



.....  
**M.J. Menon**

Instituto de Física 'Gleb Wataghin',  
 Universidade Estadual de Campinas,  
 Campinas, SP, Brasil

E-mail: menon@ifi.unicamp.br  
 .....

O número de Avogadro, também chamado mol, é igual ao número de moléculas contidas em 22,4 litros [1] de qualquer gás nas condições normais de temperatura e pressão ( $T = 0^\circ\text{C} = 273\text{ K}$  e  $P = 1\text{ atm} = 760\text{ mm Hg}$ ). Um mol é também o número de átomos (ou moléculas) existentes em 1 átomo-grama (ou molécula-grama) [2] de qualquer substância [3]. Esse número é  $6,02252 \times 10^{23}$ , em geral aproximado para  $N_A = 1\text{ mol} \approx 6,02 \times 10^{23}$ .

Uma idéia precisa de quão grande é essa potência,  $10^{23}$ , nem sempre é algo simples de ser assimilado por muitos alunos. Sendo o futebol um esporte de tradição em nossa cultura, vamos buscar na bola de futebol um exemplo que ilustre a grandeza desse número.

A idéia é responder à seguinte pergunta: o volume ocupado pela Terra no espaço é equivalente ao volume de quantas bolas de futebol?

Para respondê-la, devemos dividir o volume da Terra pelo volume de uma bola de futebol. Representando por  $V_T$  o volume da Terra e  $V_b$  o da bola de futebol, o número  $N$  de vezes que  $V_T$  é maior que  $V_b$  é dado pela razão

$$N = \frac{V_T}{V_b}.$$

Uma bola de futebol, em boas condições, é esférica e embora a Terra seja achatada nos pólos, podemos, com boa aproximação, considerá-la também esférica (discutiremos isso a seguir). Nessas condições, sendo o volume de uma esfera igual a quatro terços de  $\pi$  vezes o raio ao cubo, a equação anterior fica

$$N = \left[ \frac{R_T}{R_b} \right]^3,$$

onde  $R_T$  é o raio da Terra e  $R_b$  o da bola

de futebol. Assim, basta estimar essas duas grandezas. Vamos aos dados numéricos.

De acordo com o INMETRO [4] as dimensões exigidas para uma bola de futebol oficial são limitadas a uma circunferência máxima de 70 cm e mínima de 68 cm. Desse modo, sendo o raio igual ao perímetro (circunferência) dividido por duas vezes  $\pi$ , podemos estimar o raio como

$$R_b \approx \frac{69\text{ cm}}{2\pi} \approx 11\text{ cm}.$$

Com relação à Terra, os dados geográficos indicam [5]: diâmetro equatorial de 12.756,3 km e diâmetro polar de 12.713,5 km. Vemos que a diferença desses diâmetros, 42,8 km, representa apenas 3,4% do valor médio, e portanto podemos aproximar a Terra por uma esfera com raio médio  $R_T \approx 6.370\text{ km} = 6,37 \times 10^8\text{ cm}$ .

Com essas aproximações a Eq. (1) fornece

$$N \approx \left[ \frac{6,37 \times 10^8}{11} \right]^3 \approx 0,1942 \times 10^{24}$$

ou, arredondando,  $N \approx 1,94 \times 10^{23}$ . Ou seja, aproximadamente um terço do número de Avogadro. Isso significa que  $N_A$  é, aproximadamente, o número

de bolas de futebol cujo volume equivale ao volume de três planetas Terra no espaço!

É interessante notar que, mesmo aproximando o raio da Terra pelo valor equatorial ou polar, ou a bola por seu diâmetro mínimo ou máximo, a ordem de grandeza não se altera. Vejamos alguns resultados numéricos extremos, com os raios mínimos e máximos.

Para a bola:

Neste artigo mostramos que o volume ocupado pelo planeta Terra no espaço é equivalente, em ordem de grandeza, ao volume de dez a vinte e três bolas de futebol. O cálculo, que é simples, é feito considerando-se todas as aproximações fisicamente justificáveis. Essa coincidência curiosa fornece uma idéia a respeito de quão grande é o número de Avogadro.

**A idéia precisa de quão grande é a potência  $10^{23}$  nem sempre é simples de ser assimilada pelos alunos; já o futebol, de grande tradição em nossa cultura, pode ajudar-nos a entendê-la**

$$R_b^{\max} \approx \frac{70 \text{ cm}}{2\pi} \approx 11,1408 \text{ cm}$$

$$R_b^{\min} \approx \frac{68 \text{ cm}}{2\pi} \approx 10,8225 \text{ cm}$$

Para a Terra:

$$R_T^{\max} \approx \frac{12.756,3 \text{ km}}{2\pi} \approx 6.3785 \times 10^8 \text{ cm}$$

$$R_T^{\min} \approx \frac{12.713,5 \text{ km}}{2\pi} \approx 6.3568 \times 10^8 \text{ cm}$$

Podemos estimar o número máximo considerando o raio máximo da Terra (equatorial) e o raio mínimo da bola; do mesmo modo, o número mínimo é obtido considerando o raio mínimo da Terra (polar) e o raio máximo da bola. Nesse caso o número máximo é dado por

$$N_{\max} = \left[ \frac{R_T^{\max}}{R_b^{\min}} \right]^3 \approx 2,05 \times 10^{23},$$

e o número mínimo por

$$N_{\min} = \left[ \frac{R_T^{\min}}{R_b^{\max}} \right]^3 \approx 1,86 \times 10^{23},$$

sendo todos, portanto, da mesma ordem de grandeza. Dessa forma, dentro de toda estimativa justificável, a ordem de grandeza não se altera.

