

# Experimento 06b - Calorimetria

Giovani Garuffi	<i>RA: 155559</i>
João Baraldi	<i>RA: 158044</i>
Lauro Cruz	<i>RA: 156175</i>
Lucas Schanner	<i>RA: 156412</i>
Pedro Stringhini	<i>RA: 156983</i>

November 26, 2014

# 1 Resumo

## 2 Objetivos

Este experimento pode ser dividido em duas partes, cada uma com seus objetivos, que são: a determinação do calor específico de três metais diferentes (acreditados de serem chumbo, alumínio e cobre), e a determinação do calor latente de fusão do gelo.

## 3 Procedimento Experimental e Coleta de Dados

### 3.1 Procedimento

#### 3.1.1 Determinação do Calor Específico de Metais

Esta parte do experimento foi feita da seguinte maneira: com um ebulidor, aquece-se uma amostra de água, numa garrafa térmica, e imerge-se a amostra do metal, de massa obtida com uma balança ( $m_{metal}$ ), nessa água, mantendo-se o controle de sua temperatura com um termômetro de mercúrio ( $\theta_{quente}$ ). Então, insere-se o metal aquecido no calorímetro com água fria (vide figura 1), de temperatura ( $\theta_{frio}$ ) e massa ( $m_{agua}$ ) também conhecidos, e espera-se pelo equilíbrio térmico ( $\theta_{final}$ ), para anotar seu valor.

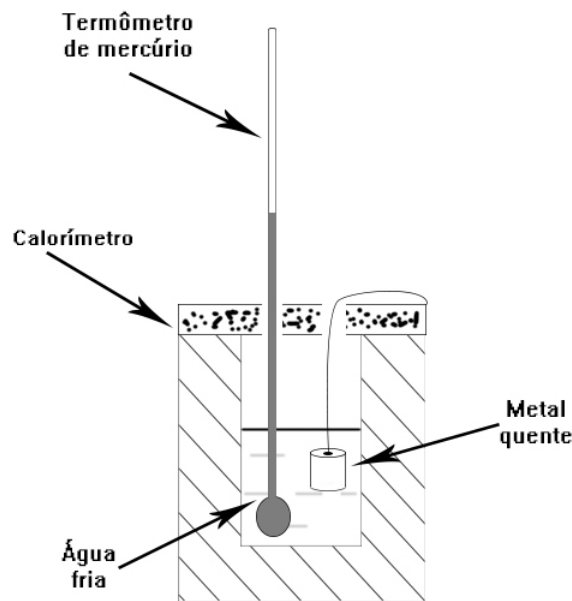


Figure 1: Exemplo da montagem experimental da primeira parte do experimento.

Assim, calcula-se o calor específico do metal através da seguinte forma:

$$\Sigma Q = 0$$

$$Q_{cedido\ pelo\ metal} + Q_{recebido\ pela\ agua} + Q_{recebido\ pelo\ calorimetro} = 0$$

$$m_{metal} \cdot c_{metal} \cdot (\theta_{equilibrio} - \theta_{quente}) + m_{agua} \cdot c_{agua} \cdot (\theta_{equilibrio} - \theta_{frio}) + C_{calorimetro} \cdot (\theta_{equilibrio} - \theta_{frio}) = 0$$

$$C_{\text{metal}} = \frac{(m_{\text{agua}} c_{\text{agua}} + C_{\text{calorimetro}}) (\theta_{\text{equilíbrio}} - \theta_{\text{frio}})}{m_{\text{metal}} (\theta_{\text{quente}} - \theta_{\text{equilíbrio}})}$$

Então, repete-se o procedimento para as demais amostras.

### 3.1.2 Determinação do Calor Latente de Fusão do Gelo

Esta outra parte é feita de forma análoga. Insere-se uma massa  $m_{\text{gelo}}$  (encontrado com a balança) de gelo, de temperatura conhecida ( $\theta_{\text{fusao}}$ ), no calorímetro preenchido até a metade com água fria, de massa ( $m_{\text{agua}}$ ) e temperatura ( $\theta_{\text{agua}}$ ) conhecidos, até atingir-se o equilíbrio térmico ( $\theta_{\text{equilíbrio}}$ ), medindo-se seu valor com o termômetro, como mostrado na figura 2.

