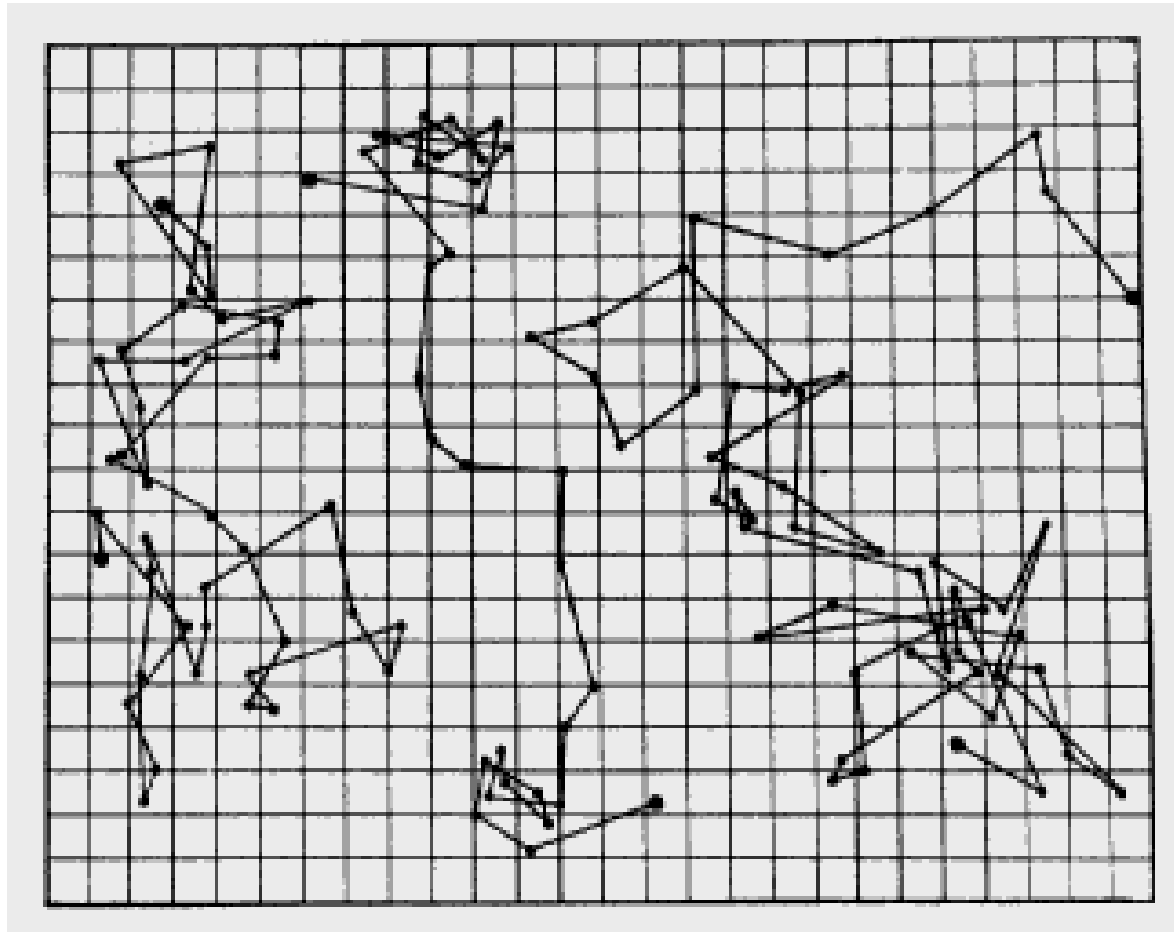


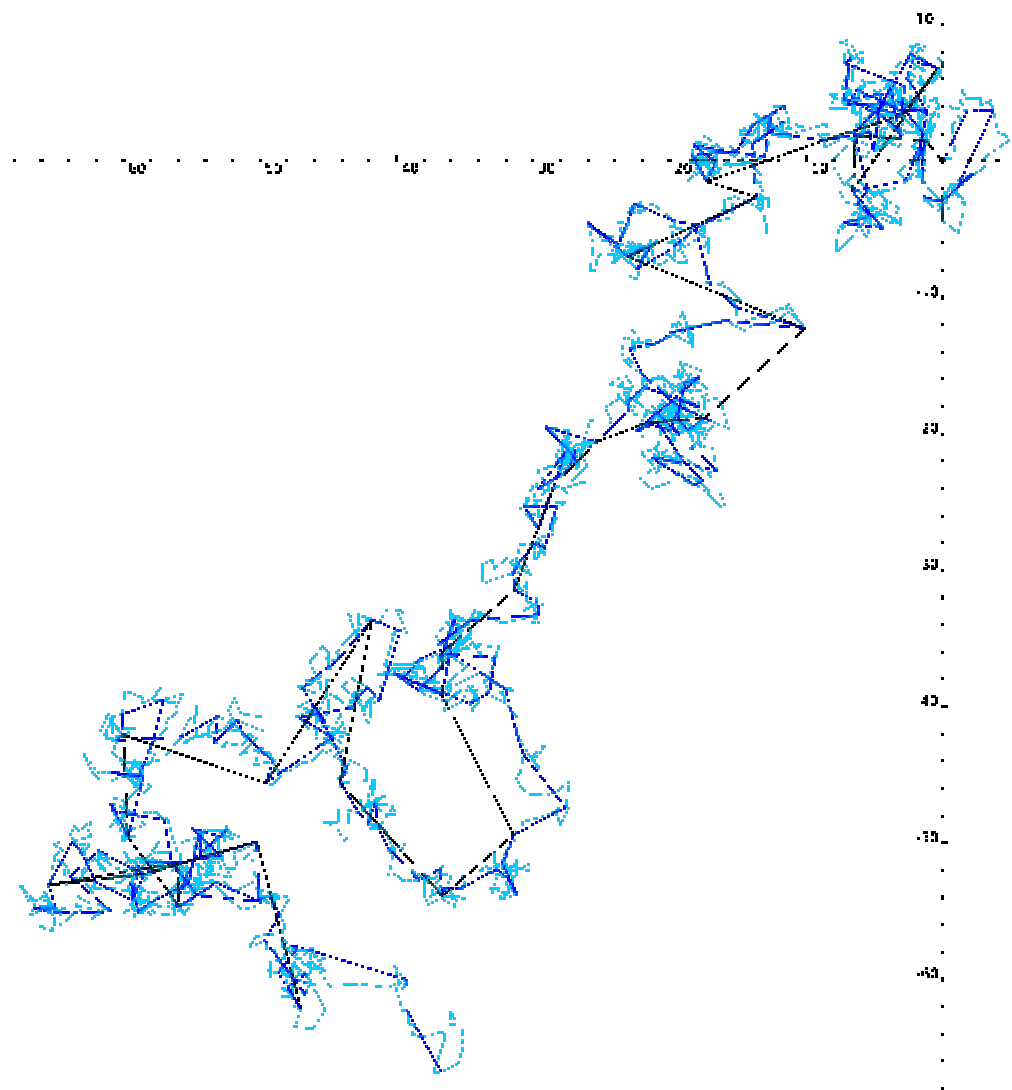
Propriedades cinéticas

- **Os movimentos das partículas são de translação, de rotação e de oscilação, ou vibração.**
- **Fenômenos de transporte: difusão, sedimentação, convecção, eletroforese, entre outros.**
- **Três diferentes locais, em qualquer sistema: a fase dispersa, a fase contínua e a interface.**

