

Ordem de Grandeza

(1)

Na descrição da Natureza, ~~ocorrem~~ ocorrem números numa ampla faixa de valores. Exornes distin-
cis e intervalos de tempo na astronomia,
e minúsculos na física atômica e nuclear.
Além disso, muitos das grandezas que manipu-
lamos cotidianamente são conhecidos com
grande precisão. p.ex. a velocidade da luz
no vácuo é:

$$c = 299.792.458 \text{ m/s}$$

Embora ~~foram~~ ^{tampouco} precisão seja necessária em
muitas situações (como p.ex. na definição do
metro, como veremos a seguir), na ampla
maioria do caso, necessitamos somente de um
valor aproximado:

$$c = 300.000.000 \text{ m/s}$$

Obviamente, esse é ainda um modo inequívoco
de se grafar o valor aproximado de velocidade
da luz. A maneira correta de se expressar
essa aproximação é:

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

De modo análogo, não dizemos que
o raio do próton é:

$$r_p = 0,000000.000.000.0012 \text{ m}, \text{ mas sim}$$

$$r_p = 1,2 \times 10^{-15} \text{ m} = 1,2 \text{ F (Fermi)}$$

O nome dessa unidade de comprimento, par⁽²⁾
coisas na escala nuclear foi dado em homenagem ao físico italiano Enrico Fermi, um dos grandes físicos do século XX. Fermi era também conhecido por sua capacidade de fazer rapidamente estimativas de números que a princípio parecem muito difíceis de se fazer. (veja p. ex. o texto dele "My observations during the explosion at Trinity"). Ele incentivava seus alunos a fazer o mesmo e hoje, problemas aproximativos em física, onde buscamos somente estimar a ordem de grandeza de uma quantidade, são chamados "problemas de Fermi". Vamos estimar a ordem de grandeza de algumas quantidades:

- ~~a) Qual a massa do núcleo de Atô,~~
- Qual a massa da Terra?
 - Qual o consumo médio de energia/habitante no Brasil? (Elétrica/Petróleo)
 - Quanto há de plantação de cana de açúcar seriam necessários para produzir (em etanol) toda a energia que gastamos na forma de petróleo? (no Brasil)

a) Massa da Terra.

(3)

O raio da Terra é $\approx 6 \times 10^3$ km. A densidade dos sólidos e líquidos ~~se~~ variam de ~ 1 a ~ 10 g/cm³ ou $1-10 \times 10^3$ kg/m³. Tomando a densidade medida de Terra $\sim 5 \times 10^3$ kg/m³ (próximo à densidade do Fe, que constitui grande parte do núcleo da Terra):

$$M = \frac{4}{3} \pi R^3 \cdot \rho \approx 4 \times 6^3 \times 10^{18} \times 5 \times 10^3 =$$

$$= 4 \times 5 \times 36 \times 6 \times 10^{21} \approx 12 \times 3,6 \times 10^{23} \approx 4 \times 10^{24} \text{ kg}$$

(o valor exato é $\sim 5,97 \times 10^{24}$ kg)

b) Consumo de petróleo/habitante.

Esta é, obviamente, uma estimativa muito mais difícil de se fazer. Partindo-se p. ex. do consumo diário de ~ 2 milhões de barris, temos

$$2 \times 10^6 \text{ b/dia} \times 160 \text{ l/b} \times 360 \text{ d/a} = 11,5 \times 10^{10} \text{ l/a}$$

$$12 \times 10^{10} / 2 \times 10^8 \text{ hab} \approx 600 \text{ l/ano} \cdot \text{hab.} \quad (2 \text{ l/dia})$$

— Vejamos que estimar ~ 1 l/d.hab. de gasto de petróleo com transporte, não é muito difícil de se fazer.

e) Qual o consumo anual de energia elétrica no Brasil? (Com que a potência média necessitaria?)

