



Universidade Federal do Paraná

Setor: Tecnologia

Departamento: Engenharia Química

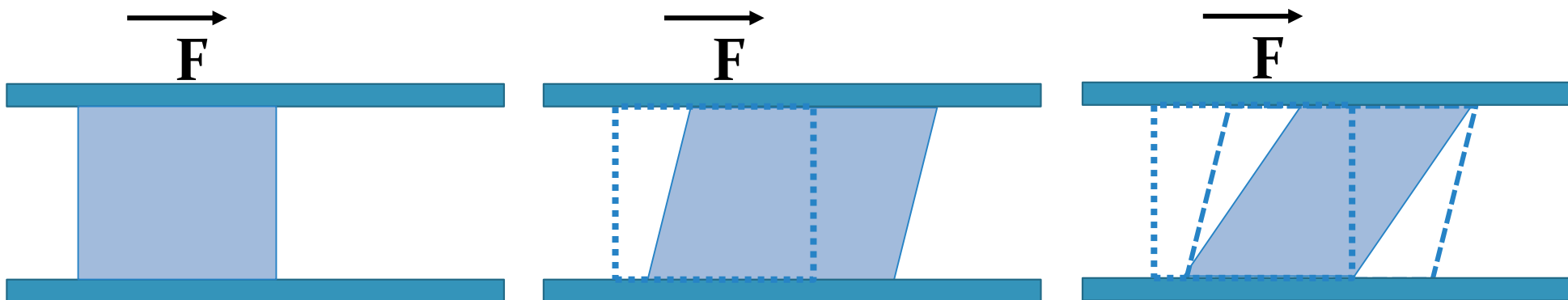
Propriedades dos fluídos e Lei de Newton da viscosidade

Prof^a. Dra. Alessandra Cristina Pedro

Definições

Fluído: Toda substância que se deforma sob a ação de uma tensão de cisalhamento.

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



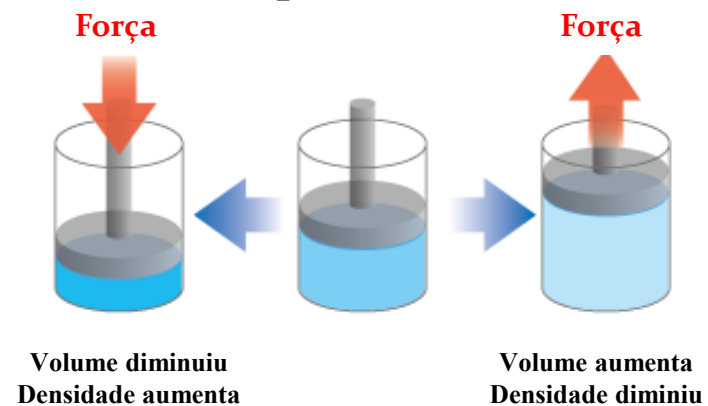
Definições

Líquidos *versus* Gases

**Fluidos
incompressíveis**

Fluido incompressível →
o volume não varia e a
densidade permanece
constante!

**Fluidos
compressíveis**



Sistema de unidades

Nome	Comprimento	Tempo	Massa	Força	Temperatura	
Comuns nos EUA	pé	segundo	slug*	libra	Rankine	Fahrenheit
FPS	pé	s	$\left(\frac{\text{lb} \cdot \text{s}^2}{\text{pé}}\right)$	lb	°R	°F
Sistema Internacional de Unidades	metro	segundo	quilograma	Newton*	Kelvin	Celsius
SI	m	s	kg	$\left(\frac{\text{N}}{\text{s}^2}\right)$	K	°C

$$1 \text{ lbm} = 0,4536 \text{ kg}$$

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$$

$$1 \text{ pé} = 0,3048 \text{ m}$$

$$1 \text{ lbf} = 32,174 \text{ lbm} \cdot \text{pés/s}^2$$

Propriedades dos fluídos

Principais variáveis de escoamento:

Massa específica ou densidade absoluta (ρ - rô)

Densidade relativa (δ - delta)