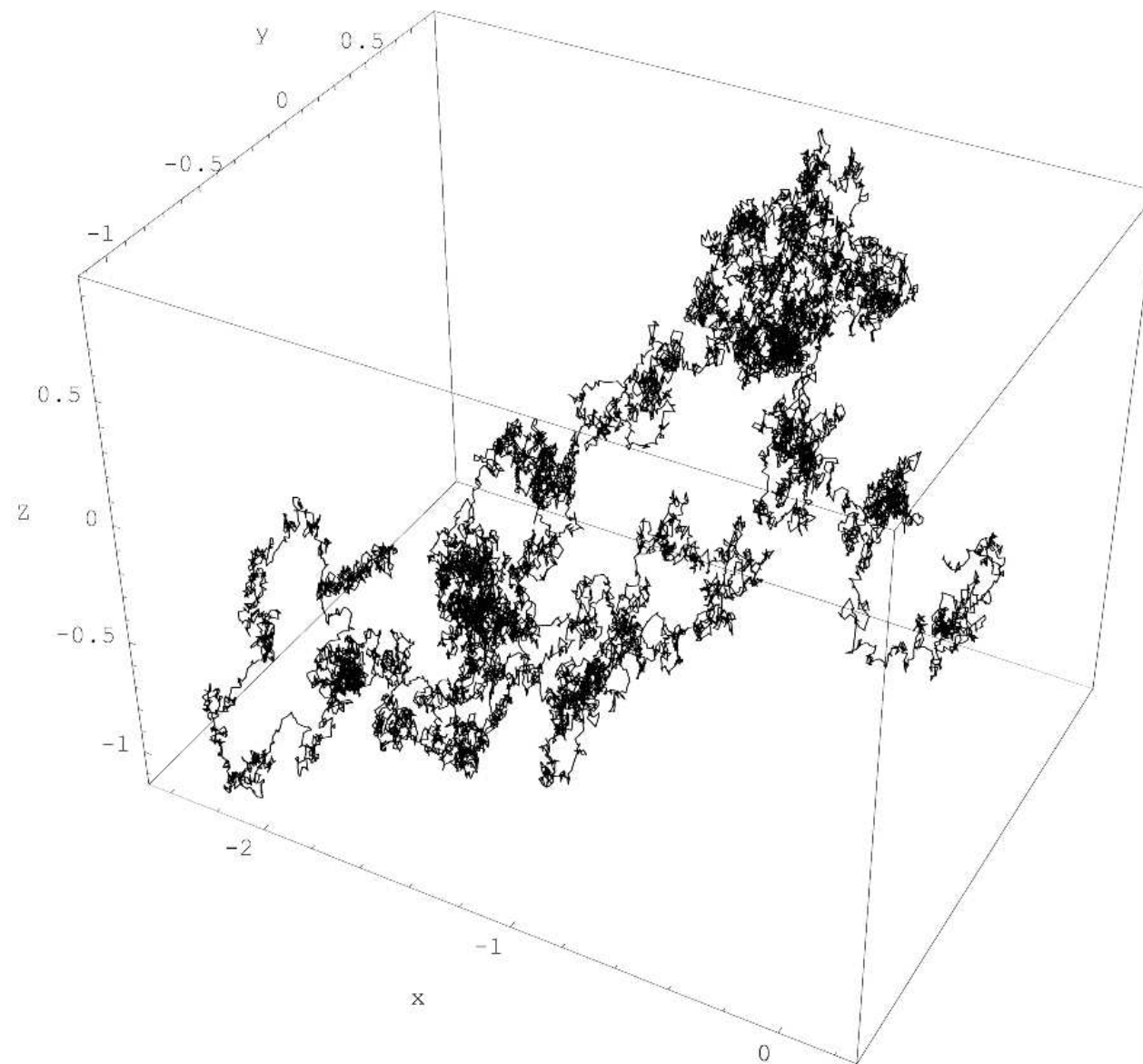


Reproduced from the book of Perrin, *Les Atomes*, three tracings of the motion of colloidal particles of radius $0.53\mu\text{m}$, as seen under the microscope, are displayed. Successive positions every 30 seconds are joined by straight line segments (the mesh size is $3.2\mu\text{m}$).

http://en.wikipedia.org/wiki/Brownian_motion



Three different views of Brownian motion, with 32 steps, 256 steps, and 2048 steps denoted by progressively lighter colors.



História

- ... [Lucretius](#)'s scientific poem [On the Nature of Things](#) (c. 60 BC) has a remarkable description of Brownian motion of dust particles. ... as a proof of the existence of atoms: "Observe what happens when sunbeams are admitted into a building and shed light on its shadowy places. moved by blows that remain invisible." ... the mingling motion of dust ... is caused ... air currents, the glittering, tumbling motion of small dust particles is indeed caused chiefly by true Brownian dynamics.
- [Jan Ingenhousz](#) had described the irregular motion of [coal dust](#) particles on the surface of [alcohol](#) in 1785. Nevertheless Brownian motion is traditionally regarded as discovered by the botanist [Robert Brown](#) in 1827. It is believed that Brown was studying [pollen](#) particles floating in water under the microscope. He then observed minute particles within the vacuoles of the pollen grains executing a jittery motion.
- The first person to describe the mathematics behind Brownian motion was [Thorvald N. Thiele](#) in 1880 in a paper on the method of least squares. This was followed independently by [Louis Bachelier](#) in 1900 in his PhD thesis "The theory of speculation", in which he presented a stochastic analysis of the stock and option markets. However, it was [Albert Einstein](#)'s (in his [1905 paper](#)) and [Marian Smoluchowski](#)'s (1906) independent research of the problem that ... presented it as a way to indirectly confirm the existence of atoms and molecules.

Difusão

- Teoria cinética da matéria: as partículas coloidais movimentam-se aleatoriamente, brownianamente.
- *Autodifusão*, em um meio uniforme
- *Difusão*, em gradientes de concentração
- As principais leis e idéias que devemos considerar são
 - as leis de Fick, de aplicabilidade muito geral
 - as características do movimento de cadeias, e as consequências do seu entrelaçamento
 - a importância da viscosidade, e a noção de microviscosidade
 - a noção de *acoplamento de fluxos*, e a sua formulação através da termodinâmica de não-equilíbrio, na aproximação linear.
- http://highered.mcgraw-hill.com/sites/0072495855/student_view0/chapter2/animation__how_diffusion_works.html

As leis de Fick, da difusão

Primeira:

$$J = -D \frac{\partial c}{\partial x}$$

Segunda:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}$$

J é o fluxo, ou densidade de corrente de massa, com dimensões de kg/m²s.

x é a coordenada espacial normal à superfície atravessada pelas moléculas ou partículas que difundem.

O coeficiente de difusão é D.

Duas relações úteis: equações de Stokes e de Einstein

- Stokes: $D = kT/f$, onde f é o coeficiente de atrito
 - no caso de partículas esféricas, $f = 6\pi\eta a$, sendo η a viscosidade do meio, e a o raio
- Einstein: a distância média $\langle x \rangle$ percorrida pelas partículas depois de transcorrido o tempo t é $\langle x \rangle = (2Dt)^{1/2}$

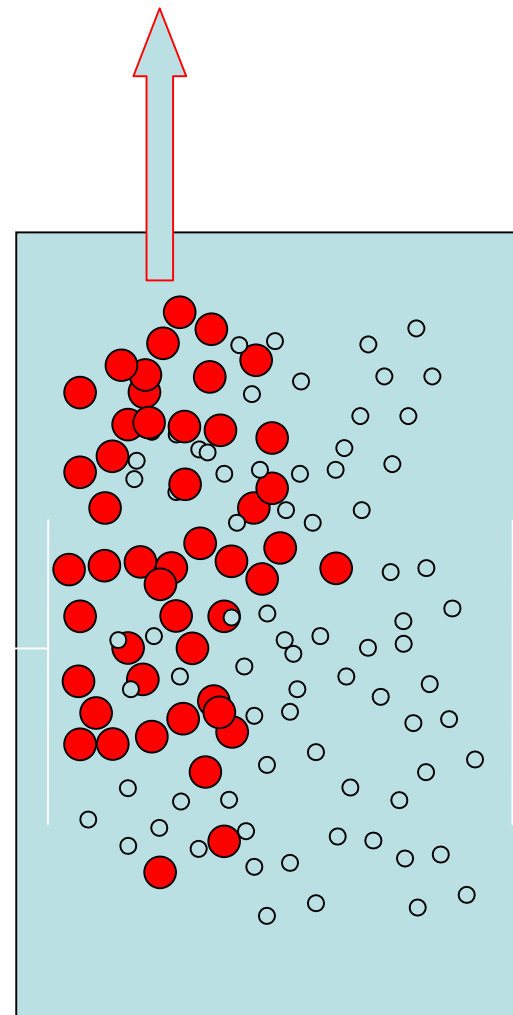
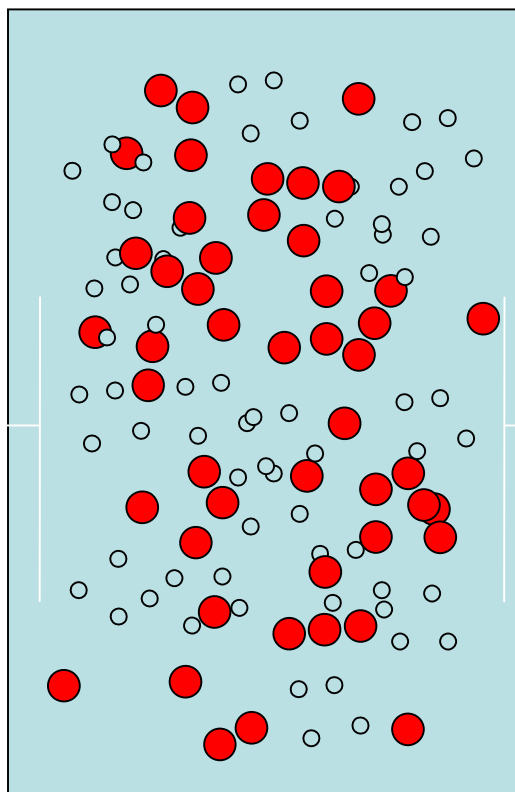
Valores típicos de D

- $10^{-5} \text{ cm}^2 \text{ seg}^{-1}$ (no caso de moléculas pequenas a temperatura ambiente em líquidos pouco viscosos)
- 10^{-10} , no caso de moléculas e partículas grandes
- A difusão permite a miscibilização de substâncias, mas só em uma escala de tempo muito lenta.
- Convecção e agitação são muito mais efetivas.

