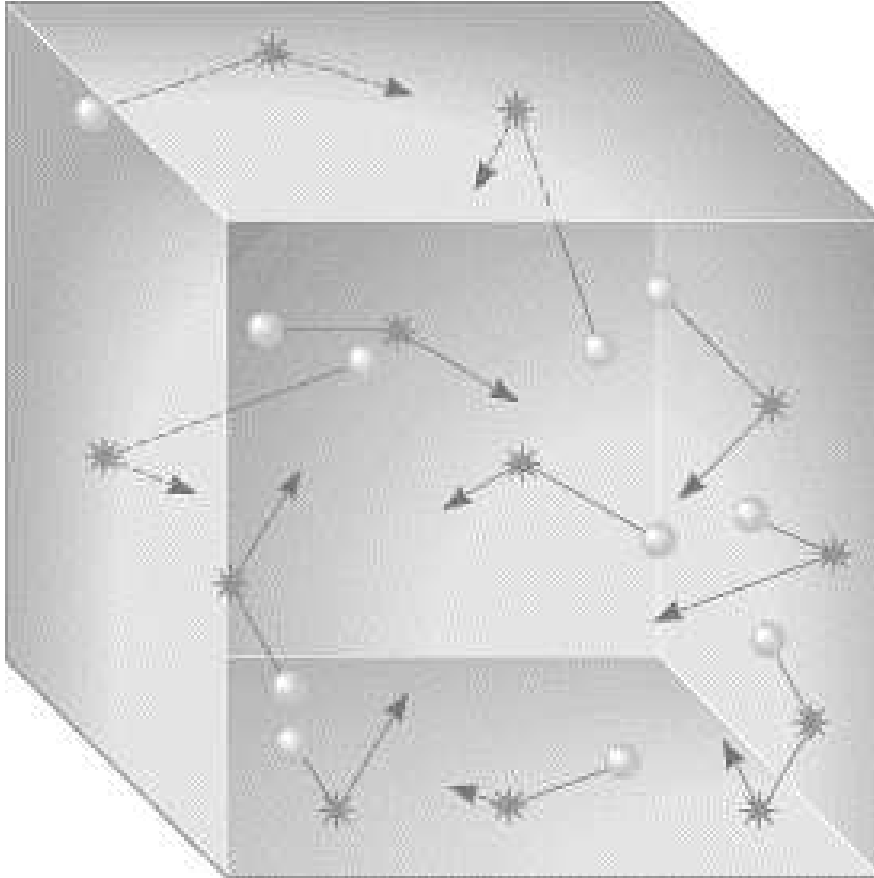


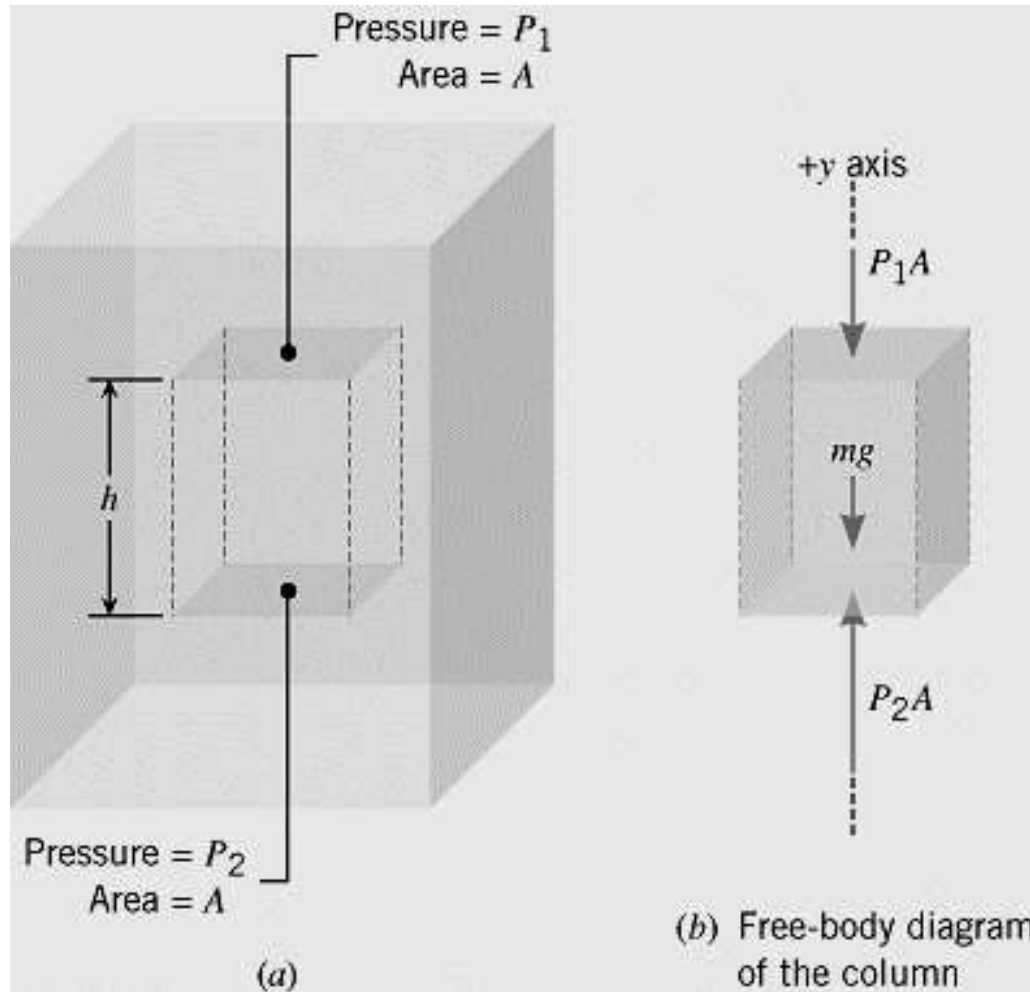
Aula passada



The pressure that a fluid exerts is caused by the impact of its molecules on the walls of the container.

$$P = \frac{F}{A}$$

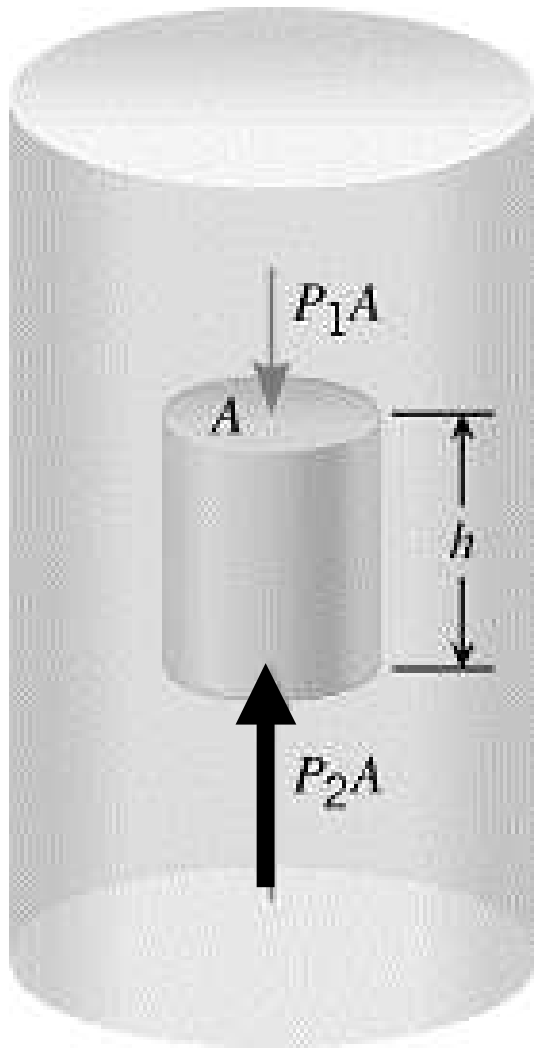
SI unit: Pa = N/m²



The free-body diagram, showing the vertical forces acting on the column.

$$\sum F_y = P_2A - P_1A - mg = 0, \text{ or } P_2 = P_1 + \frac{mg}{A} = P_1 + \frac{\rho hAg}{A}$$

$$P_2 = P_1 + \rho hg$$



$$P_2 - P_1 = \rho g h$$

Empuxo $F = \Delta P A = \rho g h A = \rho V g =$
 mg

= a força peso do líquido deslocado.

