

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE FÍSICA DE SÃO CARLOS
LABORATÓRIO DE FÍSICA 2

CALORIMETRIA

JOÃO VICTOR ALCÂNTARA PIMENTA

Nº USP: 11820812

DAVI GONÇALVES SELLIN

Nº USP: 11810522

SÃO CARLOS, 2020

1. RESUMO

Nesta prática foram estudados conceitos vinculados ao tópico de calorimetria, tanto fundamentos termodinâmicos quanto suas implicações. A capacidade térmica de um calorímetro foi determinada, assumindo esta uma magnitude de $76,365 \pm 0,007 \frac{J}{K}$. Em sequência, o calor latente de uma peça de latão foi contabilizado, assumindo esse $0,089 \pm 0,002 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$. Finalmente, o calor latente de condensação da água foi calculado, assumindo representação algébrica de $531 \pm 5 \text{ cal/g}$.

2. INTRODUÇÃO TEÓRICA

2.1. CALORIMETRIA

Inicialmente, deve-se ter em mente alguns conceitos ao tratarmos de calorimetria.

O primeiro deles faz menção à Lei Zero da Termodinâmica, cujo enunciado é abordado:

“Consideremos dois objetos A e B. Se um terceiro objeto T está em equilíbrio térmico com A e também em equilíbrio térmico com B, então A e B estão em equilíbrio entre si.”

Através desse conceito, introduz-se outro de suma importância:

$$Q_i + Q_e = 0 \quad (I)$$

Tal relação expressa a relação existente entre a quantidade de calor que incide e a que deixa um sistema qualquer, afirmando que a soma destas sempre será nula, auxiliando-nos na realização das experimentações subsequentes.

2.2. CALOR ESPECÍFICO

O calor específico de uma substância representa a quantidade de calor necessária para elevar sua temperatura em um intervalo de 1°C de 1g e é definido como:

$$c = \frac{Q}{m \times \Delta T} \quad (\text{II})$$

A unidade de medida do calor específico, no sistema internacional de unidades, é $[\frac{J}{Kg \times K}]$. Contudo, historicamente, também é comum seu registro por meio de $[\frac{cal}{g \times ^\circ C}]$. A *caloria*, utilizada nesta convenção histórica, é comumente empregada por indústrias alimentícias e profissionais de saúde no trato da nutrição humana.

Para alguns materiais, o calor específico não se altera expressivamente com a variação de temperatura, logo, a relação I é assumida como o calor específico médio (\bar{c}), podendo ser aplicado para quaisquer situações que não envolvam transição de fase.

Contudo, para outros materiais, a variação do calor específico em função da temperatura deve ser considerada; com isso, a energia que incide ou deixa o mesmo deve levar tal fato em consideração. A relação II ilustra perfeitamente o conteúdo abordado:

$$Q = m \times \int_{T_i}^{T_f} c(T) \times dT \quad (\text{III})$$

2.3. CAPACIDADE TÉRMICA

Recorrentemente, o corpo analisado é uma liga metálica ou um aglomerado de diversos materiais com diversas propriedades físicas. Nesses casos, seria necessário aplicar a relação II tomando o calor específico de cada componente estrutural:

$$Q = \sum_{i=1}^N (m_i c_i) \Delta T \quad (\text{IV})$$

Tal análise se prova inviável ao passo que se estuda materiais cada vez mais complexos. Logo, para facilitar nosso entendimento com relação a estes materiais, define-se capacidade térmica:

$$C = \sum_{i=1}^N (m_i c_i) \quad (\text{V})$$

2.4. CALOR LATENTE

Durante transformações envolvendo transição de fase (reorganização da disposição espacial-molecular do material estudado), a quantificação da quantidade energia incidente ou liberada pelo mesmo possui natureza distinta da previamente apresentada:

$$Q = mL \quad (\text{VI})$$

O seguinte gráfico de Temperatura (T) por Energia interna (J) ilustra o comportamento da água conforme a energia incidente sobre ela aumenta gradualmente:

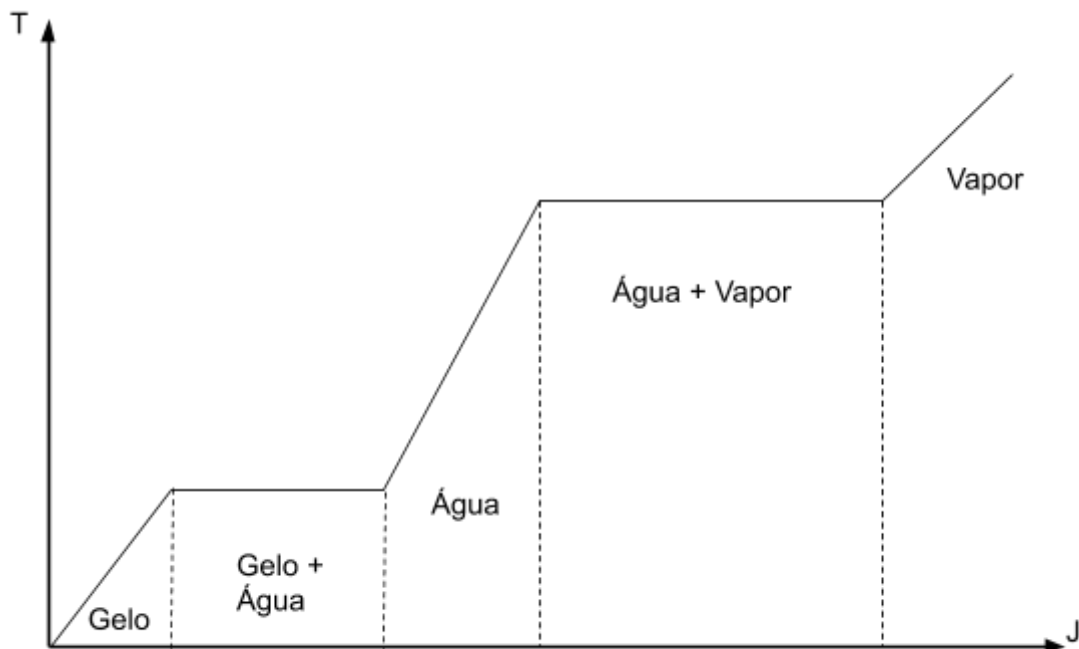


Imagem I: Gráfico TxJ da Água
Fonte: Elaborado pelos Compiladores

2.5. CALORÍMETROS

Um Calorímetro é composto de três partes básicas: Uma fronteira (Recipiente), um líquido (normalmente água) e o objeto que se deseja saber o calor específico.

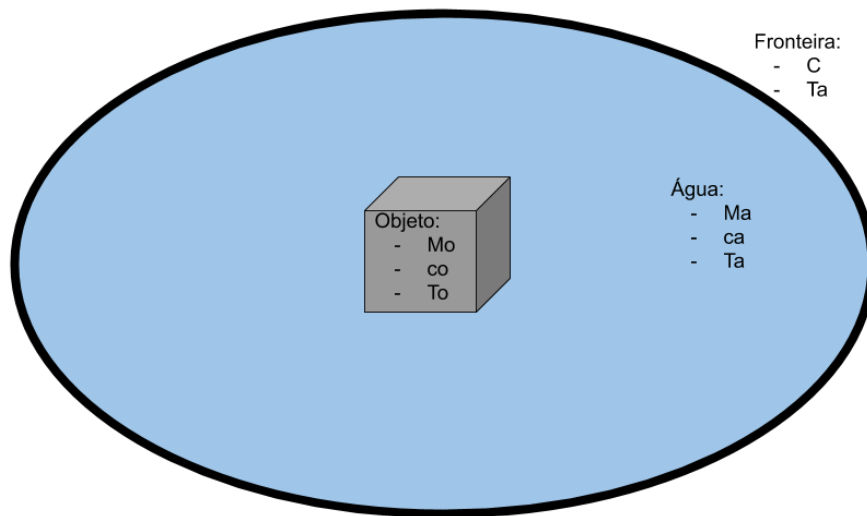


Imagem II: Calorímetro

Fonte: Elaborado pelos Compiladores

Algumas informações são necessárias para a determinação da grandeza desejada: a capacidade térmica respectiva, temperatura antes e depois de acrescentar o objeto de estudo e a massa deste.

