontram em estado de agitação permanente ao qual podemos associar uma energia potencial e cinética. A soma das energias potencial e cinética é denominada energia interna a qual se modifica quando o sistema intercambia calor" (SEVILLA apud AXT & BRÜCKMANN, 1989)

"Define-se calor como energia transmitida unicamente por meio de diferença de temperatura" (WARREN apud AXT & BRÜCKMANN, 1989)

"Trabalho e calor se referem à energia somente no processo de transferência... é incorreto falar da quantidade de calor ou da quantidade de trabalho de um corpo" (IBID apud AXT & BRÜCKMANN, 1989)

"A energia que é transferida de um objeto para outro devido a uma diferença de temperatura entre os objetos é chamada calor... calor nunca 'flui' por si só de uma substância mais fria para uma mais quente". (HEWITT apud AXT & BRÜCKMANN, 1989)

"Calor e trabalho são métodos de transferência de energia e, quando todo o fluxo termina, as palavras calor e trabalho não têm mais nenhum significado útil" (ZEMANSKI apud AXT & BRÜCKMANN, 1989)

"O termo calor só pode ser usado para designar uma quantidade líquida de energia transferida nos processos de interação térmica entre sistemas" (VAZQUEZ apud AXT & BRÜCKAMNN, 1989)

"No caso de a transferência de energia se dar por diferença de temperatura, essa energia, que é transferida por movimento desordenado de moléculas, chama-se calor" (DORN-BADER apud AXT & BRÜCKMANN, 1989)

"Modernamente, considera-se que, quando a temperatura de um corpo é aumentada, a energia que ele possui em seu interior, denominada energia interna, também aumenta. Se esse corpo é colocado em contato com outro, de temperatura mais baixa, haverá transferência de energia do primeiro para o segundo, energia esta que é denominada calor. Portanto, o conceito moderno de calor é o seguinte: calor é a energia transferida de um corpo para outro em virtude, unicamente, de uma diferença de temperatura entre eles" (ALVARENGA & MÁXIMO apud AXT & BRÜCKMANN, 1989)

"A quantidade que diz quão quente ou frio um corpo se encontra, com relação a um determinado padrão, é chamada temperatura" (HEWITT apud AXT & BRÜCKMANN, 1989)

"... é uma medida da energia cinética média de translação das moléculas de um gás ideal" (NUSSENZVEIG apud AXT & BRÜCKMANN, 1989)

"Deve-se observar que o termo calor só deve ser usado para designar energia em trânsito, isto é, enquanto ela está sendo transferida de um corpo para outro, em virtude de uma diferença de temperatura. A transferência de calor para um outro corpo acarreta um aumento na energia de agitação de seus átomos e moléculas, ou seja, acarreta um aumento da energia interna do corpo que, em geral provoca uma elevação em sua temperatura. Não se pode, portanto, dizer que 'um corpo possui calor' ou que 'a temperatura é uma medida do calor do corpo'. Na realidade, o que um corpo possui é energia interna e quanto maior for a sua temperatura, maior será esta energia interna. Naturalmente, se um corpo está a uma temperatura mais elevada do que outro, ele pode transferir parte de sua energia interna para este outro. É importante observar, ainda, que a energia interna de um corpo pode aumentar sem que o corpo receba calor, desde que ele receba alguma forma de energia. Quando, por exemplo, agitamos uma garrafa contendo água, sua temperatura se eleva, apesar da água não ter recebido calor. O aumento de energia interna, neste caso, ocorreu em virtude da energia mecânica transferida para a água, ao realizarmos trabalho de agitar a garrafa" (ALVARENGA & MÁXIMO apud AXT & BRÜCKMANN,

1989)

"Dizemos, quando transferimos energia: ou é realizado trabalho ou é transferido calor (isto são processos), mas o que um corpo possui é energia (isto é um estado). Grave bem esta maneira de falar, de modo que você encare os conceitos de trabalho e calor como formas de transferência de energia" (DORN-BAER apud AXT & BRÜCKMANN, 1989)

"Se energia cinética e potencial são equivalentes a calor, é natural que calor seja equivalente a energia cinética e potencial" (MAYER apud NUSSENZVEIG, H.M., 2002)

"(...) o calor é uma forma de energia" (NUSSENZVEIG, H.M., 2002)

"Grandeza física intensiva que caracteriza o equilíbrio térmico de um sistema, e/ou o equilíbrio térmico de um sistema com outro: quando há equilíbrio, a temperatura é constante em todos os pontos do sistema (ou dos dois sistemas) entre que possa haver passagem de calor. É implicitamente definida pelo antepimeiro princípio da termodinâmica. Também se pode definir mediante a energia interna e a entropia" (MACEDO, H., 1976)

"Forma de energia (e também medida desta energia) que pode ser transferida de um para outro sistema sem ser acompanhada de transporte de massa e/ou sem ser acompanhada pela

execução ou recebimento de trabalho, graças a diferença de temperatura existente entre os dois sistemas. (...) O calor não é função de estado e depende do processo de troca térmica. (...) Em termodinâmica convencionou-se ser positiva a quantidade de calor recebida por um sistema, e negativa a que ele cede. (...) O reconhecimento de que o calor é uma forma de energia, ou uma manifestação especial de energia em trânsito, conversível em trabalho e vice-versa, foi grande passo para a formulação do primeiro princípio da termodinâmica" (MACEDO, H., 1976)

"O calor é uma forma de se transferir de energia: é energia em trânsito, não energia possuída por algo (...) O calor é o agente da transferência e não uma entidade transferida (...) Em resumo, a transferência de energia em forma de calor é a transferência de energia que estimula o movimento aleatório dos átomos ao redor. O movimento aleatório dos átomos (...) se denomina movimento térmico. Não é o calor. O calor é o modo de transferência de energia. Nunca devemos dizer 'o calor é transferido', salvo na medida que entendemos que esta é uma maneira conveniente de dizer que a energia se transfere em forma de calor ou por aquecimento (...). O calor não é a energia térmica. Não existe tal coisa, embora o termo seja assim utilizado (ATKINS, 2003 apud DE BERG, 2008).

4. CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS. O QUE A LITERATURA EM ENSINO DE FÍSICA APRESENTA

Quando se fala em definições do senso comum para conceitos físicos, estas se referem às concepções alternativas ou construtos pessoais criadas e empregadas para explicar o mundo físico. Tais concepções por vezes se fazem presentes também nos alunos que ingressam e mesmo nos que saem dos meios acadêmicos, carregando concepções inapropriadas sobre a natureza da ciência (MOREIRA, M.A., MASSONI, N.T. & OSTERMANN, F., 2007). Mesmo a literatura voltada para a investigação científica contém, por vezes, estas ideias, tidas para alguns como falsas (DE BERG, K.C., 2008).

Antes de se abordar as definições do senso comum dos estudantes a respeito do calor e da temperatura, necessário se faz estabelecer o que sejam tais definições:

"São construções pessoais dos alunos, elaboradas de forma espontânea na sua interação cotidiana com o mundo que os cerca. São incoerentes do ponto de vista científico, embora não tenham por que sê-lo do ponto de vista do aluno; na verdade, costumam ter bastante poder de predição em relação aos fenômenos cotidianos. São, geralmente, estáveis e resistentes à mudança; persistem, apesar da instrução científica. Têm caráter implícito, diante do caráter explícito das ideias científicas. Muitos estudantes têm grandes dificuldades para expressar e descrever suas ideias, não tendo consciência das mesmas. Procuram mais utilidade do que a verdade, como supostamente fariam as teorias científicas. São conhecimentos específicos que se referem a realidades próximas e concretas, às quais o aluno não sabe aplicar as leis gerais que lhe são explicadas em aula."

(POZO & CRESPO, 1998 apud HÜLSENDEGER, M. J. V. C.; COSTA, D. K. & CURY, H. N., 2006).

As definições do senso comum costumam ter sua origem em noções intuitivas advindas da interpretação de estímulos sensoriais (CASTILLO, A.L.; GRANADOS, D.I. & MARINO, L.A., 2002). Inúmeras pesquisas enumeram os "modos de pensar" (dos quais iremos abordar os principais neste capítulo) do já citado senso comum que ocasionam a correspondência de esquemas para calor e frio com sensações físicas induzidas (CAFAGNE, 1996 apud AGUIAR JÚNIOR, O.G., 1998). Em linhas gerais as ideias do senso comum sobre os processos térmicos envolvem a indiferenciação do que seja calor e do que seja temperatura, a visão substancialista do calor, a ideia de "atração" e "repulsão" para o calor e para o frio respectivamente bem como ser a temperatura um indicador da "quantidade de calor" de um corpo (AGUIAR JÚNIOR, O.G., 1998).

De modo geral, muitas pessoas e particularmente os estudantes ainda entendem o calor como algo que se encontra no interior de um corpo (ou sistema). Desta forma, quanto mais quente se encontra um corpo mais calor ele conteria (DIAZ, 1987 apud KÖHNLEIN, J.F.K. & PEDUZZI, 2002) e este último possuiria, então, mais calor que um corpo frio (HÜLSENDEGER, M.J.V.C.; COSTA, D.K & CURY, H.N., 2006). Nesse sentido, o calor é tido como uma substância ou fluido (KÖHNLEIN, J.F.K. & PEDUZZI, 2002) e o verbo "conter" atrela-se ao conceito de calor, tornado este último uma propriedade do corpo ou da matéria e não como sendo uma forma de energia, numa referência clara a antiga teoria do calórico (HÜLSENDEGER, M.J.V.C.; COSTA, D.K & CURY, H.N., 2006). Por vezes, o calor é associado também a um suposto atrito entre as partículas de um corpo (DA SILVA, D.; NETO, V.F. & CARVALHO, A.M.P. de C., 1998). O frio chega a ser visto como sendo uma propriedade contrária (DE BERG, K.C., 2008), indicando a ausência de calor (KÖHNLEIN, J.F.K. & PEDUZZI, 2002), constituindo-se tal ideia numa referência às ideias apresentadas por Aristóteles (ASTOLFI & DEVELAY, 2002 apud HÜLSENDEGER, M.J.V.C.;

COSTA, D.K & CURY, H.N.,2006). Outros alunos adotam também outra visão para a questão do calor versus frio:

"o calor é percebido como uma entidade física existente em si, enquanto o frio não passa de uma ausência de calor, assim como as trevas são uma ausência de luz" (BEN-DOV, 1996 apud HÜLSENDEGER, M.J.V.C.; COSTA, D.K & CURY, H.N.,2006)

Para o aluno é mais fácil aceitar o calor como substância (palpável e concreta) do que encará-lo como energia (indefinível e abstrato). O calor é um conceito teórico, imponderável e imperceptível transformado pelos alunos em uma propriedade da matéria para que possa ser melhor compreendido. A dificuldade em se dissociar o calor do aumento da temperatura de um corpo pelos alunos residiria, assim, no entendimento equivocado de que o calor está contido em um corpo (HÜLSENDEGER, M.J.V.C.; COSTA, D.K & CURY, H.N.,2006) a ponto de afirmarem, por exemplo, que a transmissão de calor por um material condutor se deveria ao acúmulo daquele, visto como fluido, que "escoa" de um ponto a outro (ERICKSON, 1979 apud KÖHNLEIN, J.F.K. & PEDUZZI, 2002). Em algumas situações, os alunos associam o calor a situações quentes (a temperatura de objetos bons condutores de calor é menor que a de objetos maus condutores colocados em equilíbrio térmico em um mesmo ambiente por um longo tempo ou roupas de lã que, segundo afirmam, "esquentam" mais) (KÖHNLEIN, J.F.K. & PEDUZZI, 2002). Em outras palavras, os estudantes concluem que a temperatura de um objeto está associada mais à natureza do material do que à temperatura do meio ao redor, concluindo que, por exemplo, os metais são frios ao passo que os não metais são quentes (DE BERG, K.C., 2008).