Viscosidade

Background

***Viscosidade* é uma propriedade interna de um fluido, relacionada ao fato deste opor uma resistência ao movimento (fluxo).**

Esta resistência pode ser imaginada como uma força de atrito agindo entre as partes de um fluido que estão se movendo a velocidades diferentes.

O fluido muito perto das paredes do tubo, por exemplo, se move muito mais lentamente do que o fluido no centro do mesmo.

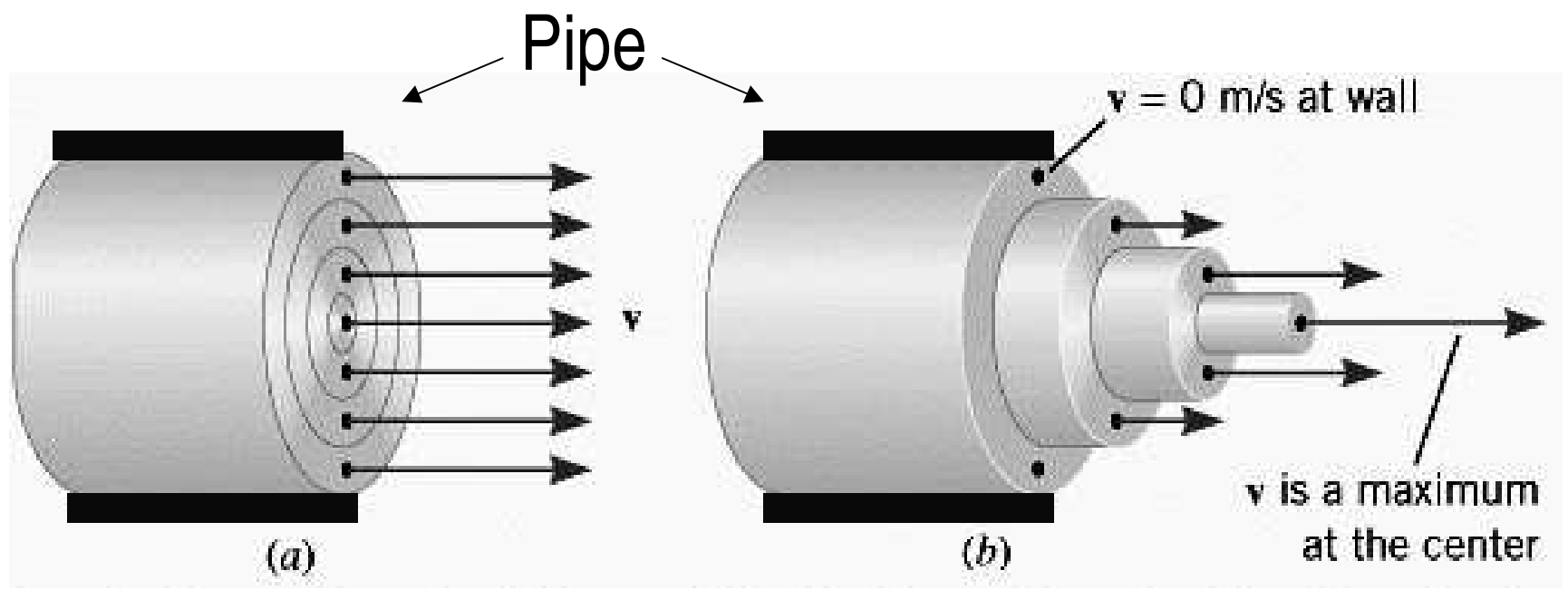
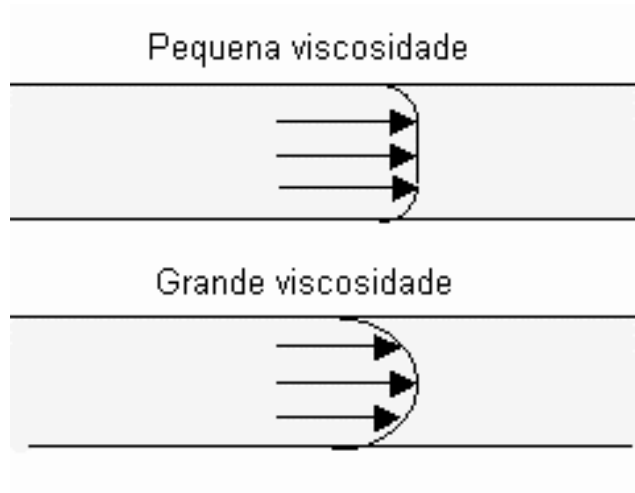
A viscosidade de um fluido é basicamente uma medida de quanto ela gruda. A água é um fluido com pequena viscosidade. Coisas como shampoo ou xaropes possuem viscosidades maiores.

O fluido em um tubo sofre **forças de atrito**. Existe atrito com as paredes do tubo, e com o próprio fluido, convertendo parte da energia cinética em calor. As forças de atrito que impedem as diferentes camadas do fluido de escorregar entre si são chamadas de viscosidade.

A viscosidade é uma medida da resistência de movimento do fluido. Podemos medir a viscosidade de um fluido medindo as forças de arraste entre duas placas.

Vejamos ...

Viscosidade



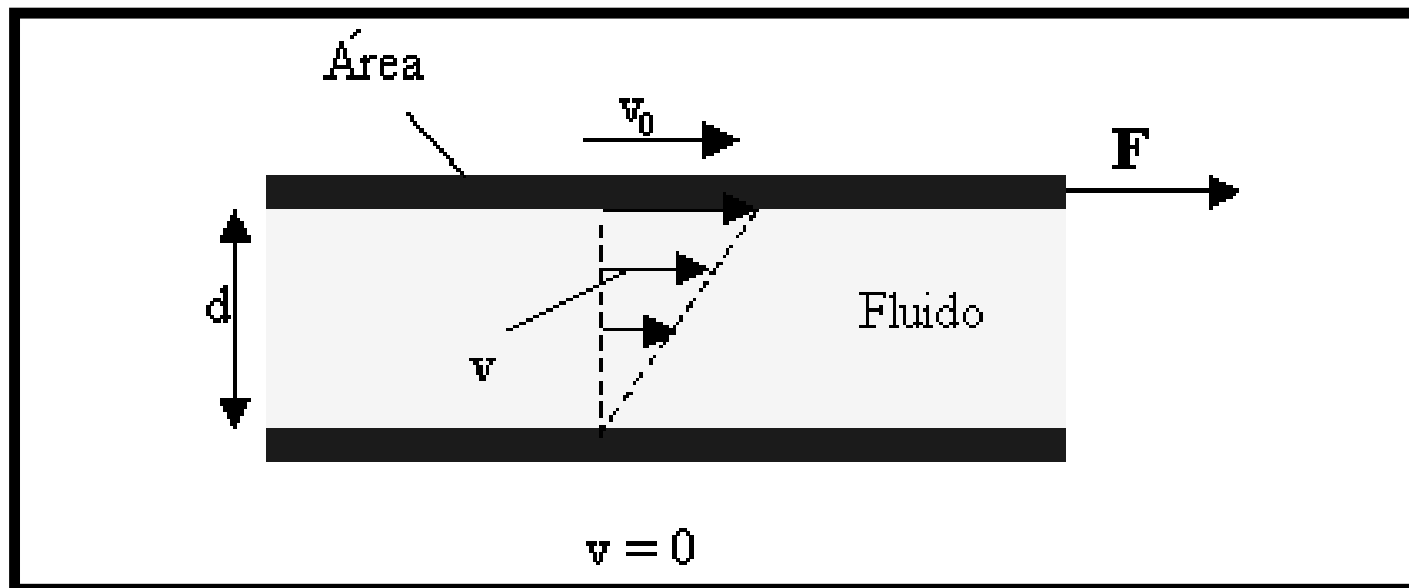
1.



Atrito: 1- com as paredes do tubo, 2) com o próprio fluido.
Parte da energia cinética transforma-se em calor.

ATRITO INTERNO = VISCOSIDADE.

A viscosidade é uma medida da resistência de movimento do fluido. Podemos medir a viscosidade de um fluido medindo as forças de arraste entre duas placas.

