



CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Filardo Bassalo

www.bassalo.com.br

O Tubo Pitot, o Efeito Mpemba e a Queda do Voo 447 da Air France em 1/6/2009.

Conforme vimos em verbete desta série, em 1730, o matemático suíço Daniel Bernoulli (1700-1782) escreveu uma carta ao matemático russo Christian Goldbach (1690-1764) na qual descreveu seus estudos sobre o fluxo de fluidos em tubos horizontais, e que lhe permitiu descobrir o seguinte teorema, mais tarde conhecido como **Princípio de Bernoulli**: - *Quando a velocidade do fluxo dos fluidos aumenta, sua pressão diminui*. Em notação atual, esse **Teorema de Bernoulli** (TB) é traduzido pela expressão:

$$P_1 + (\rho/2) (v_1)^2 = P_2 + (\rho/2) (v_2)^2,$$

onde P_1 e P_2 e v_1 e v_2 , representam, respectivamente, as pressões hidrostáticas (força/área) e as velocidades de um fluido de densidade constante ρ se movimentando em um tubo horizontal de seção reta variável.

Uma das primeiras aplicações práticas do TB foi realizada pelo engenheiro francês Henri Pitot (1695-1771) ao inventar, em 1732, um dispositivo – o **Tubo Pitot** (TP) - para medir a velocidade do fluxo de um fluido. Esse dispositivo, que foi apresentado à *Academia de Ciências de Paris* naquele mesmo ano, consiste de dois tubos, um com uma extremidade aberta na direção do fluxo e outro com uma extremidade também aberta, porém na direção perpendicular a esse mesmo fluxo. Esses tubos são conectados aos lados opostos de um **manômetro** de modo que a diferença entre a **pressão dinâmica** (P_2) no primeiro tubo e a **pressão estática** (P_1) no segundo tubo pode então ser medida. Portanto, a velocidade (v) do fluxo de um fluido incompressível de densidade (ρ) é dada por: $v = \sqrt{2(P_2 - P_1) / \rho}$. É oportuno destacar que, usando-se a equação proposta pelo engenheiro e físico francês Benoit-Pierre-Émile Clapeyron (1799-1864), em 1834 (*Journal de l'École Polytechnique* **14**, p. 190), a conhecida **equação de Clapeyron** (EC): $PV = nRT$ (ver verbete nesta série), verifica-se que quando o volume (V) de um fluido permanece constante, a pressão (P) é diretamente proporcional à temperatura (T).

Ao longo dos anos foram realizadas várias modificações nesse dispositivo no sentido de melhorá-lo, sendo que a apresentada pelo engenheiro francês Henry Philibert Gaspard Darcy (1803-1858), por volta de 1848, que é essencialmente usado até hoje, e com aplicações múltiplas, como em carros da Fórmula 1, aviões e espaçonaves. [Jacob Challoner (Editor), **1001 Invenções que Mudaram o Mundo** (Sextante, 2010); en.wikipedia.org/wiki/Henry_Darcy].

A observação de que a **água morna** esfria mais rápido do que a **água fria** já havia sido feita pelo filósofo grego Aristóteles de Estagira (384-322) em seu livro **Meteorologia** [Aristóteles: I, **Great Books of the Western World 7** (Encyclopaedia Britannica, Inc./Chicago, 1993)]: - *O fato de que a água ter sido previamente aquecida contribui para o seu resfriamento mais rápido. Portanto, muitas pessoas quando querem esfriar rapidamente a água, a colocam em regiões ensolaradas. Por exemplo, os habitantes de Pontus quando acampam no gelo para pescar fazendo um buraco no nele, derramam água morna em torno de seus juncos para esfriá-los mais rápido e então fixá-los no gelo*. A explicação dada por Aristóteles, conhecida como *antiperistasis*, foi a seguinte: - *O suposto aumento na intensidade de uma qualidade resulta de ela ser envolvida por sua qualidade contrária*. Esse efeito foi também observado e registrado pelo filósofo inglês Francis Bacon, Lord Verulam (1561-1626) em seu livro **Novum Organum** [Francis Bacon, **Great Books of the Western World 28** (Encyclopaedia Britannica,

Inc./Chicago, 1993)], publicado em 1620, no qual se lê: - *Água ligeiramente tépida esfria mais facilmente do que se ela for completamente fria*. Também o filósofo e matemático francês René du Perron Descartes (1596-1650), no ensaio intitulado **Meteoros** de seu célebre **Discurso sobre o Método** [René Descartes, **Great Books of the Western World 28** (Encyclopaedia Britannica, Inc./Chicago, 1993)], de 1637, escreveu o seguinte: - *Podemos ver por experiência que a água mantida sobre fogo por muito tempo esfria mais rápido do que outra, a razão sendo que aquelas de suas partículas que são pelo menos capazes de parar de se dobrarem, se evaporam enquanto a água está sendo esquentada*.