A questão sobre a não diferenciação entre calor e temperatura também leva os alunos a acreditarem que a temperatura se transfere, tal como têm em seu conceito sobre calor, de um corpo a outro, ou seja, os corpos trocam de temperatura. Acabam por empregar os conceitos de

temperatura e calor como sendo sinônimos (tal como nas frases "hoje está muito calor" e "que frio está entrando pela porta"), acreditando que quanto "mais quente" está um corpo maior está sua temperatura (KÖHNLEIN, J.F.K. & PEDUZZI, 2002). Ambos os termos, calor e temperatura, chegam a ser utilizados para designar o "estado de quente". Não raro o calor também aparece associado a um estado ou a uma fonte pelos estudantes (MACEDO & SOUSSAN, 1986 apud KÖHNLEIN, J.F.K. & PEDUZZI, 2002). Resumidamente, o calor não é visto como uma propriedade extensiva e a temperatura como uma propriedade intensiva como seria o correto (DE BERG, K.C., 2008).

Também foi observado que os alunos costumam associar as dimensões de um objeto com a sua temperatura, de forma que objetos de tamanhos diferentes mas de um mesmo material apresentam temperaturas diferentes (um bloco de gelo pequeno teria uma temperatura menor que um bloco de gelo grande, ambos em fusão). Não raramente, em experimentos de mistura de iguais quantidades de uma mesma substância a temperaturas diferentes, os estudantes costumam calcular a temperatura de equilíbrio somando os valores individuais (DE BERG, K.C., 2008). Em outros momentos, a temperatura é entendida como a medida do calor de um corpo, chegando mesmo, algumas vezes, a ser empregada como sinônimo de energia (DA SILVA, D.; NETO, V.F. & CARVALHO, A.M.P. de C., 1998) como também entendida como medida da mistura de calor e de frio em um objeto (ERICKSON, 1979 apud KÖHNLEIN, J.F.K. & PEDUZZI, 2002). Mas a grande parte das pessoas ainda associa temperatura com as sensações fisiológicas do quente e do frio, entendendo que os termômetros e suas escalas quantificam tais sensações (SPURGIN, 1976 apud AXT, R. & BRÜCKMANN, M.E., 1989).

No intuito de explicar o aquecimento ou resfriamento de um objeto, por vezes se atribuem propriedades animistas aos objetos, quando se diz que determinado objeto "quer dar calor" ou que "quer receber calor", sem que isso se constitua em figura de linguagem (DA SILVA, D.; NETO, V.F. & CARVALHO, A.M.P. de C., 1998).

Em linhas gerais, pode-se afirmar que:

"O que se observa é os alunos transitando, muitas vezes sem conflitos, entre (...) dois modelos de calor – o calor-substância e o calor-energia – de tal forma que a resistência a uma mudança conceitual é muito grande, bastando haver um pequeno intervalo de tempo no qual esses conceitos não sejam discutidos para que tudo fique esquecido ou misturado"
(HÜLSENDEGER, M.J.V.C.; COSTA, D.K & CURY, H.N.,2006)

5. CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS

No intuito de se constatar a presença das concepções alternativas em estudantes, elaborou-se e aplicou-se um questionário composto por questões do tipo múltipla escolha com as opções "verdadeiro", "falso" e "não sei". Cópia do questionário encontra-se no Anexo 1 do presente trabalho.

Os questionários foram enviados a seis pessoas diferentes (doravante chamados grupos) envolvidas de uma forma ou de outra com o ensino (professores da rede estadual, de pré-vestibular entre outros). Os questionários foram aplicados no final do período do ano letivo de 2009 em turmas do ensino médio (nas 3 séries) e também em turmas do ensino fundamental (6^a, 7^a, 8^a e 9^a séries). Foram respondidos 313 questionários (formulários). A logística de envio e recebimento envolveu a utilização dos serviços de correio convencional.

A escolha das perguntas baseou-se em grande parte em questões e observações encontradas em outros trabalhos sobre o tema de pesquisadores da área de educação e mesmo em livros didáticos. Algumas das questões podem ser encontradas mesmo no capítulo anterior do presente trabalho. Muitas outras questões e conceitos poderiam ser inseridos no questionário (e mesmo um questionário com questões discursivas) mas optou-se por evita-los em razão das peculiaridades do ensino atual (restrições de tempo na escola ou curso pré-vestibular, tempo para o aluno responder, prazo para resposta antes do término do período letivo entre outras). Não foi adotado nenhum critério especial para a distribuição das perguntas ao longo do questionário. Para fins de análise, os alunos foram solicitados a informar dados complementares como será visto adiante. Optou-se por questionários anônimos de forma a amenizar qualquer tipo de precaução ou cautela quanto às respostas dadas.

O questionário foi respondido por 146 indivíduos do sexo masculino (48% do total de respondentes) contra 161 do sexo feminino (52% do total de respondentes), conforme ilustrado na figura 1.

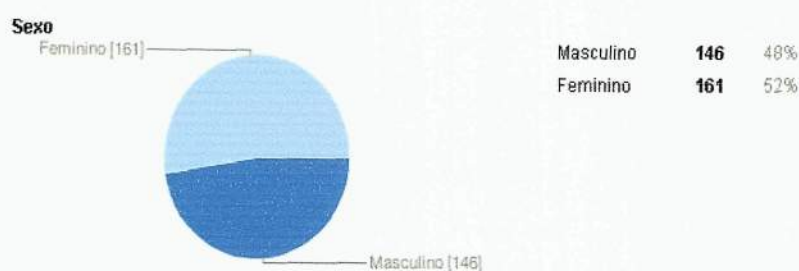


Figura 1: distribuição dos respondentes por sexo

No formulário os alunos informaram que tipo de escola/curso frequentam. Dois dos alunos assinalaram estarem vinculados ao ensino federal, mas tal dado não pôde ser confirmado. É importante assinalar tal fato como precaução para eventuais análises (os resultados podem não ser representativos para tal categoria). Foram obtidos os resultados da figura 2.

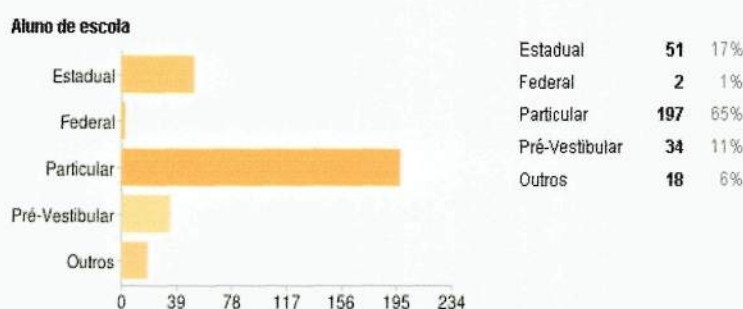


Figura 2: distribuição dos respondentes por escola

Com relação à região onde se localiza a escola, conforme mostrado na figura 3, vale similar advertência à feita anteriormente para os grupos indicados como Zona Sul, Centro e Interior.

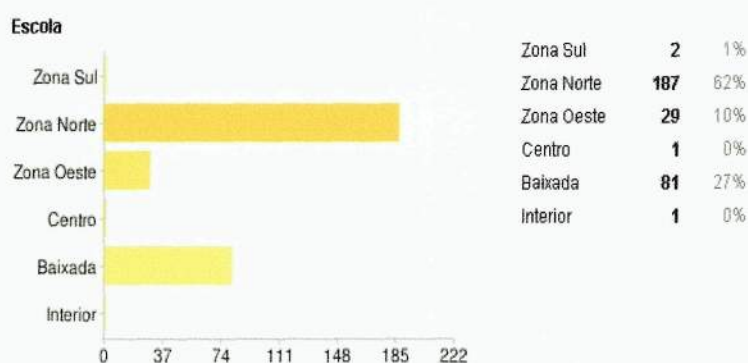


Figura 3: distribuição dos respondentes por região onde se localiza a escola

Iniciando a discussão questão a questão, a questão 1 apresentava a seguinte afirmação: "Ao tomar um pedaço de ferro sinto frio, mas ao tomar um pedaço de madeira (ambos expostos ao ambiente após um longo tempo) não. Isto se deve ao fato de o ferro ser um bom condutor de frio e a madeira ser boa condutora de calor". A primeira parte da questão refere-se à sensação térmica de frio tida por nós ao tocar o ferro em decorrência transferência de energia do nosso corpo para o metal, bom condutor de calor e à não presença de tal sensação térmica ao tocarmos um pedaço de madeira, má condutora de calor, caso em que a transferência de energia se dá de forma mais lenta. A informação entre parêntesis procura chamar a atenção do estudante para o conceito de equilíbrio térmico, ou seja, que madeira e ferro devem estar a mesma temperatura. No entanto, a justificativa para as sensações apresentadas em seguida não é procedente, uma vez que sabidamente o frio não é uma forma de energia e tampouco pode ser conduzido. Por outro lado também a madeira não é boa condutora de calor ao contrário do que afirma a questão. A resposta correta para a questão é, portanto, falsa. Na figura 4 temos os resultados das respostas.

