

## DETERMINAÇÃO DO CALOR ESPECÍFICO DO ALUMÍNIO

### INTRODUÇÃO

#### Equação de resfriamento de Newton

Quando dois objetos, com temperaturas diferentes, são colocados em contato térmico, há transferência de calor do objeto mais quente para o mais frio, até ambos atingirem a mesma temperatura – diz-se então que ambos estão em equilíbrio térmico.

Se um sólido é colocado em contato térmico com um fluido a uma temperatura constante maior, ele terá uma taxa de resfriamento dada pela equação:

$$\frac{d \Delta T}{dt} = -k \Delta T ,$$

em que  $\Delta T$  é a diferença entre a temperatura da superfície do sólido e a do fluido. A constante  $k$  depende de vários fatores como: geometria do sólido e sua orientação; se o fluido é um gás ou um líquido; da densidade, da viscosidade, do calor específico, da condutividade térmica do fluido, entre outros. Essa relação é conhecida como “Equação de Newton para o Resfriamento”.

---

✓ Sendo  $\Delta T_0$  a diferença de temperatura entre o objeto e a vizinhança no instante inicial  $t = 0$ , mostre que, após um tempo  $t$ , a diferença de temperatura  $\Delta T$  entre eles é

$$\Delta T = \Delta T_0 e^{-kt} \quad \text{ou} \quad T = T_a + \Delta T_0 e^{-kt} , \quad (1)$$

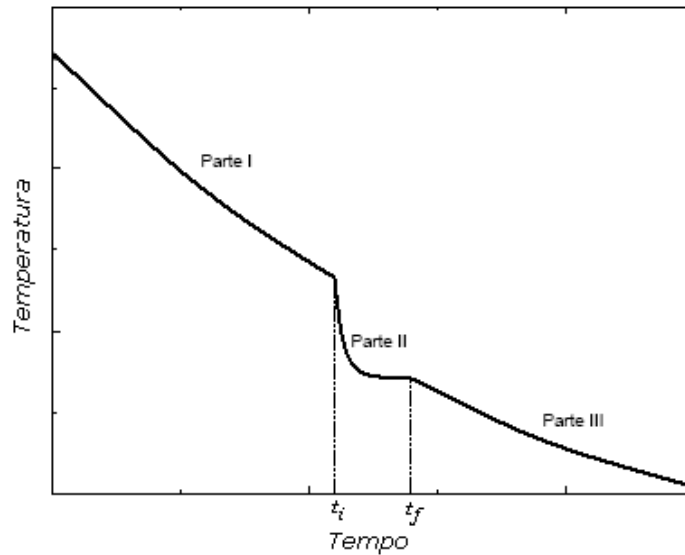
em que  $T$  é a temperatura do objeto e  $T_a$  é a temperatura do ambiente(fluido) em torno dele.

---

#### Um procedimento para determinação do calor específico de um sólido

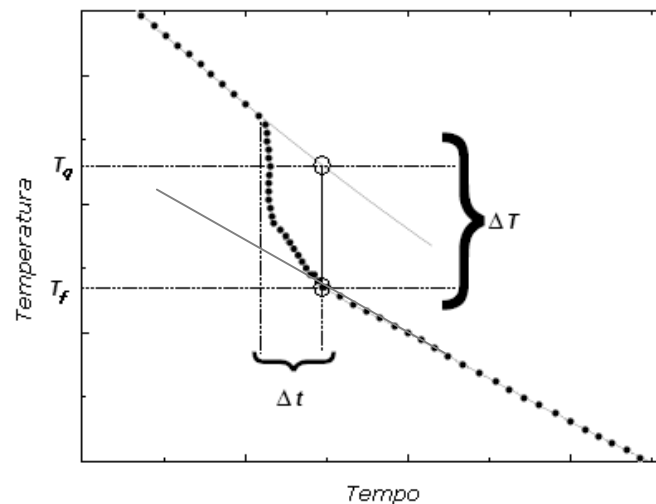
Considere uma vasilha de alumínio contendo água a uma temperatura acima da temperatura do ambiente em sua volta. Ao se medir a temperatura da água ao longo do tempo, será observado um decaimento exponencial conforme previsto pela equação 1 e ilustrado na PARTE I da Figura 1. Em um instante de tempo  $t = t_i$ , estando a água ainda acima da temperatura ambiente, joga-se um pedaço de alumínio à temperatura ambiente, dentro da vasilha. Como o alumínio absorve calor da água (mais quente) haverá um resfriamento brusco do conjunto como ilustra a PARTE II da Figura 1. A partir do tempo  $t = t_f$ , o pedaço de alumínio e a água, provavelmente à

mesma temperatura, irão resfriar conjuntamente, seguindo um decaimento exponencial de acordo com a equação 1, como ilustrado na PARTE III da Figura 1.