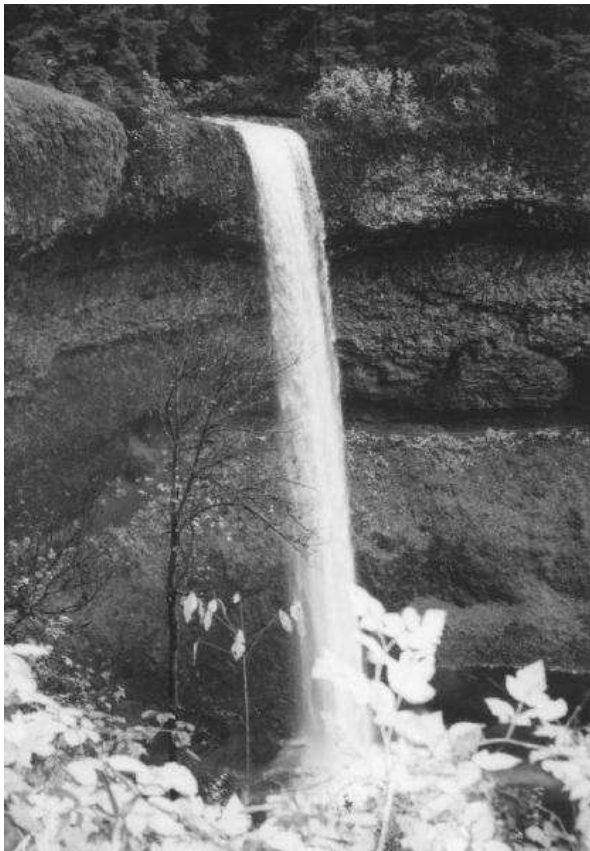


Vamos precisar ...

Vazão = Q = volume de fluido que sai/ tempo que demora

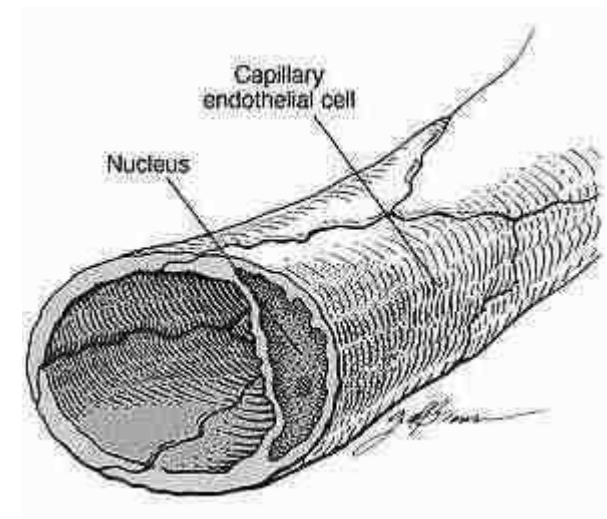
$$Q = V/t$$

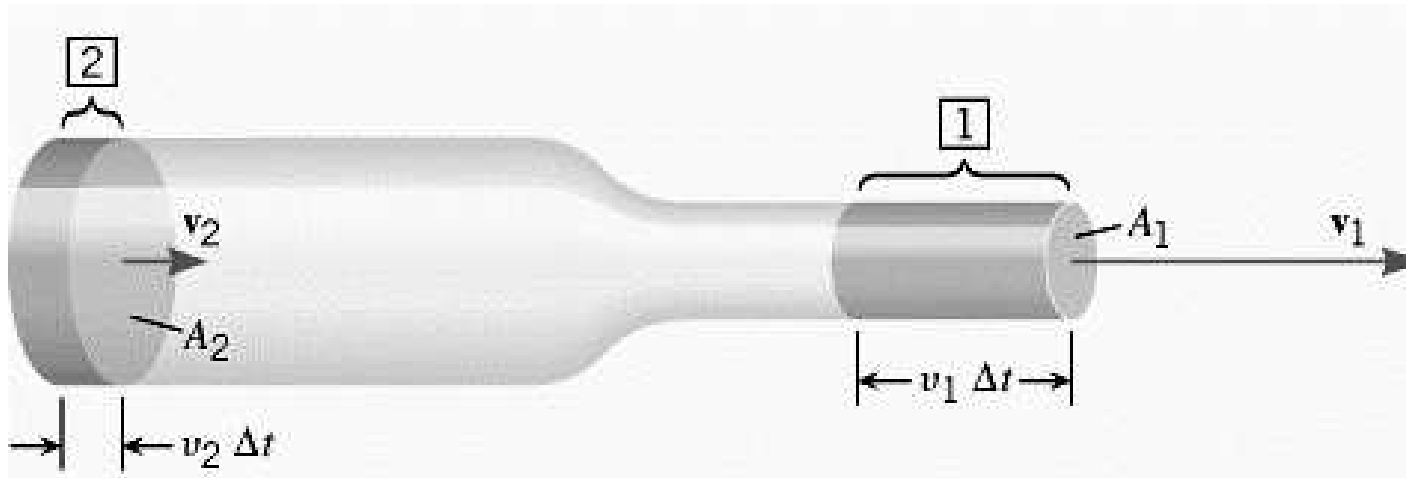
$$[Q] = \text{m}^3/\text{s}$$



$$Q = 10^5 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$





fluxo de massa
a posição 1 $= \frac{\Delta m}{\Delta t} = \rho_1 A_1 v_1$

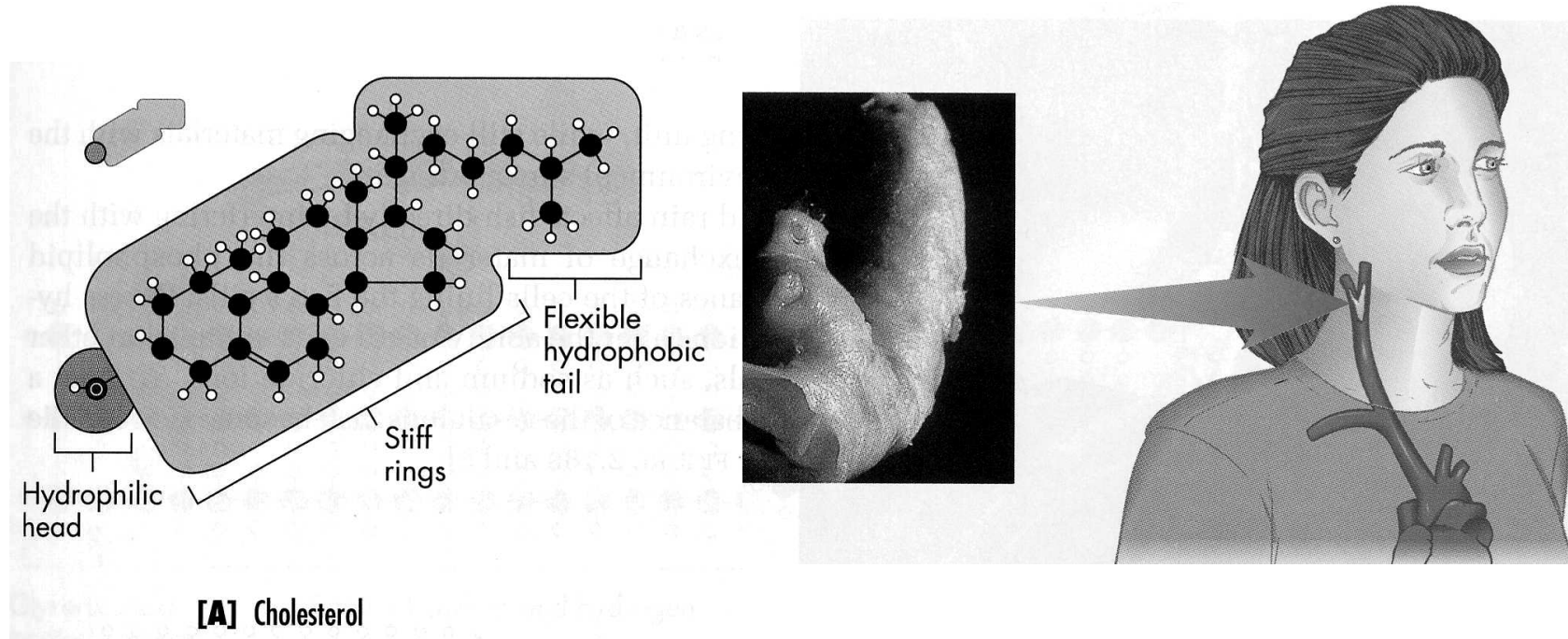
fluxo de massa
a posição 2 $= \rho_2 A_2 v_2$