Uma vez definidas todas estas, considera-se o sistema hermeticamente isolado e, para determinar a temperatura final atingida pelo sistema, emprega-se:

$$m_a \times c_a \times (T_f - T_a) + m_o \times c_o \times (T_f - T_o) + C_a \times (T_f - T_a) = 0 \quad (\text{VII})$$

3. MÉTODOS EXPERIMENTAIS

3.1. DETERMINAÇÃO CAPACIDADE TÉRMICA DO CALORÍMETRO

A parametrização desse experimento utiliza um calorímetro e dois corpos de água devidamente quantificados.

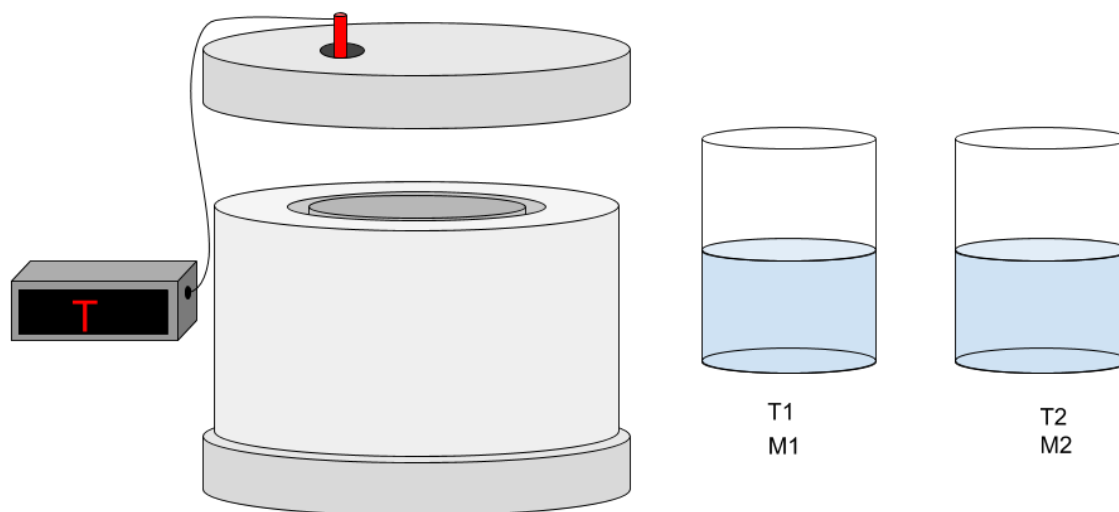


Imagem II: Capacidade Térmica Calorímetro
Fonte: Elaborado pelos Compiladores

O primeiro corpo (com massa m_1 bem definida) é então adicionado ao interior do calorímetro. Quando em equilíbrio, sua temperatura é medida (T_i). Em seguida, o segundo corpo de água também é adicionado, tendo sua temperatura (T_2) previamente registrada, bem como sua massa (m_2). Finalmente, a temperatura final do sistema, com este em equilíbrio térmico, é tomada, e tratando a relação I contendo as devidas variáveis energéticas (tanto envolvendo transição de estado quanto somente variação na temperatura do mesmo), determina-se a capacidade térmica do calorímetro da seguinte maneira:

$$C_a = \frac{m_2 \times c_a \times (T_2 - T_f)}{(T_f - T_i)} - m_1 c_a \quad (\text{VIII})$$

Onde c_a representa o calor específico da água .

3.2. DETERMINAÇÃO CALOR ESPECÍFICO CORPO METÁLICO

Para a determinação do calor específico do metal em questão, dispõe-se da seguinte montagem experimental:

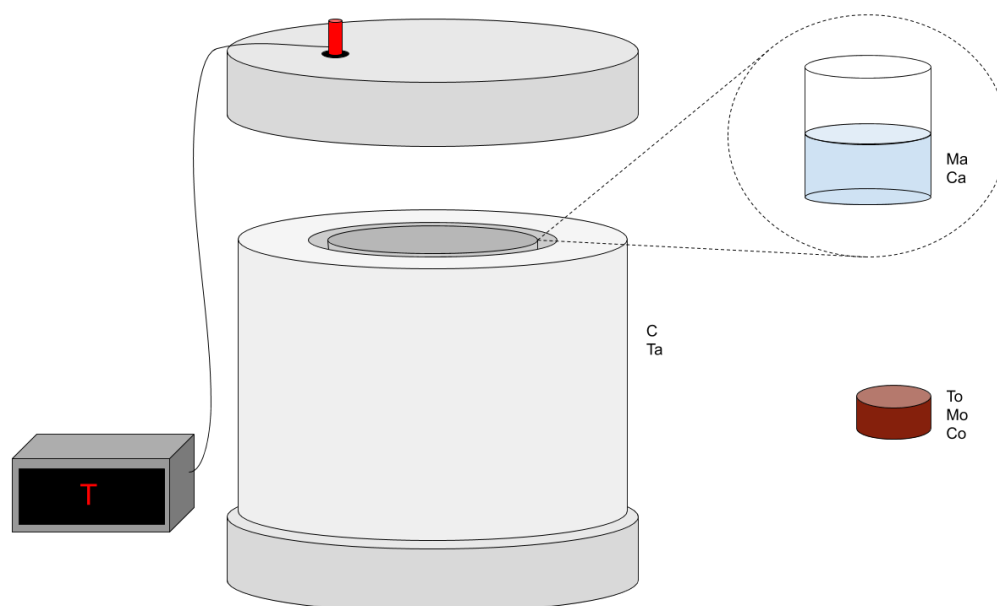


Imagem III: calor específico metal
Fonte: Elaborado pelos Compiladores

O processo começa ao adicionar um corpo de água com massa bem definida (m_a) no calorímetro, aguardar o sistema atingir o equilíbrio térmico e medir sua temperatura (T_i). Antes de adicionar o metal de massa conhecida (m_o) ao calorímetro, é necessário aquecer o mesmo a uma temperatura conhecida, logo utiliza-se a seguinte montagem:

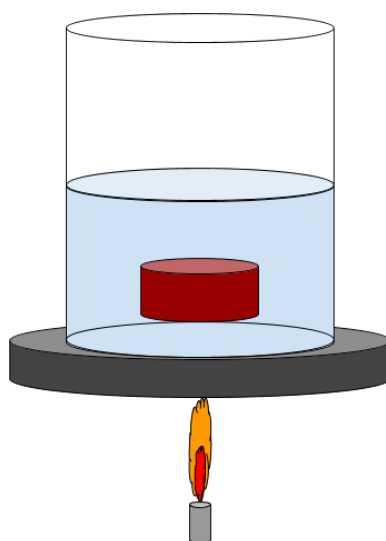


Imagem IV: aquecimento metal
Fonte: Elaborado pelos Compiladores

Com a água em situação de ebulição, o metal se encontrará a uma temperatura estável, uma vez que a água mantém sua temperatura constante e, conseqüentemente, a temperatura do metal (T_o).

Por fim, adicionado este metal ao calorímetro, o sistema entrará em equilíbrio. Quando este for atingido, mede-se a temperatura final (T_f) e, tratando a relação I contendo as devidas variáveis energéticas (tanto envolvendo transição de estado quanto somente variação na temperatura do mesmo):

$$m_a \times c_a \times (T_f - T_i) + m_o \times c_o \times (T_f - T_o) + C_a \times (T_f - T_i) = 0 \quad (\text{IX})$$

Determinando o calor específico c_o .

3.3. DETERMINAÇÃO CALOR LATENTE ÁGUA

Para a determinação do calor latente da água, é necessária a seguinte parametragem:

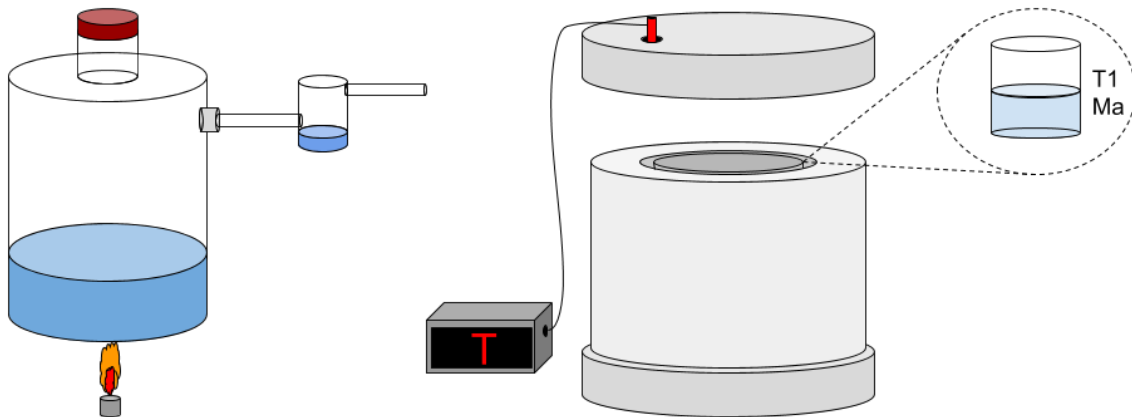


Imagem V: Calor Latente
Fonte: Elaborado pelos Compiladores

Novamente, inicia-se adicionando um corpo de água com massa definida (m_a). Assim que o sistema entra em equilíbrio, é feita a aferição da temperatura (T_i).

Posteriormente, com o auxílio do equipamento à esquerda na imagem V, é feito o acréscimo de água em forma de vapor, condensando dentro do calorímetro e consequentemente, aumentando sua temperatura. Atingido o equilíbrio térmico, é medida a temperatura final do sistema (T_f). Tendo conhecimento da massa de água condensada, o calor latente de condensação da água também pode ser determinado tratando a relação I:

$$L_c = \frac{(m_a \times c_a + C_a) \times (T_i - T_f)}{m_v} + c_a \times (T_v - T_f) \quad (X)$$

Onde T_v é a temperatura de ebulição da água à condições locais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. DETERMINAÇÃO CAPACIDADE TÉRMICA DO CALORÍMETRO

A magnitude das grandezas necessárias para esta experimentação são registradas:

Grandeza	Medida
m_1	$(0,12502 \pm 0,00001) \text{ Kg}$
m_2	$(0,12207 \pm 0,00001) \text{ Kg}$
T_2	$(53,7 \pm 0,1) ^\circ\text{C}$
T_i	$(12,4 \pm 0,1) ^\circ\text{C}$
T_f	$(31,4 \pm 0,1) ^\circ\text{C}$

Tabela I: Grandezas capacidade térmica

Fonte: Elaborado Pelos Compiladores

Adotando o calor específico da água como $4180 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \times \text{K}}$ e aplicando a relação VIII, tem-se que a capacidade térmica do calorímetro empregado assume a seguinte representação algébrica:

$$C_a = 76,365 \pm 0,007 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

Em adição, considerando somente o copo de alumínio no qual a massa de água é depositada, calcula-se sua respectiva capacidade térmica através da seguinte relação:

$$m_{al} \times c_{al} = 47,73 \pm 0,01 \frac{j}{K}$$

Finalmente, observa-se que a capacidade térmica do calorímetro como um todo é maior do que a capacidade térmica do copo de alumínio apenas, atendendo às expectativas iniciais. O fato da capacidade térmica do alumínio corresponder a aproximadamente 62,5% da capacidade térmica do calorímetro atendendo novamente às expectativas iniciais uma vez que o copo de alumínio é parte do sistema constituinte do mesmo.

4.2. DETERMINAÇÃO CALOR ESPECÍFICO CORPO METÁLICO

Novamente, a magnitude das grandezas necessárias para esta experimentação são registradas:

Grandeza	Medida
m_o	$(0,20575 \pm 0,00001) \text{ Kg}$
m_a	$(0,21607 \pm 0,00001) \text{ Kg}$
T_i	$(13,1 \pm 0,1) ^\circ\text{C}$
T_o	$(97,1 \pm 0,1) ^\circ\text{C}$
T_f	$(19,2 \pm 0,1) ^\circ\text{C}$

