

# Estudando a perda de energia de uma garrafa térmica

Thaís Machado Scherrer<sup>1</sup> e Zwinglio de Oliveira Guimarães Filho<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo

<sup>2</sup>Instituto de Física da Universidade de São Paulo

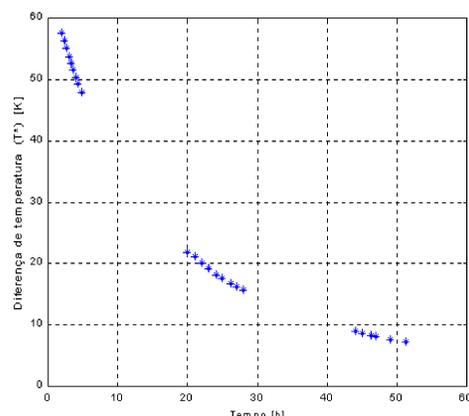
## Resumo

Este trabalho descreve um estudo sobre a perda de energia de garrafas térmicas e discute o planejamento de uma atividade prática semelhante que pode ser realizada no ensino médio. A motivação inicial foi um experimento<sup>[1]</sup> 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 utilizado (uma garrafa térmica de aço com tampa de PVC<sup>[2]</sup>).

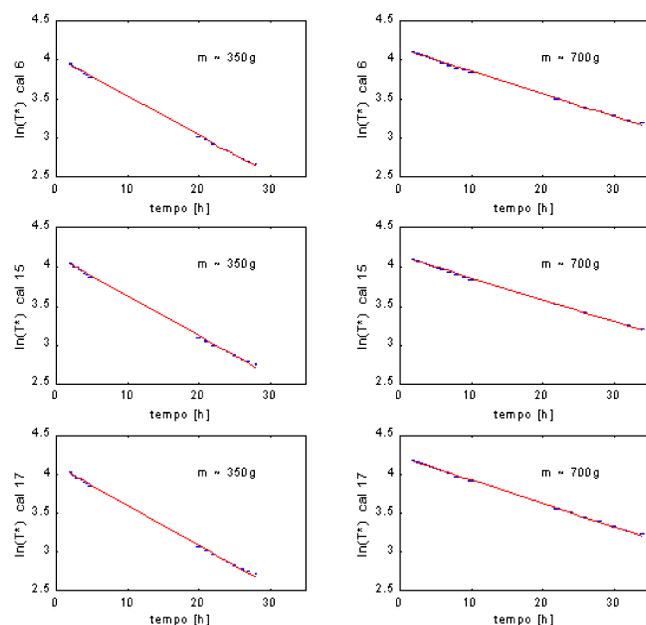
## Introdução

Uma garrafa térmica é um dispositivo construído com o intuito de reduzir ao máximo a troca de energia com o meio externo. Para atingir este objetivo utiliza-se de uma dupla parede espelhada (para evitar troca de calor por irradiação) com vácuo entre elas (para evitar a convecção). A tampa de uma garrafa térmica é feita com um material de pequena condução térmica.

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



**Figura 1** – Evolução temporal típica da diferença de temperatura entre o calorímetro e o meio ( $T^*$ ).



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

## Análise

Supondo que a taxa média de perda de energia das garrafas térmicas ( $P_m$ ) seja proporcional à diferença entre a temperatura no calorímetro e fora dele ( $T^*$ ) obtém-se<sup>[2]</sup>,

$$P_m = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = -H.T^* \quad (\text{equação 1})$$

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

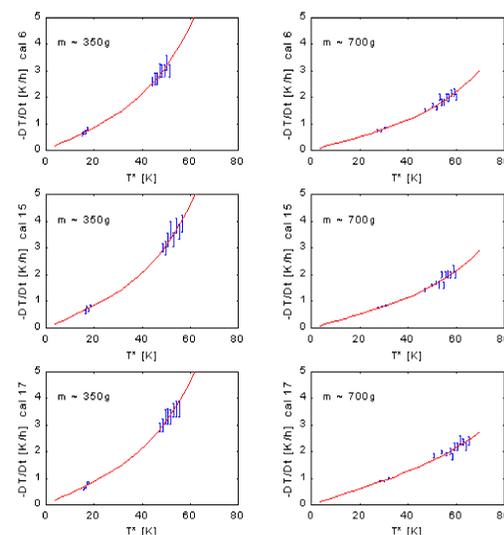
$$T^*(t) = T_0^* . e^{-\frac{H}{C_{tot}} . t} \quad (\text{equação 2})$$

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

A hipótese é bem adequada nos casos em que a condução é o processo predominante, mas mesmo a irradiação, quando  $T^*$  é pequeno<sup>[3]</sup>, 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  $T^*$ .

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**).



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

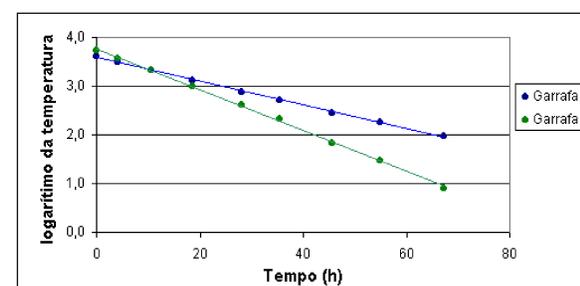
## Resultados

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,  $H_m = 20,9(14)\text{cal}/^\circ\text{C.h}$ , como valor representativo.

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 ( $P_m$ ) e da diferença média de temperatura ( $T^*$ ).

Como pode-se observar na **figura 4** o modelo proposto 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.

Para visualizar o que representam os resultados obtidos, estas garrafas com 1 litro de café, a uma temperatura ~50°C superior à ambiente sofreriam uma variação de temperatura de ~1°C por hora na primeira garrafa térmica e ~1,5°C por hora na segunda.



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

## Cuidados experimentais recomendados

- 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 20cal/°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 ~200g 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.

## Conclusões

Comportamento médio é bem descrito pela **equação 1**, que possibilita a caracterização das garrafas térmicas pela constante  $H$ . Com esta foi possível comparar resultados de garrafas térmicas diferentes, indicando qual a melhor. 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.

É sempre bom lembrar os estudantes que com seriedade, dedicação e esforço pessoal por mais "simples" que pareça um experimento pode-se obter resultados muito além do previsto, pois quem "faz o experimento" é a postura do experimentador, não o equipamento utilizado.

## Referências

- 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.