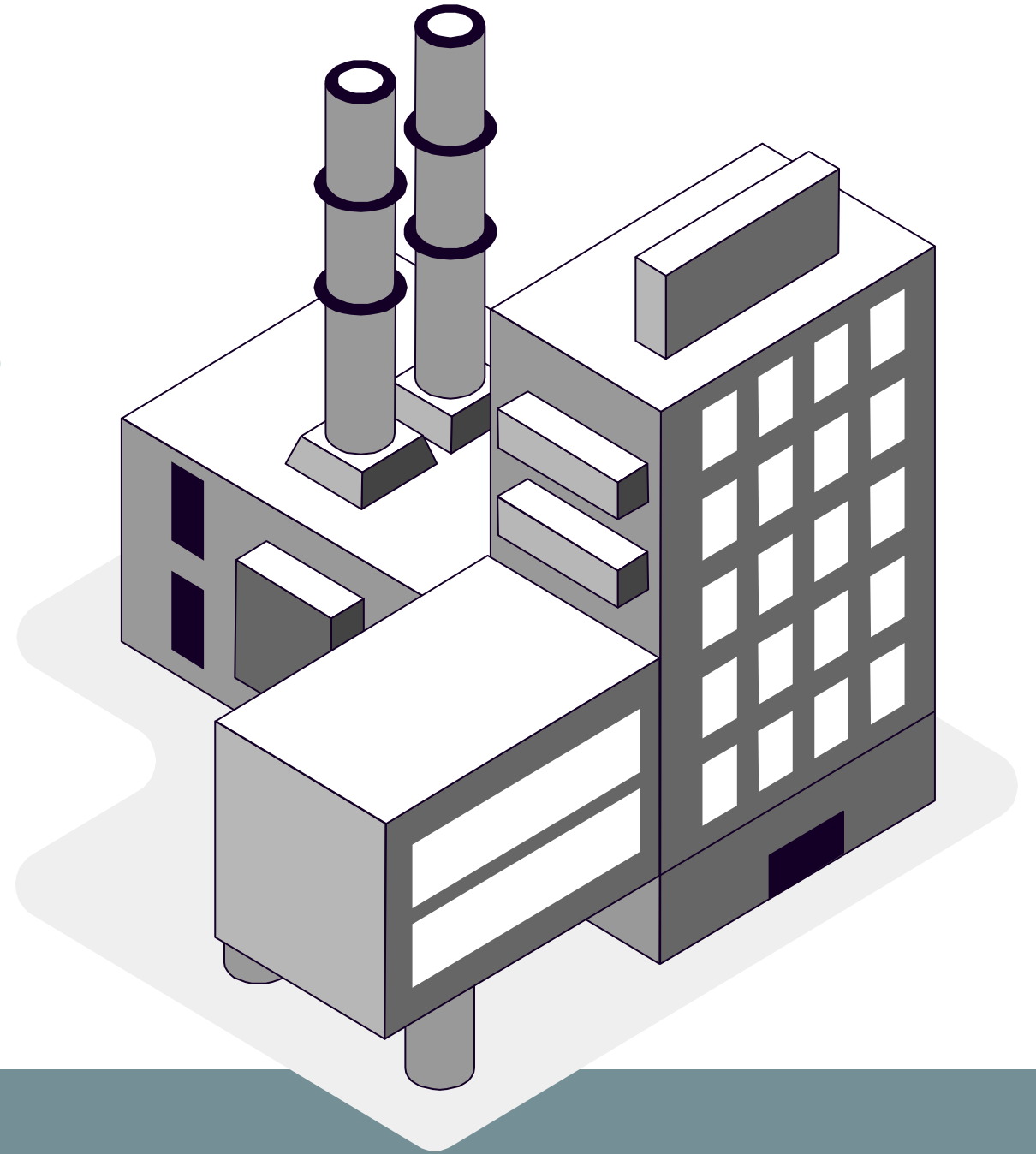


OPERAÇÕES UNITÁRIAS III

PROF^a KASSIA G SANTOS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

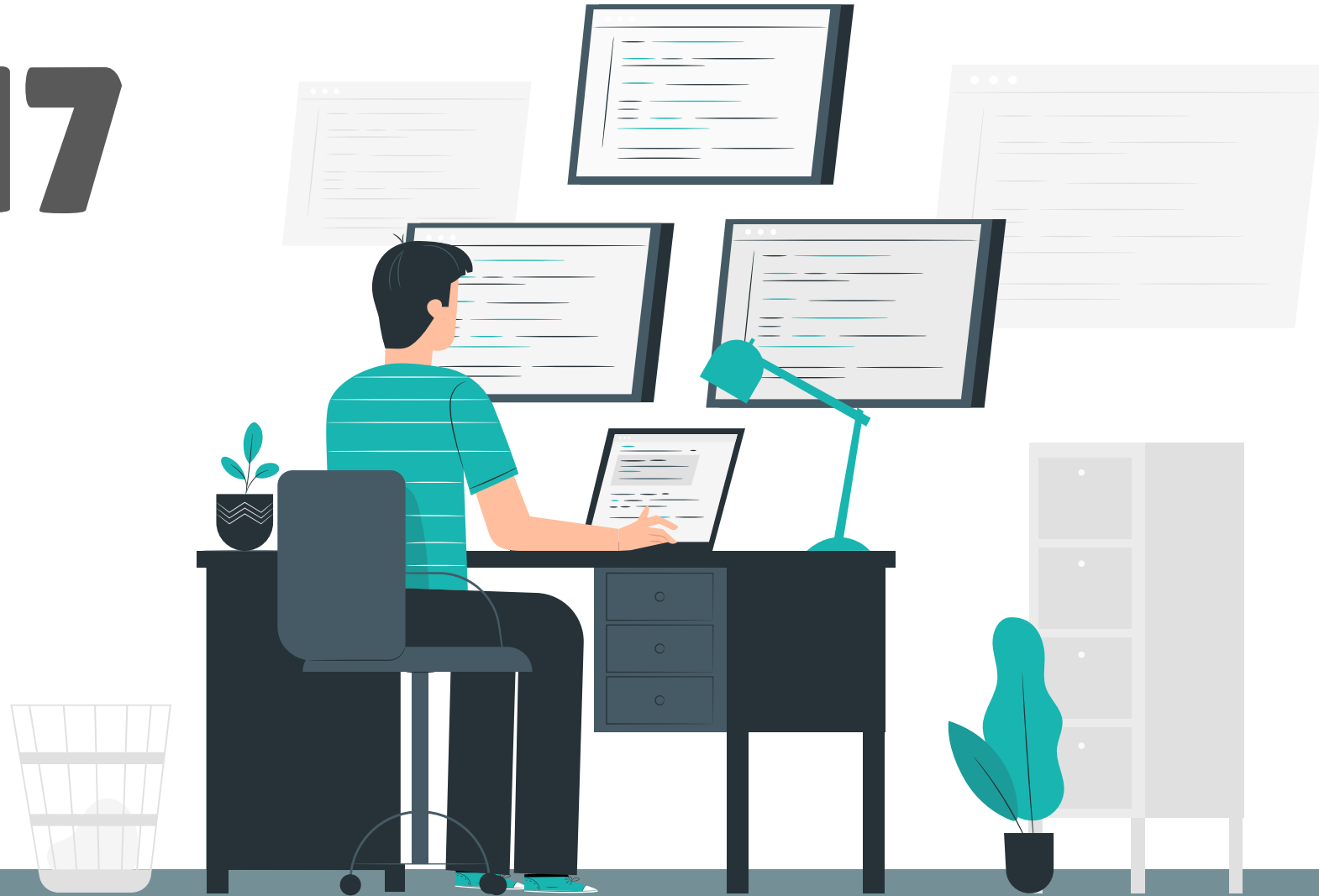
UFTM



AULA 17

FILTRAÇÃO

Teoria Simplificada





FILTRAÇÃO

Operação de separação sólido-fluido que utiliza um meio poroso (meio filtrante) na retenção das partículas

TIPOS DE MEIOS FILTRANTES

Características :

- ☐ boa resistência química
- ☐ boa resistência mecânica (térmica e abrasão)

Malha de metal



Pode ser de:

