

# Equação de Clausius-Clapeyron

Gonçalo Quinta nº 65680, Fernando Rodrigues nº 66326, Teresa Jorge nº 65722 e Vera Patrício nº 65726

*Laboratório de Complementos de Electromagnetismo e Termodinâmica*  
*Mestrado Integrado em Engenharia Física Tecnológica 2009/2010*  
*Instituto Superior Técnico (IST)*

(Dated: 4 de Maio de 2010)

Determinou-se o calor latente de vaporização da água através de sucessivas medições da sua pressão e temperatura durante o seu aquecimento e arrefecimento numa câmara de vapor. O valor obtido para o arrefecimento foi de  $(426,7 \pm 5,2)$  cal/g e para o aquecimento de  $(509,3 \pm 5,2)$  cal/g.

## I. EXPERIÊNCIA REALIZADA E FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Com o objectivo de determinar o calor latente da água, foi estudado a sua mudança de fase primeiramente de líquido para vapor e de seguida de vapor para líquido. Para tal, a água destilada foi encerrada numa câmara de vapor - figura 1 - e aquecida até que a pressão no seu interior atingisse os 40 bar. A câmara permite monitorizar a pressão e temperatura a que a água se encontra.

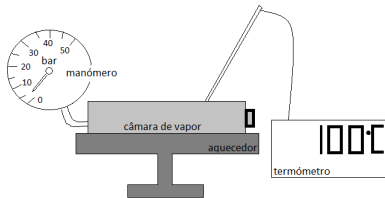


Figura 1. Esquema de montagem

O estado físico em que uma substância se encontra depende das suas características químicas (forças de ligação interatómicas, por exemplo) e também das condições físicas em que se encontra: pressão e temperatura [? ]. A figura 2 ilustra o diagrama de fases da água, em que é indicado em que fase se encontra a água para uma dada pressão e temperatura:

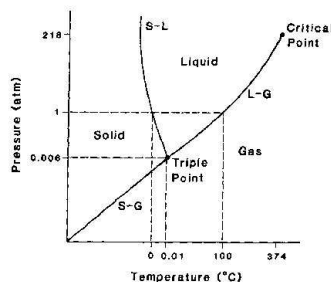


Figura 2. Diagrama de fases da água

A recta que separa a fase líquida da fase gasosa pode ser descrita pela equação seguinte, obtida da relação de Gibbs-Duhem:

$$\frac{\partial P}{\partial T} = \frac{\Delta S}{\Delta V} \quad (1)$$

P – pressão (atm)  
T – temperatura (K)  
S – entropia molar (J/(K mol))

V – volume molar ( $m^3/mol$ )

Atendendo à definição de variação de entropia, assim como à lei dos gases perfeitos, e assumindo portanto que a variação do volume corresponde apenas à variação do volume da parte gasosa da água, esta equação pode ser reescrita como

$$\frac{\partial P}{\partial T} = \frac{Q_{tran}}{T \frac{RT}{P}} \quad (2)$$

$Q_{tran}$  – calor latente de transição (cal/g)  
R – constante dos gases perfeitos (J/(K mol))

Rearranjando a equação de modo a que a temperatura seja a variável independente:

$$\frac{\partial P}{P} = \frac{Q_{tran}}{R} \frac{\partial T}{T^2} \quad (3)$$

e integrando esta equação resulta que

$$\ln(P) = -\frac{Q_{tran}}{R} \frac{1}{T} \quad (4)$$

Tomando os pares de logaritmos das pressões e respectivas temperaturas, ajustam-se esses valores à recta da expressão (4), sendo assim possível obter calor latente de vaporização da água através do declive da recta.

## II. RESULTADOS

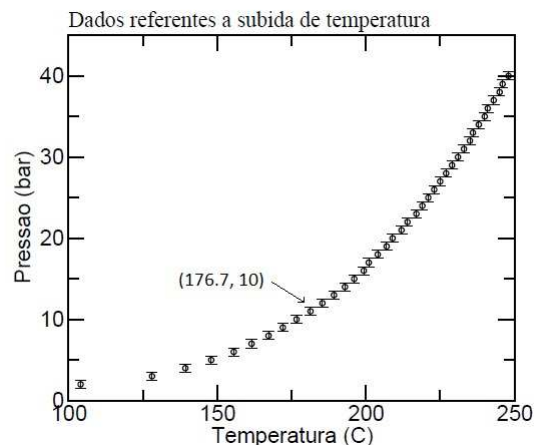


Figura 3.