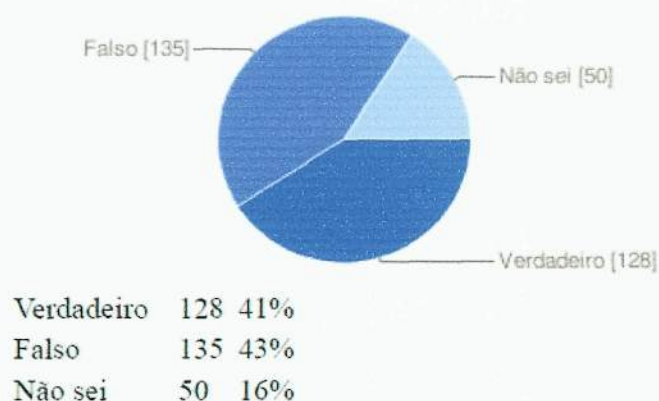


Figura 4: resultados para a questão 1

A questão 2 apresentava a seguinte afirmação: "Uma pessoa desnuda em um ambiente a zero graus treme porque recebe frio do meio". Esta questão, de certa forma interdisciplinar uma vez que aborda aspectos biológicos do ser humano, também explora o conceito da existência do frio ao invés de afirmar, como seria o correto, que a pessoa sente frio (e treme) em decorrência de fatores

de ordem biológica em que o corpo humano busca manter estável sua temperatura. A resposta correta para a questão seria falsa. A figura 5 mostra os resultados.

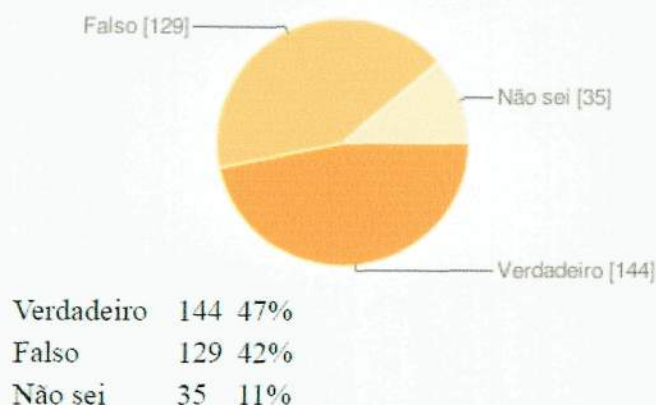


Figura 5: resultados para a questão 2

A questão 3 apresentava a afirmação: "O zero absoluto é um estado de repouso absoluto em que todo movimento cessaria, ou seja, um ponto de frio máximo". A questão, extraída de um livro didático, é verdadeira. Algumas pessoas que receberam o questionário indagaram sobre a validade da segunda parte da afirmação, ou seja, "um ponto de frio máximo", uma vez que se compreendemos o frio como sensação térmica, ela deveria ser falsa. Por outro lado, hipoteticamente, não "sentiríamos" frio máximo ao tocar um determinado corpo em tal condição de temperatura? Fica a discussão em aberto. Contudo, baseando-se no fato que a afirmação foi transcrita tal como consta em livro didático de grande aceitação, assume-se a resposta correta a opção "verdadeiro". Os resultados aparecem ilustrados na figura 6.

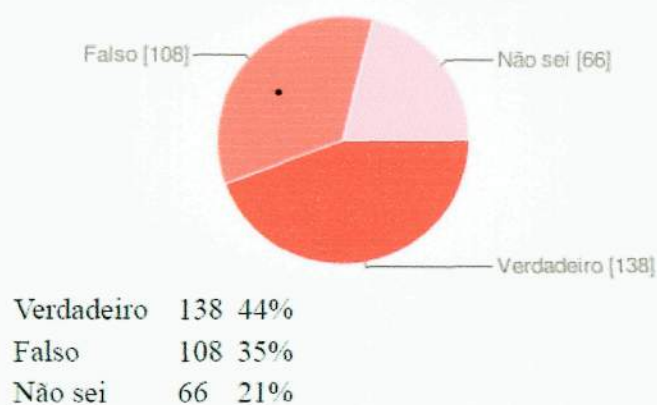


Figura 6: resultados para a questão 3

A questão 4 afirmava: "Coloca-se uma das mãos numa vasilha com água quente e a outra numa vasilha com água fria. Se as duas mãos forem colocadas posteriormente numa terceira vasilha com água morna, a água morna parecerá quente para a mão que estava na água fria e fria para a mão que estava na água quente". Trata-se da experiência das três bacias que visa mostrar como a sensação térmica tida a partir do emprego das mãos ao se tocar os corpos pode ser enganosa. A questão dispensa maiores comentários e procurou verificar se os estudantes têm realmente a percepção de que a sensação térmica pode ser enganosa. A resposta da questão é verdadeira e os resultados aparecem na figura 7.

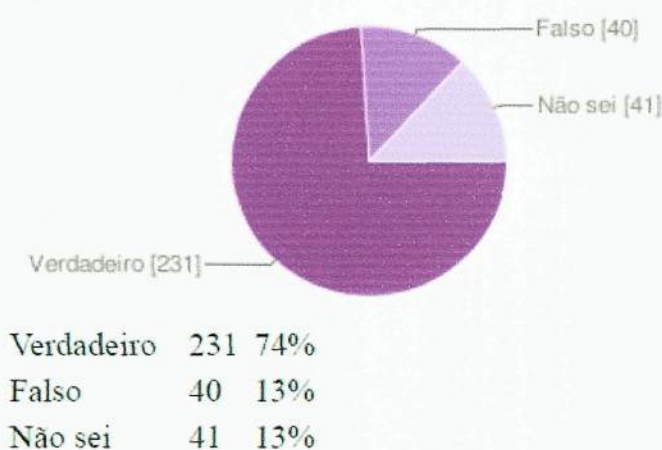


Figura 7: resultados para a questão 4

Na questão 5 afirma-se: "Um cobertor de lã é 'quente'". Ora sabemos que quente e frio são sensações térmicas e que se sentimos algo quente equivaleria a afirmar que esteja havendo troca de energia do cobertor de lã para o nosso corpo (ou que o cobertor é uma fonte de energia), o que não é correto. A sensação térmica deriva do fato de o cobertor ser um isolante térmico (um mau condutor de calor), dificultando o fluxo do calor para o meio exterior ao mesmo, mantendo-nos aquecidos. Logo, a afirmação proposta na questão é falsa e os resultados são apresentados na figura 8.

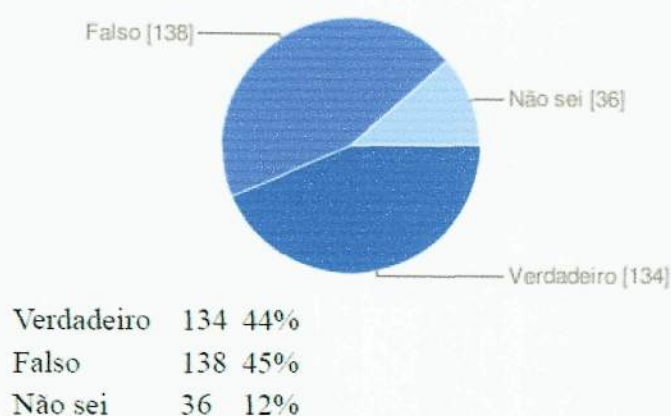


Figura 8: resultados para a questão 5

Na questão 6 aparece a seguinte afirmação: "Ao tocarmos um piso de madeira, temos a sensação de que este é mais quente que o piso de ladrilho. O pé e o ladrilho trocam frio muito mais rápido do que o pé e a madeira. A madeira é uma má condutora de frio. Os maus condutores de frio são chamados de isolantes térmicos". O correto seria, na sentença, substituir a palavra frio por calor. Portanto, a resposta é falsa para a questão e os resultados aparecem na próxima figura 9.

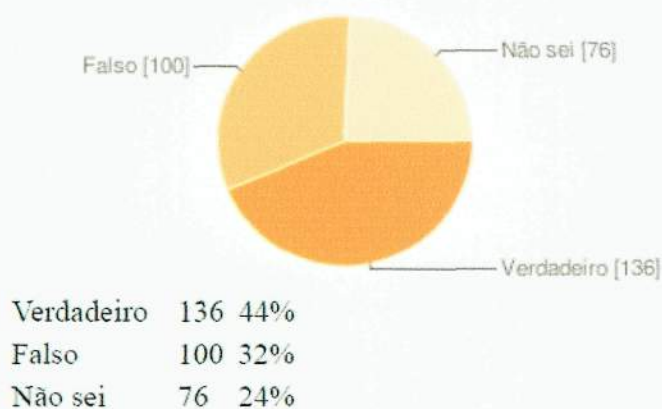


Figura 9: resultados para a questão 6

Na questão 7 temos: "Um corpo não possui calor, calor é sempre transferido entre dois corpos, do corpo com mais temperatura para o com temperatura mais baixa". A questão também não merece maiores discussões, visto que este conceito já foi apresentado neste trabalho. A resposta para a questão é verdadeira. Resultados na figura 10.

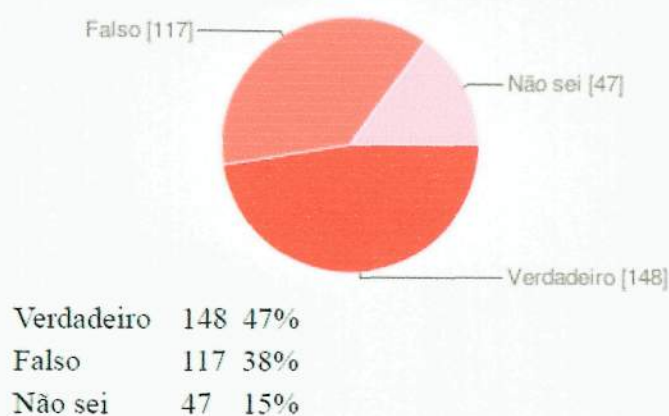


Figura 10: resultados para a questão 7

A questão 8 apresenta uma afirmação baseada, como já visto, na concepção aristotélica para o calor: "O frio e o quente são duas das quatro qualidades primárias da matéria, ao lado do seco e do úmido". Frio e quente não são entendidos como sensações táteis em decorrência de troca de energia. Houve um equilíbrio nos resultados que são apresentados na figura 11.