Depois de mais de três séculos da observação de Descartes, o hoje político tanzaniano Erasto Bartholomeo Mpemba (n.1950), quando era aluno da *Magamba Secondary School*, em Tanganyika, em 1963, ao fazer sorvete, observou que a água quente, às vezes, esfria mais rápido do que a água fria. Ao mostrar para seu professor de Física, este não acreditou e disse que não se tratava de uma física real e sim, da “física de Mpemba”. Mais tarde, em 1968, quando Mpemba estudava no *Mkawawa High School*, em Iringa, ele repetiu a experiência e encontrou o mesmo resultado. O Diretor dessa Escola convidou o professor Denis G. Osborne da *University College* (UC), em Dar Es Salaam, para fazer uma conferência sobre Física. Terminada a mesma, Mpemba fez a seguinte pergunta ao Dr. Osborne: - *Se tomarmos dois recipientes similares com iguais volumes de água, uma a 35⁰C e a outra a 100⁰C, e colocá-las em um congelador, esta última (a de 100⁰ C) esfria mais rápido. Por quê?* Inicialmente, o Dr. Osborne ficou incrédulo, porém, ao voltar para a UC e, ao repetir o experimento de Mpemba, confirmou o resultado. Em vista disso, em 1969 (*Physics Education* **4**, p. 172), Mpemba e Osborne apresentaram o hoje famoso **Efeito Mpemba** (EM). Até hoje (março de 2011), se procura entender esse efeito. (Andrew Wang and Monica Chen, *Harvard-Westlake Journal of Science Issue 4*, p. 10, 2010; Andrew Wang, Monica Chen, Yanni Vourgourakis and Antonio Nassar, *aiXiv.1101.2684v1* [physics.pop-ph], 13 January 2011; en.wikipedia.org/wiki/Mpemba_effect; Erasto_Mpemba).

Concluindo este verbete, vejamos como aconteceu a queda do *Airbus A330-203*, de matrícula F-GZCP - **Voo 447 da Air France** -, na rota Rio-Paris, que partiu do Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro-Galeão a 31 de maio de 2009, às 19h03min locais, e que caiu no início da madrugada do dia 01 de junho de 2009. Para isso, vamos usar o artigo de Kevin Schwarzwald, Graham Gallaher e Colette Woo publicado no *Harvard-Westlake Journal of Science Issue 5*, p. 15, 2011. A provável causa da queda do avião da *Air France* foi a falha simultânea dos três TP o que levou o piloto automático a desligar os motores, não havendo tempo para os pilotos ligá-los novamente. Aqueles tubos foram provavelmente esfriados quando encontraram água super resfriada de uma tempestade que estava na rota do avião. A água super-resfriada é água extremamente pura que pode existir na forma líquida em temperaturas bem abaixo de seu ponto de fusão. Assim, quando o TP entra em contacto com água super fria, impurezas entram nele e a água instantaneamente esfria (pelo EM) e, preventivamente, o TP deixa de registrar a velocidade (v) do ar, calculada pelas expressões, vistas acima, para a determinação dessa velocidade e da pressão (P), pela EC.

Segundo o físico brasileiro Antonio Boulhosa Nassar (n.1953) (a quem agradeço nesta oportunidade essa informação), a queda do avião da *Air France* foi explicada apenas com conhecimento de Física Geral, cerca de um ano antes de serem descobertas as caixas pretas (de som e de dados) do referido avião, como se pode ver nos seguintes sites:

<http://www.youtube.com/watch?v=BTL3WfpMOM0>

<http://www.youtube.com/watch?v=zxB4dWObnhE&feature=related>

<http://www.youtube.com/watch?v=8zr2hkJAFjg&feature=related>

<http://www.youtube.com/watch?v=G5soJVnVd74&feature=related>



ANTERIOR

SEGUINTE