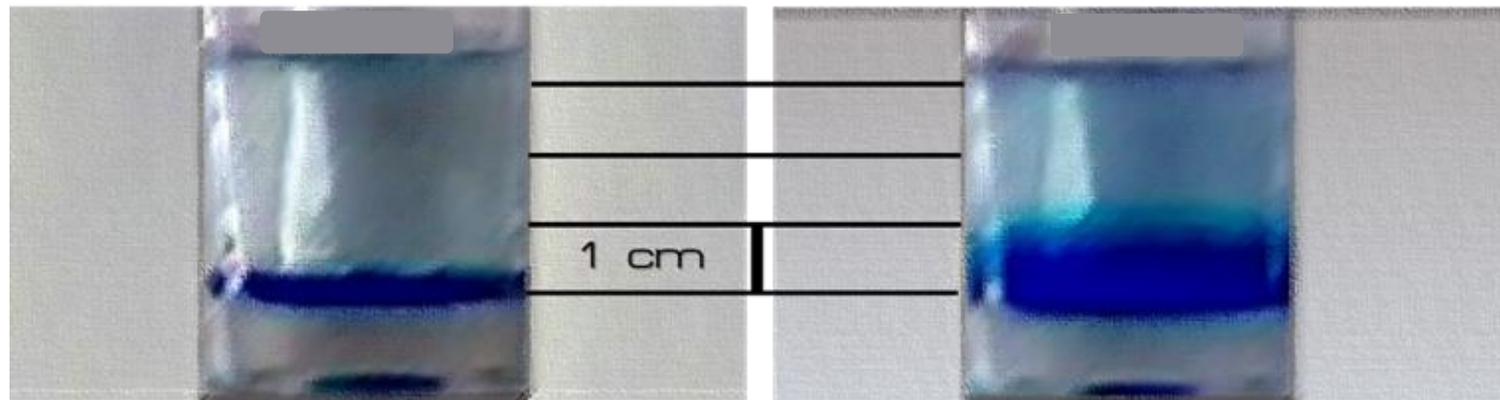


# Sistemas Circulatórios

[1]

Por que precisamos de sistemas de transporte convectivo de matéria?