$$\rho_2 A_2 v_2 = \rho_1 A_1 v_1$$

Para fluidos incompressíveis ($\rho_1 = \rho_2$)

$$A_2 v_2 = A_1 v_1 = \frac{\Delta V}{\Delta t} = Q = \text{vazão}$$

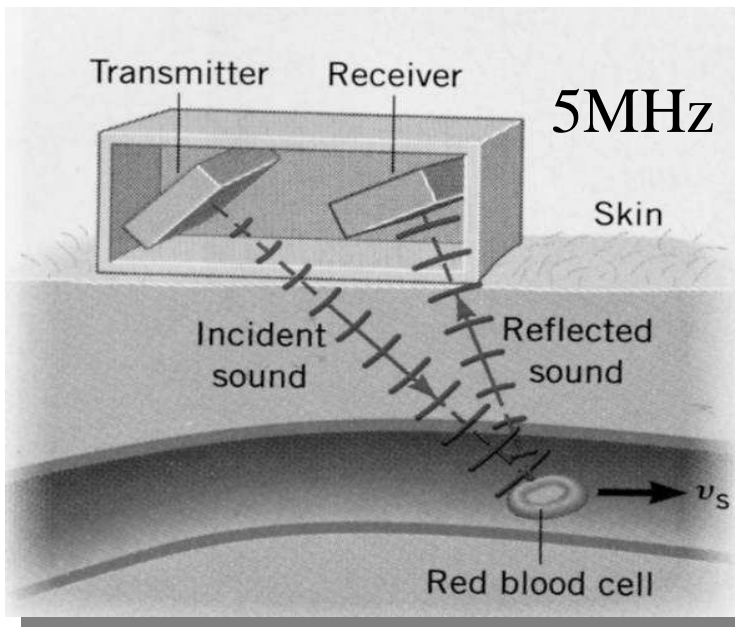
Cholesterol and Plugged Arteries



A clogged artery

In the condition known as atherosclerosis, a deposit or atheroma forms on the arterial wall and reduces the opening through which blood can flow.

In the carotid artery in the neck, blood flows **three times faster** through a partially blocked region than it does through an unobstructed region.



Doppler flow meter to measure the speed of red blood cells.

To locate regions where blood vessels have narrowed.

Jean Louis Poiseuille

[1799 - 1869]

O interesse de Poiseuille nas forças que atuavam na circulação do sangue nos capilares levou-o a realizar testes super meticulosos sobre a resistência ao escoamento de líquidos em capilares.
(1799 - 1869)



Em 1846, publicou um *paper* contendo seus resultados experimentais.

Utilizando ar comprimido, Poiseuille forçou água (em vez de sangue, pois não havia na época anticoagulantes) através de tubos capilares.

Na época, Poiseuille podia controlar e medir com precisão

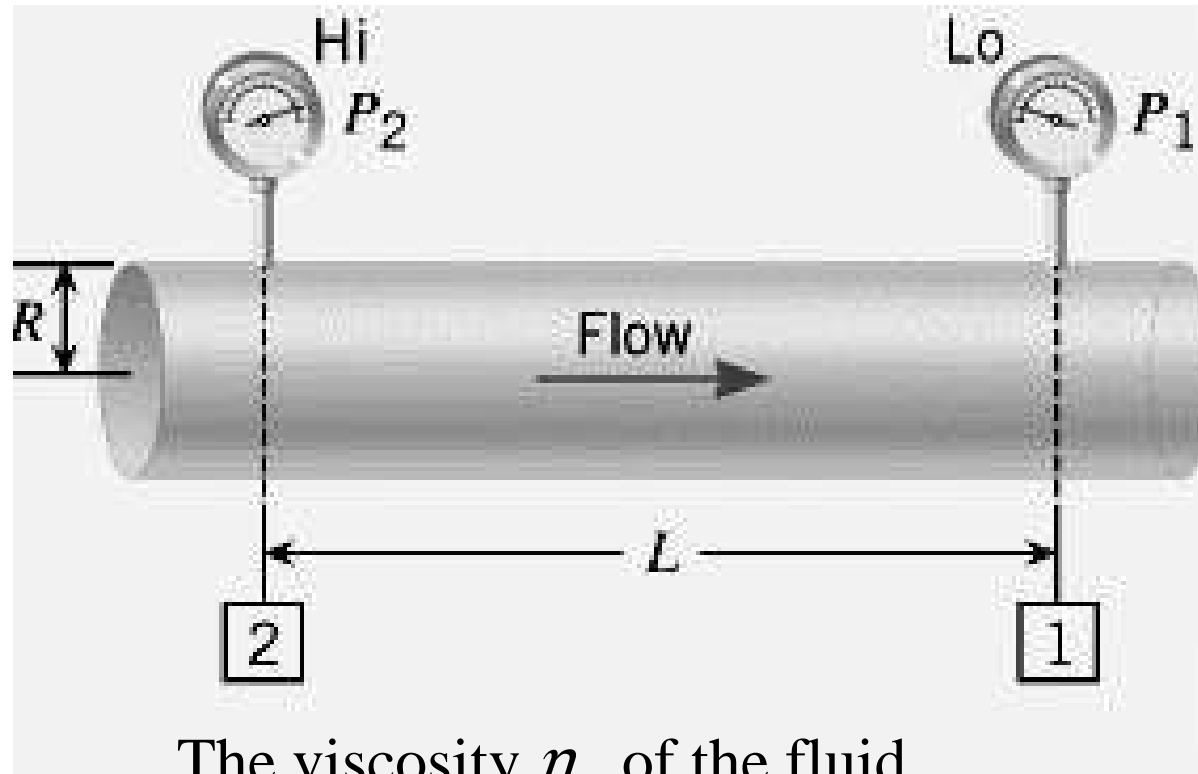
1. a pressão aplicada com o ar
2. o diâmetro dos tubos
3. os volumes de fluido

Ele descobriu que o volume ^(1799 - 1869) V que sai através de um tubo aumenta proporcionalmente com

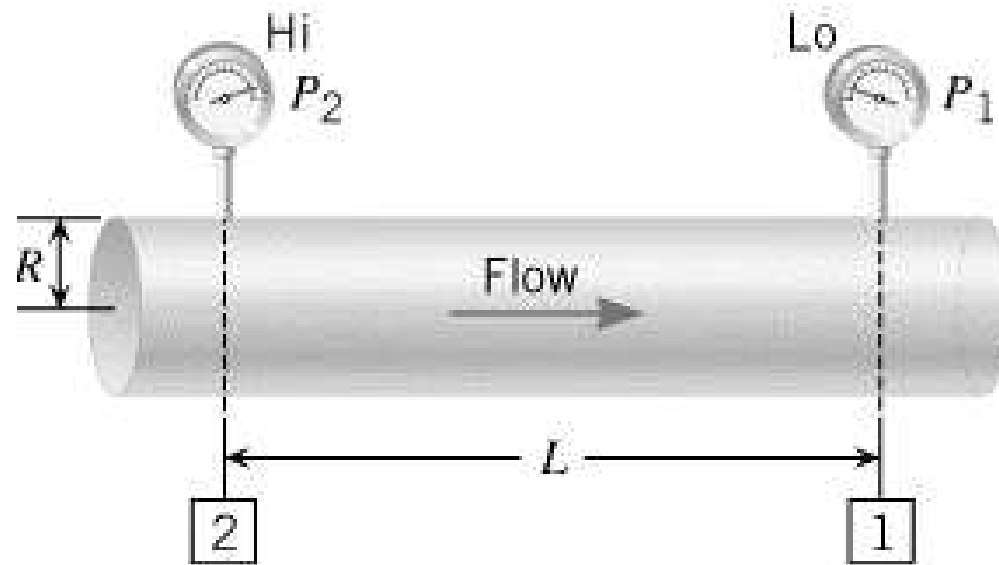
$$V \propto P \times r^4$$

1. a pressão aplicada ΔP
2. a QUARTA potência do diâmetro do tubo r^4 .

