



SEARA DA CIÊNCIA CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Bassalo



O Atrito.

Conforme nos conta o físico norte-americano Frederick Palmer (1878-1967) em seu artigo intitulado Friction (Scientific American, p. 55, Fevereiro de 1951), foi o artista, inventor e cientista italiano Leonardo da Vinci (1452-1591) quem primeiro realizou experiências para estudar o atrito, por volta de 1500. Os resultados dessas experiências, que se encontram registrados no Codex Atlanticus - uma coleção dos escritos de Da Vinci organizada pelo escultor italiano Pompeo Leoni (1533-1608) -, podem ser resumidos nas seguintes leis: 1) O atrito provocado pelo mesmo peso terá a mesma resistência no início do movimento, embora as áreas ou comprimento de contacto sejam diferentes; 2) O atrito provoca o dobro do esforço se o peso for dobrado; 3) O atrito depende da natureza dos materiais em contacto. Registre-se que Da Vinci chegou a encontrar o valor de $\frac{1}{4}$ para o coeficiente de atrito (C. Truesdell, Essays in the History of Mechanics, Springer-Verlag, 1968.) Essas leis foram redescobertas, em 1699, pelo físico francês Guillaume Amontons (1663-1705). É oportuno registrar que, em 2004 (Applied Physics Letters 84, p. 2451), A. D. Corwin e Maarten de Boer confirmaram as leis de Da Vinci-Amontons para forças normais no intervalo: $1 \times 10^{-3}(\text{m})\text{N} - 50 \times 10^6(\mu)\text{N}$, com $1\text{N}(\text{newton}) = 1\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$. Abaixo do valor mínimo do intervalo referido, eles físicos observaram que o desvio daquelas leis decorre de um significativo aumento das forças moleculares. Nessas experiências, Corwin e de Boer usaram um equipamento conhecido como nanotractor (J. Krim, www.nanotechweb.org).

Um novo resultado sobre as leis do atrito foi obtido pelo físico francês Charles Augustin Coulomb (1736-1806). Com efeito, em 1781, ele apresentou à Academia Francesa de Ciências uma Mémoire intitulada Théorie des Machines Simples, na qual descreveu as experiências que realizou sobre atrito, em decorrência das quais confirmou as três leis de Da Vinci-Amontons, bem como afirmou, o que hoje se conhece como a quarta lei do atrito: 4) A força de atrito é independente da velocidade, uma vez o movimento iniciado. Desse modo, mostrou que havia uma diferença entre o atrito estático e o atrito dinâmico. Hoje, essas leis são resumidas no seguinte conjunto de equações:

$$F_i = \mu_s N, \quad F_s \leq \mu_s N, \quad F_d \leq \mu_d N, \quad F_s \neq F_d, \quad \mu_s > \mu_d,$$

onde F_i , indica a força inicial necessária para vencer as ligações moleculares (“soldas”) entre as superfícies de contacto; F_s e F_d , representam, respectivamente, as forças de atrito estática e dinâmica; μ_s e μ_d significam, respectivamente, os coeficientes de atrito estático e dinâmico, que dependem do tipo de material em contacto (ferro-ferro, ferro-madeira, madeira-madeira etc.); e N é a reação normal entre as superfícies contactantes, e é calculada por intermédio da lei da ação e reação formulada pelo físico e matemático inglês Sir Isaac Newton (1642-1727), em 1687. Note-se que, no trabalho referido acima, Coulomb também formulou o conceito de força de torção ao estudar a torção em fios, havendo demonstrado que essa força depende do comprimento e do diâmetro do fio.

Um dos primeiros estudos sobre a origem microscópica do atrito foi apresentado, em 1929 (Philosophical Magazine 7, p. 905), pelo físico inglês G. A. Tomlinson ao afirmar que os fônons são os responsáveis pelo mecanismo de fricção. (Note-se que fônons é o quantum de energia de vibração de uma rede cristalina.) Por sua vez, uma das primeiras medidas da força de atrito em escala nanométrica (10^{-9} N) foi realizada, em 1987 (Physical Review Letters 59, p. 1942), pelos físicos norte-americanos C. Mathew Mate,

Gary M. McClelland, Ragnar Erlandsson e Shirley Chiang, por intermédio de um instrumento que eles inventaram: microscópio de força atômica. Nessa experiência, eles observaram que a força de atrito atuando em um fio de tungstênio [wolfrâmio (W)] cuja ponta deslizava em uma superfície plana de grafite não dependia da carga normal ($< 10^{-4} N$) aplicada. Observaram mais ainda que, para o intervalo de velocidade compreendido entre 40 angstrons(Å)/s e 4.000 Å/s, a força de atrito apresentou pouca dependência com a velocidade.

Ainda na segunda metade da década de 1980, o atrito em nível atômico também foi objeto de estudo por parte da física norte-americana Jacqueline Krim, então trabalhando na Northeastern University, localizada em Boston, na USA. Em 1991 (Physical Review Letters 66, p. 181), Krim e seus colaboradores D. H. Solina e R. Chiarello descobriram que filmes de cripton (^{36}Kr) deslizando sobre superfícies cristalinas de ouro (^{79}Au) se tornavam mais escorregadias enquanto secas. Descobriram, também, que a força de atrito para filmes líquidos era cinco vezes maior do que para filmes sólidos, bem como confirmaram a existência de mecanismos fonônicos de fricção. Nessas experiências, Krim e seus colaboradores usaram uma microbalança de quartzo. É oportuno observar que, nesse artigo, apareceu pela primeira vez o termo nanotribologia, que significa o estudo da fricção em nano-escala. Em 1996 (Langmuir 12, p. 4564, September; Scientific American 275, p. 74, October), Krim examinou as experiências realizadas sobre a nanotribologia nos últimos anos, e concluiu que as leis macroscópicas do atrito de Da Vinci-Amontons-Coulomb não são aplicadas na escala atômica. Nesta, valem as seguintes leis: 1) A força de atrito é proporcional ao grau de irreversibilidade (facilidade de aderência) da força que comprime duas superfícies, em vez da simples intensidade da força; 2) A força de atrito é proporcional à área de contacto real, em vez da área de contacto aparente; 3) A força de atrito é proporcional à velocidade de deslizamento das superfícies em contacto.

Na conclusão deste verbete, registramos que o leitor poderá encontrar novas informações sobre o atrito nos artigos de Krim, de 2005 (Physics World 18, p. 31) e no site referido acima: www.nanotechweb.org.

[Página Inicial](#)

[ANTERIOR](#)

[SEGUINTE](#)