**Figura 1** - Curva típica de resfriamento em um procedimento para determinação do calor específico de um sólido. O intervalo de tempo  $t_f - t_i$  define o período em que houve troca de calor entre o líquido e o sólido até ambos atingirem a mesma temperatura.

Para uma análise do processo de troca de calor entre o sistema (água + recipiente) e o pedaço de alumínio, considere a Figura 2.



**Figura 2** - Caso o pedaço de alumínio não fosse colocado na água, ela estaria a uma temperatura  $T_q$  no instante  $t_f$ .. Entretanto, o calor absorvido pelo bloco de alumínio faz com que todo o conjunto fique na temperatura  $T_f$ .

Se o pedaço de alumínio não fosse colocado dentro da água, essa continuaria seu resfriamento exponencial, como ilustra o prolongamento da parte superior da curva, passando pelo

ponto de temperatura  $T_q$  no instante  $t_f$ . Entretanto, devido ao alumínio colocado, todo o conjunto (água + recipiente + alumínio) estará a uma temperatura  $T_f$ . Tomando a conservação de energia no intervalo de tempo  $t_f - t_i$ , pode-se afirmar que, excluindo o processo exponencial de resfriamento, a energia cedida pelo sistema (água + recipiente) será igual àquela absorvida pelo pedaço de alumínio, isto é

$$\Delta Q_{(\text{absorvido pelo alumínio})} = \Delta Q_{(\text{cedido pelo sistema})} \quad (2)$$

Sendo  $M_{al}$  a massa do pedaço de alumínio,  $M_{ag}$  a massa de água,  $M_R$  a massa do recipiente,  $c_{al}$  e  $c_{agua}$  os calores específicos do alumínio e da água respectivamente, e  $T_a$  a temperatura ambiente, então temos que:

$$\Delta Q_{(\text{alumínio})} = M_{al} \cdot c_{al} \cdot (T_f - T_a), \quad \Delta Q_{(\text{água})} = M_{ag} \cdot c_{água} \cdot (T_q - T_f) \quad \text{e} \quad \Delta Q_{(\text{recipiente})} = M_R \cdot c_{al} \cdot (T_q - T_f)$$

e pela conservação de energia, dada pela equação 2, tem-se:

$$M_{al} \cdot c_{al} \cdot (T_f - T_a) = M_{ag} \cdot c_{água} \cdot (T_q - T_f) + M_R \cdot c_{al} \cdot (T_q - T_f)$$

ou

$$c_{al} = \frac{M_{ag} (T_q - T_f)}{M_{al} (T_f - T_a) - M_R (T_q - T_f)} c_{água} \quad (3)$$

## PARTE EXPERIMENTAL

### Objetivo

- Determinar o calor específico do alumínio através da análise de uma curva de resfriamento.

### Material utilizado

- Termômetro digital conectado a um computador para aquisição automática de dados;
- Recipiente de alumínio com água; Objeto de alumínio; Aquecedor elétrico.

### Procedimentos

- Com uma balança meça as massas do recipiente e do pedaço de alumínio.
- Encha o recipiente com uma massa de água que seja suficiente para que o pedaço de alumínio fique completamente submerso - para uma boa observação do decaimento de temperatura do sistema devido à imersão do alumínio, a massa de água deve ser entre 3 e 4 vezes a massa do pedaço de alumínio. Ainda usando a balança, meça a massa de água utilizada.
- Faça a montagem como ilustrada na figura 3. Deixe o termômetro próximo à parede do recipiente (~1 cm) para evitar turbulências ao longo do experimento.