Peso específico (γ - gama)

Volume específico (v - uípslon)

Viscosidade dinâmica (μ - mi) e cinemática (ν - ni)



Propriedades dos fluídos

Propriedade	MK*S	SI	CGS
Densidade	$\text{kgf.s}^2/\text{m}^4$	$\text{Ns}^2/\text{m}^4 = \text{kg}/\text{m}^3$	$\text{dina.s}^2/\text{cm}^4 = \text{g}/\text{cm}^3$
Peso específico	kgf/m^3	N/m^3	dina/cm^3
Viscosidade	$\text{kgf.s}/\text{m}^2$	$\text{N.s}/\text{m}^2$	$\text{dina.s}/\text{cm}^2 = \text{poise}$
Viscosidade cinemática	m^2/s	m^2/s	$\text{cm}^2/\text{s} = \text{stoke (St)}$



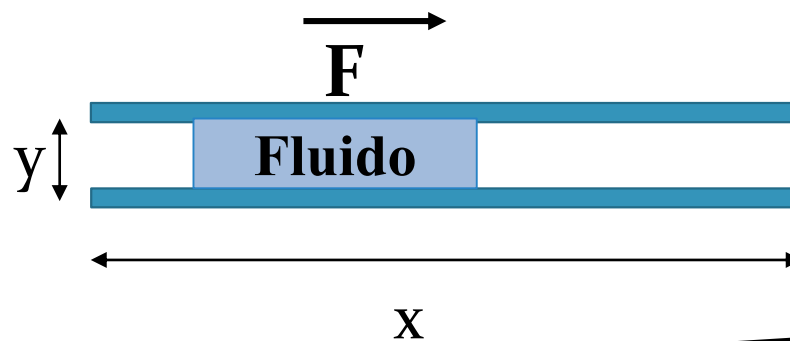
EXERCÍCIOS – Propriedades dos fluidos

Lei da viscosidade de Newton

Sabemos que um fluido é corresponde a uma substância que se deforma sob ação de uma tensão de cisalhamento.

A tensão de cisalhamento pode ser definida como: $\tau = \frac{F}{A}$

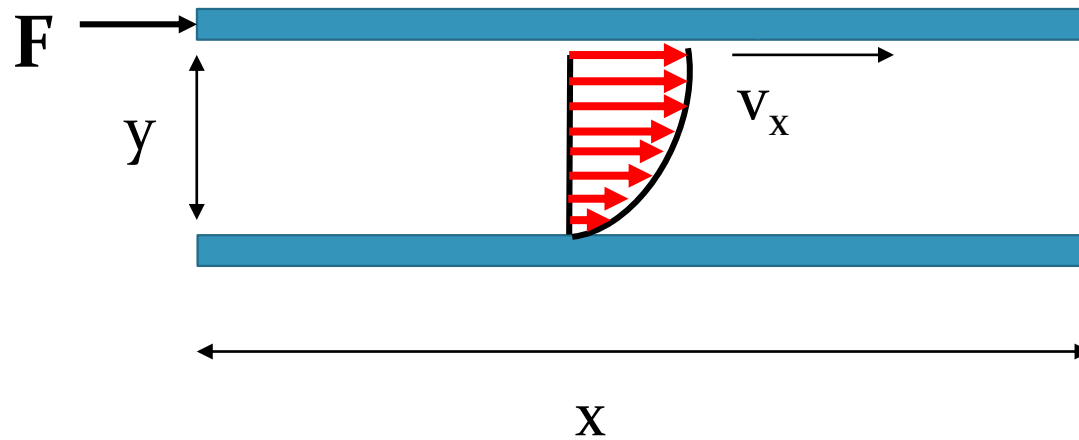
Agora vamos considerar a seguinte situação:



Lei da viscosidade de Newton

Em $t = 0$ uma força é aplicada sobre a placa superior na direção x .