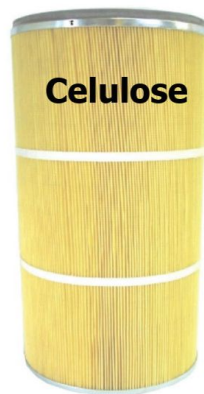
Papel



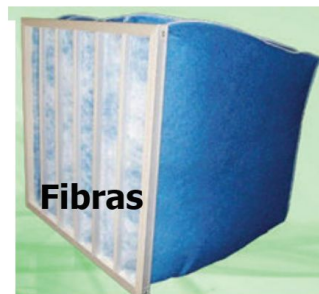
Nylon



Celulose



Fibras



Lã



Tecidos

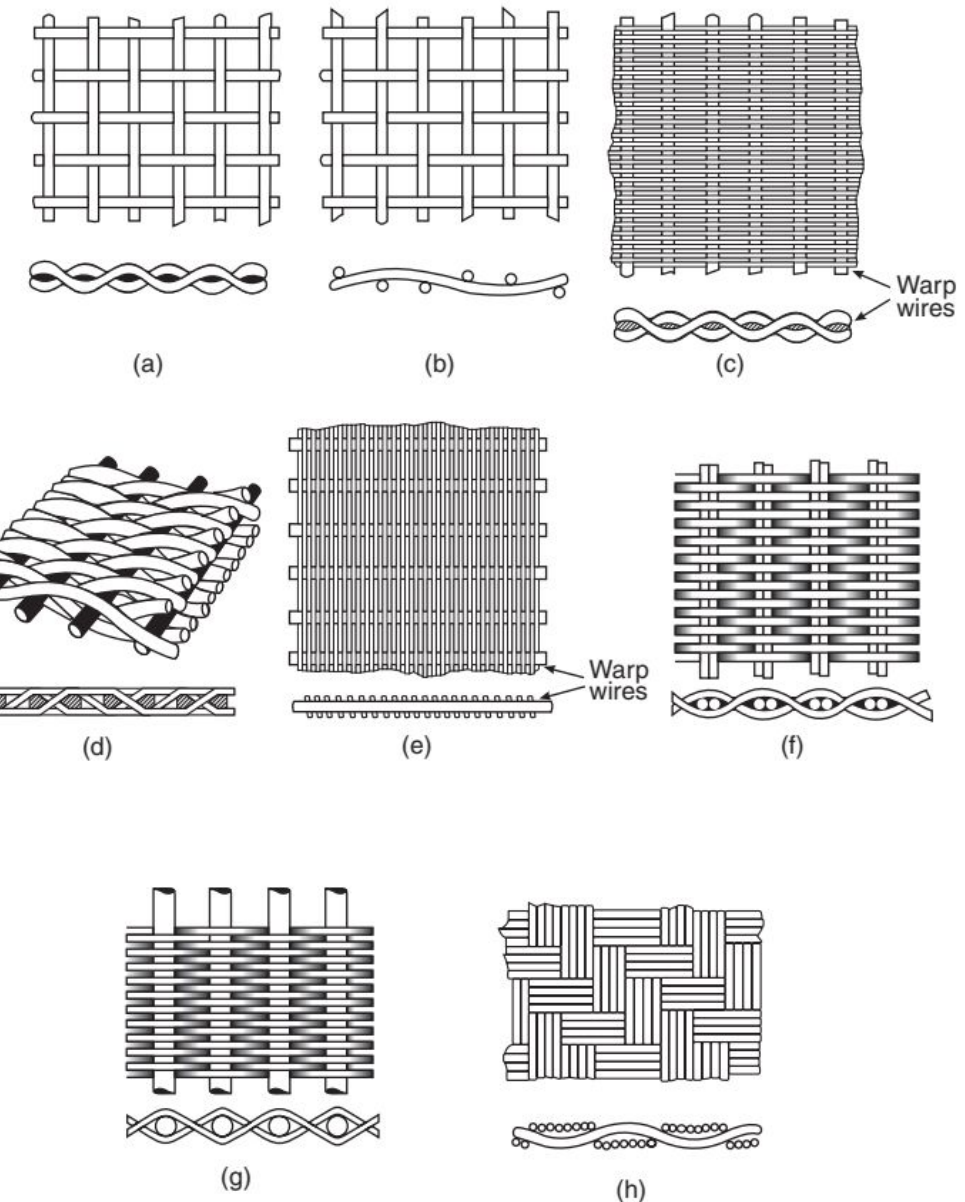


Figure 8.1 Different types of weaves. (a) Plain square weave. (b) Plain twilled weave. (c) Plain Dutch weave. (d) Twilled Dutch weave. (e) Reverse Dutch weave. (f) Duplex (twin warp) plain Dutch weave. (g) Betamesh Dutch weave. (h) Basket (braided or multibraid) weave

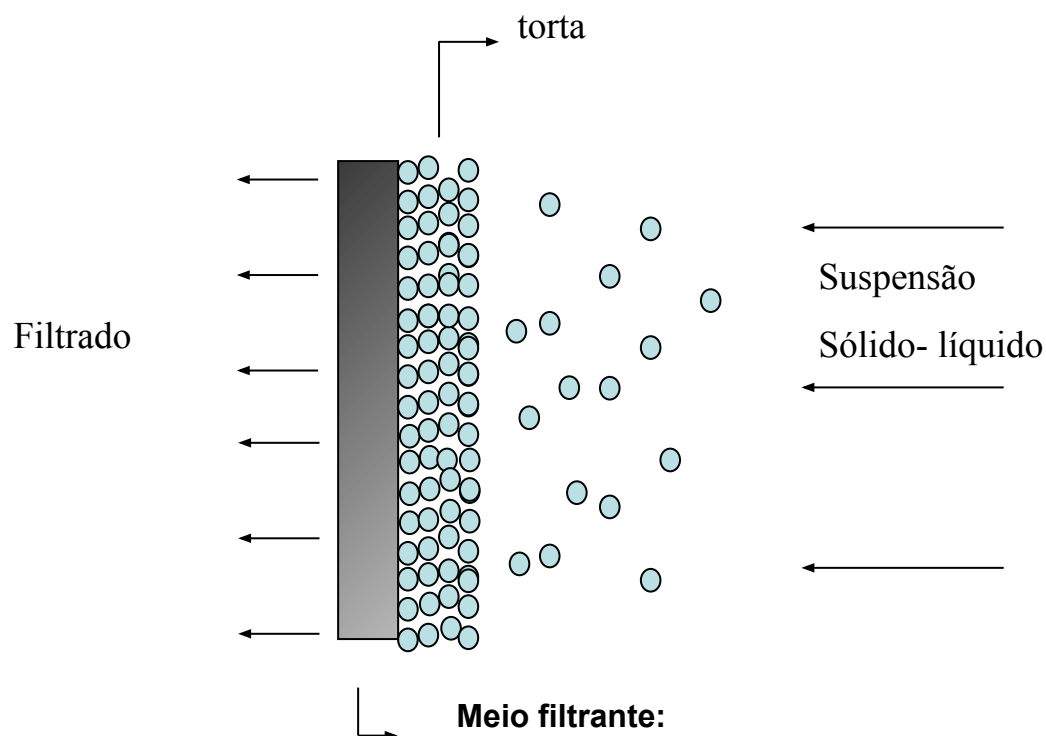
TEORIA E PRÁTICA DA FILTRAÇÃO

FILTRAÇÃO SÓLIDO-LÍQUIDO COM FORMAÇÃO DE TORTA

As partículas sólidas retiradas pelo meio filtrante constituem um corpo poroso que cresce e se deforma continuamente (denominado: torta).

O líquido percolando a torta e o meio filtrante dá origem ao filtrado.

No início é o filtro que retém as partículas, em seguida a torta que retém umas as outras.

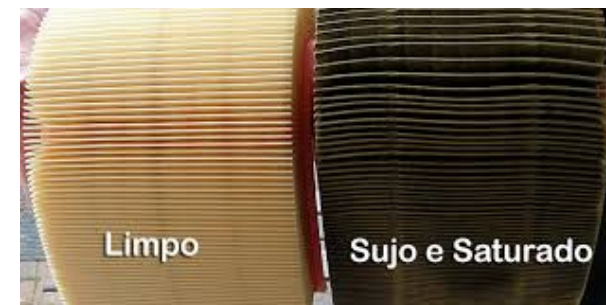


- ☐ Suspensão sólido-gás
- ☐ Suspensão sólido-líquido

Suspensão sólido-líquido:



