

Estudando a perda de energia de uma garrafa térmica

Thaís Machado Scherrer¹ e Zwinglio O. Guimarães-Filho²

¹Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP; ²Instituto de Física da USP

E-mail: zwinglio@if.usp.br

Trabalho apresentado no Simpósio Nacional de Ensino de Física de 2001.

Este trabalho descreve um estudo sobre a perda de energia de uma garrafa térmica e discute o planejamento de uma atividade prática semelhante que pode ser realizada no ensino médio. A motivação inicial foi um experimento ^[1] da disciplina de Física Experimental II do IFUSP, em que o calor específico da água é determinado utilizando-se a aproximação de que não há perda de energia no calorímetro (uma garrafa térmica de aço com tampa de PVC ^[2]).

Para estudar a perda de energia das garrafas térmicas utilizadas como calorímetros, acompanhou-se por cerca de 3 dias a temperatura da água em três garrafas imersas em gelo numa caixa de isopor. Repetiram-se as medições para calorímetros contendo duas massas de água diferentes (~700g e ~350g), sendo a temperatura inicial do sistema ~65°C. Os resultados estão apresentados na figura 1.

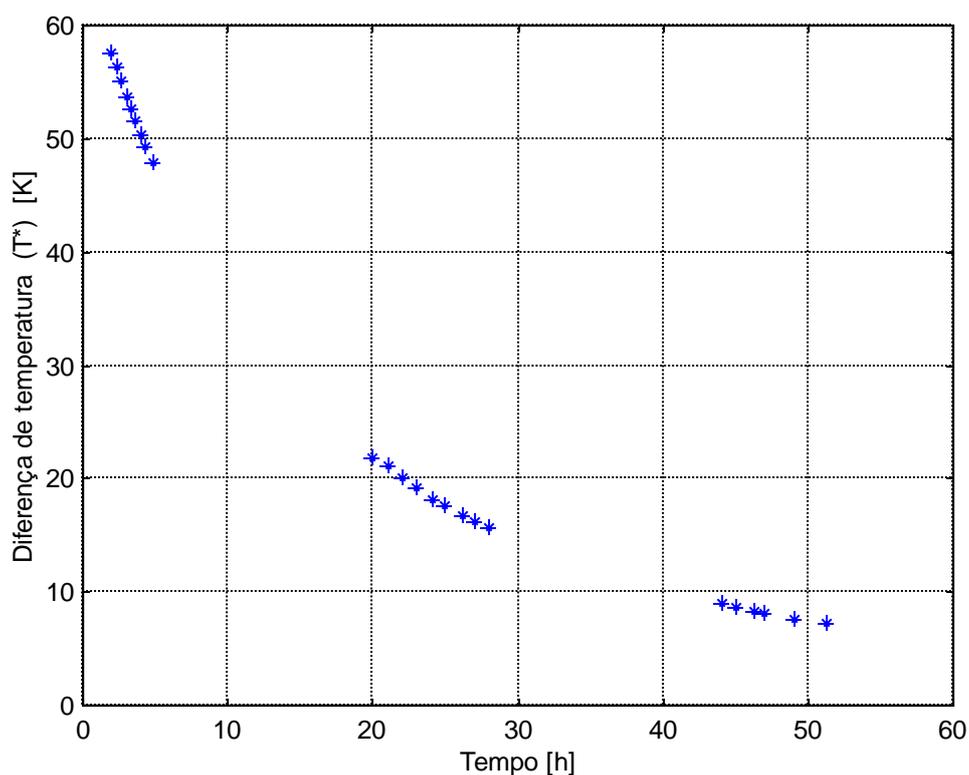


Figura 1 – Evolução temporal típica da diferença de temperatura entre o calorímetro e o meio.

Supondo que a taxa média de perda de energia das garrafas térmicas ($\dot{Q}_m = \Delta Q / \Delta t$) seja proporcional à diferença entre a temperatura no calorímetro e fora dele (T^*) obtém-se ^[2],

$$\dot{Q}_m = -H.T^*, \quad (\text{equação 1})$$

onde H é uma constante característica de cada garrafa e, portanto, a temperatura em função do tempo é dada por:

$$T^*(t) = T_0^* \cdot e^{-\frac{H}{C_{tot}} \cdot t}, \quad (\text{equação 2})$$

onde T_0^* é a diferença de temperatura no instante $t=0$ e C_{tot} é a capacidade térmica total do sistema água + calorímetro.