Acoplamento de fluxos

- Termodinâmica de não-equilíbrio, na sua aproximação linear: *acoplamento de fluxos, ou de correntes* (Onsager, Katchalski).
- Efeitos termoelétricos (Peltier, Seebeck)
- Fluxo de massa associado a um fluxo de calor, ou *difusão térmica*; fluxo de uma espécie i associado ao fluxo de uma espécie j ; corrente elétrica associada a correntes (de massa) de íons
- Eletrodecantação e o látex da seringueira

Eletrodecantação



Movimento de cadeias e entrelaçamento

- Cadeias poliméricas movem-se, seja no estado sólido acima de T_g , seja em solução.
- *Reptação*, movimento (de um réptil) através de elementos de *volume livre* no sólido.
- Em fase líquida, dois regimes, : diluído ($c < \text{concentração crítica}$) e semi-diluído (grande aumento na viscosidade do meio).
- Concentração muito elevada, todas as cadeias entrelaçadas formando uma rede tridimensional: *gel*.

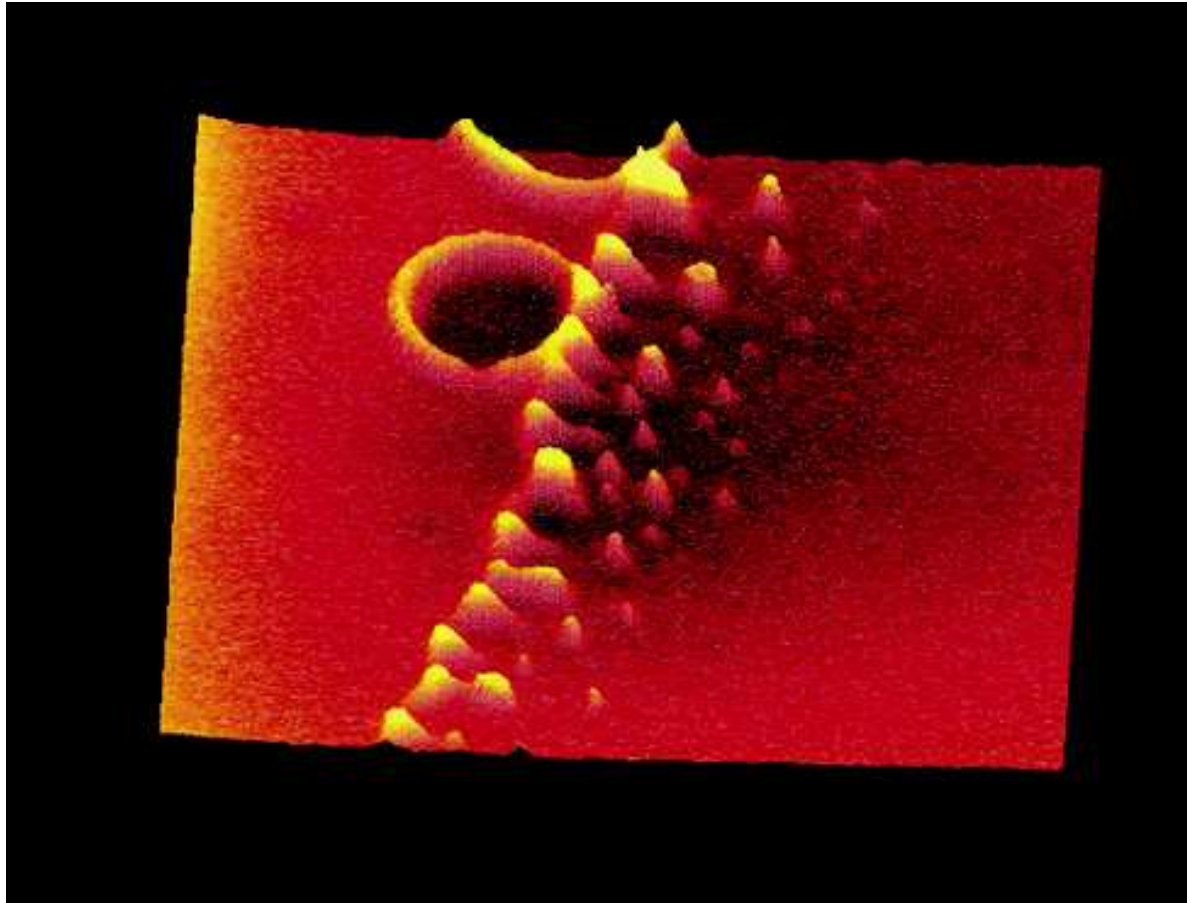
Viscosidade e microviscosidade

- **O fato: a difusão de um íon ou molécula pequenos pode ser tão rápida em água, quanto em uma solução de polímero (muito viscosa) ou mesmo em um gel.**
- **A interpretação: as moléculas pequenas movem-se, quase todo o tempo, como se estivessem em água - só em alguns momentos estarão colidindo com segmentos de macromoléculas.**

Não-linearidade

- Sob gradientes de concentração elevados a transferência de massa não segue as leis de Fick, e surgem efeitos de *não-linearidade*.
- Formação de "dedos" (*fingering*): existe a interdigitação de dois líquidos em contacto, formando uma interface curva, sinuosa e às vezes bastante complexa.
- Está em *aparente* contradição com a ideia da minimização da área interfacial. É um exemplo simples e claro da possibilidade de *formação de estruturas* em um sistema fora do equilíbrio.

“Fingering”



- I. Leizerson, S. G. Lipson and A. V. Lyushnin, Finger Instability in Wetting–Dewetting Phenomena, *Langmuir*, 2004, 20 (2), pp 291–294

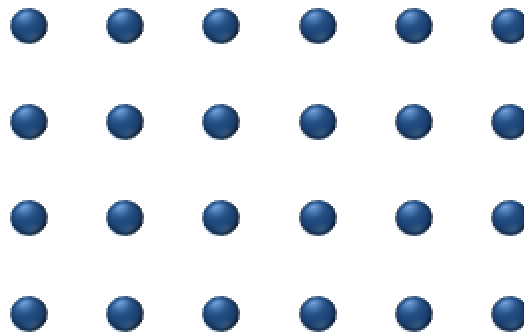
http://www.vi-anec.de/Trance-Art/Evo-Kunst/Evo-Kunst-Beschreibungen/SelbstorgMalerei_e.html



Injeta-se um líquido pouco viscoso em uma lâmina de um outro líquido, mais viscoso, contido entre duas folhas de vidro.

Difusão em superfícies

- http://en.wikipedia.org/wiki/Surface_diffusion





Monitoramento de partículas

<http://www.nanosight.co.uk/>

NANOSIGHT

...seeing is believing

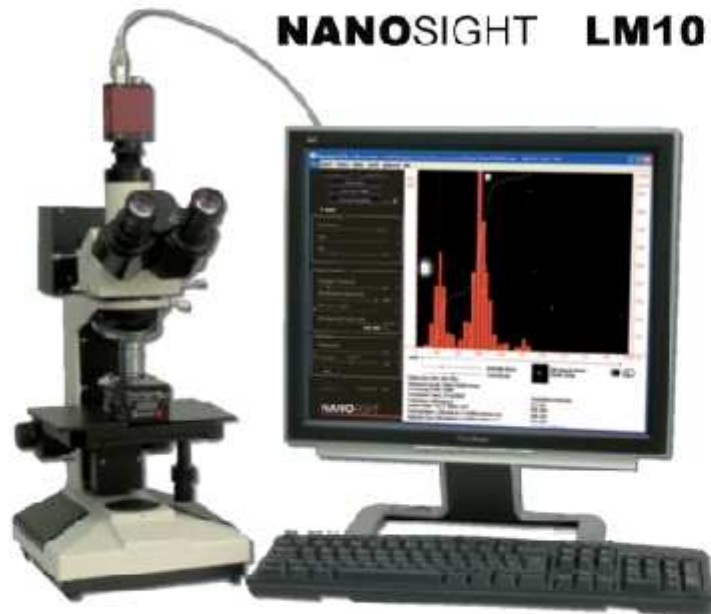


E: admin@nanosight.co.uk

T: +44 (0)1722 349439

Products

The NanoSight LM range of products is designed to offer robust, cost-effective solutions for the visualisation and characterisation of nanoparticles.