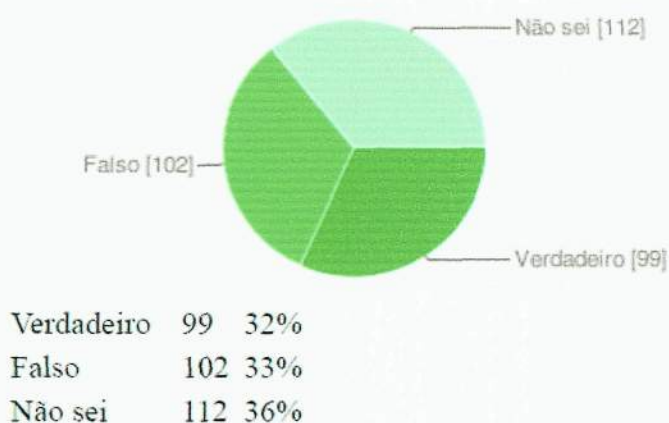


Figura 11: resultados para a questão 8

Prosseguindo, na questão 9: "A nossa pele não indica uma temperatura, mas sim uma quantidade de calor, que tanto pode estar saindo quanto entrando em um corpo". Esta é em si a própria definição para a sensação térmica. Neste caso, os alunos foram capazes de acertar em sua grande maioria, apesar do número que respondeu como falso e que não sabia. Resultados na figura 12.

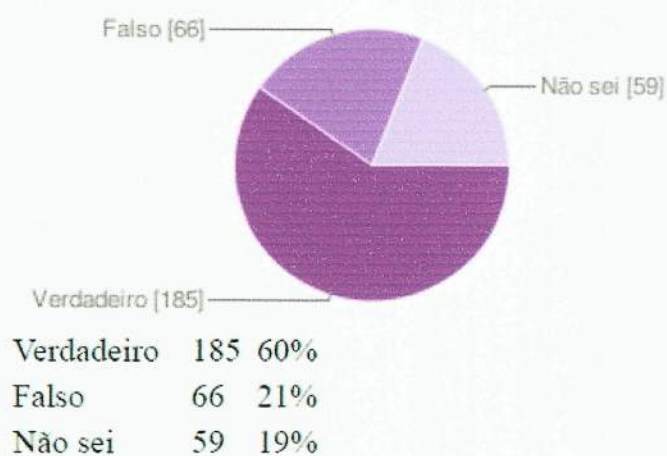


Figura 12: resultados para a questão 9

A questão 10 retoma a afirmação já citada anteriormente: "O calor origina-se das partículas do corpo que se separam pela penetração do fogo". A grande maioria dos estudantes (mais de 50%) respondeu corretamente a questão (falsa). Poderiam os estudantes terem assinalado como falsa a questão em razão de acreditarem que fogo e calor são a mesma coisa? Uma nova questão poderia esclarecer essa dúvida. Os resultados são apresentados na figura 13.

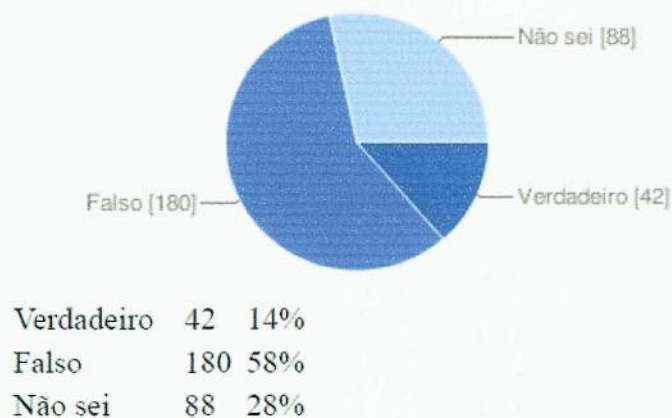


Figura 13: resultados para a questão 10

A questão 11 aborda: "O calor é uma substância que passa de um corpo mais quente para um mais frio". A questão retoma a visão do calor como substância, também abordada anteriormente neste trabalho. Neste caso os resultados mostram que a ideia de se entender o calor como substância ainda é muito forte e presente entre os estudantes. Obviamente a resposta da questão é falsa e os resultados são apresentados na figura 14.

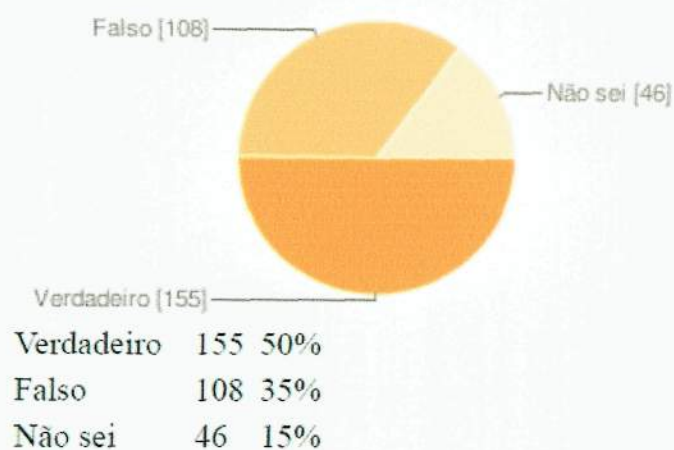


Figura 14: resultados para a questão 11

Na questão 12: "O frio é o oposto ou a ausência do calor". Visão típica da época em que se construíam termômetros para a medição de graus de frio e de graus de calor. A afirmação é falsa e os resultados são apresentados na figura 15.

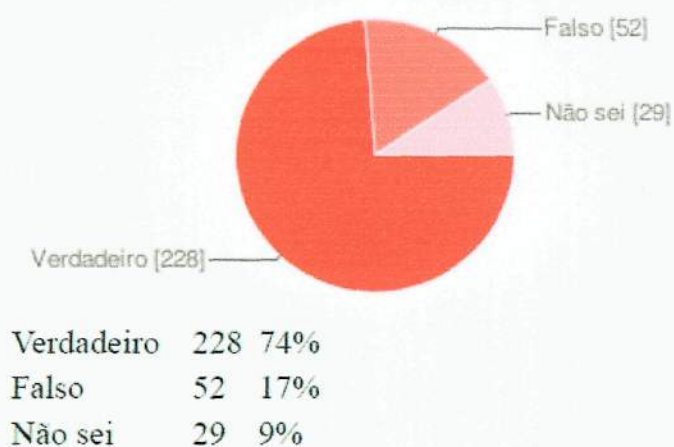


Figura 15: resultados para a questão 12

Na questão 13 afirma-se que: "Temperatura é a medida do calor de um corpo". Como já visto, a temperatura indica o grau de agitação das moléculas que compõe um corpo e não corresponde a medida do calor de um corpo, uma vez que este último é uma forma de energia e não se encontra contido em um corpo. A afirmação é falsa. Grande número de estudantes assinalou tal afirmativa como verdadeira. Resultados apresentados na figura 16.

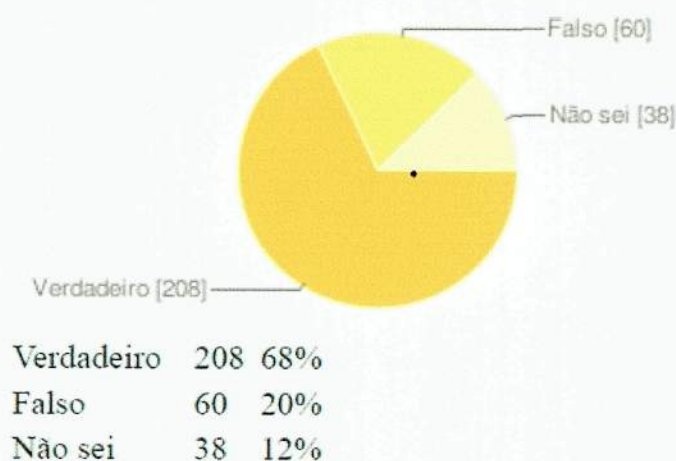


Figura 16: resultados para a questão 13

Consta na questão 14 que "A garrafa térmica isola tanto calor como frio". Como já afirmado, frio é sensação térmica e, logo, não há como ser isolado por uma garrafa térmica. O que ela impede são as trocas térmicas entre uma substância em seu interior e o meio externo. Portanto a afirmação é falsa. É surpreendente a quantidade de alunos que afirmaram ser verdadeira essa afirmação conforme se visualiza na figura 17.

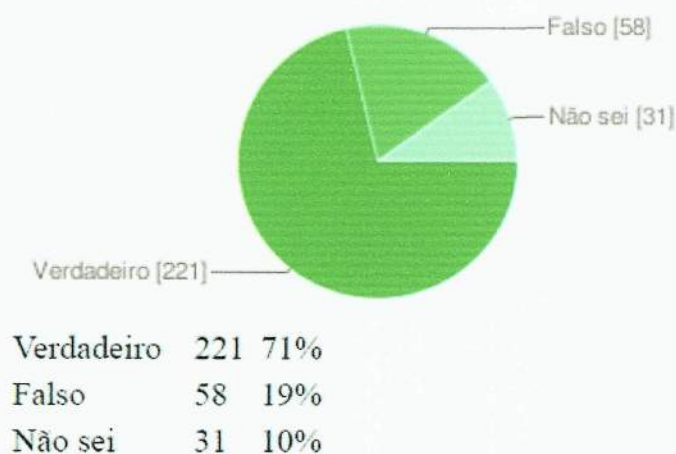


Figura 17: resultados para a questão 14

Na questão 15 foi explorado além do conceito do calórico o fato do calor ser atraído por alguns materiais bem como ele ser um líquido: "O calor é formado pelo calórico. O calórico é um líquido que não pode ser medido diretamente e se transfere dos corpos mais quentes para os corpos mais frios. Alguns materiais atraem o calórico". O alto índice de alunos que responderam não saber do que tratava a questão parece ser um indicador de que a teoria do calórico não foi abordada ou

discutida em sala de aula e/ou não consta dos livros didáticos que lhes chegam às mãos. O estudante deveria ter assinalado como falsa a questão. Os resultados são apresentados na figura 18.