# A difusão



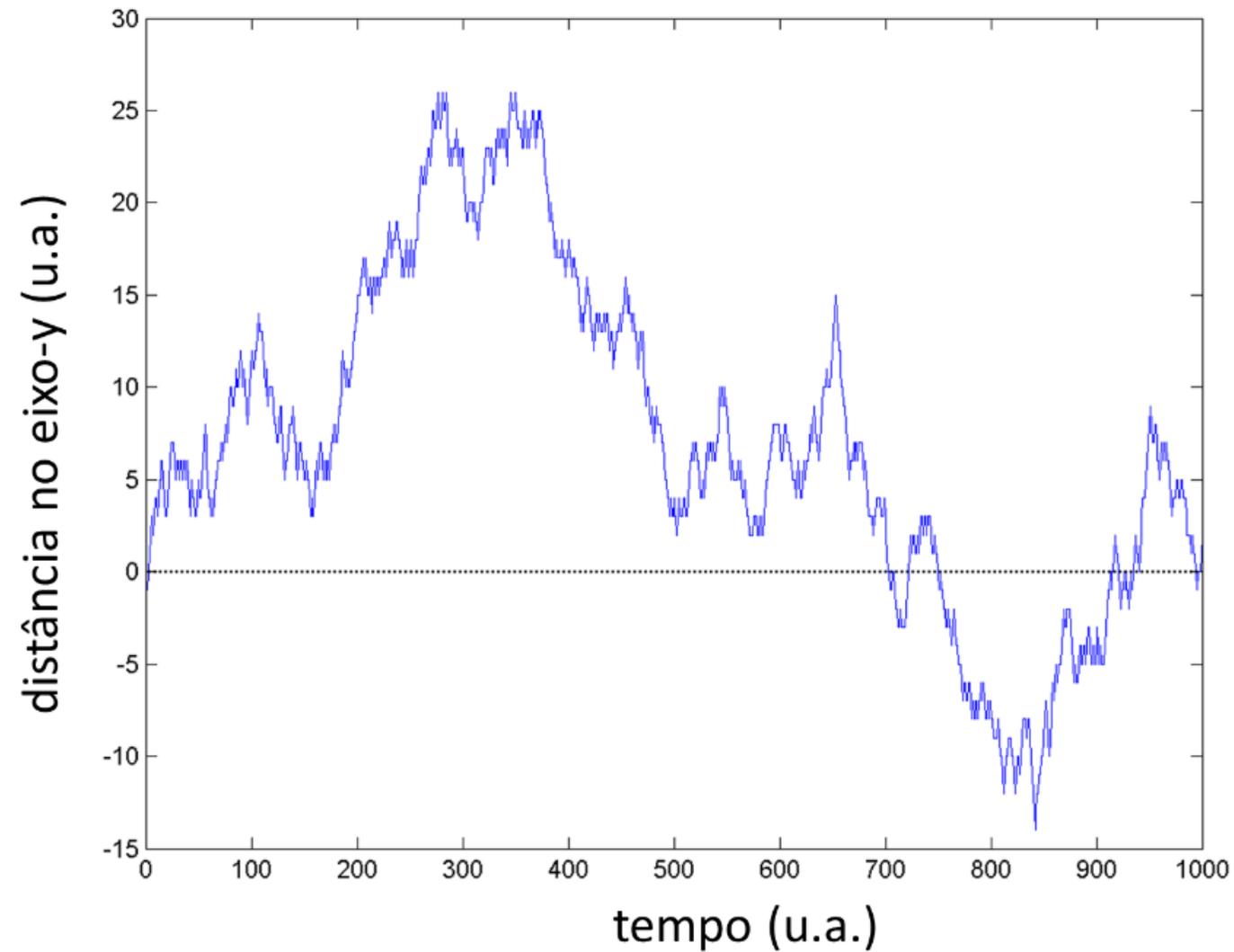
# A difusão