POISEUILLE'S LAW



Due to the viscosity, $P_2 > P_1$



the viscosity η of the fluid

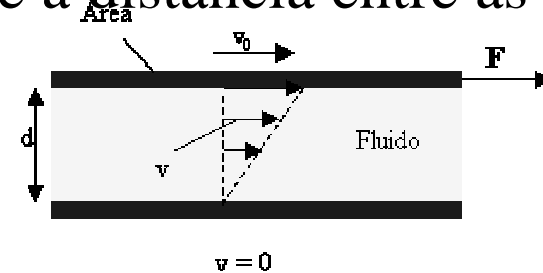
Lei de Poiseuille :

$$Q \left(\frac{8\eta L}{\pi R^4} \right) = (P_2 - P_1)$$

FLUIDOS REAIS

Se medirmos a força \mathbf{F} necessária para manter a placa superior movendo-se a uma velocidade constante v_0 , acharemos que ela é proporcional a área da placa, e a v_0/d , onde d é a distância entre as placas.

$$\mathbf{F}/A = \eta v_0/d$$



A constante de proporcionalidade η é chamada de viscosidade.

$$\eta = \text{eta} = \text{viscosidade}$$

UNIDADES

$$\text{Newtons/m}^2 = \eta \text{ (m/s}^2\text{) / m}$$

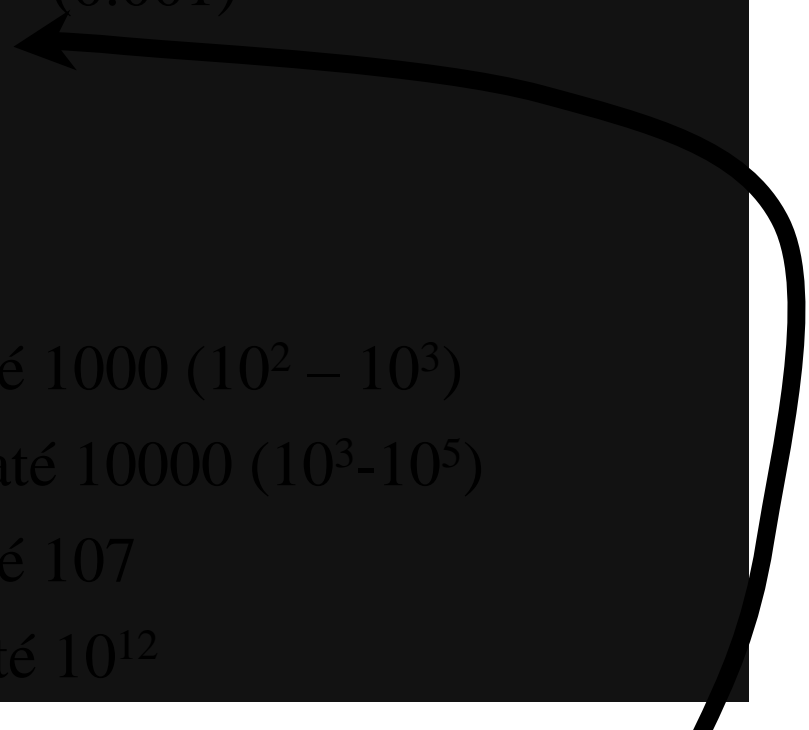
$$\text{N} = \text{kg} \cdot \text{m/s}^2$$

$$[\eta] = \text{kg} \cdot \text{m} = \mathbf{Pa \cdot s}$$

$$\mathbf{Pa} = \text{kg/m}^2$$

O 'feeling' da viscosidade

Substance	Viscosity (Pa s)
Ar (@ 18 °C)	1.9×10^{-5} (0.000019)
Agua (@ 20 °C)	1×10^{-3} (0.001)
Canola Oil at room temp.	0.1
Motor Oil at room temp.	1
Corn syrup at room temp.	8
Pahoehoe lava	100 até 1000 ($10^2 - 10^3$)
A'a lava	1000 até 10000 ($10^3 - 10^5$)
Andesite lava	10^6 até 10^7
Rhyolite lava	10^{11} até 10^{12}



Para o sangue, o coeficiente de viscosidade é de cerca de 4×10^{-3} Pa s.

Alguns exemplos de Viscosidade
podem ajudar a pegar o `feeling` da unidade cP

Hydrogen @20°C	0.0086 cP
Ammonia @ 20°C	0.0098 cP
Water vapor @100°C	0.12 5
CO2 gas @ 0°C	0.015cP
Air @ 18°C	0.018 cP
Argon @ 20°C	0.022 cP
Air @ 229°C	0.026 cP
Neon @ 20°C	0.0311 cP
CO2 Liquid @ -18°C	0.14 cP
Liquid air @ -192.3°C	0.17 cP
Ether @ 20°C	0.23 cP
Water @ 99°C	0.28 cP
Acetone	0.3 cP

Alguns exemplos de Viscosidade
podem ajudar a pegar o `feeling` da unidade cP

Benzine	0.50 cP
Chloroform @ 20°C	0.58 cP
Methyl alcohol @ 20°C	0.59 cP
Benzene @ 20°C	0.65 cP
Water @ 20°C	1.002 cP
Ethyl alcohol @ 20°C	1.2 cP
Mercury @ 20°C	1.554 cP
Earth upper mantle	3 to $10 \cdot 10^{23}$ cP
Earth lower mantle	2 to $3 \cdot 10^{25}$ cP
Benzyl ether @ 20°C	5.33 cP
Glycol @ 20°C (probably ethylene glycol)	19.9 cP
Oleo de Feijao @ 20°C	69.3 cP

Alguns exemplos de Viscosidade
podem ajudar a pegar o `feeling` da unidade cP

Corn (Milho) oil	72cP
Olive oil @ 20°C	84.0 cP
Light machine oil @ 20°C	102 cP
Motor oil SAE 10	50-100cP
Motor oil SAE 20	125cP
Motor oil SAE 30	150-200cP
Motor oil SAE 40	250-500cP
Motor oil SAE 50	540cP
Motor oil SAE 60	1,000 - 2000cP
Glycerin @ 20°C	1,490 cP
Motor oil SAE 70	1,600cP
Pancake syrup @ 20°C	2,500 cP
maple syrup @25°C	3,200 cP

Alguns exemplos de Viscosidade
podem ajudar a pegar o `feeling` da unidade cP

Venezuela's Orinoco extra heavy oil reservoirs are about 53 deg. C	1,500-3,000 cp
Honey	3,000cP
Honey @ 20°C	10,000 cP
Honey	2,000-3,000cP
Chocolate syrup @ 20°C	25,000 cP
Hershey's Chocolate Syrup	10,000-25000cP
Ketchup @ 20°C	50,000 cP
Ketchup Heinz	50,000 - 70,000cP
Ketchup @25°C	98,000cP

Alguns exemplos de Viscosidade
podem ajudar a pegar o `feeling` da unidade cP

Ketchup @25°C	98,000cP
Peanut butter @ 20°C	250,000 cP
Smooth Peanut butter @ 25°C	1.2x10 ⁶ cP
ASFALTO Canada's Athabasca reservoir sands are about 10-12% bitumen, at 11 deg. C	1 x 10 ⁶ cP
Massa p vidros	1x10 ⁸ cP
<u>Alcatrao @ 20°</u>	3x10 ¹⁰ cP
Soda Glass @ 575°C	1x10 ¹⁵ cP

Equação de Poiseuille

A equação que governa o movimento de um fluido dentro de um tubo é conhecida como equação de Poiseuille. Ela leva em consideração a viscosidade, embora ela realmente só é válida para escoamento não-turbulento (escoamento laminar).

O sangue fluindo através dos canais sanguíneos não é exatamente um escoamento laminar. Mas aplicando a equação de Poiseuille para essa situação é uma aproximação razoável em primeira ordem, e leva a implicações interessantes.