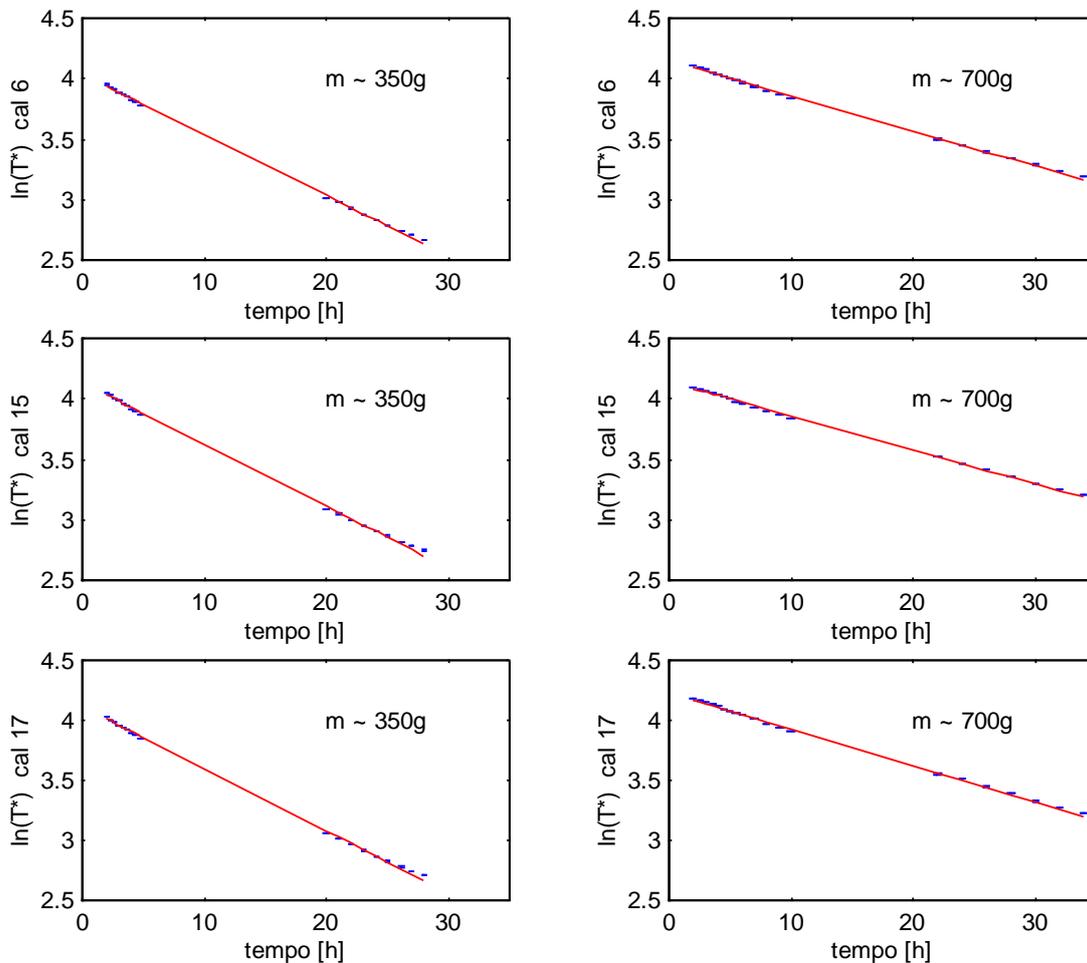


Figura 2 – Gráfico da temperatura (em escala logarítmica) em função do tempo para os 3 calorímetros nas duas séries, uma com massa de água de ~350g e outra com ~700g.

A hipótese é bem adequada nos casos em que a condução é o processo predominante mas, mesmo a irradiação, quando T^* é pequeno ^[2], é bem descrita pelas equações acima. Na figura 2 percebe-se que, embora o comportamento médio seja bem representado pela equação 2, há uma estrutura nas diferenças entre os dados experimentais e a reta ajustada, uma vez que os pontos iniciais e finais se encontram sistematicamente acima da reta, e os pontos centrais abaixo dessa. Esta sistemática fica mais evidenciada na figura 3, que apresenta, para os mesmos dados, a taxa de variação da temperatura em função de T^* .