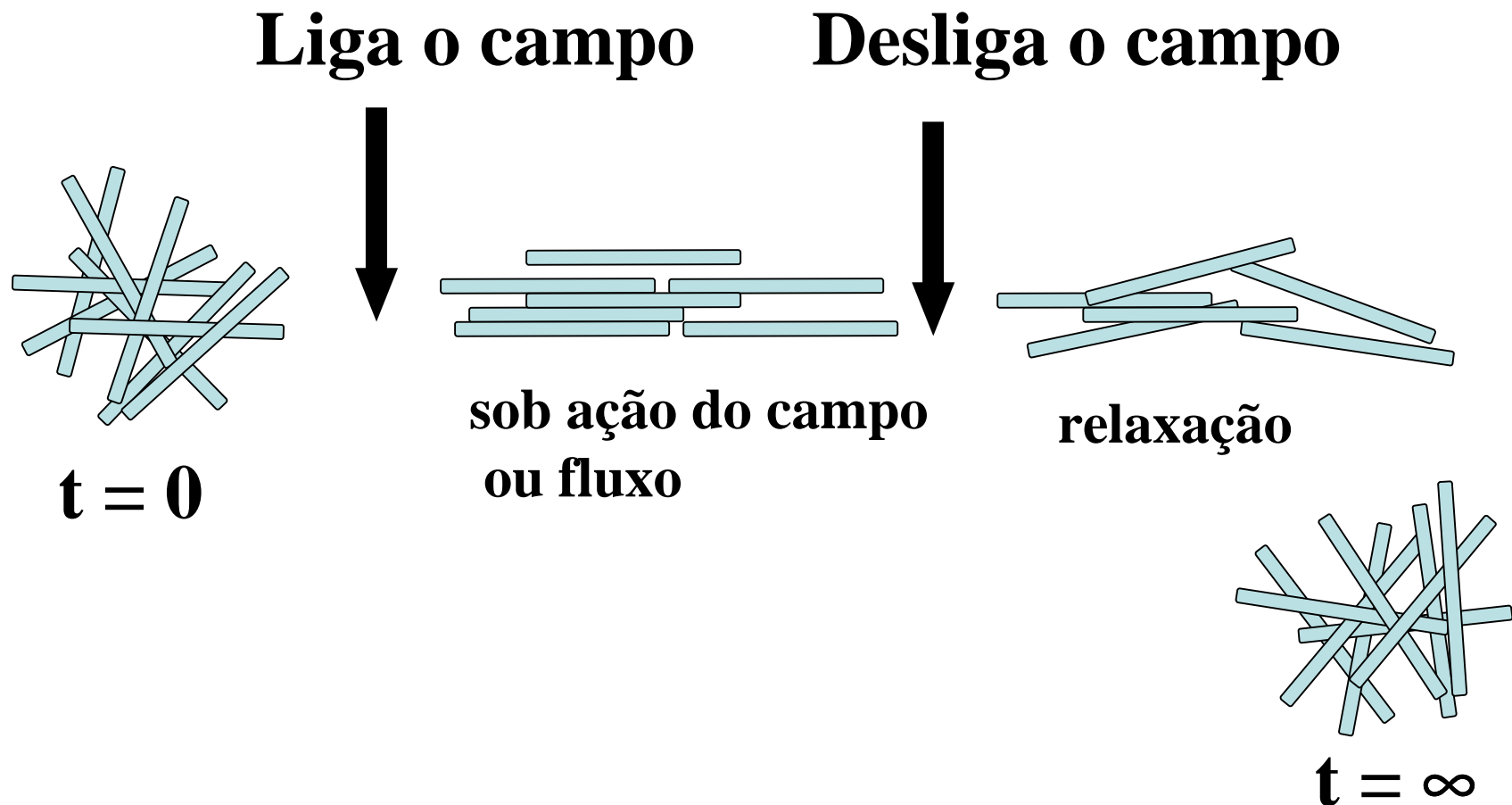


The LM10 and LM20 systems enable users to view the sample under analysis and use our **Nanoparticle Tracking Analysis (NTA)** technology to calculate the particle size and size distribution.

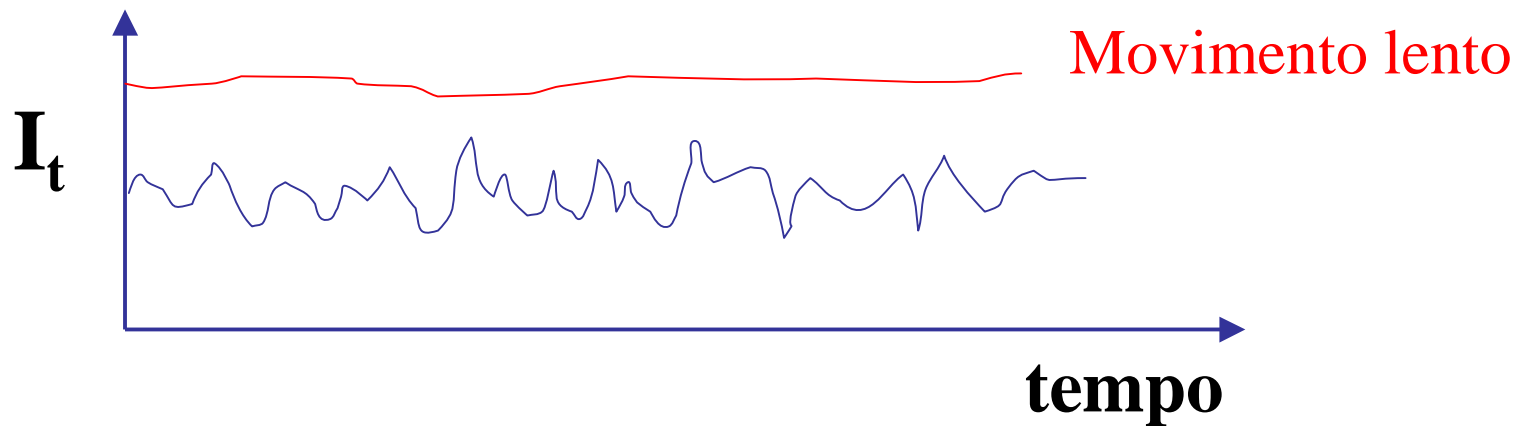
Difusão Rotacional

- Além de transladar, partículas também giram, portanto há uma *difusão rotacional*.
- Pode ser medida usando várias técnicas: viscosidade não-Newtoniana, relaxação dielétrica, despolarização de fluorescência, birrefringência elétrica e de fluxo, NMR.

Orientação em campo ou fluxo: difusão rotacional



Determinação experimental de
coeficientes de autodifusão.
Espalhamento de luz dinâmico.



$$G_{\phi}(\tau) = \left\langle e^{-iqr(t)} e^{iqr(t+\tau)} \right\rangle$$
$$= \exp(-Dq^2t)$$

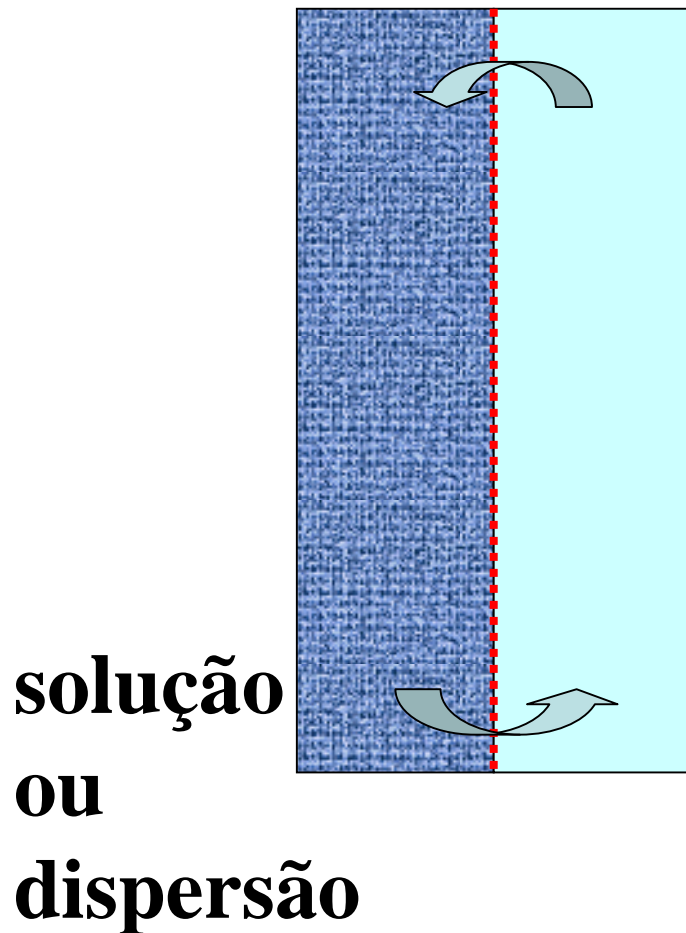
Sedimentação em meio contínuo

- Velocidade de sedimentação (estacionária)
 - $v = (\text{peso (de flutuação)} / \text{atrito com o meio})$
 - pequena para partículas micrométricas, imperceptível para as nanométricas
 - permite determinação do raio das partículas
- Equilíbrio de sedimentação
 - segue a equação barométrica
 - só é atingido em tempos razoáveis (1 hora), em colunas muito curtas (1 mm) de líquido