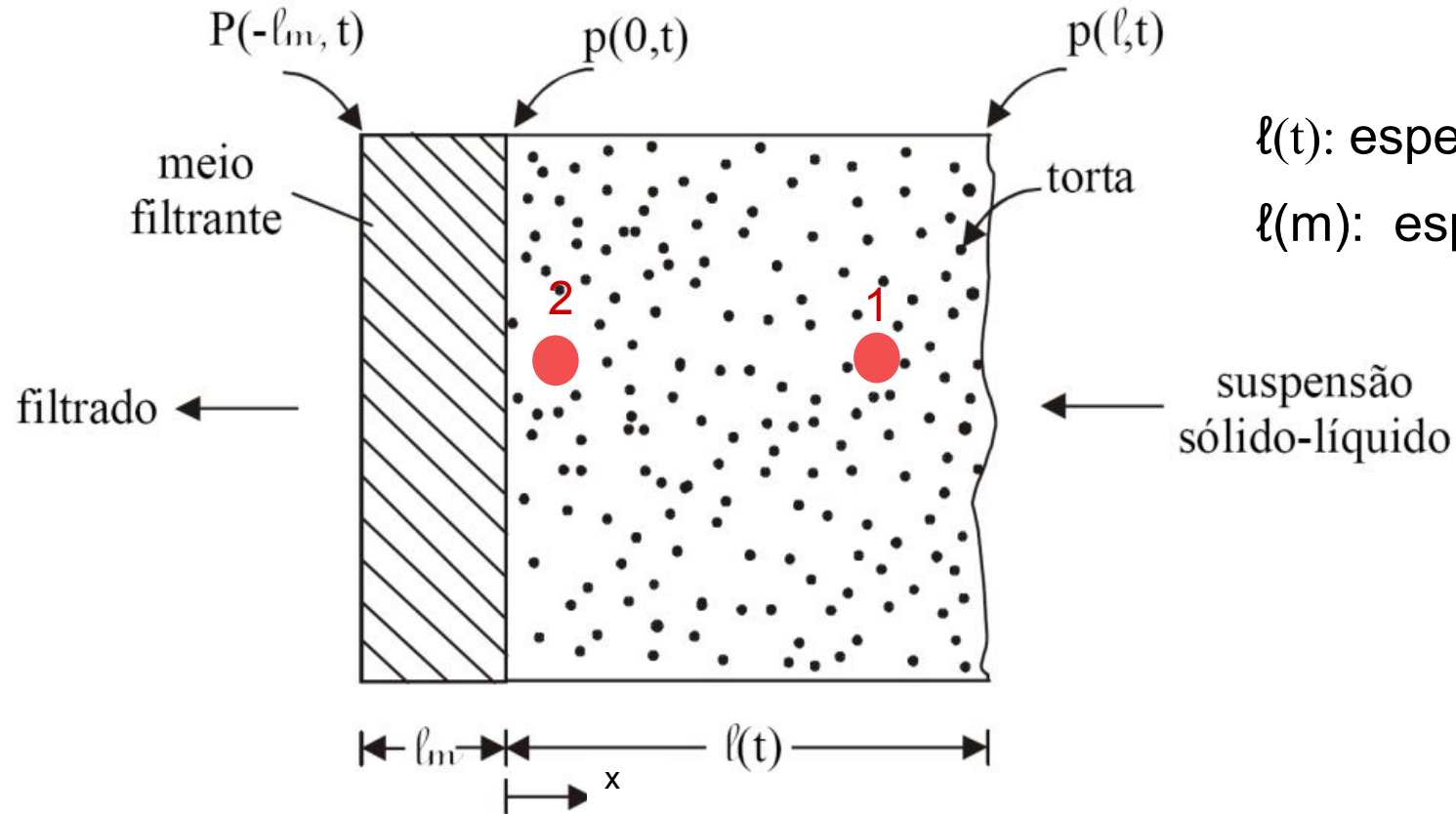
com formação de torta



filtração na massa do meio filtrante (colmatação)

TEORIA E PRÁTICA DA FILTRAÇÃO

Características da Torta de Filtração



$\ell(t)$: espessura da torta cresce ao longo do tempo.

$\ell(m)$: espessura do meio filtrante

A torta se deforma: As propriedades ε (porosidade) e k (permeabilidade) não são constantes.

k e ε em um ponto fixo (1, por exemplo) diminuem com o tempo.

k e ε no ponto 2 são menores que no ponto 1 (variam com a posição).

FILTRAÇÃO COM FORMAÇÃO DE TORTA INCOMPRESSÍVEL

Filtração 1-D (Unidimensional-Plana)

Equação da Continuidade:

$$\cancel{\frac{\partial(\varepsilon\rho)}{\partial t}}^{\text{Incompressível}} + \nabla \cdot (\rho q) = 0$$

A única direção de interesse será x, logo:

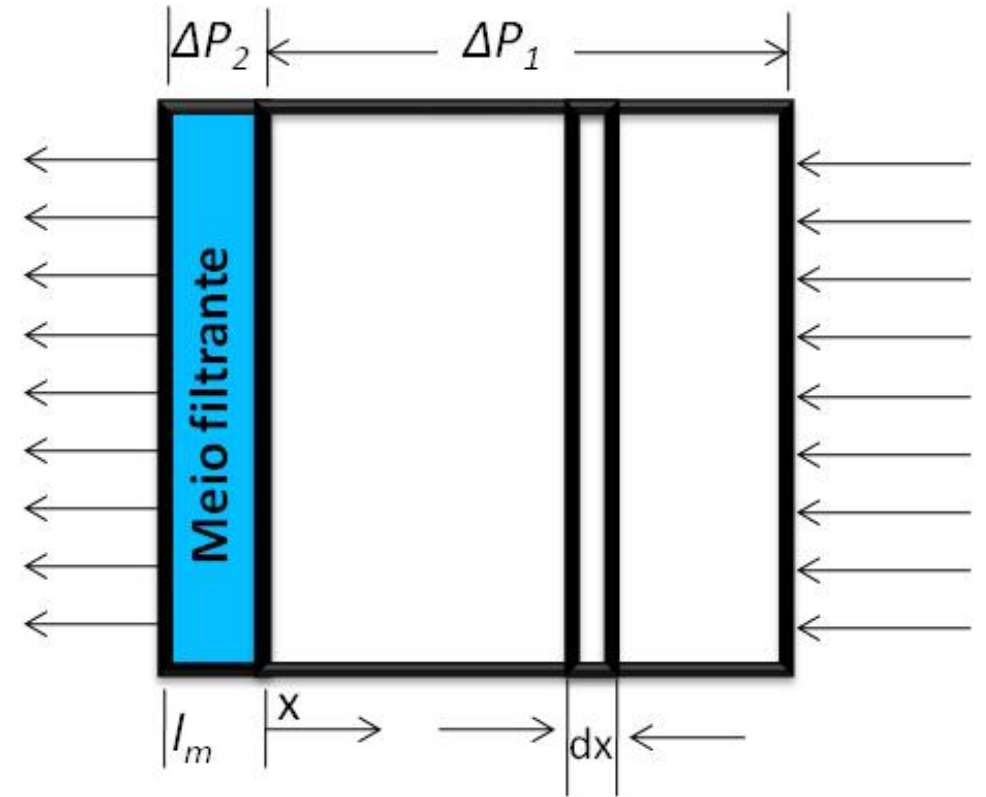
$$\nabla \cdot (\rho q) = \rho \frac{\partial q}{\partial x} = 0 \Rightarrow \frac{\partial q}{\partial x} = 0 \quad (q \text{ independe de } x)$$

Equação do Movimento (Escoamento Darcyano: $\underline{m} = \frac{\mu}{k} q$),

na direção x teremos: $q = -q_x$ sentido contrário de x.