A placa então se move com velocidade v_x na direção x .



$$F_x \propto \frac{A dv_x}{dy}$$

Lei da viscosidade de Newton

$$Fx \propto \frac{A dv_x}{dy} \quad \Rightarrow \quad Fx = \mu A \frac{dv_x}{dy}$$

A tensão de cisalhamento causada pela força na direção x, em uma área perpendicular ao eixo y é dada por:

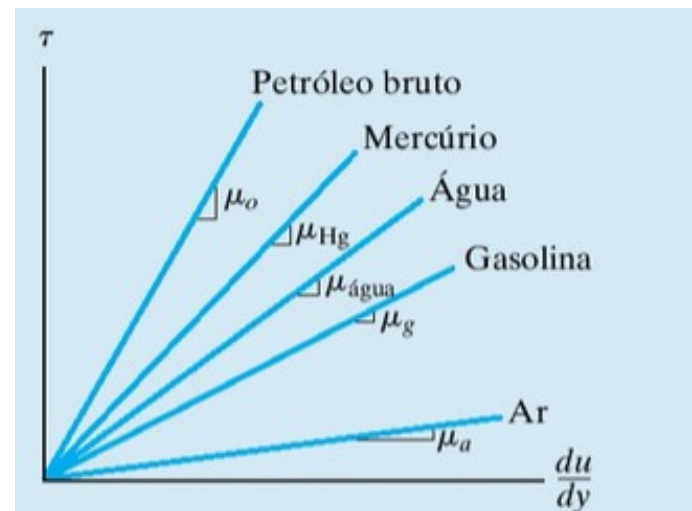
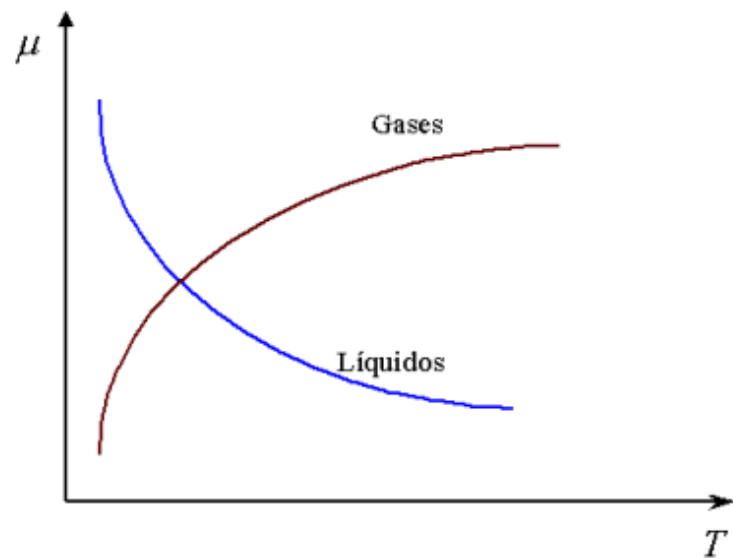
$$\frac{Fx}{A} = \tau = \mu \frac{dv_x}{dy}$$

↖ ↘
Gradiente de velocidade

Lei da viscosidade de Newton

Lei da viscosidade de Newton

A viscosidade é fortemente influenciada pela temperatura:



Viscosidade cinética ou cinemática (ν)

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$




EXERCÍCIOS – Lei da viscosidade de Newton



Reologia

- Ciência que estuda o escoamento e as deformações dos sólidos e fluidos quando submetidos às forças mecânicas;
- Como os materiais respondem a aplicação de tensões ou deformações;

Reometria: permite medir as propriedades reológicas dos materiais de interesse nos distintos campos da indústria. Obtenção de modelos matemáticos que correlacionam a tensão aplicada com a deformação resultante apresentada pelo material.





Reologia

- Operações de concentração, evaporação, pasteurização, bombeamento;
- Dimensionamento de bombas e tubulações, evaporadores;
- Consumo de energia no bombeamento;
- Afeta as operações de transferência de quantidade movimento, calor e massa;
- Caracterização física de alimentos sólidos, líquidos ou pastosos;
- Desenvolvimento de novos produtos;
- Controle de qualidade de produtos finais ou intermediários;
- Avaliação sensorial da textura.