Difusão e sedimentação sob gravidade

| Raio/m | $D/\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$ | $\langle x \rangle/\text{m}$ | $S/\text{m s}^{-1}$ |
|-----------|-------------------------------|------------------------------|--|
| 10^{-9} | $2,1 \cdot 10^{-10}$ | $1,23 \cdot 10^{-3}$ | $2,2 \cdot 10^{-12}$ |
| 10^{-8} | $2,1 \cdot 10^{-11}$ | $3,9 \cdot 10^{-4}$ | $2,2 \cdot 10^{-10}$ |
| 10^{-7} | $2,1 \cdot 10^{-12}$ | $1,23 \cdot 10^{-4}$ | $2,2 \cdot 10^{-8}$ |
| 10^{-6} | $2,1 \cdot 10^{-13}$ | $3,9 \cdot 10^{-5}$ | $2,2 \cdot 10^{-6}$ (8 mm h ⁻¹) |
| 10^{-5} | $2,1 \cdot 10^{-10}$ | | $2,2 \cdot 10^{-4}$ |

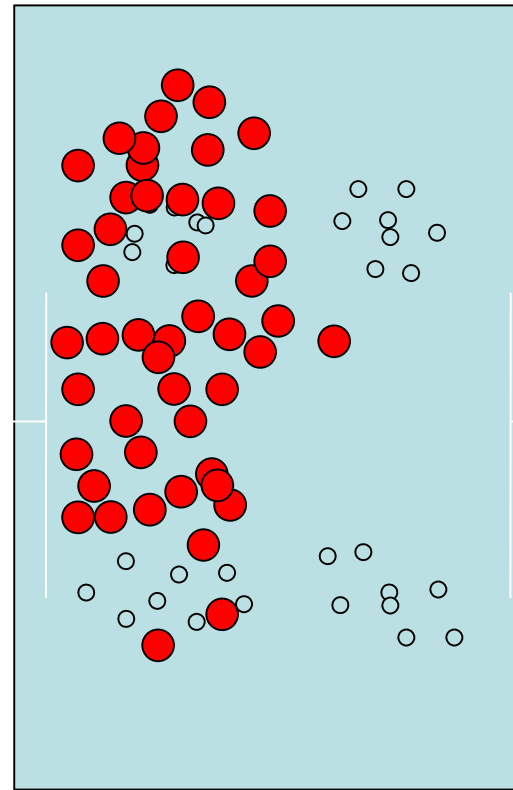
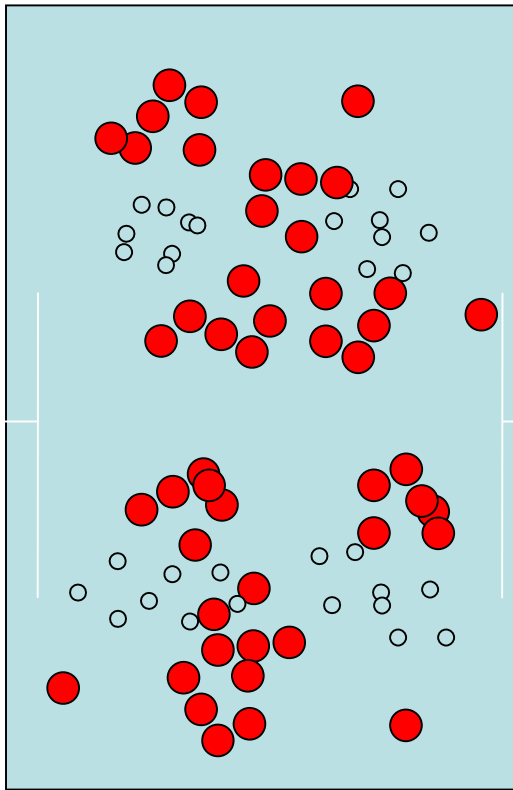
Osmosedimentação



**Solvente
flui para a dispersão no
topo da célula (osmose) e
da dispersão no fundo da
célula.**

**Resultado: equilíbrio de
sedimentação, atingido em
uma fração do tempo de
sedimentação**

Eletrodecantação

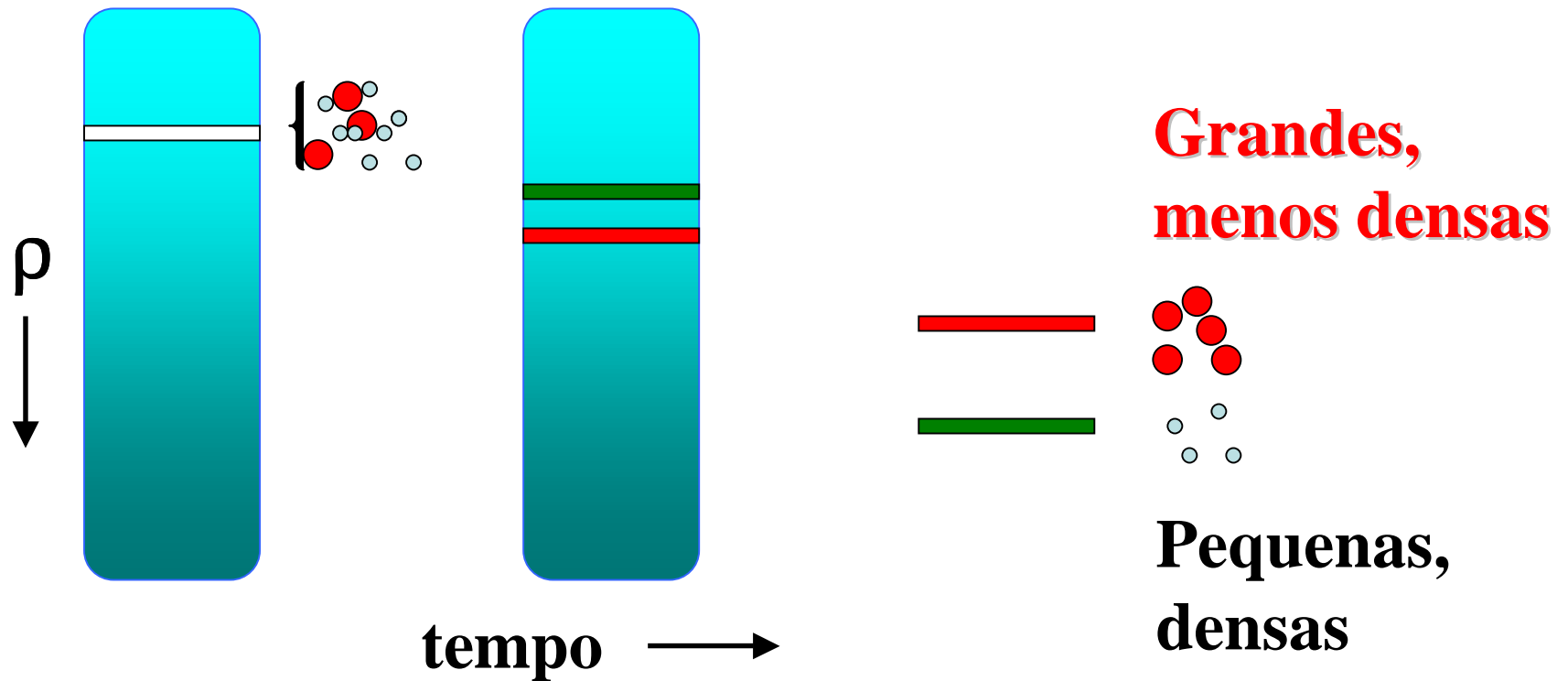


Sedimentação em gradiente de densidade

- **Velocidade de sedimentação**
 - determinada em centrífuga
 - permite determinação do raio das partículas
- **Equilíbrio de sedimentação isopícnico**
 - partículas sedimentam até atingirem a densidade de equilíbrio
 - serve para separar partículas segundo as suas densidades (e portanto composições químicas)