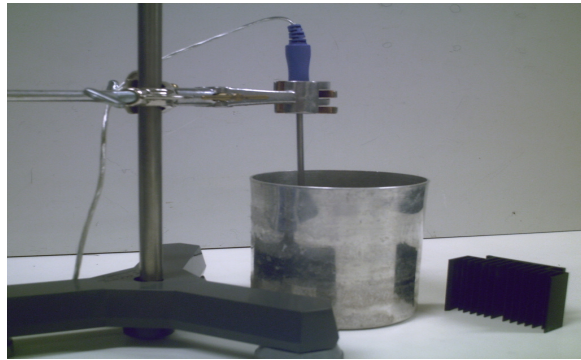


Figura 3 - Montagem.

- Utilizando o sensor de temperatura ligado ao computador registre a temperatura ambiente.
- Aqueça o sistema (água + recipiente) até uma temperatura de aproximadamente  $60^{\circ}\text{C}$ . Inicie a medição do resfriamento do sistema (curva *Temperatura x tempo*). Quando a temperatura estiver próxima a  $50^{\circ}\text{C}$ , mergulhe o pedaço de alumínio na água. Continue a registrar a curva de resfriamento de todo o conjunto até que a temperatura esteja próxima à  $35^{\circ}\text{C}$ .

Análise do gráfico obtido:

- Uma vez obtido o gráfico, selecione o trecho referente à parte I da Figura 1, conforme a Figura 4.

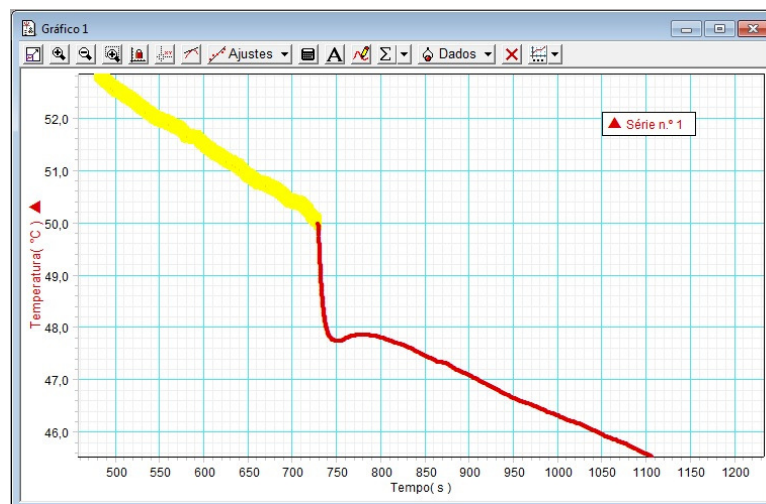


Figura 4 - Gráfico obtido com a parte I selecionada.

- Com o trecho selecionado, clique no menu **Ajustes** e escolha a opção **Ajuste ao expoente natural**, como mostrado na Figura 5. Uma curva exponencial será ajustada ao trecho de gráfico selecionado, como mostrado na Figura 6.

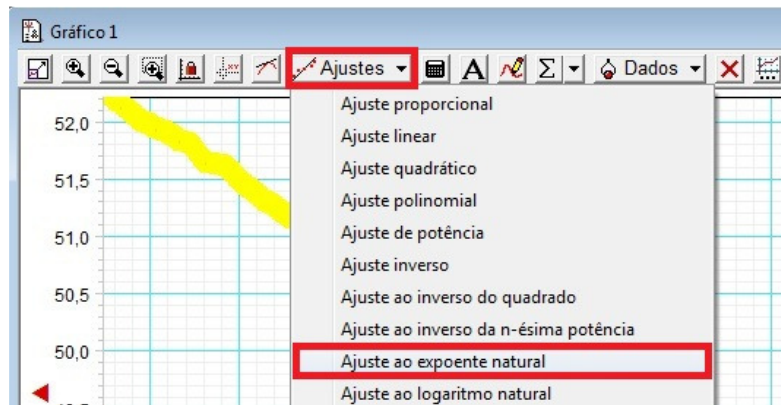



Figura 5 - Menu "Ajustes", com destaque para a opção "Ajuste ao expoente natural".