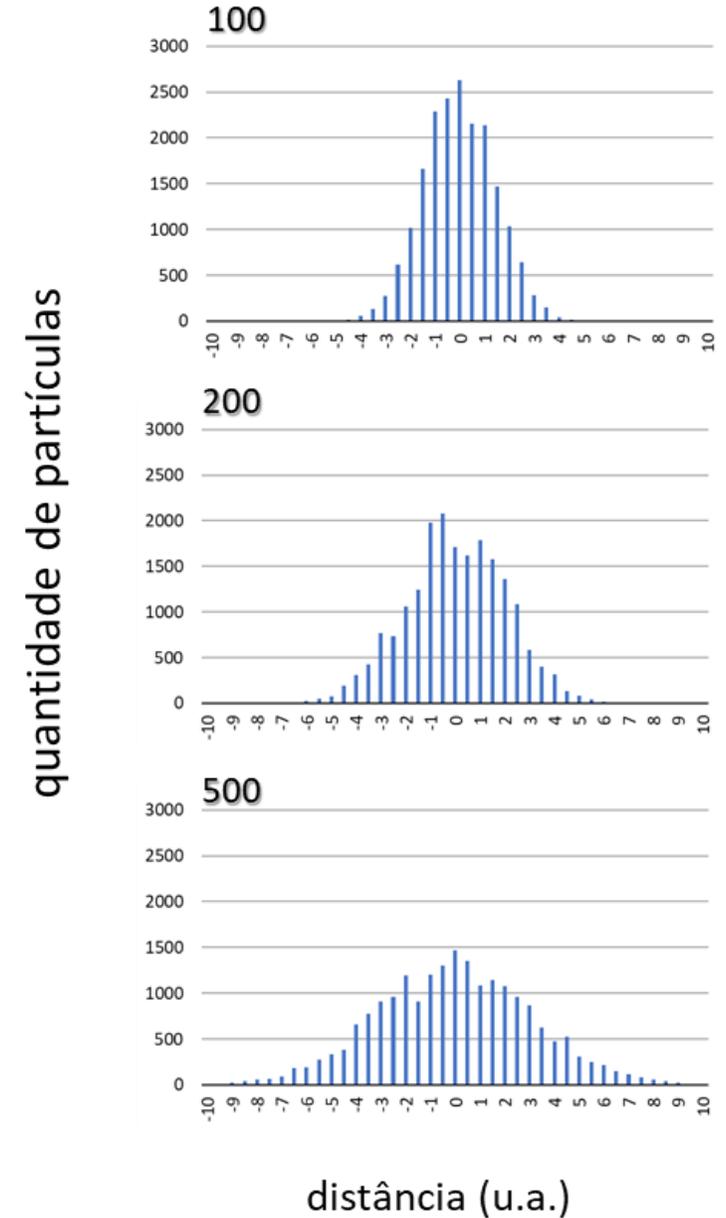
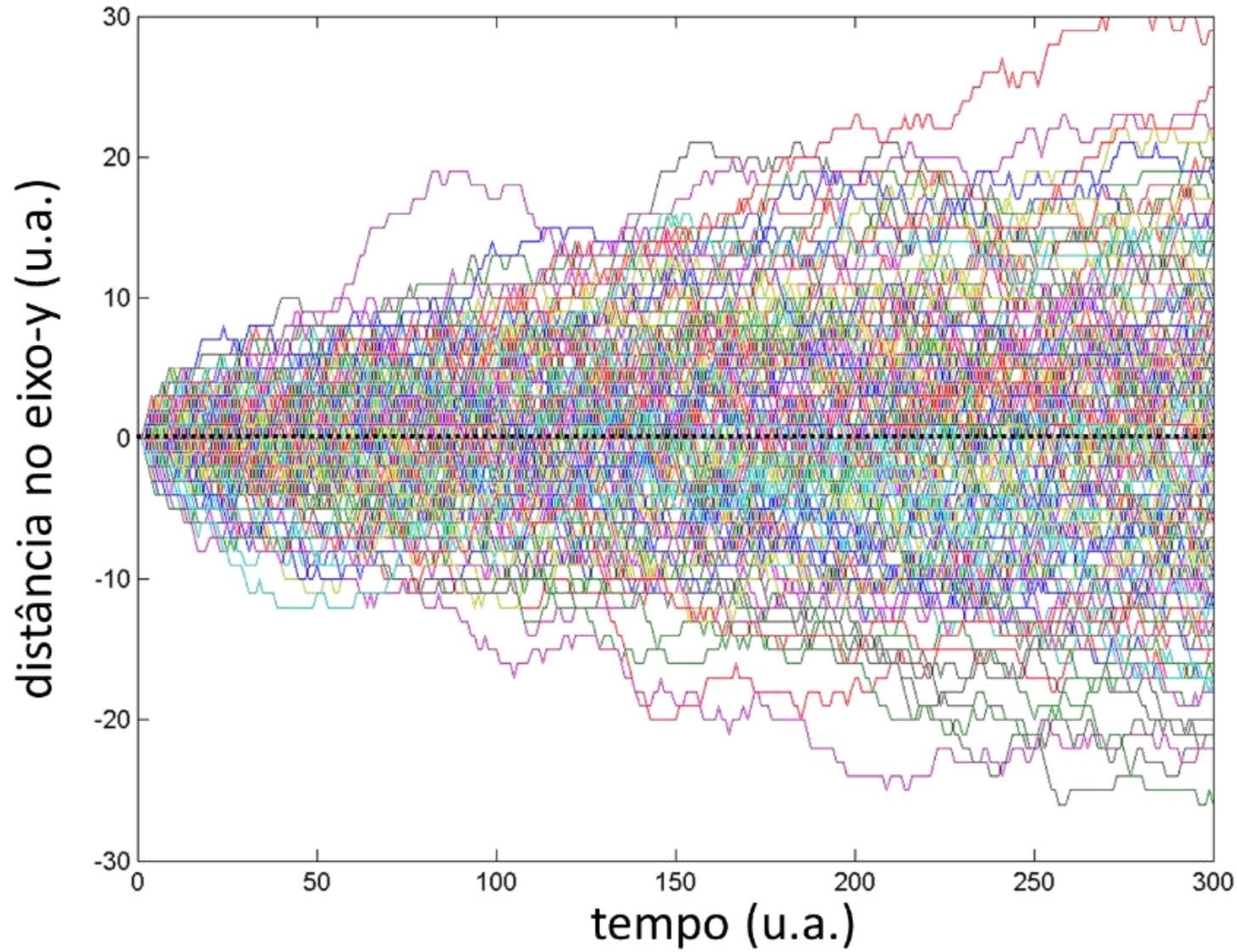
# A difusão