Tabela II: Grandezas calor específico metal

Fonte: Elaborado Pelos Compiladores

A temperatura a qual o metal se encontrava foi aferida através da temperatura no recipiente contendo água em estado de ebulição. Novamente, o calor específico da água foi adotado como $4180 \frac{j}{Kg \times K}$ e a capacidade térmica do calorímetro, determinada previamente, $C_a = 76,365 \pm 7 \frac{j}{K}$. Através do estudo da relação IX, constata-se que o calor específico do metal em questão assume a seguinte representação:

$$c_o = (373,13 \pm 9) \frac{J}{Kg \times K}$$

O calor específico do metal desconhecido também pode ser reescrito empregando outras unidades de medida:

$$0,089 \pm 0,002 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$$

A determinação do calor específico do metal em si foi afetada por adversidades do meio externo, dentre elas o tempo de transição entre os recipientes usados durante o experimento, o isolamento do calorímetro empregado (o qual não foi totalmente hermético) e as propriedades térmicas e mecânicas dos outros equipamentos empregados; logo, considerando os calores específicos de variados materiais tabelados, o metal desconhecido poderia ser classificado como latão. Por mais que o calor específico do latão e do cobre sejam expressivamente próximos (uma vez que latão é uma liga metálica composta também por cobre), o latão é uma boa opção visto que sua aquisição é mais facilitada e seu uso em diversas aplicações é mais recorrente.

4.3. DETERMINAÇÃO CALOR LATENTE ÁGUA

Por fim, a magnitude das grandezas necessárias para esta experimentação são registradas:

Grandeza	Medida
m_a	$(0,16748 \pm 0,00001) \text{ Kg}$
m_v	$(0,01954 \pm 0,00001) \text{ Kg}$
T_i	$(13,1 \pm 0,1)^\circ\text{C}$
T_f	$(71,7 \pm 0,1)^\circ\text{C}$
T_v	$(98,1 \pm 0,1)^\circ\text{C}$

Tabela III: Grandezas calor latente
Fonte: Elaborado Pelos Compiladores

O calor específico da água adotado foi de $4180 \frac{J}{Kg \times K}$ e a capacidade térmica do calorímetro $C_a = 76,365 \pm 7 \frac{J}{K}$. Logo, tratando a relação X, conclui-se que o calor latente de condensação da água assume a seguinte natureza:

$$L_c = - (2220 \pm 20) \frac{Kj}{Kg}$$

O valor obtido condiz com a expectativa inicial em dois aspectos. Em primeiro lugar, considerando a natureza da reação, o sinal negativo associado nos informa que é necessário que 2220 quilo joules de energia por quilograma sejam liberados pela água a fim de que a mesma passe do estado gasoso para o estado líquido (processo de condensação), correspondendo às expectativas iniciais. Em segundo lugar, caso dividirmos a grandeza absoluta pelo fator 4,184 e adequarmos a grandeza da unidade de medida mássica de quilogramas para gramas, obtém-se, associada a sua respectiva incerteza:

$$531 \pm 5 \text{ cal/g}$$

Considerando que o experimento foi realizado em um recipiente o qual não era perfeitamente isolado do meio externo, o tempo de transição das substâncias entre diferentes suportes e as próprias propriedades mecânicas e térmicas dos diferentes equipamentos empregados (não considerados nesta prática), pode-se afirmar que a magnitude do calor latente obtido é válida. Por fim, a incerteza relativa de 0,91% autentica tanto a veracidade quanto a confiabilidade do mesmo.

5. CONCLUSÃO

Em suma, a prática nos permitiu estudar a natureza de fenômenos térmicos e suas implicações, dentre estes como a transferência de energia entre os corpos se consolida, atendendo às leis da termodinâmica (neste caso à Lei Zero da Termodinâmica), bem como se comportam as propriedades térmicas e mecânicas de diversos materiais, tendo inclusas representações gráficas dos mesmos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Paul A. Tipler e Gene Mosca. Física para cientistas e Engenheiros, Vol. 2, 6ªEdição, LTC, 2008.

Raymond, John Serway and W. Jewett. Princípios de Física, Vol. 2, Cenage Learning, 5ªEdição, 2014.

Sears, Zemansky, Young and Freedman, Física Universitária, Vol. 2, 14ªEdição, 2014.

Moysés Nussenzveig, Curso de Física Básica, Vol. 2, Edgar Blucher, Edição de 2008, 2008.

TIMONER, A.; MAJORANA, F. S.; E HAZOFF, W. Manual de laboratório de Física: mecânica, calor e acústica. São Paulo: Edgard Blücher, 1973.

RUMBLE, J. Handbook of Chemistry and Physics. Edição 98. Estados Unidos: CRC Press, 13 de junho de 2017