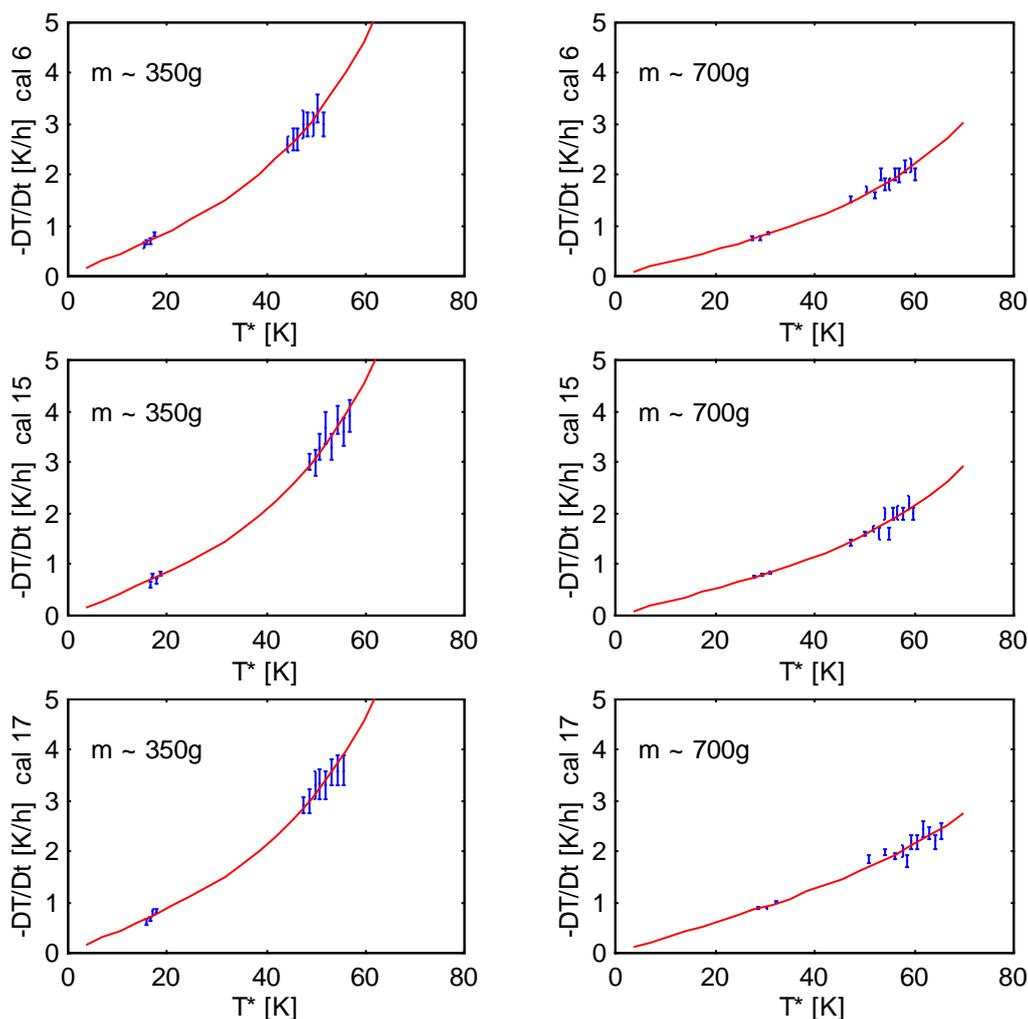


Figura 3 – Taxa de variação da temperatura em relação ao tempo em função da diferença de temperatura para os 3 calorímetros nas 2 séries.

Os valores das constantes H obtidas, na região em que a aproximação linear é válida ($T^* < 40^\circ\text{C}$), para os três calorímetros nas duas séries diferem menos de 15% entre si, possibilitando considerar a média, $\bar{H} = 20,9(14) \text{ cal}/^\circ\text{C}\cdot\text{h}$, como valor representativo, sendo h a unidade *horas*.

Com o resultado obtido, é possível planejar uma atividade prática para ser realizada no ensino médio utilizando-se garrafas térmicas colocadas em geladeira (para manter a temperatura externa aproximadamente constante) medindo a temperatura da água antes de ser colocada na geladeira e após cerca de 1 dia (para que a variação de temperatura fique bem caracterizada), obtendo o valor da constante H de cada garrafa através da taxa média de perda de energia (\dot{Q}_m) e da diferença média de temperatura (T^*).