- Uma vez obtida a curva teórica mostrada em azul na Figura 6, deve-se compará-la à curva experimental, mostrada em vermelho. Clique na ferramenta **Zoom**  e aproxime a área desejada no gráfico. Para movê-lo, posicione o cursor sobre um dos eixos, até que ele se transforme em um ícone de "mão", e então arraste até a posição desejada. **Tome cuidado, pois ao clicar em qualquer área do gráfico, o seu ajuste será desfeito.**

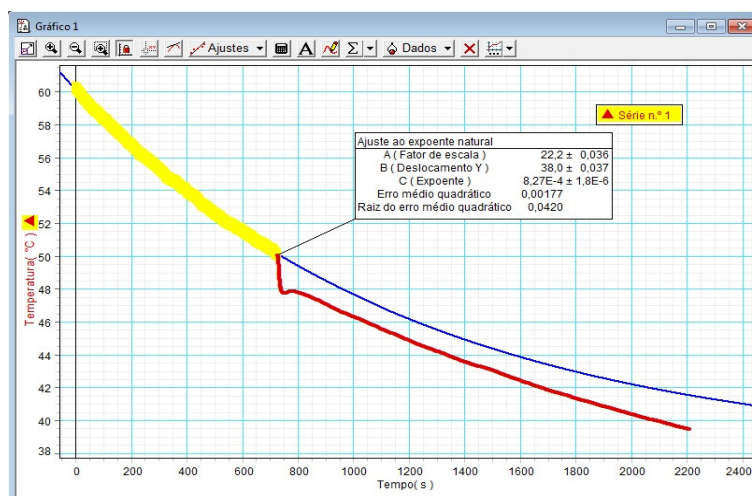


Figura 6 - Curva teórica (em vermelho) e ajuste ao expoente natural (em azul).

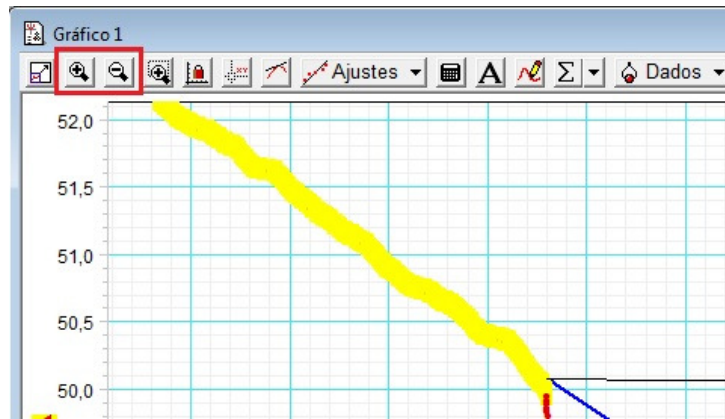


Figura 7 - Detalhe da Ferramenta Zoom.

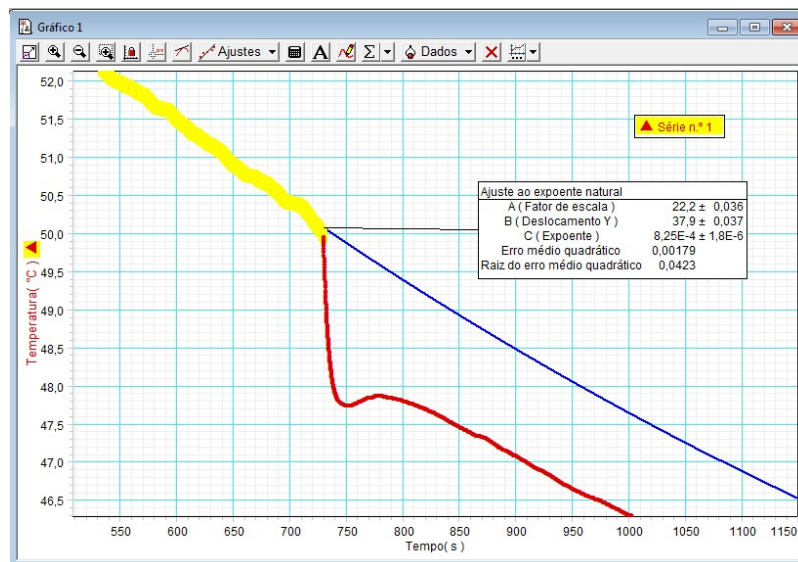



Figura 8 - Área desejada em destaque, após utilização da ferramenta Zoom.