Hipóteses: (-fluido Newtoniano -Aceleração nula → Regime Permanente)

$$\boxed{0 = -\nabla P - \underline{m} + \cancel{\rho \underline{b}}^{\text{direção horizontal}}} \Rightarrow \boxed{\frac{dp}{dx} = \frac{\mu}{k} q}$$



FILTRAÇÃO COM FORMAÇÃO DE TORTA INCOMPRESSÍVEL

Seja dm a massa de sólidos na camada dx :

$dm = (1 - \varepsilon) A \cdot dx \cdot \rho_s$ sendo: A é a área de filtração

$$dx = \frac{dm}{(1 - \varepsilon) A \rho_s}$$

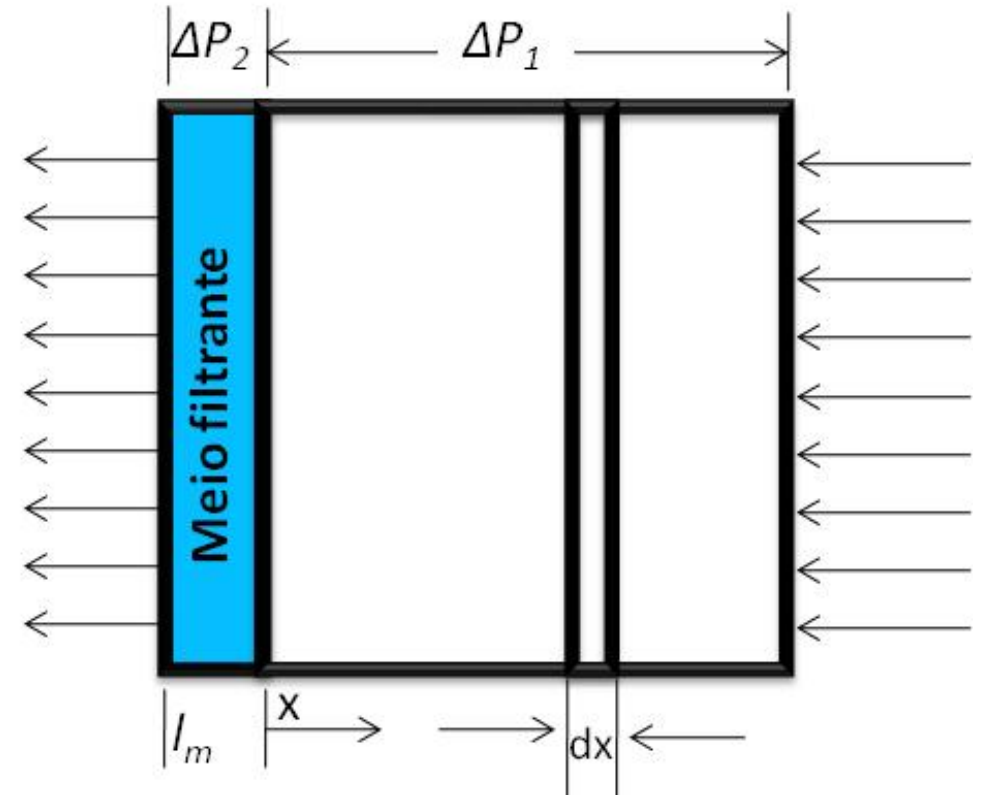
Equação do movimento: $\Rightarrow \boxed{\frac{dP}{dx} = \frac{\mu}{k} q \rightarrow dP = \frac{\mu}{k} q dx}$

$$\Rightarrow dP = \frac{\mu}{k} q \times \frac{dm}{(1 - \varepsilon) A \rho_s} = \frac{1}{k(1 - \varepsilon) \rho_s} \frac{\mu q dm}{A}$$

$$\Rightarrow dP = \left(\frac{1}{k(1 - \varepsilon) \rho_s} \right) \left(\frac{\mu q dm}{A} \right)$$

Definindo α como resistividade da torta $[M^{-1}L^1T^0]$

$$\alpha = \left(\frac{1}{k(1 - \varepsilon) \rho_s} \right) \rightarrow \text{Constante para torta incompressível!!}$$



FILTRAÇÃO COM FORMAÇÃO DE TORTA INCOMPRESSÍVEL

Agora podemos reescrever a equação como:

$$\Rightarrow dP = \left(\frac{1}{k(1-\varepsilon)\rho_s} \right) \left(\frac{\mu q dm}{A} \right) \Rightarrow \boxed{dP = \alpha \left(\frac{\mu q dm}{A} \right)}$$

Ao integrar teremos: Para a torta: $\boxed{\Delta P_1 = \alpha \left(\frac{\mu q}{A} m \right)}$

Para o meio filtrante que também é um meio poroso:

$$\frac{dP}{dx} = \frac{\mu}{k} q \quad (\text{Equação do movimento - Darcy})$$

$$\frac{\Delta P_2}{l_m} = \frac{\mu}{k} q \Rightarrow \boxed{\Delta P_2 = \left(\frac{l_m}{k} \right) (\mu q)}$$