Onde se aplica a reologia?

**Absorção na pele e fluidez
na utilização**

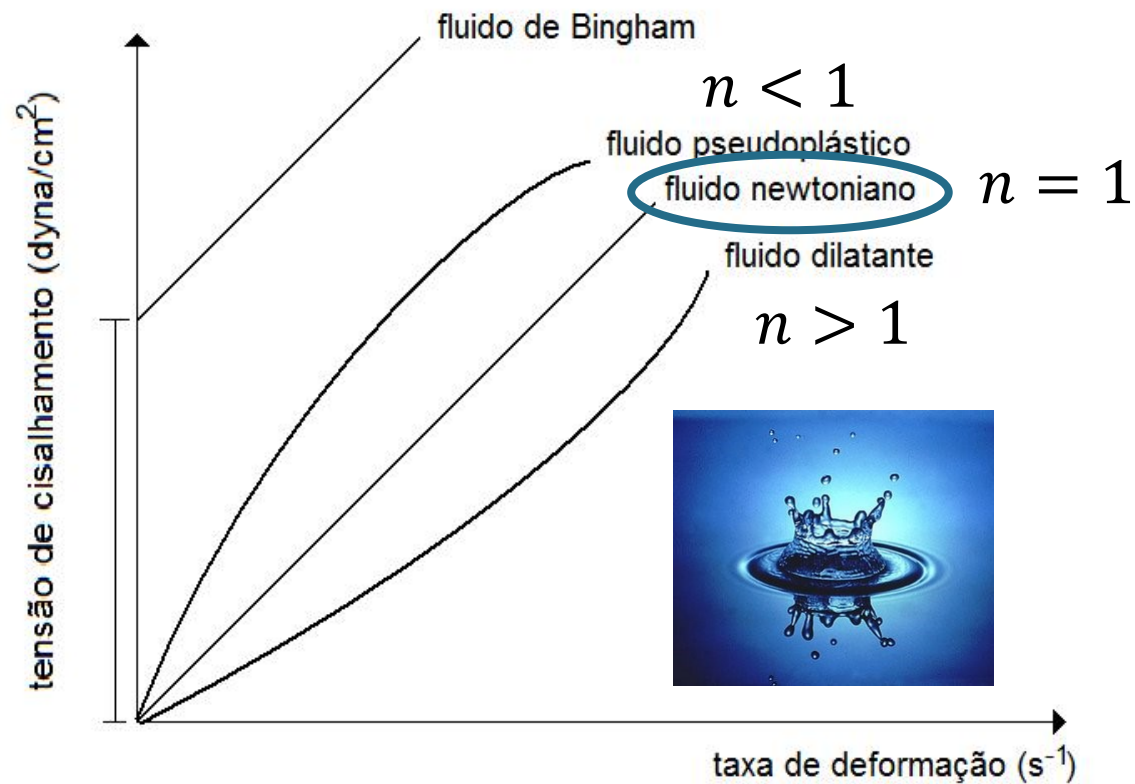


**Farinhas para panificação são selecionadas
conforme as características reológicas**



**Estabilidade de
emulsões**

Fluídos newtonianos



**Não Newtonianos –
seguem a lei da potência**

$$\tau = K \left(\frac{\partial v_x}{\partial y} \right)^n$$

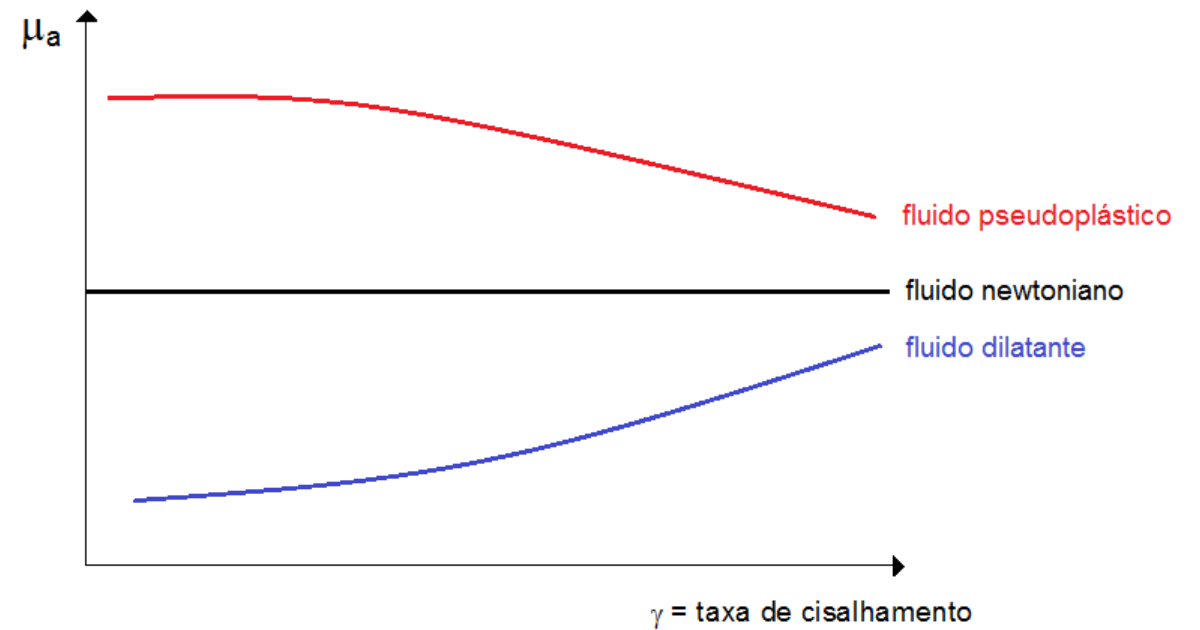
K = índice de consistência,

n = índice de comportamento, *indicativo do comportamento do fluido.*

Viscosidade aparente

- Conceito utilizado na indústria para controle de qualidade: fornece um valor para comparação em determinada situação de teste.
- Para fluidos que seguem a lei da potência:

$$\mu_{ap} = K \left(\frac{\partial v_x}{\partial y} \right)^{n-1}$$



Fluídos não-newtonianos

Fluido dilatante: a resistência aumenta com o aumento da tensão aplicada, ou seja, a viscosidade aumenta com o aumento da tensão de cisalhamento.

Exemplo: mistura de areia com água, suspensões de amido, ingredientes de bala, alguns tipos de méis.