- Clique na **Ferramenta Inteligente** , mostrada na Figura 9, e utilize-a para encontrar os pontos correspondentes a temperatura  $T_q$  na curva teórica (Figura 10), e a temperatura  $T_f$ , na curva experimental (Figura 11);

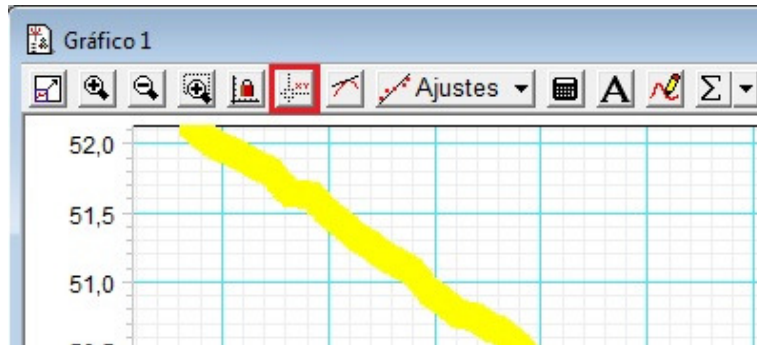


Figura 9 - Detalhe da Ferramenta Inteligente.

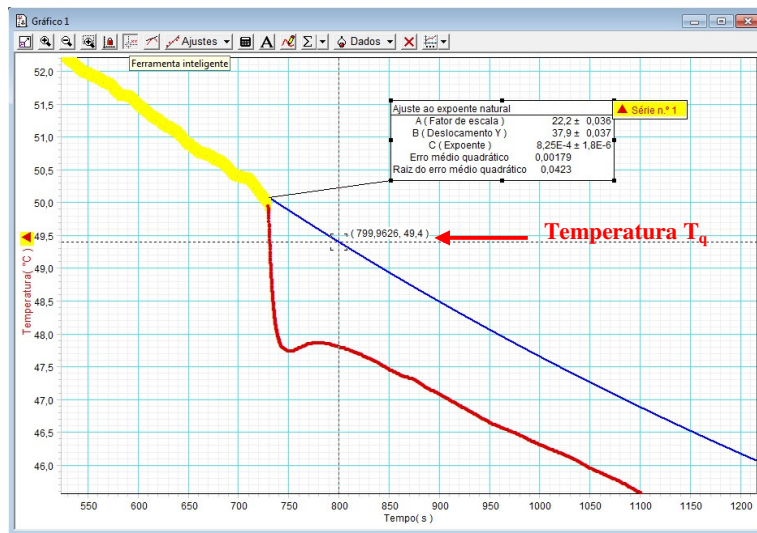


Figura 10 - Utilização da Ferramenta Inteligente para encontrar a temperatura  $T_q$ .

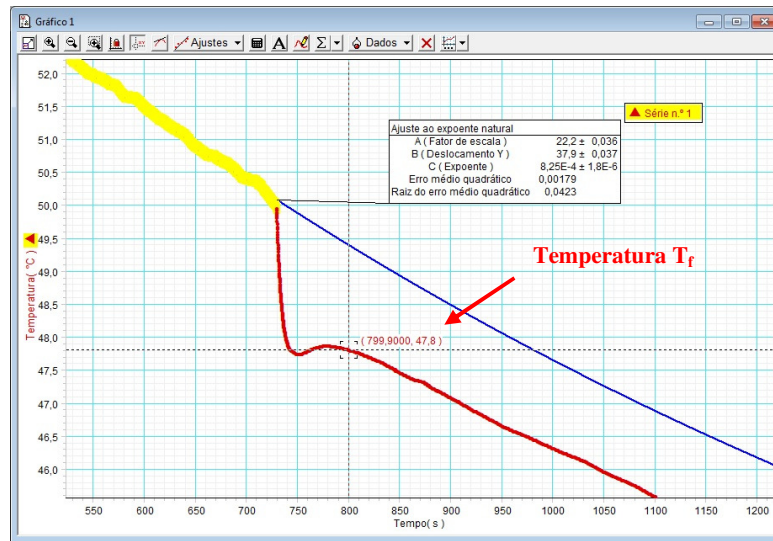


Figura 11 - Utilização da Ferramenta Inteligente para encontrar a temperatura  $T_f$ .

- Utilizando a equação 3 calcule o calor específico do alumínio. Apresente o resultado com o número de algarismos significativos que corresponda às medições envolvidas no procedimento;
- Calcule o erro percentual entre o valor encontrado e o valor tabelado para o calor específico do alumínio  $\text{cal} = 0,217\text{cal/g}^\circ$ .