- O potencial químico de um composto é dado pela diferença de concentração deste.
- Contudo, diferentemente do potencial elétrico (ou eletromagnético) e do potencial gravitacional, não existe uma força ou curvatura que direciona o movimento.
- No caso do potencial químico, é o acaso que leva uma molécula de um ponto a outro do sistema (ou a sofrer uma reação e se transformar em outro composto)
- Com isto, a difusão é um processo lento para cobrir “grandes distâncias”

# Passeio aleatório de uma molécula



# Passeio aleatório de 300 moléculas



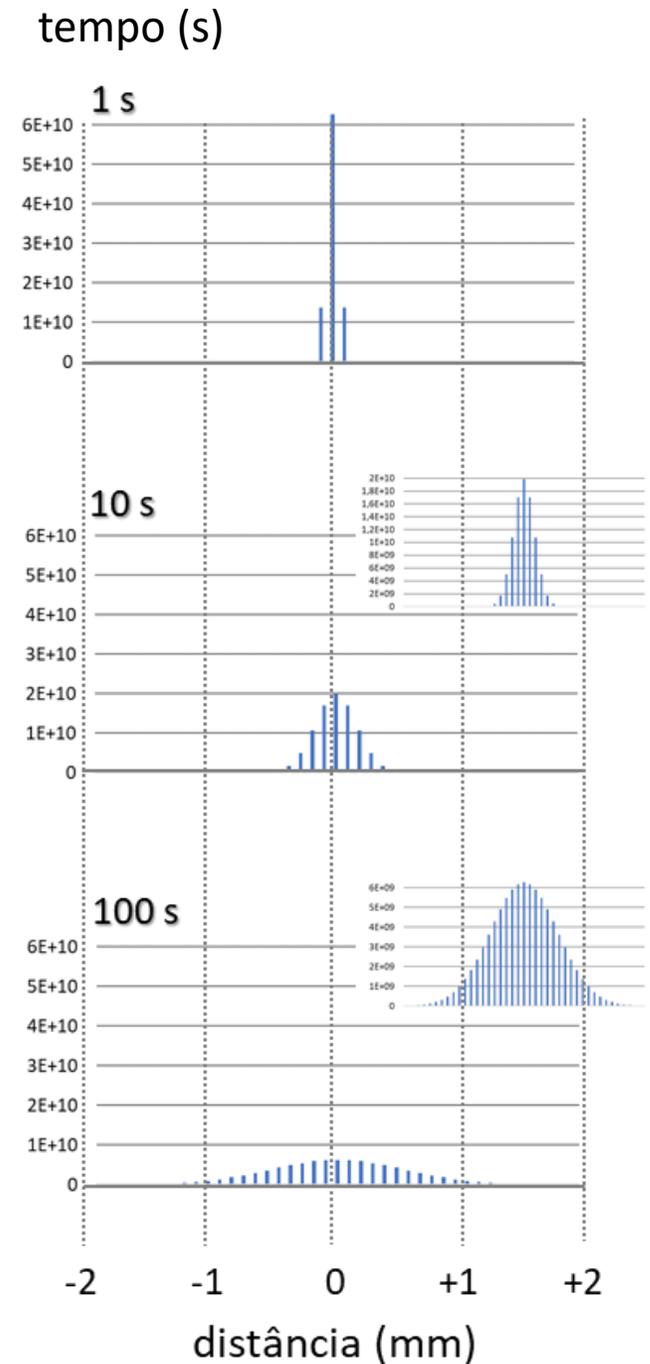
Equação de concentração de um composto X no tempo t e na distância s a partir de um foco inicial

$$[X](s, t) = \frac{X_{0,0}}{\sqrt{4 \cdot \pi \cdot D \cdot t}} \cdot e^{-\frac{s^2}{4 \cdot D \cdot t}}$$

# Simulação de moléculas de $O_2$ se difundindo a partir de um capilar central

Quantidade de partículas =  $9 \times 10^{10}$ , correspondente, aproximadamente, a 9 mM  $O_2$ , concentração aproximada de  $O_2$  dada por uma saturação de 100% da hemoglobina em sua concentração normal (ver Respiratório), em um volume de  $1,5 \times 10^{-11}$  litros (um cilindro de 5  $\mu\text{m}$  de raio com 200  $\mu\text{m}$  de comprimento).