Fluídos não-newtonianos

Fluido pseudoplástico: diminuiu a resistência com o aumento da tensão aplicada. O aumento da velocidade ocasiona diminuição da viscosidade aparente.

Exemplos: suspensão de celulose em água, soluções de polímeros, tintas a base de polímeros, concentrado de tomate, polpas de frutas, soluções de pectina, catchup.



Fluídos não-newtonianos

Plástico de Bingham: caso limite de uma substância plástica. Somente escoam se aplicarmos sobre eles uma tensão que supere um determinado valor. Se comporta como newtoniano após exceder o limite da tensão de cisalhamento.

Exemplos: creme dental, concreto, purê de batata.

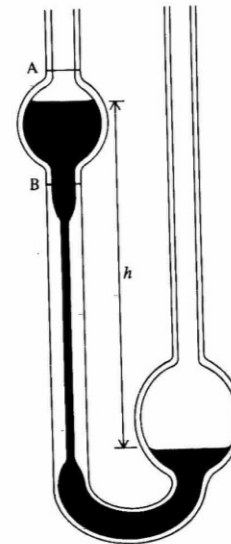


Medição de parâmetros reológicos

Reometria: técnicas experimentais para medir as propriedades reológicas dos fluidos.

Equipamentos:

- Viscosímetros de tubo capilar e de tubo U.
 - Capilar: 0,1 a 4 mm
 - Tubo: 12 a 32 mm.
 - Tubo capilar opera em altas pressões e altas taxas de cisalhamento;
 - Viscosímetro tubo em U se baseia na medição do tempo necessário para o escoamento.