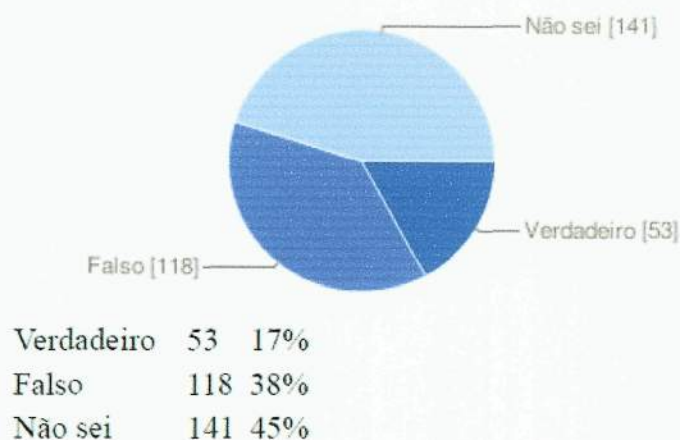


Figura 18: resultados para a questão 15

A questão 16 afirma que "as partículas dos corpos atraem o calor". Os alunos parecem aceitar a ideia de que o calor é formado por partículas e que os corpos atraem o calor. Mas, há que se considerar que tanto nesta questão como na anterior é considerável a quantidade de alunos que afirmaram desconhecer o tema. A resposta, naturalmente, é falsa para a questão e os resultados são apresentados na figura 19.

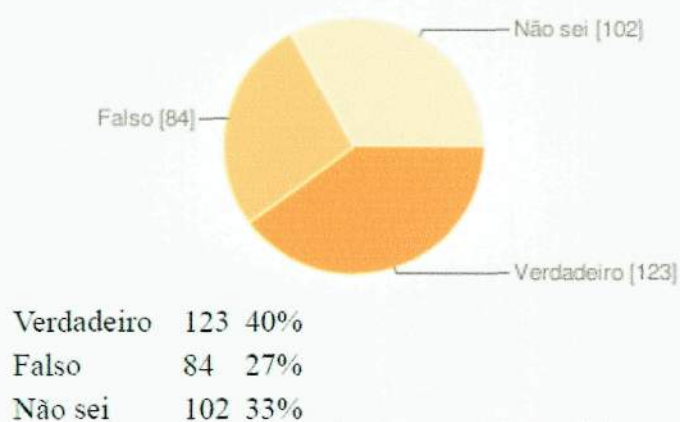


Figura 19: resultados para a questão 16

A questão 17 evoca a questão de o calor ser algo que um corpo contém, mesclando as sensações térmicas de quente e frio ao afirmar "corpos quentes têm mais calor que corpos frios". A esta altura já se sabe que frio e quente são sensações térmicas que podem não ser confiáveis e, ainda que tenhamos medido a temperatura dos tais corpos com o emprego de termômetros, o fato de um

deles apresentar temperatura maior que a do outro não significa que um contenha mais calor que outro. Calor não está contido em um corpo. É uma forma de energia. A afirmação da questão, portanto, deve ser tida como falsa e os resultados são apresentados na figura 20.

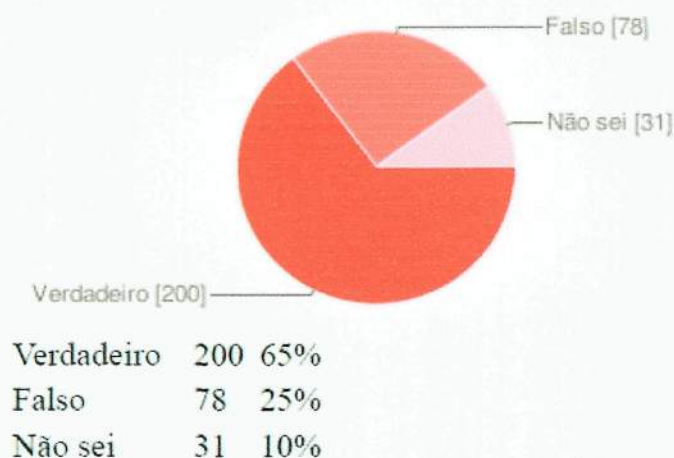


Figura 20: resultados para a questão 17

A questão 18 afirma que "nas casas dos esquimós (iglus), o gelo não deixa o calor passar". O que é verdade. Mas para os estudantes é difícil entender como o gelo, sendo "frio", é capaz de ser também um isolante térmico, o que se constata ao considerarmos o total de pessoas que responderam falso e que não sabiam. Os resultados são apresentados na figura 21.

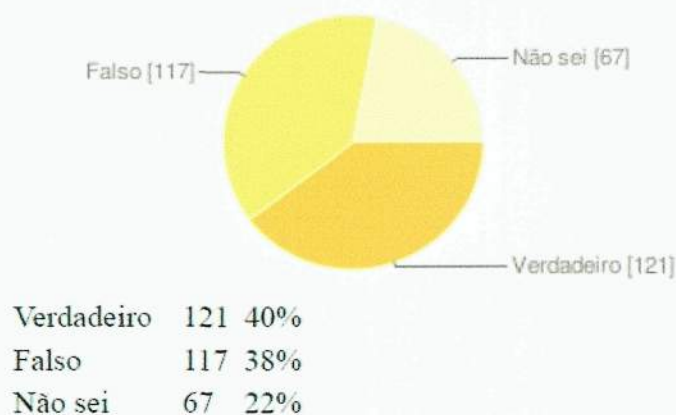


Figura 21: resultados para a questão 18

A penúltima questão do formulário, a de número 19, expressa um erro muito comum dos estudantes ao afirmar que "o calor é a energia transferida entre dois corpos, isto é, a troca de temperatura". Sabemos que o calor não é uma troca de temperaturas entre corpos. Portanto, a resposta é falsa e os resultados são apresentados na figura 22.

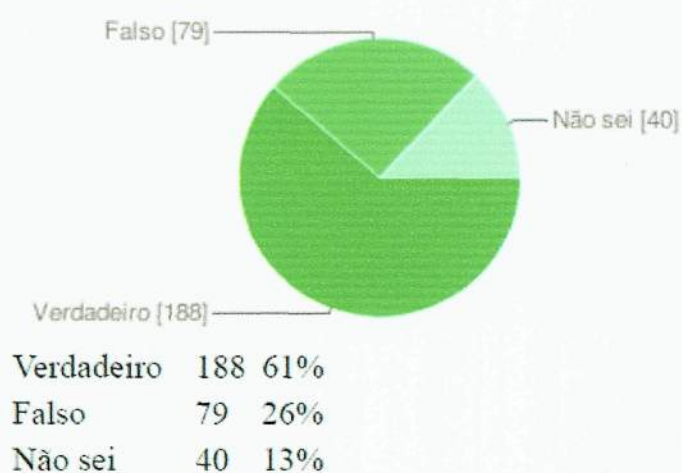


Figura 22: resultados para a questão 19

Por fim, a questão 20 (falsa) diz "quando se mede a febre de uma pessoa ela passa a temperatura para o termômetro", também outra ideia errônea que os estudantes possuem a respeito dos termômetros. Resultados na figura 23.

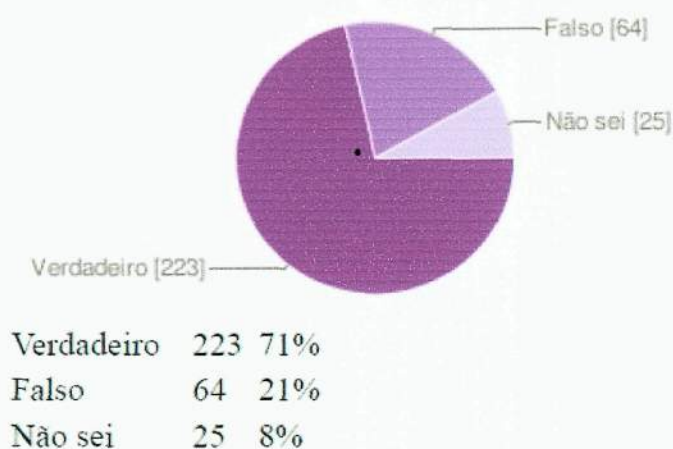


Figura 23: resultados para a questão 20

A seguir são apresentados gráficos que sintetizam os resultados por categorias como sexo, tipo de curso, região de localização da escola, grupo, série e idade com o índice de acertos para cada questão. A questão 21 que aparece no gráfico refere-se à resposta negativa ante à pergunta colocada ao aluno de se ele acha importante o estudo do calor/temperatura. A questão 22 engloba as respostas positivas à questão citada anteriormente. Não é demais lembrar que alguns resultados, conforme assinalado no início deste capítulo podem se apresentar distorcidos e pouco representativos para determinada categoria.

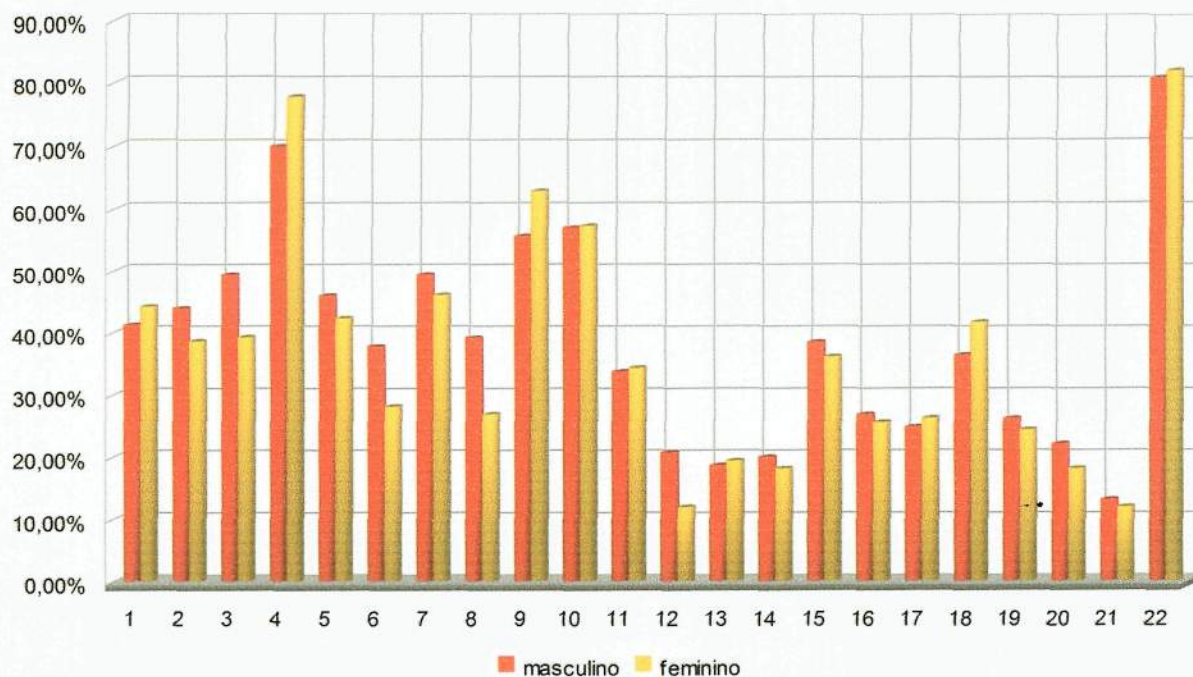


Figura 24: o gráfico mostra o percentual de acertos para cada questão conforme o sexo do respondente. Para as questões 21 e 22 considerar a observação citada na página anterior