Equação (Lei ?) de Poiseuille

A equação de Poiseuille para a taxa de escoamento (volume por unidade de área), Q , é dada por

$$Q = \pi r^4 (P_1 - P_2) / (8 \eta L)$$

$$Q = \pi r^4 \frac{P_1 - P_2}{8 \eta L}$$

$P_1 - P_2$ é a diferença de pressão entre os extremos do tubo,

L é o comprimento do tubo,

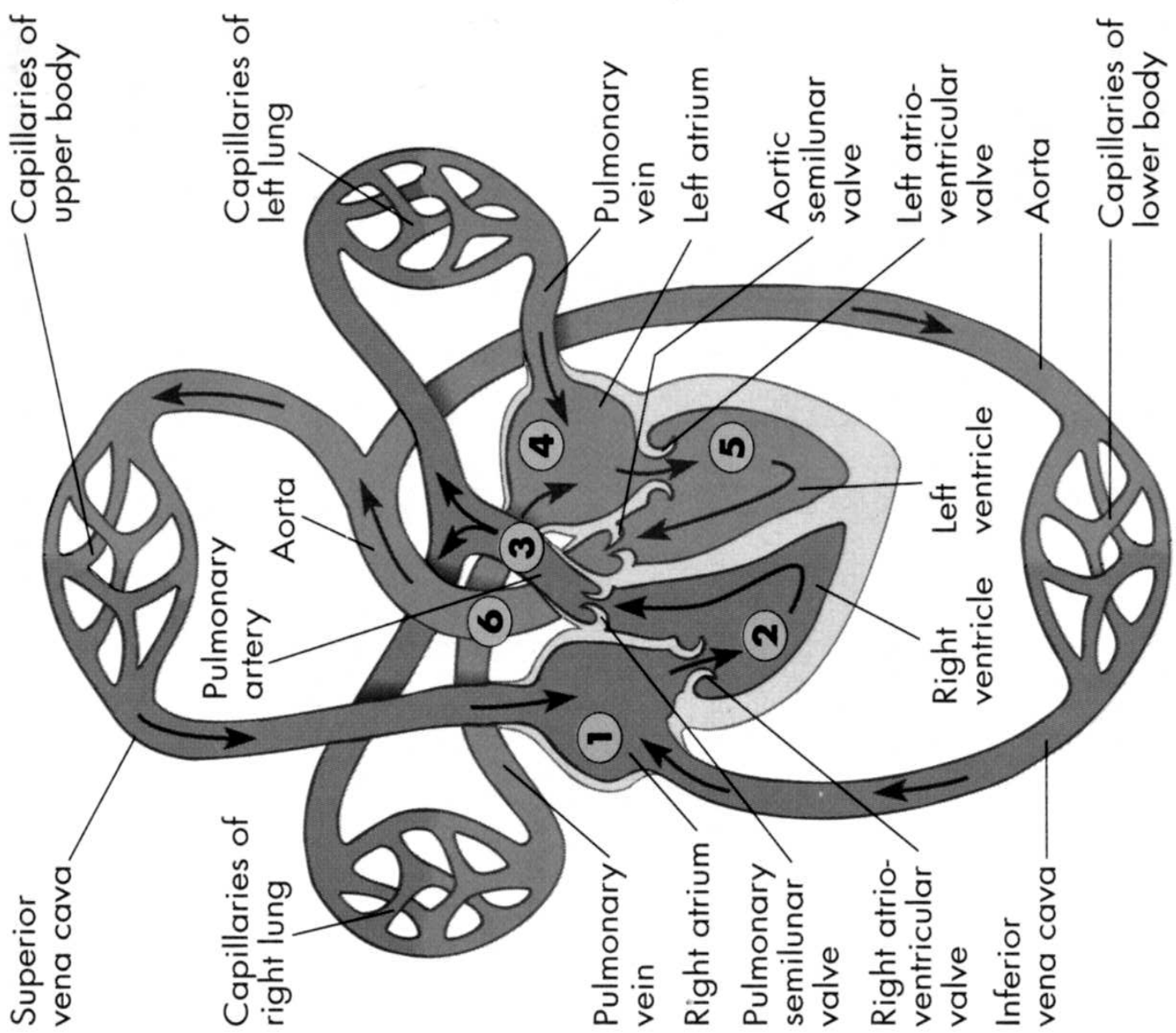
r é o raio do tubo.

A coisa mais importante a ser observada é que a taxa de escoamento é fortemente dependente no raio do tubo: r^4 .

Logo, um decréscimo relativamente pequeno no raio do tubo significa uma drástica diminuição na taxa de escoamento.

Diminuindo o raio por um fator 2, diminui o escoamento por um fator 16!

Isto é uma boa razão para nos preocuparmos com os níveis de colesterol no sangue, ou qualquer obstrução das artérias. Uma pequena mudança no raio das artérias pode significar um enorme esforço para o coração conseguir bombear a mesma quantidade de sangue pelo corpo.