Definindo, R_m como resistência do meio filtrante:

$$R_m = \left(\frac{l_m}{k} \right) \rightarrow [R_m] = M^0 L^{-1} T^0$$

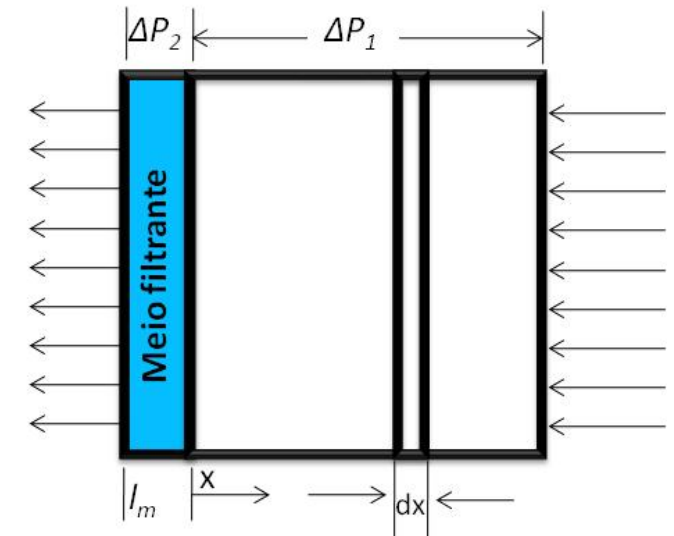
Logo podemos escrever: $\Rightarrow \boxed{\Delta P_2 = R_m (\mu q)} \rightarrow$ Para o meio filtrante.

A queda de pressão total: $\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2$

$$\Delta P = \alpha \left(\frac{\mu q}{A} m \right) + R_m (\mu q)$$

$$\Delta P = \left[\frac{\alpha m}{A} + R_m \right] (\mu q)$$

$$\Rightarrow \boxed{\Delta P = \left[\frac{\alpha m}{A} + R_m \right] (\mu q)}$$



FILTRAÇÃO COM FORMAÇÃO DE TORTA INCOMPRESSÍVEL

Seja C , a concentração de sólidos na suspensão:

$$C = \frac{\text{massa de sólidos na suspensão}}{\text{massa de líquido na suspensão}} = \frac{m}{\rho V} \Rightarrow \boxed{m = \rho VC} \quad (1)$$

Sendo: V - volume de filtrado e ρ - densidade do líquido

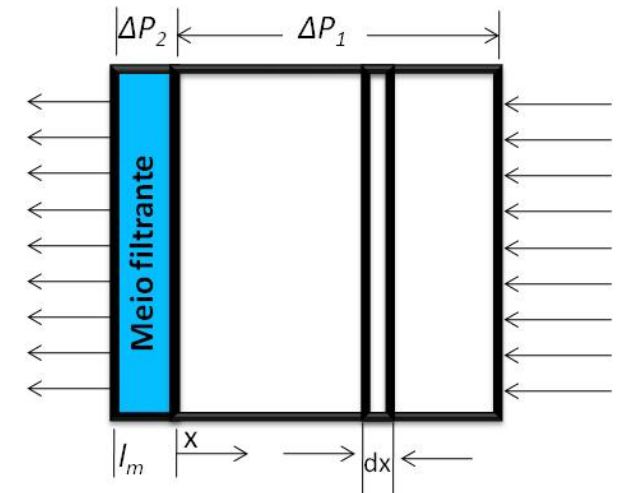
Sabemos que (q é a velocidade superficial): $\boxed{q = \frac{1}{A} \frac{dV}{dt}} \quad (2)$

Mas: $\boxed{\Delta P = \left[\frac{\alpha m}{A} + R_m \right] (\mu q)} \quad (3)$ De 1 em 3 teremos: $\boxed{\Delta P = \left[\frac{\alpha \rho VC}{A} + R_m \right] (\mu q)} \quad (4)$

Isolando q em 4 e substituindo em 2 teremos:

$$q = \frac{1}{A} \frac{dV}{dt} = \left(\frac{\Delta P}{\mu \left[\frac{\alpha \rho VC}{A} + R_m \right]} \right) \Rightarrow \boxed{\frac{dt}{dV} = \frac{\mu}{A \Delta P} \left[\frac{\alpha \rho VC}{A} + R_m \right]}$$

**Equação Fundamental
da Filtração
(Torta Incompressível)**



FILTRAÇÃO COM FORMAÇÃO DE TORTA COMPRESSÍVEL

A deformação é da torta e não da partícula

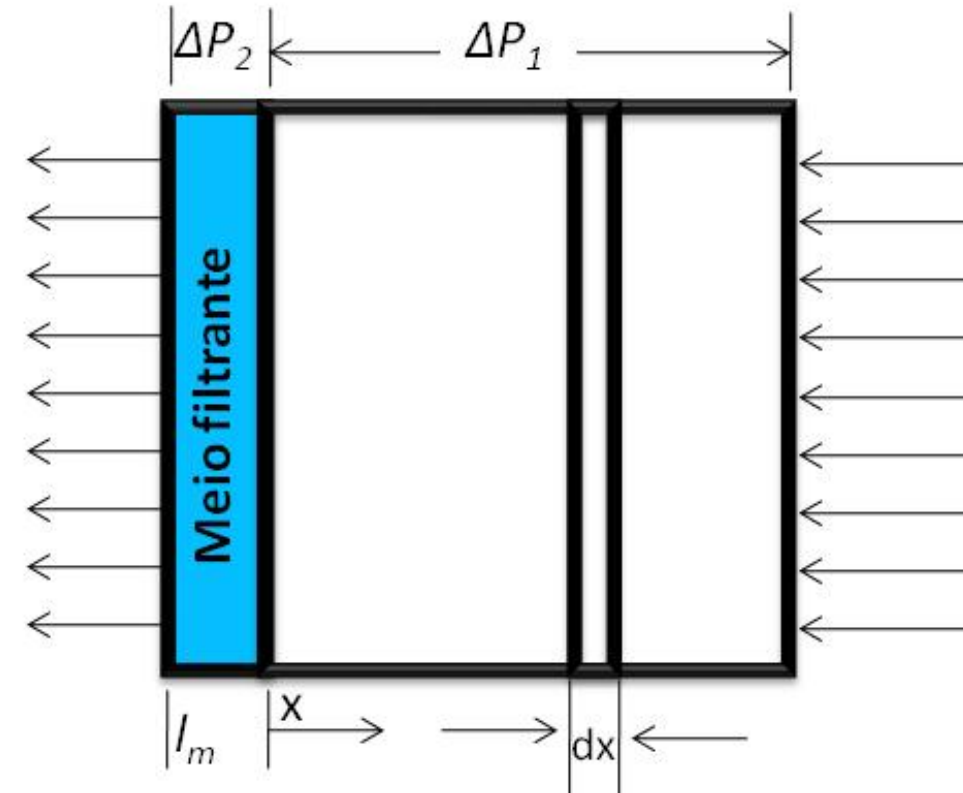
Teoria Simplificada: Considera uma resistividade média (ε varia ponto a ponto, porém, considera-se como um valor médio)