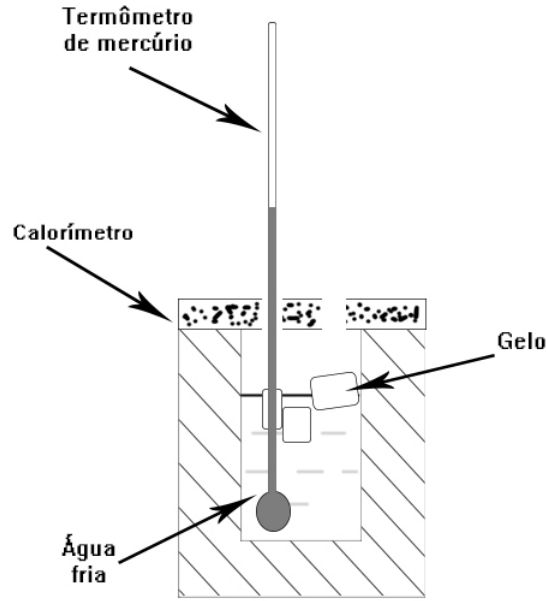


Figure 2: Exemplo de montagem experimental da segunda parte do experimento.

Então, pelo mesmo princípio do item anterior, considerando o aquecimento da massa de gelo, após seu derretimento, e assumindo que o gelo estava em fusão desde o início, temos:

$$Q_{\text{recebido pelo gelo}} + Q_{\text{cedido pela água}} + Q_{\text{cedido pelo calorímetro}} = 0$$

$$m_{\text{gelo}} L_{\text{fusao do gelo}} + m_{\text{gelo}} c_{\text{agua}} (\theta_{\text{equilíbrio}} - \theta_{\text{fusao}}) + m_{\text{agua}} c_{\text{agua}} (\theta_{\text{equilíbrio}} - \theta_{\text{agua}}) + C_{\text{calorimetro}} (\theta_{\text{equilíbrio}} - \theta_{\text{agua}}) = 0$$

$$L_{\text{fusao do gelo}} = \frac{1}{m_{\text{gelo}}} \cdot [m_{\text{gelo}} c_{\text{agua}} (\theta_{\text{fusao}} - \theta_{\text{equilíbrio}}) + m_{\text{agua}} c_{\text{agua}} (\theta_{\text{agua}} - \theta_{\text{equilíbrio}}) + C_{\text{calorimetro}} (\theta_{\text{agua}} - \theta_{\text{equilíbrio}})]$$

## 3.2 Dados Obtidos

A capacidade térmica do calorímetro foi medida no experimento anterior como

$$C_{\text{cal}} = 40 \pm 32$$

### 3.2.1 Calor específico de Metais

Para o chumbo, obtivemos os seguintes valores:

$$\begin{aligned}\theta_{quente} &= (75,0 \pm 0,5)^\circ\text{C}, & \theta_{frio} &= (22,0 \pm 0,5)^\circ\text{C}, \\ m_{metal} &= (102,0 \pm 0,1)g, & \theta_{equilibrio} &= (23,0 \pm 0,5)^\circ\text{C}.\end{aligned}$$

Para o alumínio, obtivemos os seguintes valores:

$$\begin{aligned}\theta_{quente} &= (72,5 \pm 0,5)^\circ\text{C}, & \theta_{frio} &= (24,0 \pm 0,5)^\circ\text{C}, \\ m_{metal} &= (42,3 \pm 0,1)g, & \theta_{equilibrio} &= (26,0 \pm 0,5)^\circ\text{C}.\end{aligned}$$

E finalmente, para o cobre, temos:

$$\begin{aligned}\theta_{quente} &= (67,0 \pm 0,5)^\circ\text{C}, & \theta_{frio} &= (26,5 \pm 0,5)^\circ\text{C}, \\ m_{metal} &= (91,6 \pm 0,1)g, & \theta_{equilibrio} &= (27,5 \pm 0,5)^\circ\text{C}.\end{aligned}$$

A Massa de água à temperatura ambiente utilizada em cada um dos experimentos é  $185.7 \pm 0.1$  g.

### 3.2.2 Calor latente de fusão gelo

As massas medidas são:

$$\begin{aligned}m_{gelo} &= (29,8 \pm 0,1)g \\ m_{agua} &= (112,9 \pm 0,1)g\end{aligned}$$

E as temperaturas:

$$\begin{aligned}\theta_{fusao} &= (3,0 \pm 0,5)^\circ\text{C} \\ \theta_{agua} &= (31,0 \pm 0,5)^\circ\text{C} \\ \theta_{equilibrio} &= (16,5 \pm 0,5)^\circ\text{C}\end{aligned}$$

## 4 Análise dos Resultados e Discussões

### 4.1 Determinação do Calor Específico de Metais

Da formula

$$c_{metal} = \frac{m_{H_2O} c_{H_2O} (\theta_{final} - \theta_{frio}) + C_{calorimetro} (\theta_{final} - \theta_{frio})}{m_{metal} (\theta_{quente} - \theta_{final})}$$