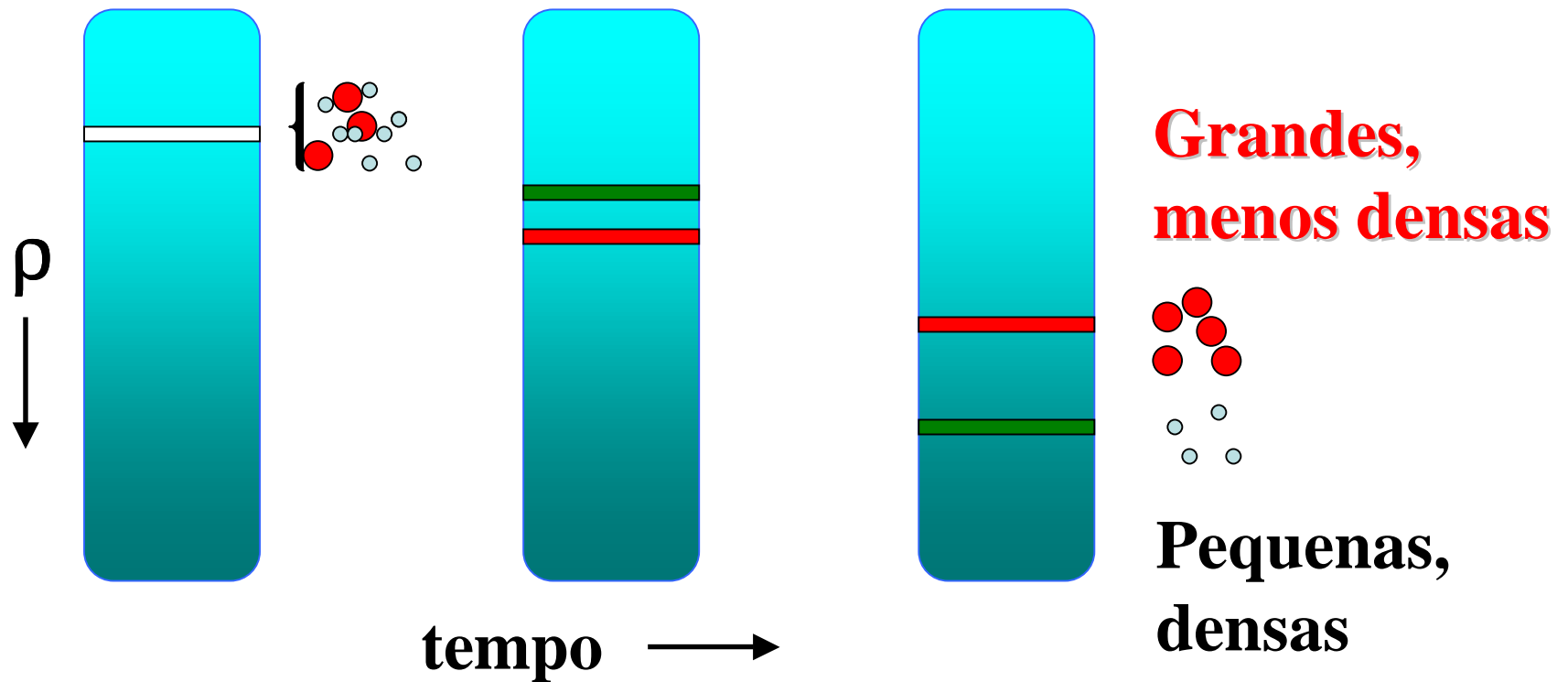
Sedimentação em gradientes de velocidade

- Separação de uma mistura de partículas



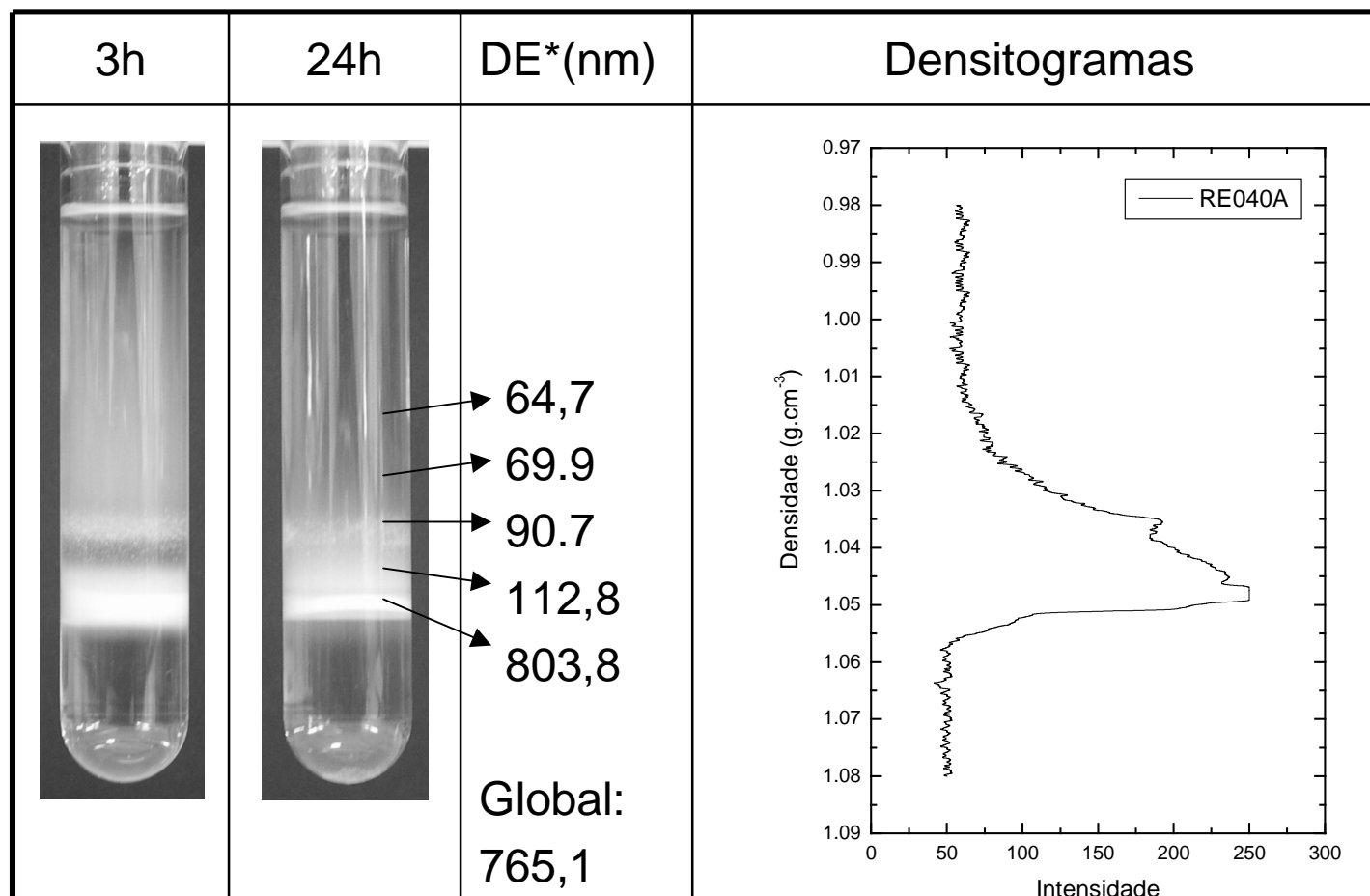
Sedimentação em gradientes de velocidade