**Logo, 1 mm para a difusão do oxigênio em um meio aquoso é uma “grande distância”.**

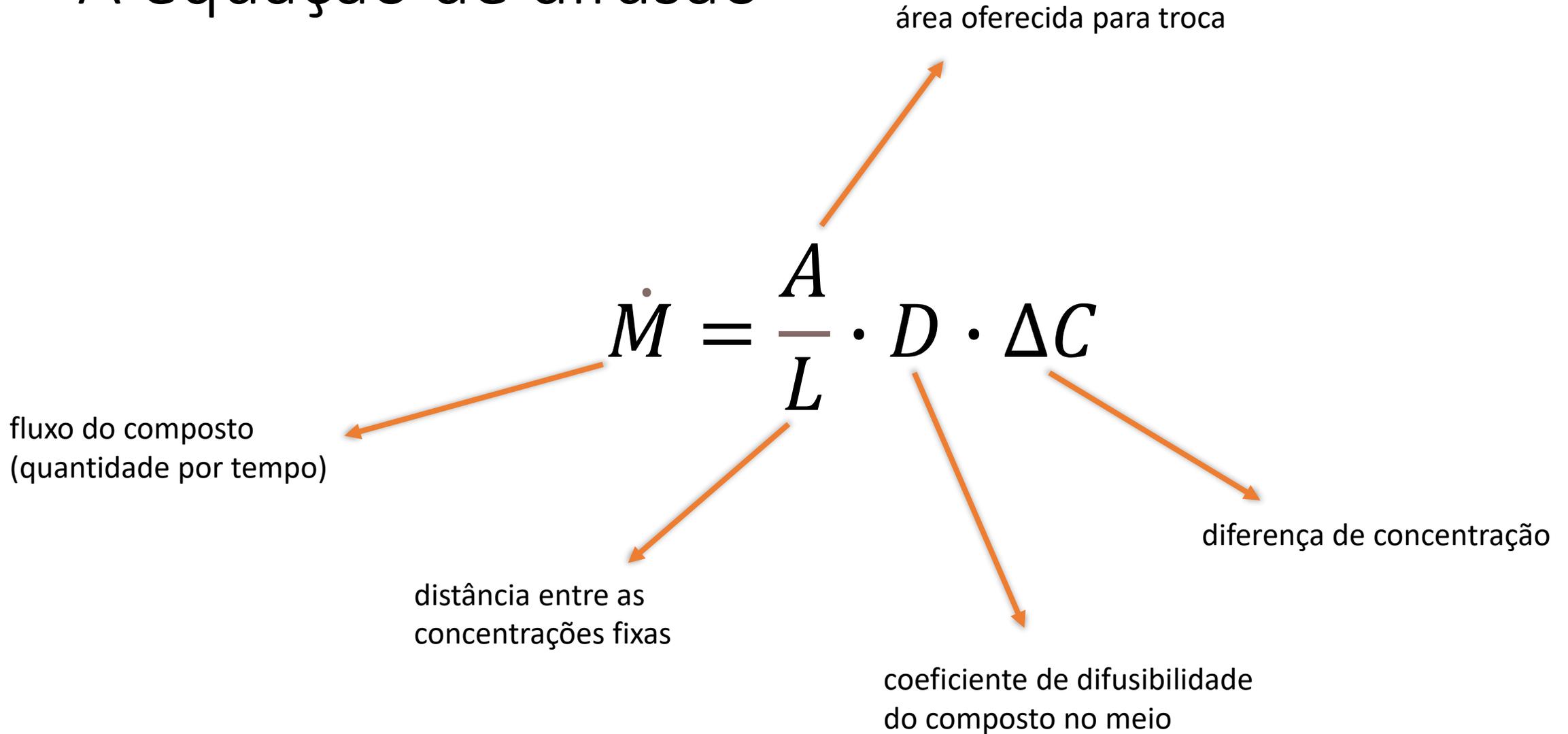


# De um processo estocástico (aleatório) para um determinístico

- Como há uma quantidade muito, muito, grande de partículas envolvidas no processo, a equação probabilística pode ser “transformada” em uma equação determinística, isto é, uma equação que não resulta numa probabilidade de se encontrar uma dada concentração num dado local num dado tempo mas, sim, numa “lei” que rege o processo de transferência das partículas entre dois locais.