(4)

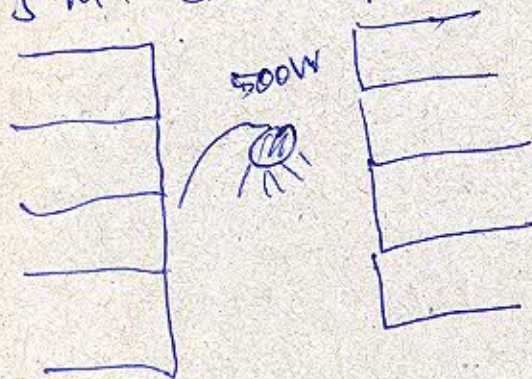
Uma maneira de estimarmos isso, é a partir do consumo médio de energia elétrica por pessoa em uma residência. Basta olhar a conta de energia. Em minha casa, p.ex. o gasto mensal é de aproximadamente 150 kWh, ~~ou seja~~ por capita. Como em um mês temos:

$$T_h = 24 \times 30 \approx 25 \times 30 = 750 \text{ h}$$

a potência média por capita é aproximadamente:

$$\bar{p} = \frac{150.000}{750} = 200 \text{ W.}$$

Que fração da energia elétrica total que consumimos é a do consumo doméstico? Temos ainda as indústrias, o comércio, a iluminação pública, etc. É fácil estimar que o consumo por capita com iluminação pública é muito menor que 200 W. Com um poste a cada 20m e casas separadas (em média) de 5m, com 4 pers/casa temos:



$$8 \times 4 = 32 \text{ pers}$$

$$\frac{500 \text{ W}}{32} \approx 15-20 \text{ W/pessoa}$$

Mas difícil é estima o consumo
de indústria, comércio, serviços.

(5)

É fácil ver que esse parcela não
pode ser muito maior que o consumo doméstico.

Suponho p. ex. que esse consumo seja p. ex.
10x maior que o doméstico. Então, o custo
de energia elétrica doméstica, p. ex. da população
de baixa renda poderia facilmente ser
zero, pois não afetaria em nada o
custo médio de energia (menos de 5%
do consumo total seria dessa classe).

Entretanto, isso não acontece e portanto
o consumo de indústria + comércio + serviços
não pode ser tão maior assim. Também não
pode ser muito menor que o consumo do
doméstico. Deve ser bem maior que p. ex.

o gasto com iluminação pública. Para
cada habitante trabalhando em indústria,
comércio etc. há várias lâmpadas, ar
condicionado, máquinas, motores, etc.

Vamos portanto estima que o consumo
total desses itens é 2x o do doméstico

Portant o consumo de energia elétrica
é estimado como:

$\frac{1}{2}$ doméstico $\frac{2}{3}$ ind. + com. + serviços

Portanto estimamos que o consumo total de energia elétrica no Brasil é de cerca de $\approx 600 \text{ W/h} \times 3 \times 10^7 \text{ h/ano}$ (6)

A potência média produzida no Brasil deve ser portanto:

$$\begin{aligned} & 600 \text{ W/h} \times 200 \times 10^6 \text{ hab} = \\ & = 120 \times 10^9 \text{ W} = 120 \text{ GW} \end{aligned}$$

e a energia total consumida em 1 ano

$$120 \text{ GW} \times 9.000 \text{ h/ano} = 1.200 \times 10^3 \text{ GWh}$$

(O número correto p/ 2009 é $420 \times 10^3 \text{ GWh}$)

(provavelmente consumimos muita energia elétrica em minha casa a 200 W/cap e superestimado. De qualquer forma, a ordem de grandeza está correta). A potência elétrica disponível no Brasil é de $\approx 100 \text{ GW}$, ou seja em média 500 W/hab . Entretanto os geradores não podem sempre operar à potência máxima e o quadro num ano é sempre bem menor que isso.

h) Quantos kg de CO_2 cada um de nós emite (em média) na atmosfera devido o consumo de petróleo?

Consumo diário no Brasil $\approx 2,2$ milhões de barris

$$V_d \approx 2,2 \times 10^6 \frac{\text{b}}{\text{d}} \times 160 \frac{\text{l}}{\text{b}} \times 365 \frac{\text{d}}{\text{a}} = 2,2 \times 1,6 \times 3,7 \times 10^{10} \frac{\text{l}}{\text{a}}$$

$$V_p \approx 2 \times 2 \times 3,5 \times 10^{10} = 1,4 \times 10^{11} \frac{\text{l}}{\text{a}} \text{ por } 0,8$$

$$M_c \approx 10^{11} \text{ kg/ano} \quad \text{Cada C (m=12) gen } \text{CO}_2 \text{ (m=44)}$$

$$M_{\text{CO}_2} = 3,5 \times 10^{11} / 2 \times 10^8 \approx 1,8 \times 10^3 \text{ kg/ano} \quad (1,9 \text{ t/ano})$$