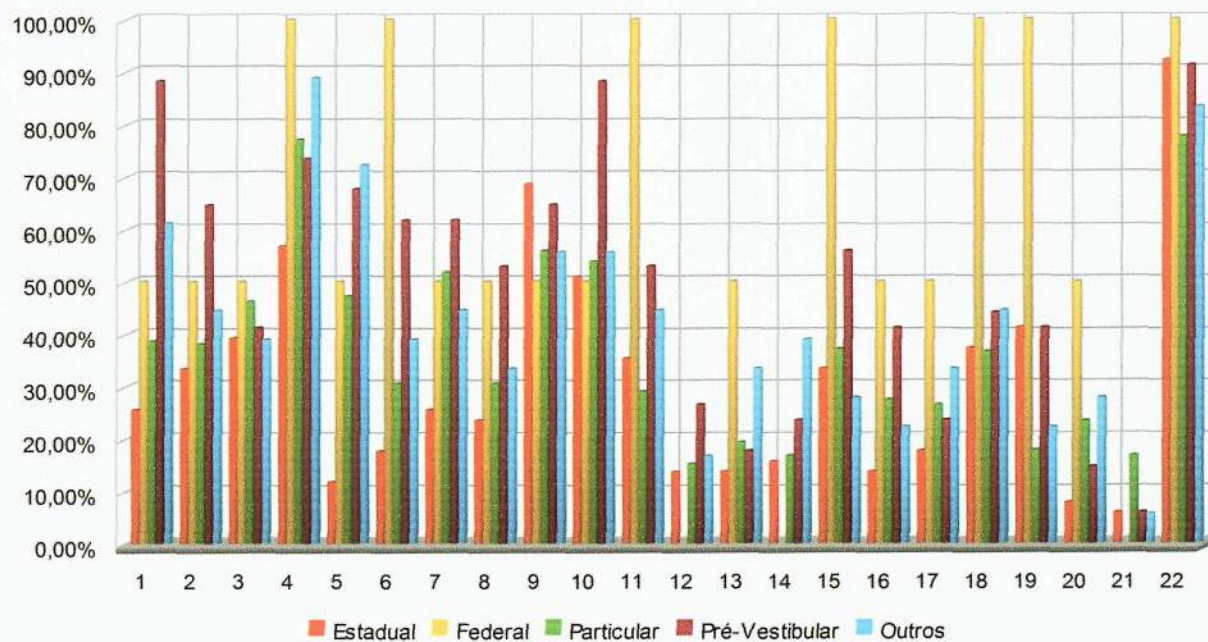


Figura 25: o gráfico mostra o percentual de acertos para cada questão conforme o tipo de escola/instituição do respondente. Para as questões 21 e 22 considerar a observação citada na página 66

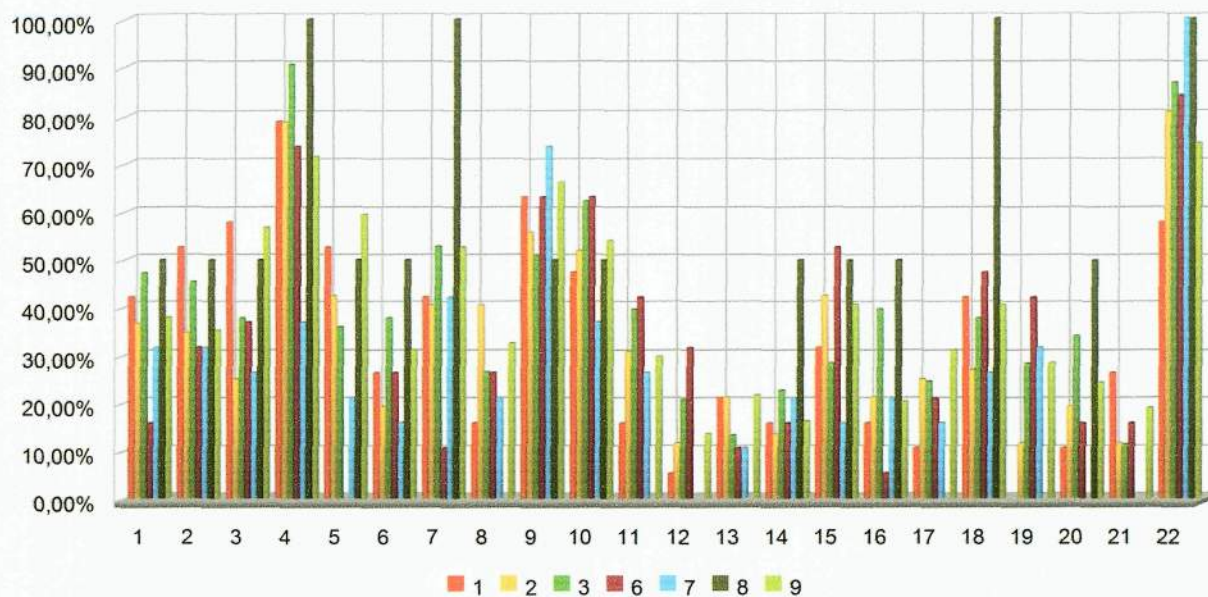


Figura 26: o gráfico mostra o percentual de acertos para cada questão conforme a série do ensino que esteja cursando ou tenha cursado o respondente. Para as questões 21 e 22 considerar a observação citada na página 66

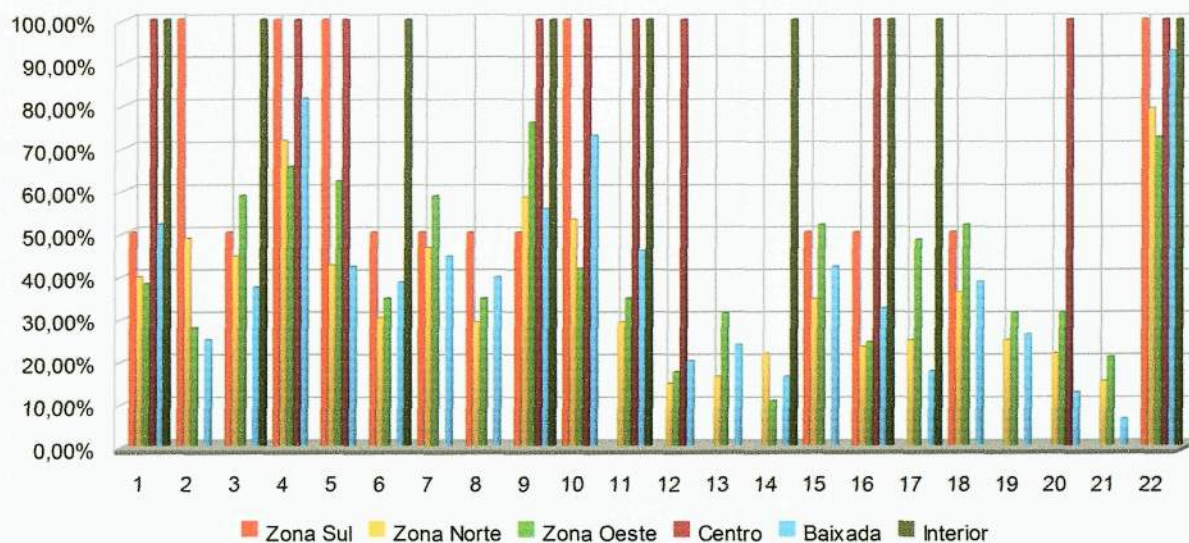


Figura 27: o gráfico mostra o percentual de acertos para cada questão conforme a localização da escola/instituição do respondente. Para as questões 21 e 22 considerar a observação citada na página 66

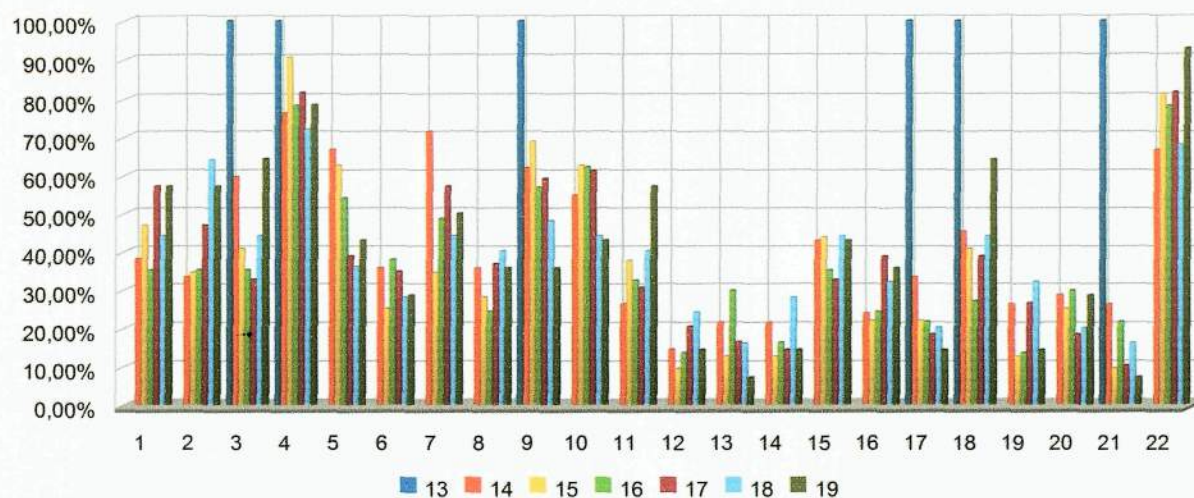


Figura 28: o gráfico mostra o percentual de acertos para cada questão conforme a idade do respondente. Para as questões 21 e 22 considerar a observação citada na página 66