Capillaries of upper body

Capillaries of left lung

Pulmonary vein

Left atrium

Aortic semilunar valve

Left atrioventricular valve

Aorta

Capillaries of lower body

Superior vena cava

Capillaries of right lung

Pulmonary vein

Right atrium

Pulmonary semilunar valve

Right atrioventricular valve

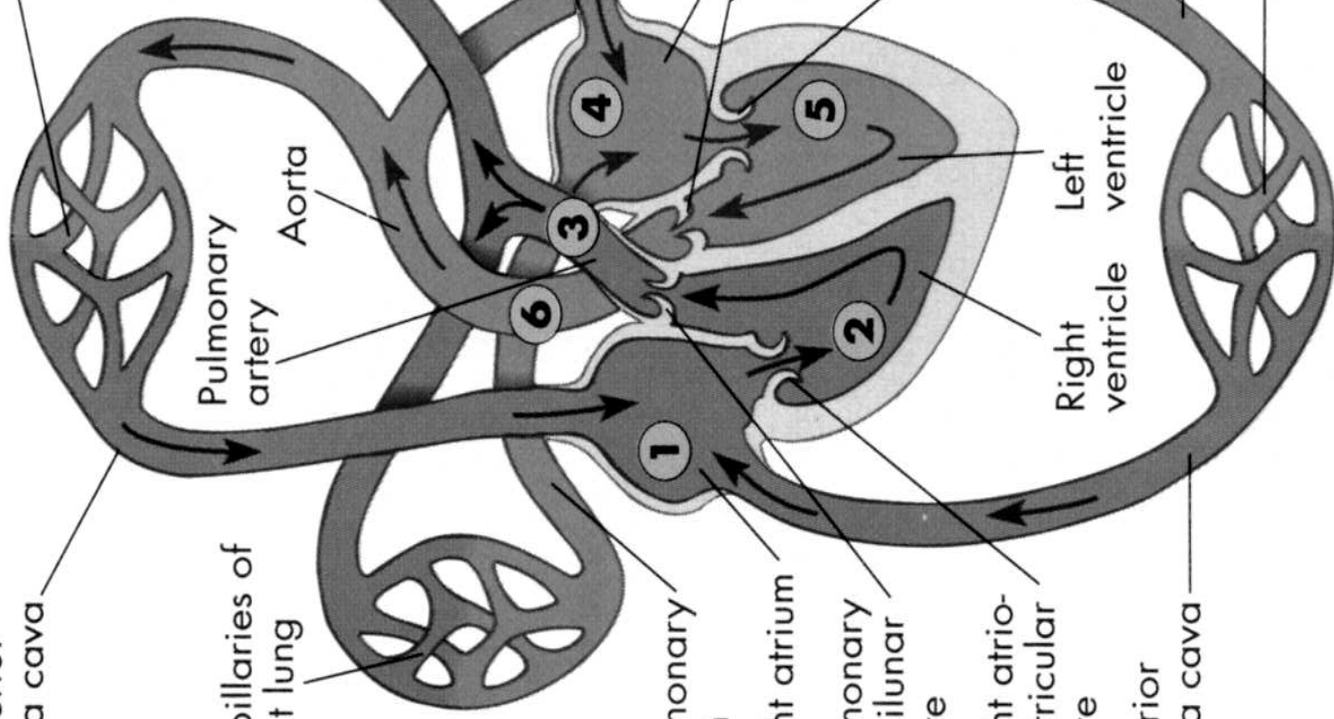
Inferior vena cava

Pulmonary artery

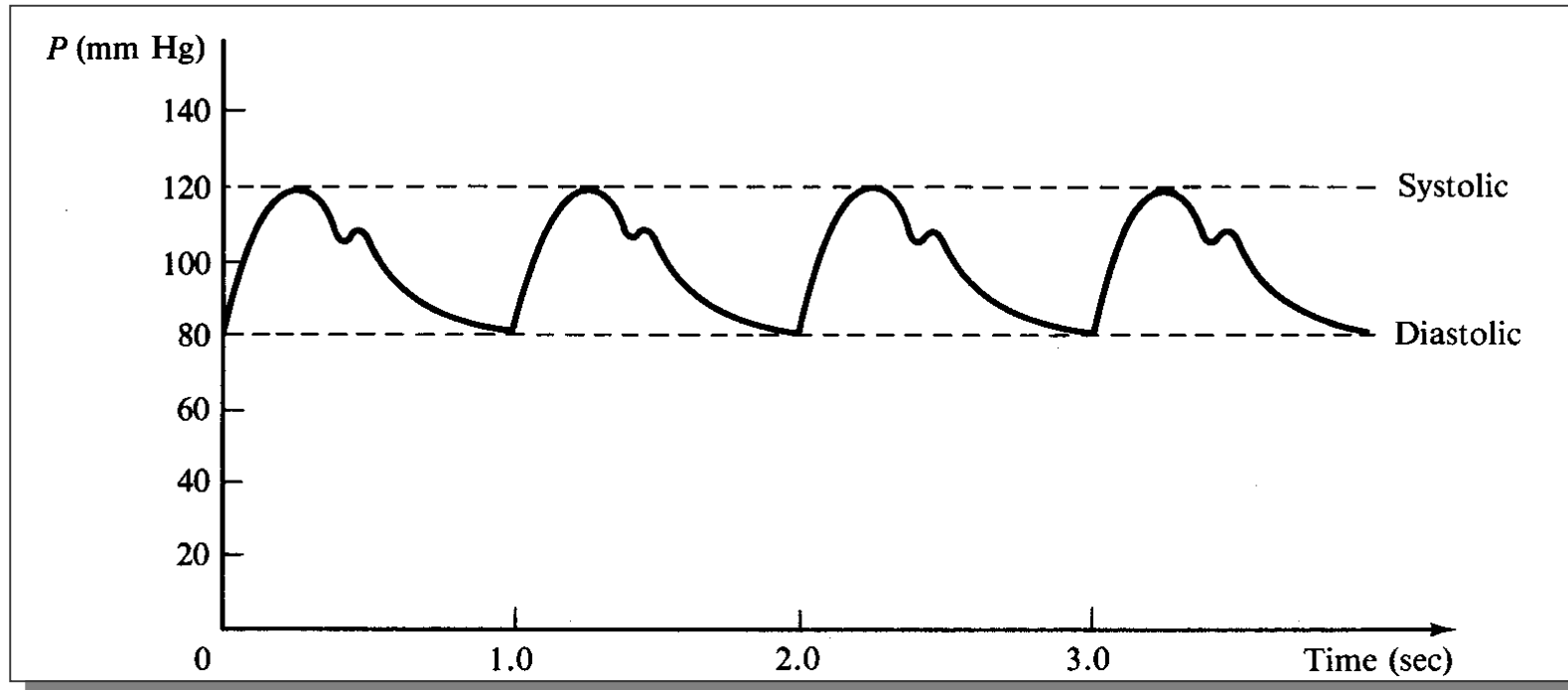
Aorta

Left ventricle

Right ventricle



Blood pressure & circulation



Graph of blood pressure vs time in a major artery

Unidades de η (viscosidade dinâmica)

- **Poiseuille (Pl)** An MKS unit of dynamic viscosity equal to 1 pascal second or 10 poise.

$$1 \text{ Pa.s} = 10 \text{ Poise}$$

- **Poise (P, Ps, or Po):** A CGS unit of dynamic viscosity equal to one dyne-second per square centimetre.

The unit poise is equivalent to 0.1 Pa s. in SI

$$1 \text{ Poise} = 0.1 \text{ Pa.s}$$

Unidades de ν (viscosidade cinemática)

Kinematic viscosity is defined to be dynamic viscosity (see poise) divided by the density of the liquid.

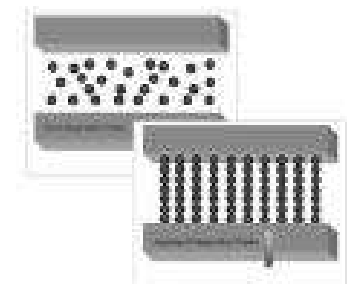
- **Stoke or Stokes (St)** : A CGS unit of kinematic viscosity.

$$1 \text{ St} = 1 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1} = 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$$

- **Como é unidade ‘pequena’, utiliza-se o Centi-Stokes (cSt)**

$$100 \text{ cSt} = 1 \text{ St}$$

Medição de Viscosidade na Indústria



ViscoClock

► Range of use

The ViscoClock is designed for the use of an Ubbelohde viscometer, a Micro-Ubbelohde viscometer or a Micro-Ostwald viscometer made by Schott. The ViscoClock automatically measures the flow-through time of temperature-stabilised liquids through the capillaries of the viscometer at temperatures ranging from -40°C to 150°C . For temperature stabilisation in the thermostatic bath, the following tempering liquids are suitable: water, alcohol water (e.g. ethanol, methanol), paraffin oil, and silicone oil. Liquids can be measured that qualify for use with the viscometer being used in each instance.

ViscoClock Technical data

► Accuracy

The most precise method used to determine the viscosity of liquids is their measurement in capillary viscometers; the ViscoClock functions according to this method. The operating time is indicated with a resolution of $1/100$ sec.

ViscoClock.
Time is money.



7829 Viscomaster Viscosity Transmitter

Used for the measurement and control of Heavy Fuel Oil (HFO) in Marine and Power industry applications.

The 7828 Viscomaster Viscosity Transmitter simultaneously measures real-time viscosity, density and temperature and can be configured to output either dynamic or kinematic viscosity.

The 7829 Viscomaster Viscosity Transmitter incorporates a stand-alone electronics module with a configurable integral 4-20mA and a Modbus RS485 communication output.

As a vibrating element transducer, the 7829 Viscomaster Viscosity Transmitter complements the 7829 Visconic and 7827 Digital Viscometer, and incorporates all the advantages that this technique has over capillary, orifice and rotational viscometers.



Medição de Viscosidade no Laboratório

11 anos

Laboratório #2



Laboratório #2

Objetivos:

- **Introduzir o conceito de viscosidade dos fluidos.**
- **Princípio de funcionamento dos viscosímetros de Ostwald e Stokes.**
- **Medir a viscosidade de dois fluidos: óleo e álcool.**
- **Comparar a precisão dos dois métodos.**
- **Comparar os resultados com os valores tabelados.**
- **Obter as incertezas e propagar os desvios.**

Laboratório #2

Dois Métodos

- **Stokes (esferas caindo)**
- **Ostwald (fluidos escoando)**

Laboratório #2

Medição de Viscosidade no Laboratório

1ª Parte: Viscosímetro de Stokes

Vamos medir:

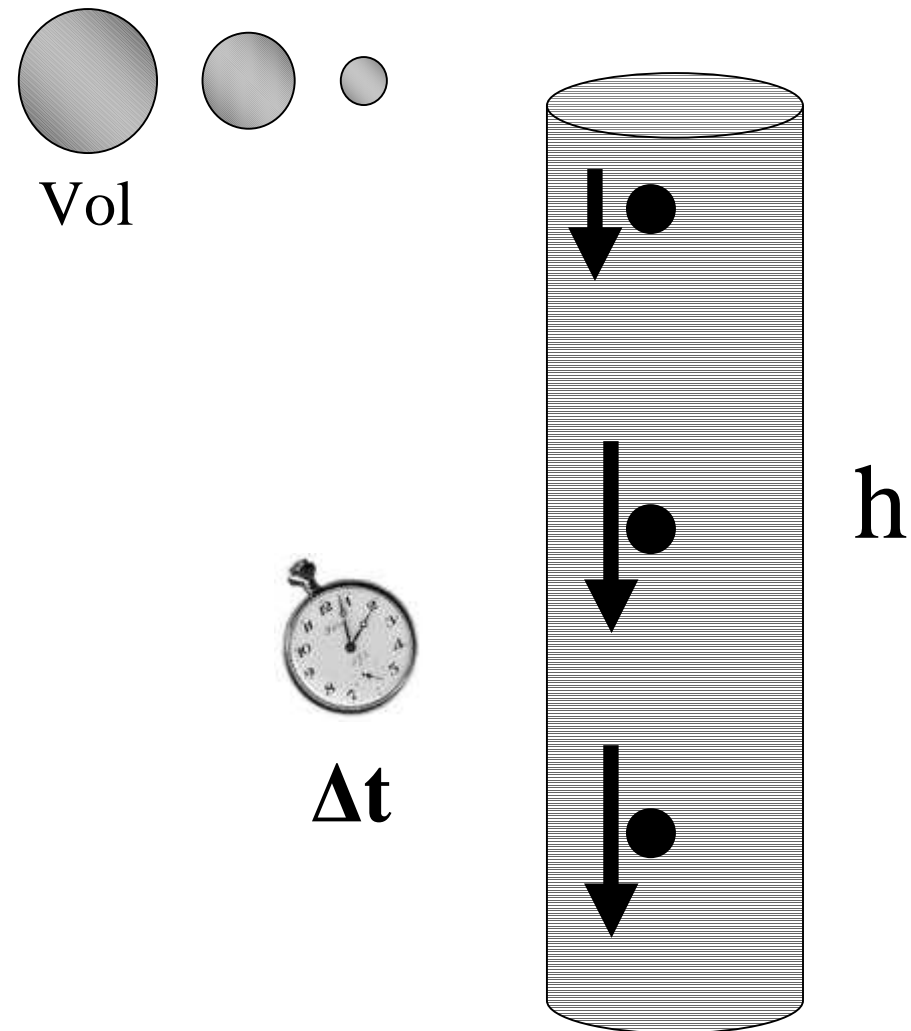
- Volume da esfera (r, Vol) ;
- densidades (temos densímetro) e
- velocidade = $\Delta h / \Delta t$