Utilizando  $c_{agua} = 1 \frac{cal}{g^\circ\text{C}}$  e substituindo os dados, obtemos:

$$c_{chumbo} = 0.042552 \frac{cal}{g^\circ\text{C}}$$

$$c_{aluminio} = 0.22949 \frac{cal}{g^\circ\text{C}}$$

$$c_{cobre} = 0.062379 \frac{cal}{g^\circ\text{C}}$$

Propagando o erro, obtemos a formula

$$\sqrt{\frac{1}{M_{metal}^4 (\Theta_{final} - \Theta_{quente})^4} \left( M_{metal}^2 \Delta \Theta_{final}^2 (C_{cal} + M_{H20})^2 (-\Theta_{quente} + \Theta_{frio})^2 + M_{metal}^2 \Delta \Theta_{quente}^2 (C_{cal} + M_{H20})^2 (\Theta_{final} - \Theta_{frio})^2 \right. \\ \left. + M_{metal}^2 (\Theta_{final} - \Theta_{quente})^2 (\Delta C_{cal}^2 (\Theta_{final} - \Theta_{frio})^2 + \Delta M_{H20}^2 (\Theta_{final} - \Theta_{frio})^2 + \Delta \Theta_{frio}^2 (C_{cal} + M_{H20})^2) \right. \\ \left. + \Delta M_{metal}^2 (C_{cal} + M_{H20})^2 (\Theta_{final} - \Theta_{quente})^2 (\Theta_{final} - \Theta_{frio})^2 \right)}$$

Substituindo os valores, obtemos:

$$\Delta c_{chumbo} = 0.03 \frac{cal}{g^{\circ}C}$$

$$\Delta c_{aluminio} = 0.09 \frac{cal}{g^{\circ}C}$$

$$\Delta c_{cobre} = 0.05 \frac{cal}{g^{\circ}C}$$

Então os valores finais podem ser escritos como:

$$c_{chumbo} = 0.04 \pm 0.03 \frac{cal}{g^{\circ}C}$$

$$c_{aluminio} = 0.23 \pm 0.09 \frac{cal}{g^{\circ}C}$$

$$c_{cobre} = 0.06 \pm 0.05 \frac{cal}{g^{\circ}C}$$

## 4.2 Determinação do Calor Latente de Fusão do Gelo

Substituindo os valores na equação

$$L_{fusao\ do\ gelo} = \frac{1}{m_{gelo}} \cdot (m_{gelo} c_{agua} (\theta_{fusao} - \theta_{equilibrio}) + m_{agua} c_{agua} (\theta_{agua} - \theta_{equilibrio}) \\ + C_{calorimetro} (\theta_{agua} - \theta_{equilibrio}))$$

Podemos obter o valor o calor latente de fusão do gelo:

$$L_{fusao\ do\ gelo} = 60.897 \frac{cal}{g}$$

O erro é propagado e obtido pela formula:

$$\sqrt{\frac{1}{M_{gelo}^4} \left( M_{gelo}^4 \Delta \Theta_{fusao}^2 \right. \\ \left. + M_{gelo}^2 (\Delta C_{cal}^2 (\Theta_{equilibrio} - \Theta_{agua})^2 + \Delta M_{agua}^2 (\Theta_{equilibrio} - \Theta_{agua})^2 + \Delta \Theta_{agua}^2 (C_{cal} + M_{agua})^2 + \Delta \Theta_{equilibrio}^2 (C_{cal} + M_{agua} + M_{gelo})^2) \right. \\ \left. + \Delta M_{gelo}^2 (C_{cal} + M_{agua})^2 (\Theta_{equilibrio} - \Theta_{agua})^2 \right)}$$

Substituindo os valores,obtemos:

$$\Delta L_{fusao\ do\ gelo} = 16.085 \frac{cal}{g}$$

Então o valor final pode ser escrito como

$$L_{fusao\ do\ gelo} = 60 \pm 16 \frac{cal}{g}$$

## 5 Conclusões

Os calores específicos encontrados dos metais, com suas respectivas margens de erro, encontram-se dentro das medidas esperadas de  $c_{chumbo} = 0.031 \frac{cal}{g^{\circ}C}$ ,  $c_{aluminio} = 0.22 \frac{cal}{g^{\circ}C}$  e  $c_{cobre} = 0.094 \frac{cal}{g^{\circ}C}$ . As margens de erro podem ser explicadas pelas imprecisões nos equipamentos e erros como a dissipação de calor entre o aquecimento do metal e sua imersão no calorímetro. Por outro lado, o calor latente de fusão do gelo encontrou-se bem fora do esperado de  $L_{fusao\ do\ gelo} \approx 80 \frac{cal}{g}$ . Tal discrepância pode ser explicada principalmente pelo fato de que, ao inserir o gelo no calorímetro, parte dele estava possivelmente derretida, resultando em uma diminuição considerável do calor latente.