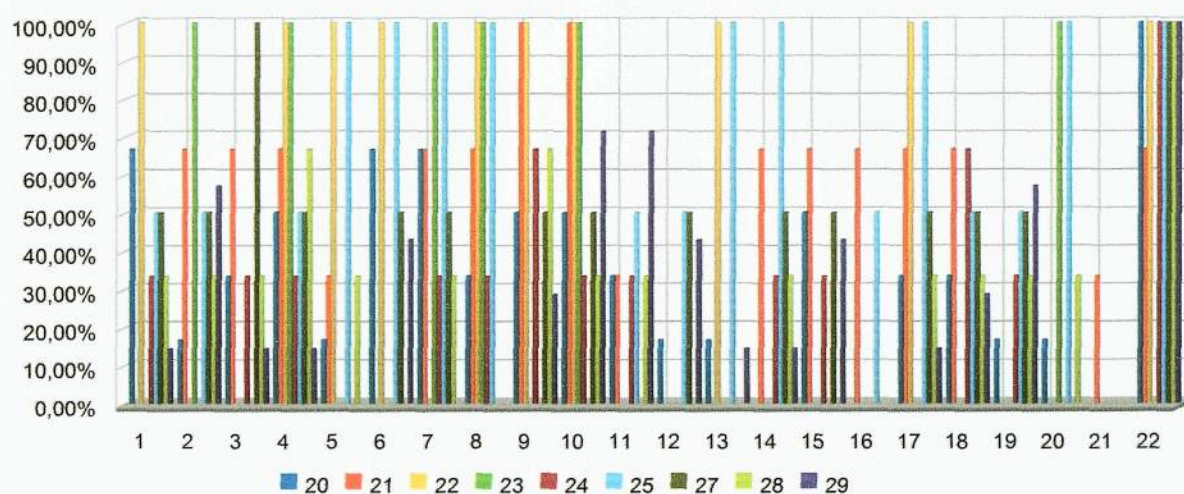


Figura 29: o gráfico mostra o percentual de acertos para cada questão conforme a idade do respondente. Para as questões 21 e 22 considerar a observação citada na página 66

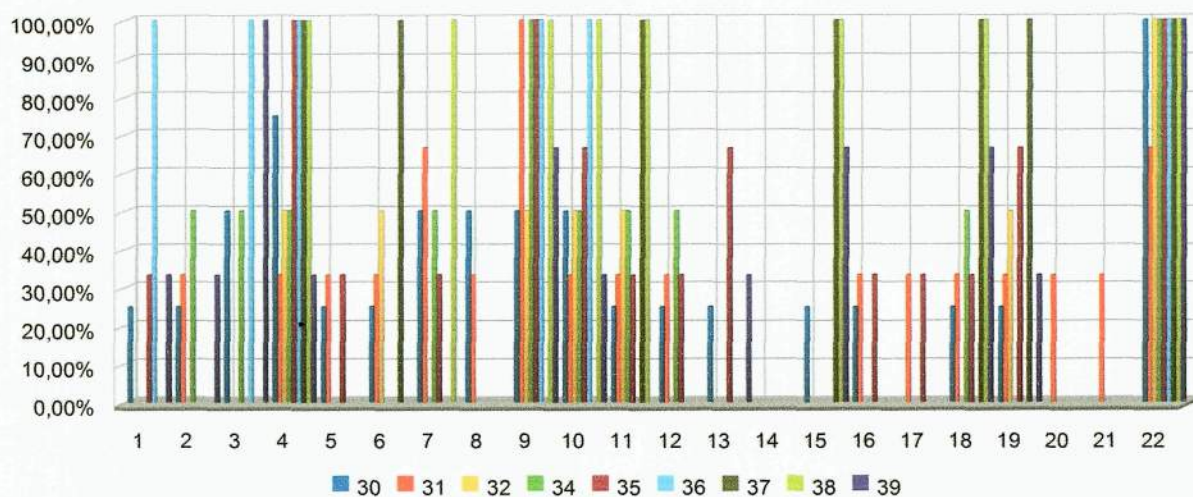


Figura 30: o gráfico mostra o percentual de acertos para cada questão conforme a idade do respondente. Para as questões 21 e 22 considerar a observação citada na página 66

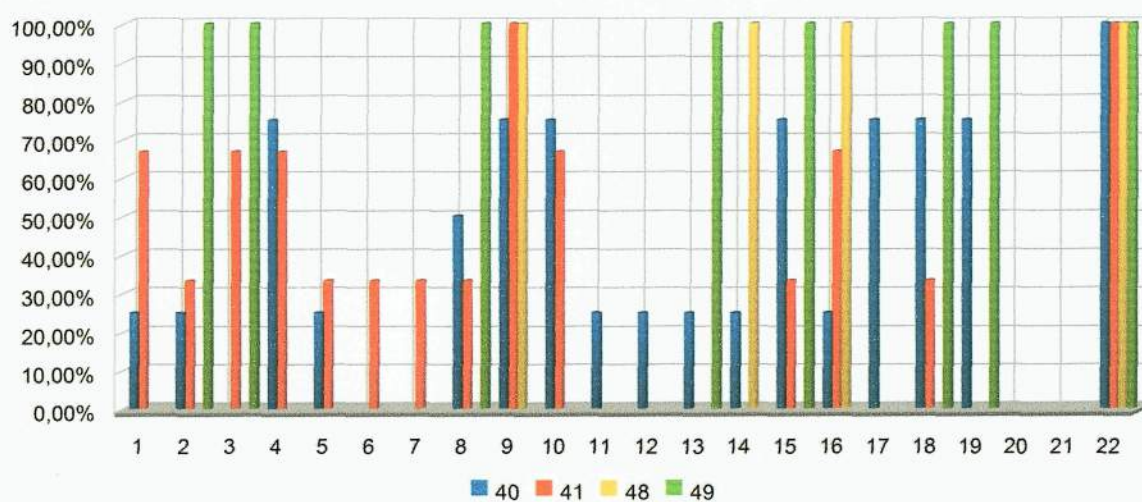


Figura 31: o gráfico mostra o percentual de acertos para cada questão conforme a idade do respondente. Para as questões 21 e 22 considerar a observação citada na página 66

CONCLUSÃO

As primeiras interpretações dadas para o calor o associavam unicamente ao fogo. Tempos depois surge a palavra *temperatura* como que equivalendo à *mescla do quente e do frio nos corpos*. Estabeleceu-se por essa época que *temperatura* e *calor* eram sinônimos até que a invenção dos termômetros e as experiências de Black, notadamente as de calor latente e as que envolviam misturas de substâncias a diferentes temperaturas, viessem por estabelecer uma distinção melhor entre estes conceitos.

Durante longo tempo as definições mais aceitas e com maior número de defensores para o calor foram as essencialmente substancialistas quer o vissem na forma de corpúsculos, flogístico ou calórico. Paralelamente a tais definições coexistiam as visões associadas ao movimento das partículas que compõem os corpos. A visão do calórico defendida sobretudo por Laplace e Lavoisier, a última das substancialistas, foi seriamente abalada pelas experiências de Rumford. As experiências de Joule, as conclusões da Termodinâmica (notadamente o Princípio da Conservação da Energia) e os experimentos de radiação térmica consolidaram o conceito de calor como forma de energia.

Por sua vez a temperatura, uma vez diferenciada do calor, ganhou uma definição com Waterston: passou a ser um indicador do grau de agitação das moléculas de um corpo. Bernoulli foi o primeiro a defender a Teoria Cinético-Molecular na qual se apoia o conceito anterior e que avançou posteriormente com outros cientistas. O conceito de zero absoluto apresentado por Kelvin no qual a energia cinética das moléculas se anula e não o volume e o conceito de pressão apresentado por Herapath assumem importante papel no estabelecimento deste conceito de temperatura.

É desta definição de calor como forma de energia relacionada à agitação molecular que, de uma forma ou de outra, os livros didáticos brasileiros de ensino médio analisados neste trabalho se aproximam: há uma certa unanimidade em definir calor como sendo uma forma de energia que

transita de um sistema ou corpo para outro em decorrência de uma diferença de temperatura entre eles. Esta definição concorda de certa forma com o que dizem os fatos históricos relatados. Mas, seria tal fato sempre verdade? Teriam ocorrido em tais obras a mera transcrição do que afirmam obras anteriores? Se considerarmos o caso da radiação térmica em que corpos emitem e recebem continuamente radiação, mesmo estando todos a uma mesma temperatura, esta afirmação também é válida? Não seria mais apropriado nos referirmos a calor como sendo apenas uma forma de energia? Fica a discussão em aberto.

Já quando o assunto é temperatura, os mesmos livros citados acima apresentam uma certa dispersão com alguns afirmando estar esta relacionada à ideia de agitação molecular, tal como apresentado na definição de Waterston, enquanto outros apresentam definições alternativas, em alguns casos associadas aos termos quente e frio. A metade dos livros também não faz comentários a teoria do calórico e com relação ao conceito de zero absoluto em apenas uma obra não foi observada a presença do mesmo. Alguns dos livros que tratam da teoria do calórico abordam também a concepção do calor contido nos corpos.

As concepções dos estudantes sobre calor e temperatura se assemelham, de uma forma ou de outra, às visões históricas que essencialmente, sem prejuízo de outras menos apropriadas, viam o calor como substância, a temperatura como associada às sensações táteis de quente e frio e a existência do frio como substância oposta ao calor. Por vezes, a palavra calor, tal como empregada no cotidiano pelos estudantes, é usada para explicar o que se observa nos fenômenos térmicos. Um cuidado maior talvez devesse ser tomado no emprego da palavra calor em sala de aula.

De forma sintética, a pesquisa realizada com estudantes da região metropolitana constatou a presença destas concepções nas quais se observa: desconhecimento do que seja um isolante térmico (questões 1, 5, 6, 14 e 18), frio e calor interpretados como substâncias (questão 11) opostas (questões 12 e 14) que são conduzidas pelos materiais (questões 1 e 2), desconhecimento do conceito de zero absoluto (questão 3), a ideia de que o calor pode ser armazenado (questão 17),

desconhecimento de que o calor é uma forma de energia que se transfere de um corpo a maior temperatura para outro a menor (questão 7), indiferenciação do conceito de sensação térmica propiciada pelo tato da capacidade de condução do calor pelos materiais (questão 17) ainda que tenham conseguido num determinado momento compreender a experiência da bacia (questão 4) e mesmo compreender a definição conceitual para a sensação propiciada pelo tato (questão 9), a temperatura é a medida do calor de um corpo (questão 13), desconhecimento do que seja o conceito de calórico (questão 15), os corpos podem atrair o calor (questão 16), o calor corresponde a uma troca de temperaturas entre os corpos (questão 19) e a temperatura “passa” para os termômetros (questão 20).