$$v = \frac{\Delta h}{\Delta t}$$

Densidade das Esferas: 7,80 g/cm³

Poise = Stokes x densidade

Tabela Temp x Viscosidade



Laboratório #2

Medição de Viscosidade no Laboratório

$$F_{\text{resistencia}} = 6\pi r \eta v$$

$$P = \rho Vg$$

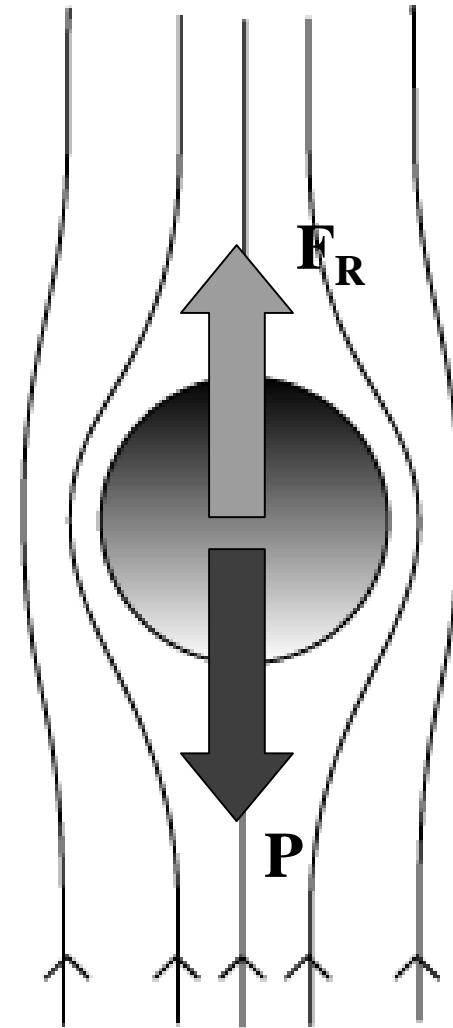
Stokes:

10 esferas r_1

10 esferas r_2

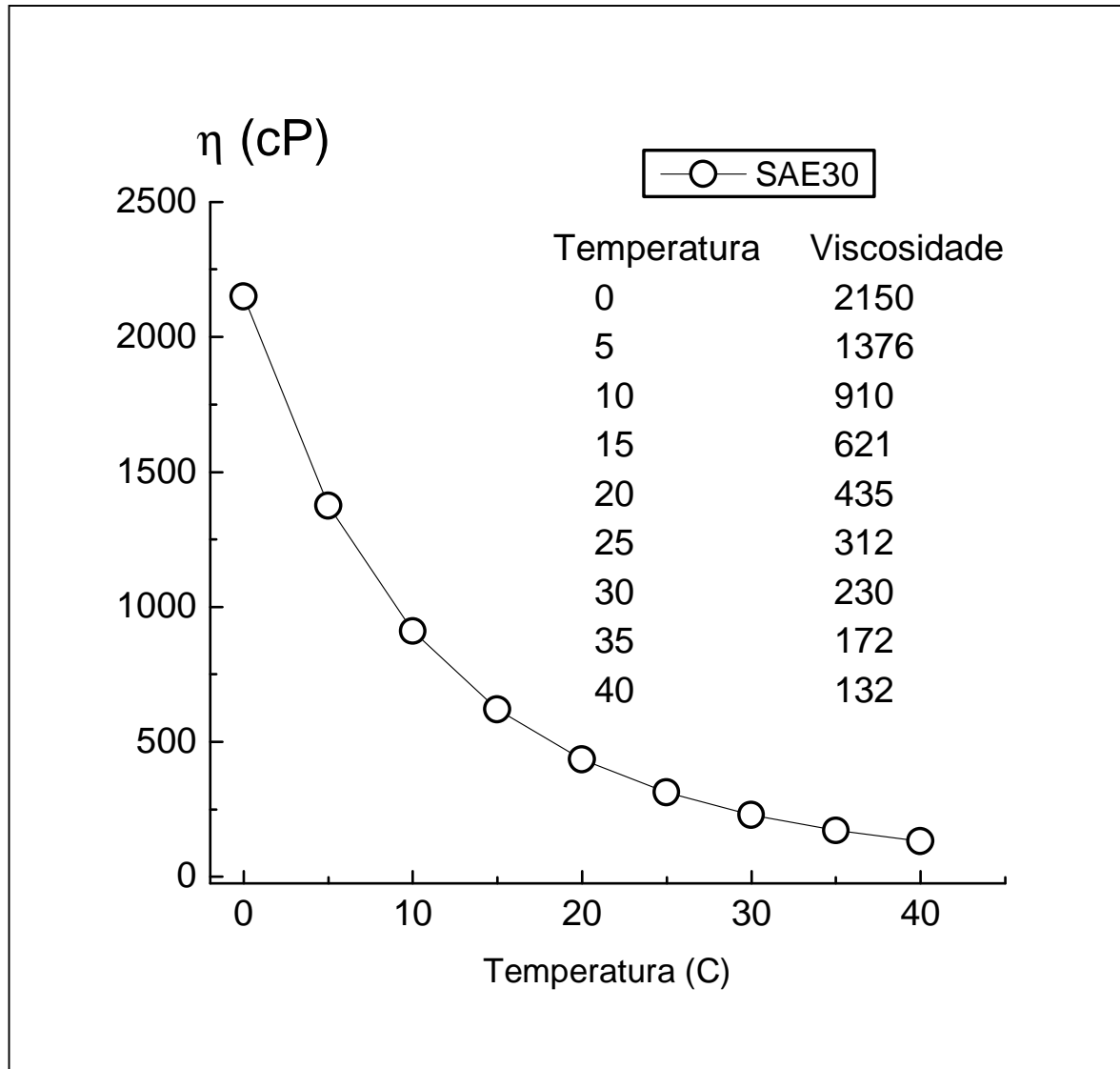
Obtemos valores médios r_1 ; r_2 ; d .

A velocidade é calculada para 10 esferas com



Laboratório #2

Medição de Viscosidade no Laboratório



Temperatura	Viscosidade
0	2150
5	1376
10	910
15	621
20	435
25	312
30	230
35	172
40	132

Líquidos diferentes adquirem velocidades diferentes quando escoam por um mesmo tubo!! (fluxo laminar)

$$\eta \propto D \times t$$

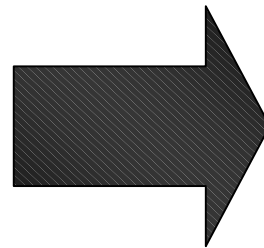
η_i = viscosidade

D_i = Densidades

t_i = tempos de escoamento dos líquidos.

$$\eta_1 = Cte. \times D_1 \times t_1$$

$$\eta_2 = Cte. \times D_2 \times t_2$$



$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = \frac{D_2}{D_1} \times \frac{t_2}{t_1}$$

Ostwald

Tomada de tempo de escoamento para

- a. H₂O
- b. Solução A
- c. Solução B
- d. Álcool

Tomar 10 medidas para cada um. Calcular

$$\bar{t}; \bar{h} e \bar{v};$$

Relatório

- **Intro**
- **Material**
- **Tipo de medidas**
- **Erros envolvidos (instrumentais)**
- **Que foi medido**
- **Estratégias para medir**
- **Dificuldades**
- **resultados**
- **Propag. de Erros.**
- **Conclusões**