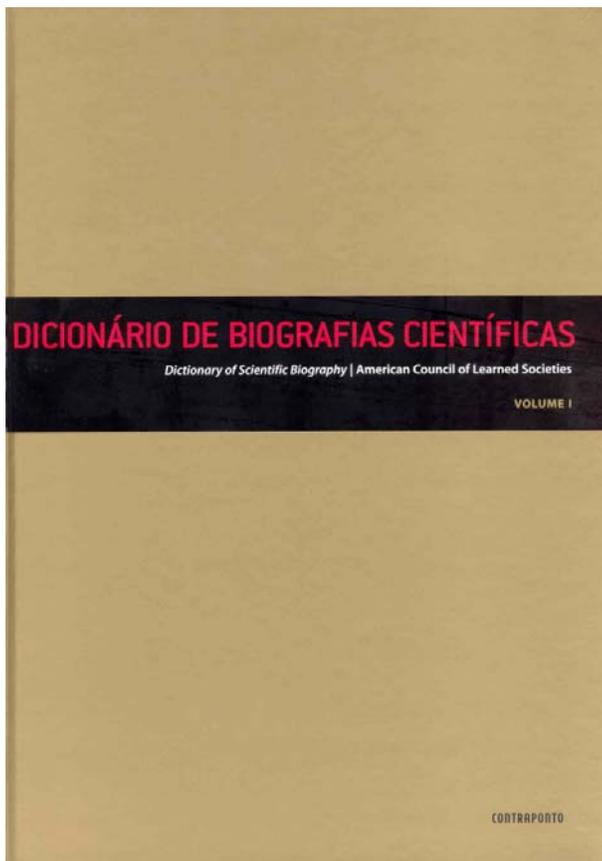
Podemos imaginar que o volume ocupado pela Terra no espaço é certamente grande. Entretanto, como vimos, mesmo considerando o volume de dois ou três planetas Terra, a ordem de grandeza do número de bolas de futebol com volume equivalente não se altera: dez a vinte e três.

Um outro exemplo simples e também bastante conhecido envolvendo bolas refere-se à idéia de se colocar  $6 \times 10^{23}$  bolas em seguida, uma atrás da outra. Se retiramos (ou chutarmos) uma bola e a seguinte não, sucessivamente, até o final, quantas bolas sobraram? É claro que sobrou metade:  $3 \times 10^{23}$ . Ou seja, depois desse árduo trabalho, nem é alterada a ordem de grandeza: dez a vinte e três.

## Referências e notas

- [1] Esse volume corresponde ao volume de um cubo de lado 28,2 cm, aproximadamente o comprimento de uma régua.
- [2] Um átomo-grama (ou molécula grama), corresponde à massa atômica (ou molecular) de uma substância expressa em gramas. A massa de átomos e moléculas é medida em unidades de massa atômica. Essa unidade, representada por  $u$ , é definida como 1/12 da massa do isótopo de carbono 12 (6 prótons e 6 nêutrons no núcleo). Assim, pela definição, a massa atômica do carbono é 12  $u$  e um átomo-grama de carbono (1 mol de átomos), possui massa 12 g. Por exemplo, o cálcio possui massa atômica 40  $u$  e um átomo-grama de cálcio tem massa 40 g.
- [3] R. Feltre, *Fundamentos da Química* (Editora Moderna, São Paulo, 1999).
- [4] <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/futebol.asp>.
- [5] <http://www.conhecimentosgerais.com.br/geografia/terra.html>.

## Lançada a edição brasileira do *Dictionary of Scientific Biography*



Uma fonte permanente de consulta para professores, estudantes, jornalistas e outros profissionais. De Aristóteles a Galileu, de Francis Bacon a Descartes, de Pasteur a Einstein, de Santo Tomás de Aquino a Freud, de Leonardo da Vinci a Darwin, de Euler a Von Neumann, os nomes mais relevantes da história do conhecimento científico e da filosofia da ciência são focalizados. O caráter multidisciplinar da obra (que inclui ciências humanas e naturais), o alto nível dos textos (assinados pelos maiores especialistas mundiais de cada assunto, em um total de centenas de colaboradores de diversas nacionalidades) e a combinação de informações factuais e discussão ampla sobre a contribuição de cada biografado – tudo isso faz desse Dicionário uma obra sem igual. São 329 ensaios distribuídos em três volumes de grande formato, com 8.250 laudas de texto e milhares de gráficos, figuras e equações, além de preciosas indicações bibliográficas.

"Apresentada sem história, a ciência não apaixonou"  
Cesar Benjamin – Editor

"Uma coleção fundamental na área de história da ciência"  
Carlos Filgueiras – UFRJ

"Um trabalho muito sério e útil. Todos os historiadores da ciência o utilizam"  
Roberto Martins – Unicamp

Mais detalhes em  
<http://www.contrapontoeditora.com.br>