Referências bibliográficas

1. AGUIAR JÚNIOR, O. G., *Ensinando Calor e Temperatura no Ensino Fundamental: relações entre o ensino e a aprendizagem numa perspectiva construtivista*. In: VI ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 1998, Florianópolis, SC. Anais do VI EPEF (CD ROM), 1998. v. 1. p. 1-17.
2. AXT, Rolando; BRUCKMANN, M., *O conceito de calor nos livros de ciências*. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v. 6(2), p. 128-142, 1989.
3. BASSALO, J. M. F., "A Crônica do Calor: A Teoria Cinética dos Gases", *Crônicas da Física*, Tomo 3.
4. BASSALO, J. M. F., "A Crônica do Calor: Calorimetria", *Revista de Ensino de Física*, vol.14, 1 1992, 135-161.
5. BASSALO, J. M. F., "A Crônica do Calor: Termodinâmica", *Crônicas da Física*, Tomo 3.
6. BASSALO, J. M. F., "A Crônica do Calor: Termometria", *Revista de Ensino de Física*, vol.13, 12/1991, 135-161.
7. BERTULANI, C.A., "Teoria Cinética dos Gases", Projeto de Ensino de Física à Distância, IF/UFRJ, 2010, (http://www.if.ufrj.br/teaching/fis2/teoria_cinetica/teoria_cinetica.html)
8. BOHREN, C. F., *Physics textbook writing: Medieval, monastic mimicry*, American Association of Physics Teachers, 2009.
9. BONJORNO, Regina Azenha; BONJORNO, José Roberto; BONJORNO, Valter; RAMOS, Clinton Marcico. "Física Completa - Volume Único", FTD Editora, 2001.
10. BULFINCH, Thomas. *O Livro de Ouro da Mitologia; Edição Especial*, Ediouro-RJ.
11. CASTILLO, Alberto de L.; GRANADOS, Dora I.; MARINO, Luis A., "Calor: Una Propuesta Didáctica Constructivista con Enfoque de Ciencia Integrada", *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 24, no. 3, Setembro, 2002.
12. CINDRA, José Lourenço; TEIXEIRA, Odete Pacubi Baierl. *Calor e temperatura e suas explicações: enfoque histórico*. In: III Encontro de Filosofia e História da Ciência do Cone Sul, 2002, Águas de Lindóia, 2002.
13. EINSTEIN, Albert; INFELD, Leopold. *La Evolucion de la Fisica*, Salvat Editores SA, Barcelona, 1986.
14. EPSTEIN, Lewis C.; HEWITT, Paul G., *Thinking Physics*, Insight Press, 1981.
15. FONTANA, Altair José. *Concepção epistemológica empirista*. *Revista Divisa*, v. 4, p. 19-24, 2007.
16. FONTANA, Altair José. *O processo de avaliação no ensino de Física*. *Revista Divisa*, Itapiranga - SC, v. 2, p. 13-19, 2005.

17. GASPAR, Alberto. Física Volume Único, Editora Ática, 1a. Edição, 2002.
18. GREF, "Leituras de Física: Física Térmica", IF/USP, 06/1998.
19. GREF, Física 2 física térmica óptica, EDUSP, 2a. Edição, 1993.
20. GUIMARÃES, Luiz Alberto; BOA, Marcelo Fonte. Termologia e Óptica Física para o 2o. grau, Editora Harbra, 1998.
21. GURGEL, I. ; PIETROCOLA, M., Modelos e Realidade: As Explicações acerca do Calor no Século XVIII. In: X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2006, Londrina. Anais do X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2006.
22. HÜLSENDEGER, Margarete Jesusa Varela Centeno; COSTA, Denise Kriedte da ; CURY, Helena Noronha. Identificação de concepções de alunos de ensino médio sobre calor e temperatura . Acta Scientiae (ULBRA), Canoas, v. 8, n. 1, p. 35-46, 2006.
23. K. C., DE BERG, "The Concepts of Heat and Temperature: The Problem of Determining the Content for the Construction of an Historical Case Study which is Sensitive to Nature of Science Issues and Teaching–Learning Issues", Science & Education, (2008) 17:75–114.
24. KÖHNLEIN, Janete Francisca Klein; PEDUZZI, Sônia S. Um Estudo a respeito das Concepções Alternativas sobre Calor e Temperatura. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, Porto Alegre: ABRAPEC, v. 2, p. 25-35, 2002.
25. MACEDO, HORÁCIO. Dicionário de Física Ilustrado; Editora Nova Fronteira; 1976.
26. MÁXIMO, Antônio; ALVARENGA, Beatriz. Curso de Física, volume 2, Editora Harbra, 3a. Edição, 1993.
27. MÁXIMO, Antônio; ALVARENGA, Beatriz. Física de olho no mundo do trabalho, volume único, Editora Scipione, 1a. Edição, 2004.
28. MEC, "PCN+ Ensino Médio Orientações educacionais complementares aos parâmetros curriculares nacionais".
29. MEC, "Orientações curriculares para o ensino médio, volume 2", 2006.
30. MOREIRA, Marco Antonio; MASSONI, Neusa Teresinha; OSTERMANN, F., História e epistemologia da física na licenciatura em física: uma disciplina que busca mudar concepções dos alunos sobre a natureza da ciência. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, p. 129-136, 2007.
31. NUSSENZVEIG, H. Moisés. Curso de Física Básica Vol.2 (Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor); Editora Edgard Blucher; 4a. Edição; 2002.
32. PARANÁ, Djalma Nunes da Silva. Física Termologia Óptica Ondulatória, Editora Ática, Volume 2, 6a. Edição, 1998.

33. PAULI, Evaldo. Enciclopédia Simpozio; UFSC, 1997 (<http://www.cfh.ufsc.br/~simpozio>).
34. PLEITEZ, V., O Acaso, O Preconceito e O Método Científico Em Física REVISTA BRASILEIRA DE ENSINO DE FÍSICA, SAO PAULO, v. 18, n. 4, p. 355-361, 1996.
35. PUENTE, Fernando Rey. Os sentidos do tempo em Aristóteles; Editora Loyola; 1a. Edição, 2001.
36. RAMME, Leunice; BURKARTER, Ezequiel. Modelos de calor, Física 1, Ed. Curitiba, SEED/PR, 2006.
37. RESNICK, Robert; HALLIDAY, David; KRANE, Kenneth S., Física 2, 5a. Edição, LTC, 2003.
38. SAMPAIO, José Luiz; CALÇADA; Caio Sérgio. "Física Sampaio & Calçada - Volume Único", Atual Editora, 2005.
39. Secretaria de Educação Média e Tecnológica, "Parâmetros Curriculares Nacionais Ensino Médio".
40. SIAS, D. B.; TEIXEIRA, R. M. R., Aquisição Automática de Dados e Animações no Estudo da Transmissão do Calor. RENOTE. Revista Novas Tecnologias na Educação, v. 4, p. 1-10, 2006.
41. SILVA, D. ; FERNANDEZ NETO, V.; CARVALHO, A. M. P., Ensino da distinção entre calor e temperatura: uma visão construtivista.. Pesquisa Em Ensino de Ciências e Matemática, UNESP - Bauru, v. 4, p. 22-39, 1997.
42. SILVA, J. L. P. B., Porque não estudar entalpia no ensino médio. Química Nova na Escola, n. 22, p. 22-25, 2005.
43. SOUSA, J. J. F., BARROS; S. L. S., "A MONOGRAFIA DE FINAL DE CURSO DA LICENCIATURA EM FÍSICA NA UFRJ", XVI SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA.
44. SOUSA, J. J. F.; BARROS, S. L. S.; SANTOS, W. M. S., "A PSICODIDÁTICA NA PRÁTICA DO PROFESSOR DE FÍSICA DO ENSINO MÉDIO: UM CURSO DE FORMAÇÃO CONTINUADA", IF/UFRJ.
45. WYNN, Charles M.; WIGGINS, Arthur W., "O caminho para a descoberta: o método da ciência", As cinco maiores ideias da ciência, Prestígio Editorial, 2002.
46. YEO, Shelley; ZADNIK, Marjan, "Introductory Thermal Concept Evaluation: Assessing Student's Understanding", The Physics Teacher, 2001.

Anexo 1

AFIRMAÇÃO (V: verdadeiro; F: falso; NS: não sei)	V	F	NS
1) Ao tomar um pedaço de ferro sinto frio, mas ao tomar um pedaço de madeira (ambos expostos ao ambiente após um longo tempo) não. Isto se deve ao fato de o ferro ser um bom condutor de frio e a madeira ser boa condutora de calor.		x	
2) Uma pessoa desnuda em um ambiente a zero graus treme porque recebe frio do meio.			x
3) O zero absoluto é um estado de repouso absoluto em que todo movimento cessaria, ou seja, um ponto de frio máximo.	x		
4) Coloca-se uma das mãos numa vasilha com água quente e a outra numa vasilha com água fria. Se as duas mãos forem colocadas posteriormente numa terceira vasilha com água morna, a água morna parecerá quente para a mão que estava na água fria e fria para a mão que estava na água quente.	x		
5) Um cobertor de lã é "quente".			x
6) Ao tocarmos um piso de madeira, temos a sensação de que este é mais quente que o piso de ladrilho. O pé e o ladrilho trocam frio muito mais rápido do que o pé e a madeira. A madeira é uma má condutora de frio. Os maus condutores de frio são chamados de isolantes térmicos.		x	
7) "Um corpo não possui calor, calor é sempre transferido entre dois corpos, do corpo com mais temperatura para o com temperatura mais baixa."	x		
8) O frio e o quente são duas das quatro qualidades primárias da matéria, ao lado do seco e do úmido.			x
9) "A nossa pele não indica uma temperatura, mas sim uma quantidade de calor, que tanto pode estar saindo quanto entrando em um corpo."	x		
10) O calor origina-se das partículas do corpo que se separam pela penetração do fogo.			x
11) O calor é uma substância que passa de um corpo mais quente para um mais frio.			x
12) O frio é o oposto ou a ausência do calor.			x
13) Temperatura é a medida do calor de um corpo.			x
14) "A garrafa térmica isola tanto calor como frio."			x
15) O calor é formado pelo calórico. O calórico é um líquido que não pode ser medido diretamente e se transfere dos corpos mais quentes para os corpos mais frios. Alguns materiais atraem o calórico.			x
16) As partículas dos corpos atraem o calor.			x
17) "Corpos quentes têm mais calor que corpos frios."			x
18) Nas casas dos esquimós (iglus), o gelo não deixa o calor passar.	x		
19) "O calor é a energia transferida entre dois corpos, isto é, a troca de temperatura."			x
20) Quando se mede a febre de uma pessoa ela passa a temperatura para o termômetro.			x