$\alpha \rightarrow \langle \alpha \rangle$: Resistividade média da Torta

Agora podemos reescrever as equações anteriores com α constante em termo de $\langle \alpha \rangle$.

$$\Rightarrow \Delta P = \left[\frac{\langle \alpha \rangle \rho V C}{A} + R_m \right] (\mu q)$$

$$\Rightarrow \frac{dt}{dV} = \frac{\mu}{A \Delta P} \left[\frac{\langle \alpha \rangle \rho V C}{A} + R_m \right]$$



FILTRAÇÃO COM FORMAÇÃO DE TORTA COMPRESSÍVEL

Determinação experimental de $\langle \alpha \rangle$ e R_m .

Equação Fundamental: $\Rightarrow \frac{dt}{dV} = \frac{\mu}{A\Delta P} \left[\frac{\langle \alpha \rangle \rho V C}{A} + R_m \right]$

Integrando $\rightarrow \frac{t}{V} = \frac{\mu}{A\Delta P} \left[\frac{\langle \alpha \rangle \rho V C}{2A} + R_m \right]$

Y X

Caso a teoria simplificada esteja correta:

$\frac{t}{V} \times V$ terá um comportamento linear!!!

Coeficiente Angular: $\frac{\langle \alpha \rangle \mu \rho C}{2A^2 \Delta P} \Rightarrow$ obtenho $\langle \alpha \rangle$

Coeficiente Linear: $\frac{\mu R_m}{A\Delta P} \Rightarrow$ obtenho R_m

Correlação para $\langle \alpha \rangle$: $\boxed{\langle \alpha \rangle = \alpha_0 \Delta P^n}$

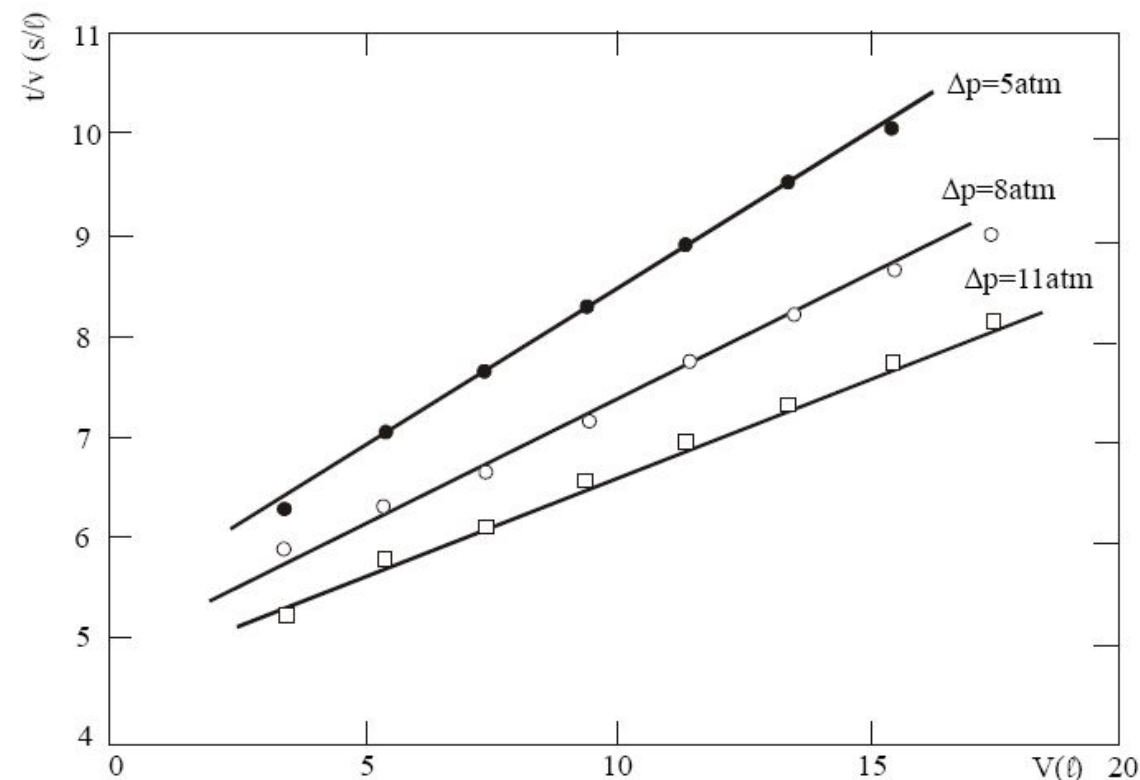


Figura 4 - Desempenho do filtro COPPE: suspensão aquosa de talco, $A = 670 \text{ cm}^2$ (Massarani, 1985).

Sendo: $n=0$ - torta incompressível ($\uparrow n \uparrow$ compressível).

n - coeficiente de compressibilidade da torta.

α_0 e n - dependem da natureza da torta.