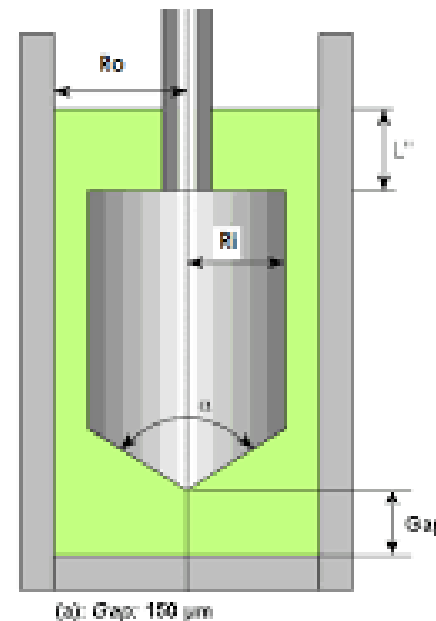
Copo Ford



Medição de parâmetros reológicos

- **Reômetro rotacional:**

- É composto por um cilindro interno e um externo;
- Um deles é forçado a girar e o torque é transferido ao cilindro em repouso;
- Viscosidade: razão entre o torque e a velocidade angular;
- Aplicado para géis até produtos semi-sólidos.

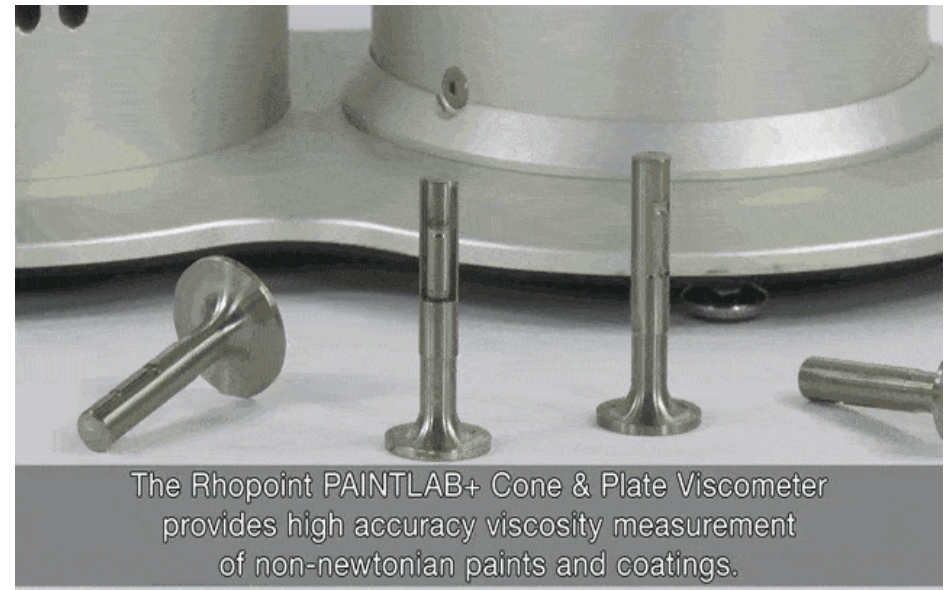


(a): Gap: 150 μm



Medição de parâmetros reológicos

- **Reômetro com geometria cone e placa:**
 - Consiste em uma placa circular e um cone que quase toca a superfície da placa, com a amostra preenchendo o espaço entre o cone e a placa.
 - O cone rotaciona a uma velocidade conhecida resultante em um torque medido pela placa.





Medição de parâmetros reológicos

- Para determinar o comportamento reológico de um fluido é necessário construir a sua curva de fluxo: reograma ou diagrama reológico:
 - **Tensão de cisalhamento *versus* Taxa de cisalhamento (deformação).**
 - Permite que o comportamento do fluido seja identificado: newtoniano e não newtoniano
 - Permite cálculo dos parâmetros de modelo que melhor se ajustarem aos dados calculados.
- Cada tipo de Reômetro requer um equacionamento para relacionar a tensão com a taxa de cisalhamento.