- Separação de uma mistura de partículas



Resultados de gradiente de densidade do látex RE040A

◆ Nonilfenol com 4 EO*



✓ DE = diâmetro efetivo

✓ EO = número de moles de óxido de eteno por
molécula de tensoativo

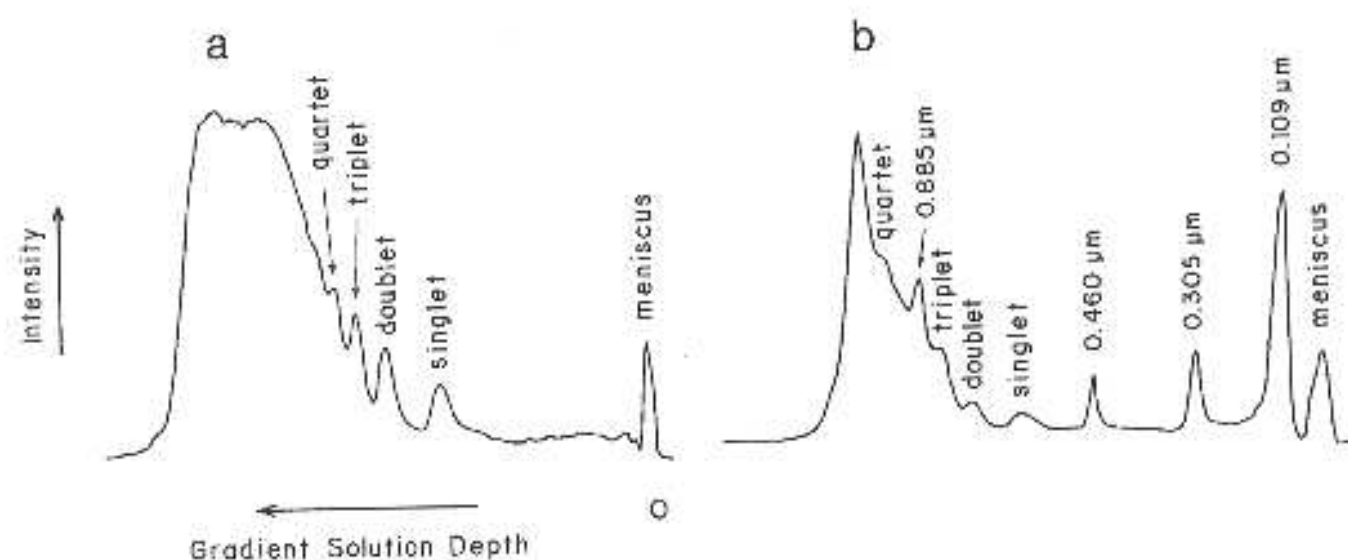


FIG. 1. Scattered light scan of centrifugation tubes containing (a) a latex sample coagulated in 0.50 mol/L NaCl after centrifugation in a density gradient and (b) the same gradient tube used in (a) but after layering a mixture of calibration latexes on top of the solution column and further centrifugation, in the same conditions.

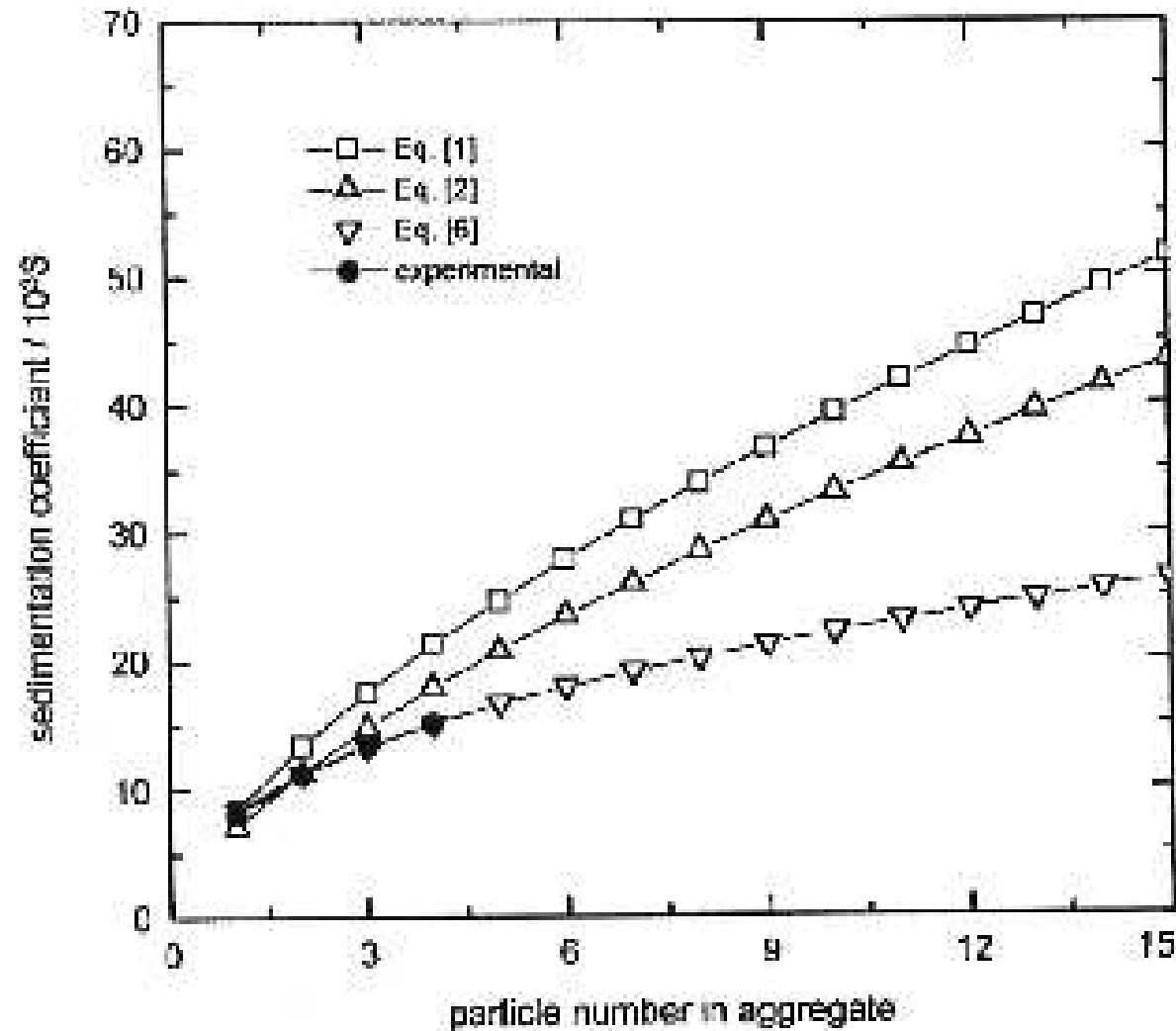


FIG. 2. Sedimentation coefficients of PS latex aggregates, calculated using Eqs. [1], [2], and [6] and the experimental values for the singlets, doublets, triplets, and quartets.

Eq 6:

$$R=n^{1/D_r}$$

S

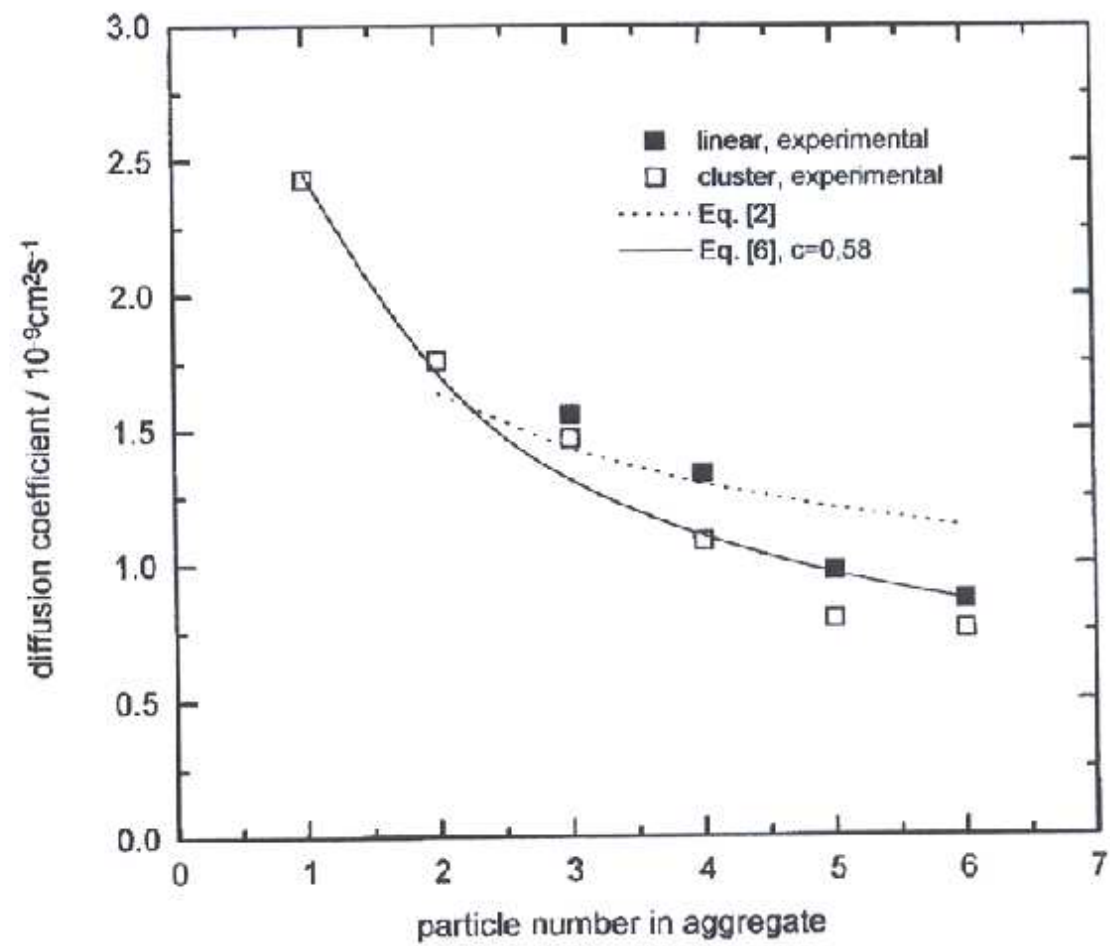
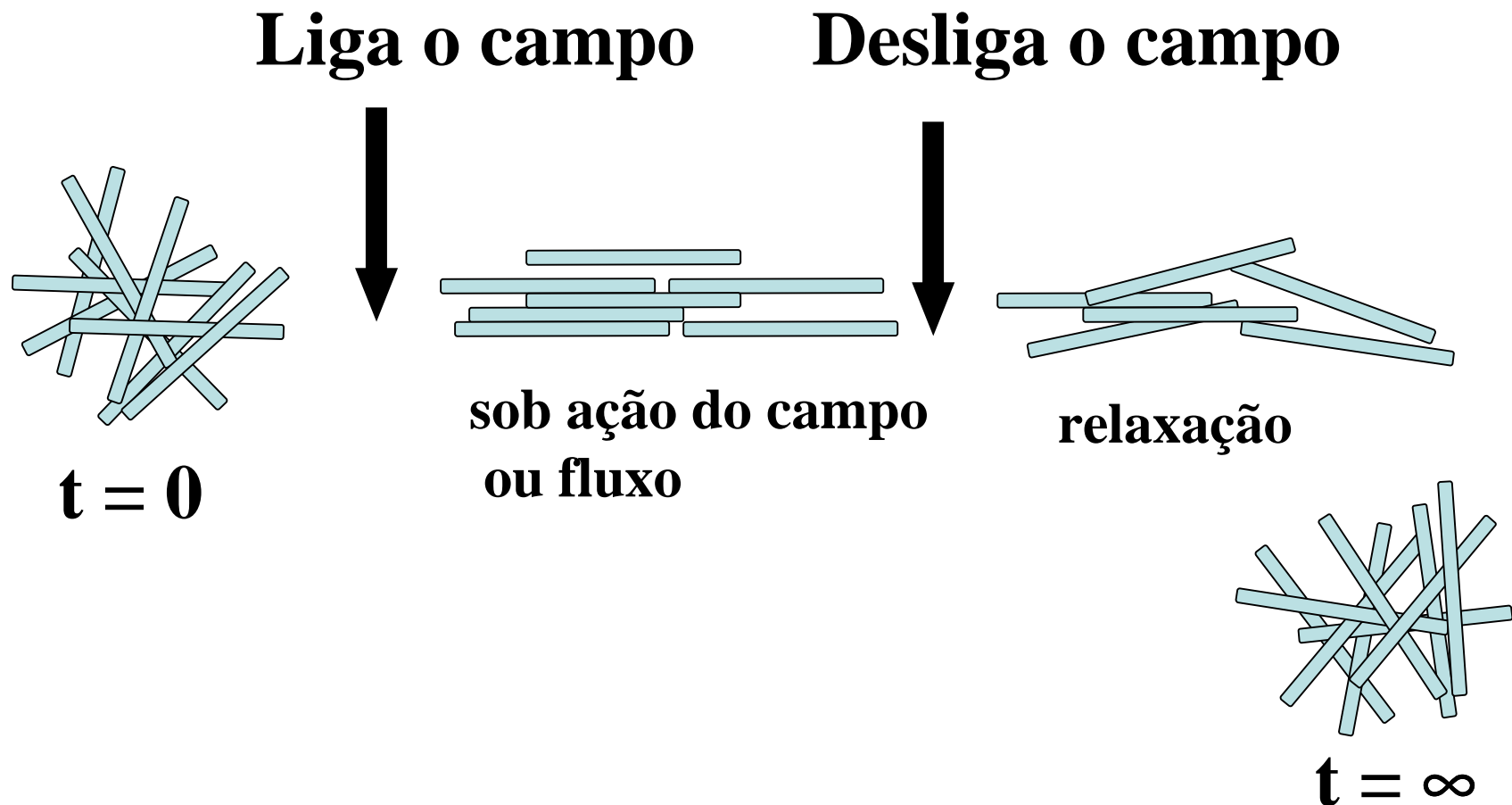


FIG. 3. Dependence of the diffusion coefficients on aggregate particle numbers. Experimental data from Ref. (2); curve calculated using Eqs. [2] and [6].

Difusão Rotacional

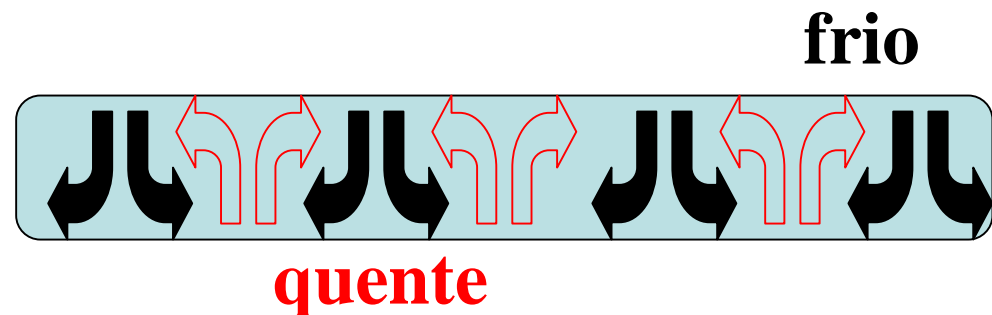
- Além de transladar, partículas também giram, portanto há uma *difusão rotacional*.
- Pode ser medida usando várias técnicas: viscosidade não-Newtoniana, relaxação dielétrica, despolarização de fluorescência, birrefringência elétrica e de fluxo, NMR.

Orientação em campo ou fluxo: difusão rotacional



Convecção

- Movimento vertical, devido a gradientes de densidade
- Causado por desuniformidades de concentração ou temperatura
- Produz vários tipos de estruturas, p. ex. as células de Bénard



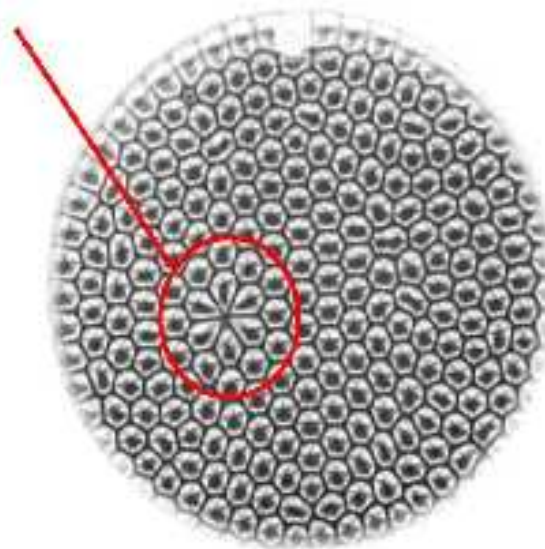
Rayleigh-Benard Convection Cells

This type of convection pattern occurs in a relatively **shallow layer** - this could mean a layer of fluid **1 millimeter** thick in a petri dish, or the first 2 kilometers of the Earth's atmosphere.

Perfect Conditions, Perfect Pattern (Almost!)

Under the right conditions, convection cells will take the shape of hexagons. Why don't we see hexagon-shaped clouds in the sky? Take a look at the picture to the right, and notice the small glitch in the pattern. It was later discovered that there was a tiny dent in the copper plate under the fluid. This tells us that the pattern is very sensitive to the bottom surface.

Think about our earth - it's surface has millions of dents and bumps in the form of mountains, valleys, canyons, and more. All of these surface features affect the convection patterns in the atmosphere.



Fluid in Motion



This picture shows a time lapse view of Rayleigh-Benard cells. The picture was taken over ten seconds, so the aluminum flakes in the fluid look like long trails instead of small particles. This helps to visualize how the fluid is moving: up through the center of the cell, then spreading out and sinking at the edges of the cell.

<http://www.etl.noaa.gov/about/eo/science/convection/RBCells.html>

Defeito no recipiente