Para validar o procedimento proposto, realizamos este experimento para duas garrafas térmicas comerciais, acompanhando a variação de temperatura ao longo de 3 dias com medições aproximadamente a cada 10h (figura 4). O modelo proposto (equação 2) descreveu bem o

comportamento observado e as constantes obtidas foram $H_1 = 19,0(5) \text{ cal}/^\circ\text{C.h}$ e $H_2 = 30,1(8) \text{ cal}/^\circ\text{C.h}$ que são comparáveis (embora não sejam compatíveis) com o resultado do experimento com os calorímetros de garrafa térmica.

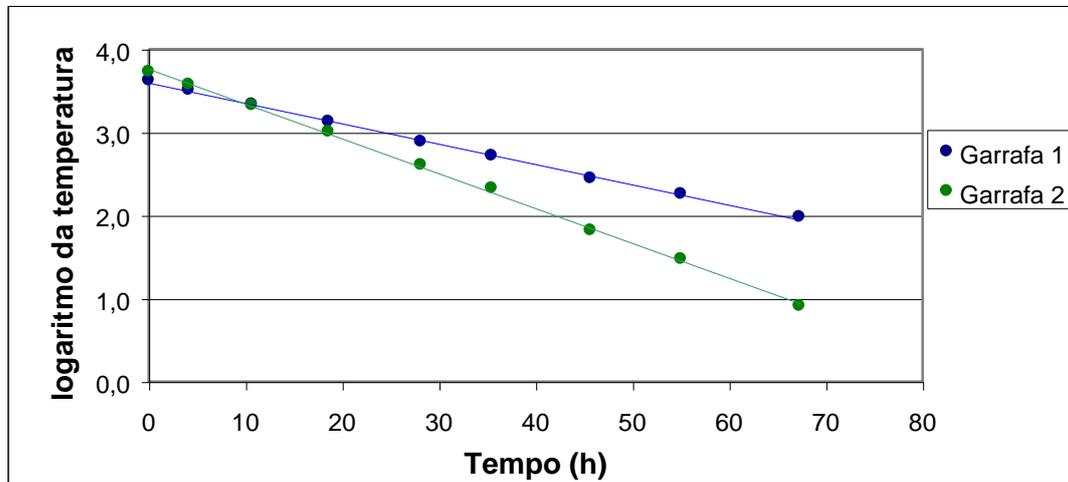


Figura 4 – Evolução do logaritmo da temperatura com o tempo para as duas garrafas térmicas comerciais colocadas na geladeira.

Convém destacar alguns cuidados que devem ser observados no planejamento de uma atividade deste tipo a fim de que se possa obter dados de qualidade:

- A perda de energia por evaporação é muito importante, portanto não se deve utilizar uma temperatura inicial da água muito elevada (superior a 50°C).
- Há uma modificação na temperatura do líquido quando colocado na garrafa, resultante do equilíbrio térmico, portanto, recomenda-se aguardar uns 30 minutos para realizar a medição da temperatura inicial.
- A capacidade térmica típica de uma garrafa é cerca de $20 \text{ cal}/^\circ\text{C}$, porém pode ser muito diferente dependendo da garrafa. Para diminuir sua importância na capacidade térmica total, deve-se utilizar uma massa de água superior a 400g.
- A temperatura da geladeira pode ser obtida colocando-se ao lado da garrafa térmica um recipiente com $\sim 200\text{g}$ de água. A vantagem de se utilizar uma massa de água razoável é que com o aumento da *inércia térmica* da referência a temperatura média da geladeira fica melhor caracterizada, além de facilitar a realização da medição.
- Para ocorrer uma variação de temperatura que possa ser bem determinada é necessário um tempo de espera da ordem de dezenas de horas (um dia ou mais). As medições, no entanto, são realizadas em poucos minutos no início e ao final deste tempo.

Para visualizar o que representam os resultados obtidos, estas garrafas com 1 litro de café, a uma temperatura $\sim 50^\circ\text{C}$ superior a ambiente sofreriam uma variação de temperatura de $\sim 1^\circ\text{C}$ por hora na primeira garrafa térmica e $\sim 1,5^\circ\text{C}$ por hora na segunda. Os processos de troca de calor podem ser discutidos nesta atividade e a diferença entre calor e temperatura também pode ser explorada ao se observar o que ocorre quando o experimento é realizado com massas de água (ou líquidos) muito diferentes.

1) J.H.Vuolo et al., *Apostila de Física Experimental II*, Universidade de São Paulo, (2000)

2) J.H.Vuolo e C.H.Furukawa, *Calorímetro Didático*, Rev. Bras. Ens. Fis. **17**, (1995) 140.