$$[X](s, t) = \frac{X_{0,0}}{\sqrt{4 \cdot \pi \cdot D \cdot t}} \cdot e^{-\frac{s^2}{4 \cdot D \cdot t}} \quad \longrightarrow \quad \dot{M} = \frac{A}{L} \cdot D \cdot \Delta C$$

# A equação de difusão



# Formato geral

fluxo (J)

diferença de potencial (X)

$$\dot{M} = \frac{A}{L} \cdot D \cdot \Delta C$$

condutância (G)

# Formato geral

$$\text{fluxo (J)} = \text{condutância (G)} \cdot \text{diferença de potencial (X)}$$

$$\text{condutância (G)} = 1/\text{resistência (R)}$$

Formato geral

$$J = G \cdot X$$

$$X = R \cdot J$$

“1 mm” é uma grande distância ...

os coeficientes de difusão para a maior parte dos compostos biológicos de interesse se encontram na ordem de grandeza do coeficiente de difusão do oxigênio ( $10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ )

$$\dot{M} = \frac{A}{L} \cdot D \cdot \Delta C$$


**Assim, para metazoários, “1 mm” é uma grande distância para ser vencida por difusão**

Dois modos de escrever a mesma coisa

$$\dot{M} = \frac{A}{L} \cdot D \cdot \Delta C$$

$$\frac{dM}{dt} = \frac{A}{L} \beta D (\Delta P)$$

- A capacitância  $\beta$  é a variação de concentração por unidade de pressão

$$\beta \cdot \Delta P = \Delta C$$

# Problema

$$\frac{dM}{dt} = \frac{A}{L} \beta D (\Delta P)$$

- Considerando a equação de difusão, vamos estimar o número de capilares  $N$  em um ser humano adulto. Considere que os capilares nos diversos tecidos possam ser representados por um capilar cilíndrico médio, que tem raio de 5 micrometros ( $5 \times 10^{-6}$  m) e comprimento  $x$ . A pressão parcial de  $O_2$  no sangue arterial é de 100 torr, o coeficiente de difusão do oxigênio é de  $1,64 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s, a capacitância dos fluidos é de  $1,69 \times 10^{-3}$  mol de  $O_2$ /(m<sup>3</sup> torr). Considere que a distância difusiva do capilar às células seja metade do comprimento do capilar. O consumo de oxigênio em repouso é de 300 mililitros por minuto, o que é, aproximadamente,  $2,3 \times 10^{-4}$  mol de  $O_2$  por segundo. (a) Qual é a estimativa para  $N$ ? (b) Qual o valor para a quantidade de capilares dada pela literatura científica?

# Solução

$$\dot{V}_{O_2} = N \cdot \frac{A}{dist} \cdot D \cdot \beta \cdot \Delta P$$

isto é o que ocorre no conjunto das unidades

isto é o que ocorre em uma unidade

$$\frac{A}{dist} = \frac{2 \cdot \pi \cdot r \cdot x}{\frac{1}{2} \cdot x} = 4 \cdot \pi \cdot r$$

$$N = \frac{2,3 \cdot 10^{-4}}{100 \cdot 1,69 \cdot 1,64 \cdot 20 \cdot \pi \cdot 10^{-18}} = 12 \cdot 10^9$$

# Conclusões

*A lentidão para grandes distâncias decorre de o processo difusivo ser um processo de caráter aleatório, sem direcionalidade no movimento das partículas.*

*Inerentemente, o nível microscópico as trocas se dão por difusão.*

Por esses motivos, a seleção natural de metazoários em geral implicou na formação de sistemas de transporte convectivo, como os sistemas respiratório, circulatório e digestório. As duas características básicas destes sistemas são a direcionalidade dada ao transporte de grandes quantidades de matéria e a enorme ramificação, a qual aproxima, então, os meios que realizam trocas, não havendo, assim, “grandes distâncias”.