FILTRAÇÃO AUXILIADA

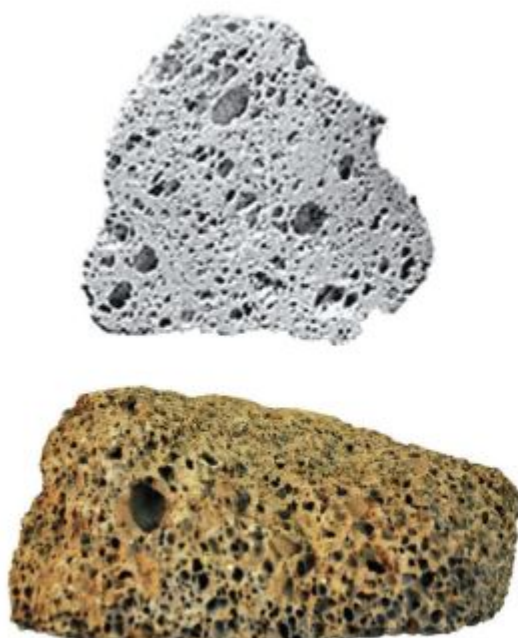
OBJETIVO: Aumentar permeabilidade da torta

Utilizada em suspensões de partículas orgânicas muito pequenas ou partículas coloidais, onde é muito difícil filtrar, pois a porosidade da torta é muito baixa (a torta fica muito impermeável).

Exemplos:

Bagacilho, celulose, Terra diatomácea: carapaça de algas marinhas calcinadas (praticamente sílica pura).

Terra diatomácea



Celulose



ASDESTO



FILTRAÇÃO AUXILIADA

Metodologias:

Auxiliar adicionado à suspensão:

- a) para deixar a torta mais porosa.
- b) quando a concentração de sólidos é maior que 0,5g/L.
- c) quando o produto de interesse é o filtrado.
- d) Filtros: prensa ou rotativo

Filtração em pré-camada:

- a) Concentração de sólidos $\leq 0,5\text{g/L}$
- b) Filtro: rotativo

OBJETIVO: Aumentar permeabilidade da torta

Procedimento:

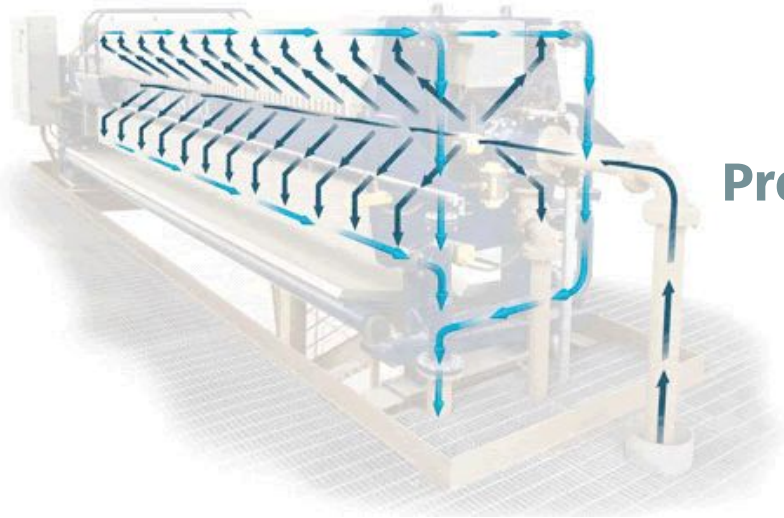
Etapa I - Água limpa + auxiliar

- ☐ filtra-se
- ☐ forma-se uma pré-camada
- ☐ não quero tirar a torta (pré-camada)

Etapa II - Suspensão problema:

- ☐ Com o tempo vai tirando uma pequena camada superficial até sair toda pré-camada
- ☐ Então retorna-se à etapa I

TIPOS DE FILTROS INDUSTRIAIS



Prensa

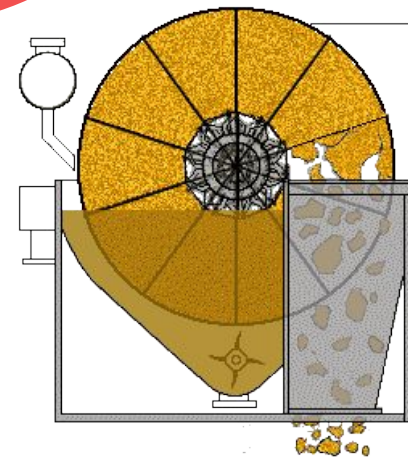
Tambor rotativo a vácuo



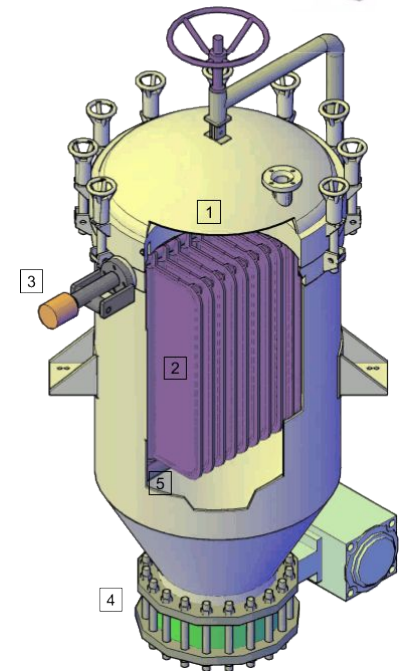
Filtros Manga



Filtros de disco



Filtro Folha



Referências:

- ☐ Massarani, Fluidodinâmica de Sistemas Particulados, 2001.
- ☐ Svarovsky, Solid-Liquid Separation.

Atividades da Aula 17

Individual

- ☐ Assistir vídeos recomendados para a aula.
- ☐ Postar estudo dirigido.

Empresa

- ☐ Procurar vídeos mostrando a operação de diferentes tipos de filtros, pra adicionar ao site da empresa.