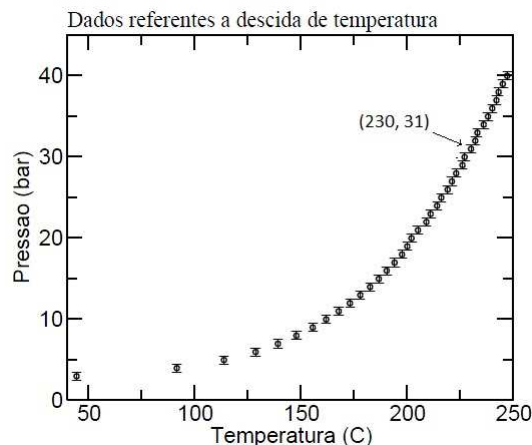


Figura 4.

### III. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os ajustes estão representados nas figuras 5 e 6:

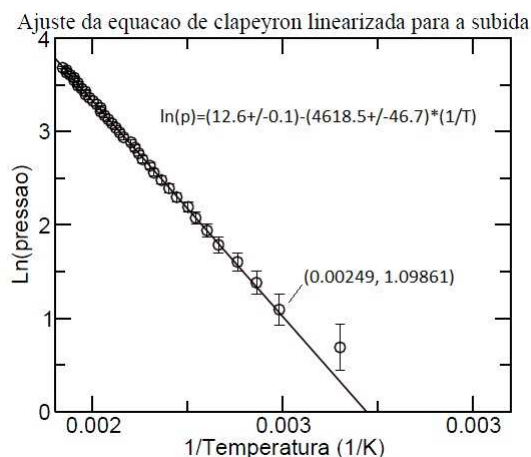


Figura 5.

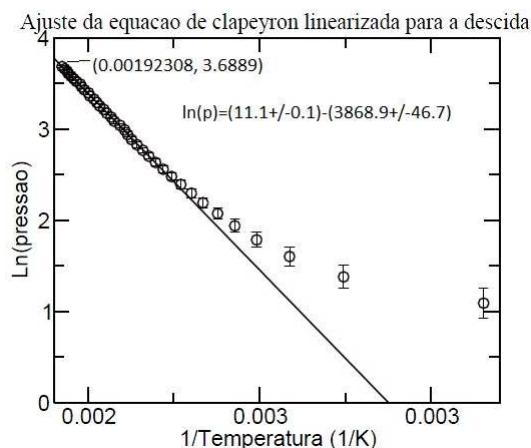


Figura 6.

Tabela I. Declives obtidos e calores latentes, durante o arrefecimento e aquecimento, respectivamente

a	$e_a$	$Q_{tran}(\text{cal/g})$	$e_{Q_{tran}}(\text{cal/g})^a$
3868,9	46,7	426,7	5,2
4618,5	46,7	509,3	5,2

<sup>a</sup> capacidade térmica da água - 4.18 cal

R - 8.31 Jmol<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>

Massa molar - 18,01 g/mol

### IV. CONCLUSÃO E CRÍTICAS

Da análise de resultados obtemos que o calor latente da água para a subida da temperatura e da pressão é (509.3±5.2) cal/g com um desvio à exactidão de 6% e para a descida da temperatura e da pressão é (426.7±5.2) cal/g com um desvio à exactidão de 21%. Nenhum dos erros calculados cobre o valor previsto de 540 cal/g. Uma vez que a montagem utilizada para a subida e para a descida da temperatura era a mesma, estando esta cheia de água e à pressão atmosférica e sendo esta isolada no início da experiência, era de esperar que o calor latente medido para as duas situações fosse o mesmo, o que não foi verificado. Isto pode ser explicado considerando o facto de que na última parte da experiência, após a descida da temperatura abaixo dos 100°C, não foi possível recuperar a pressão atmosférica inicial de 1 bar no interior da câmara de vapor. Este facto foi ainda confirmado aquando da abertura da câmara, depois do completo arrefecimento da água, verificando-se que a câmara se encontrava pressurizada. Estas duas observações levam a crer que no interior se encontrava não só água destilada, mas também uma qualquer outra substância que se volatilize abaixo das temperaturas atingidas, mas que não volta a condensar nas condições iniciais após o arrefecimento. Um possível candidato será a gordura que é necessária utilizar no aparelho, de modo a selá-lo, uma vez que estas substâncias têm um comportamento compatível com o observado, já que se podem degradar com o aumento de temperatura, modificando a sua estrutura química e consequentemente algumas das suas propriedades físicas.

Esta hipótese poderia ser morosamente verificada aquecendo e arrefecendo sucessivamente a água até várias temperaturas inferiores à temperatura de vaporização desta, de modo a tentar averiguar a que temperatura a possível substância se volatiliza. Por outro lado, uma má calibração do manómetro ou do termómetro poderão também explicar algumas discrepâncias com os valores obtidos. A verificação da calibração do termómetro poderá ser feita facilmente, comparando-o com as leituras de outros aparelhos existentes no laboratório, embora a do manómetro já apresente alguma dificuldade. É de notar, no entanto, que este dá uma leitura correcta para a pressão atmosférica, o que diminui a probabilidade de contribuição significativa para o erro experimental.