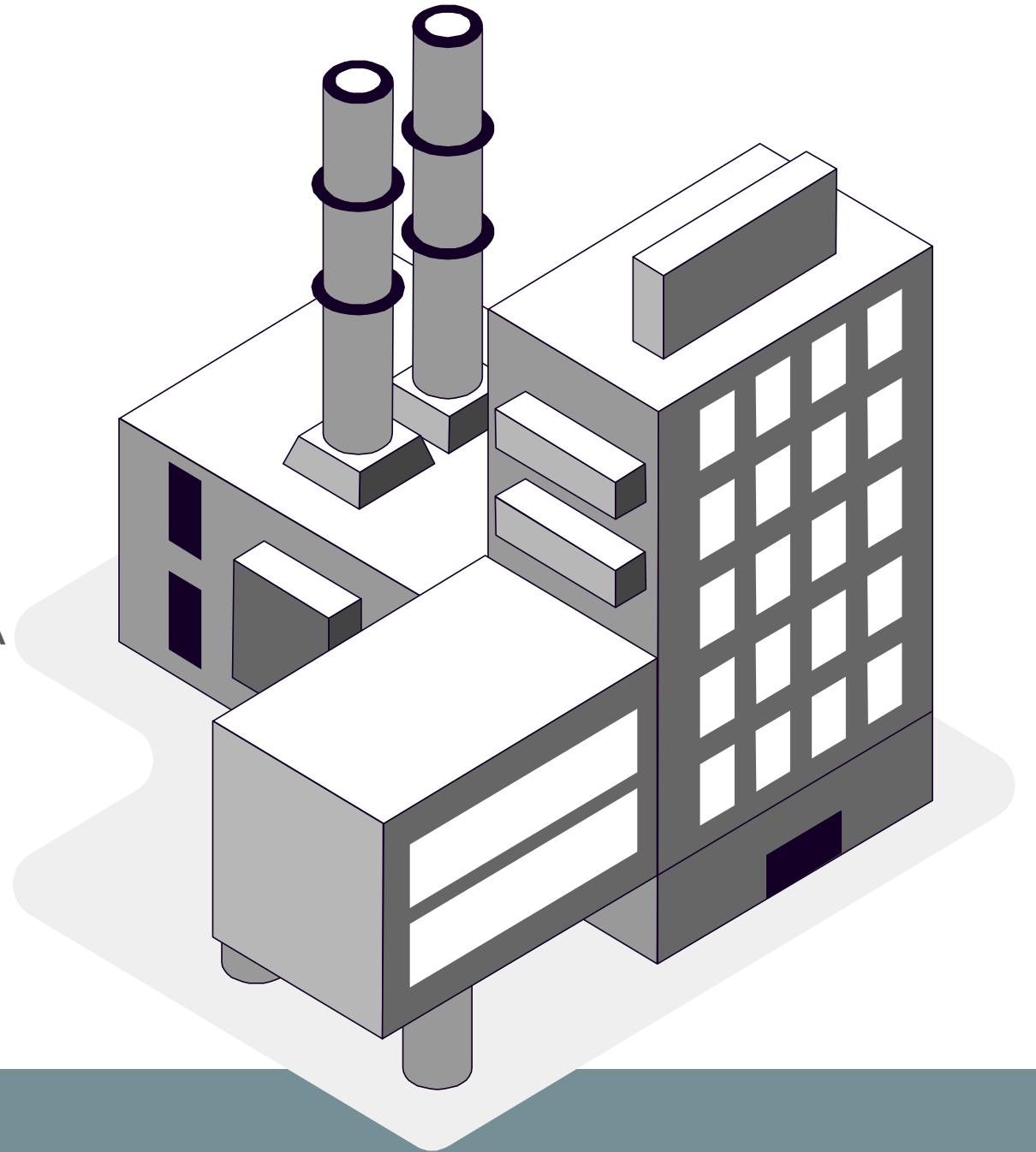


# OPERAÇÕES UNITÁRIAS III

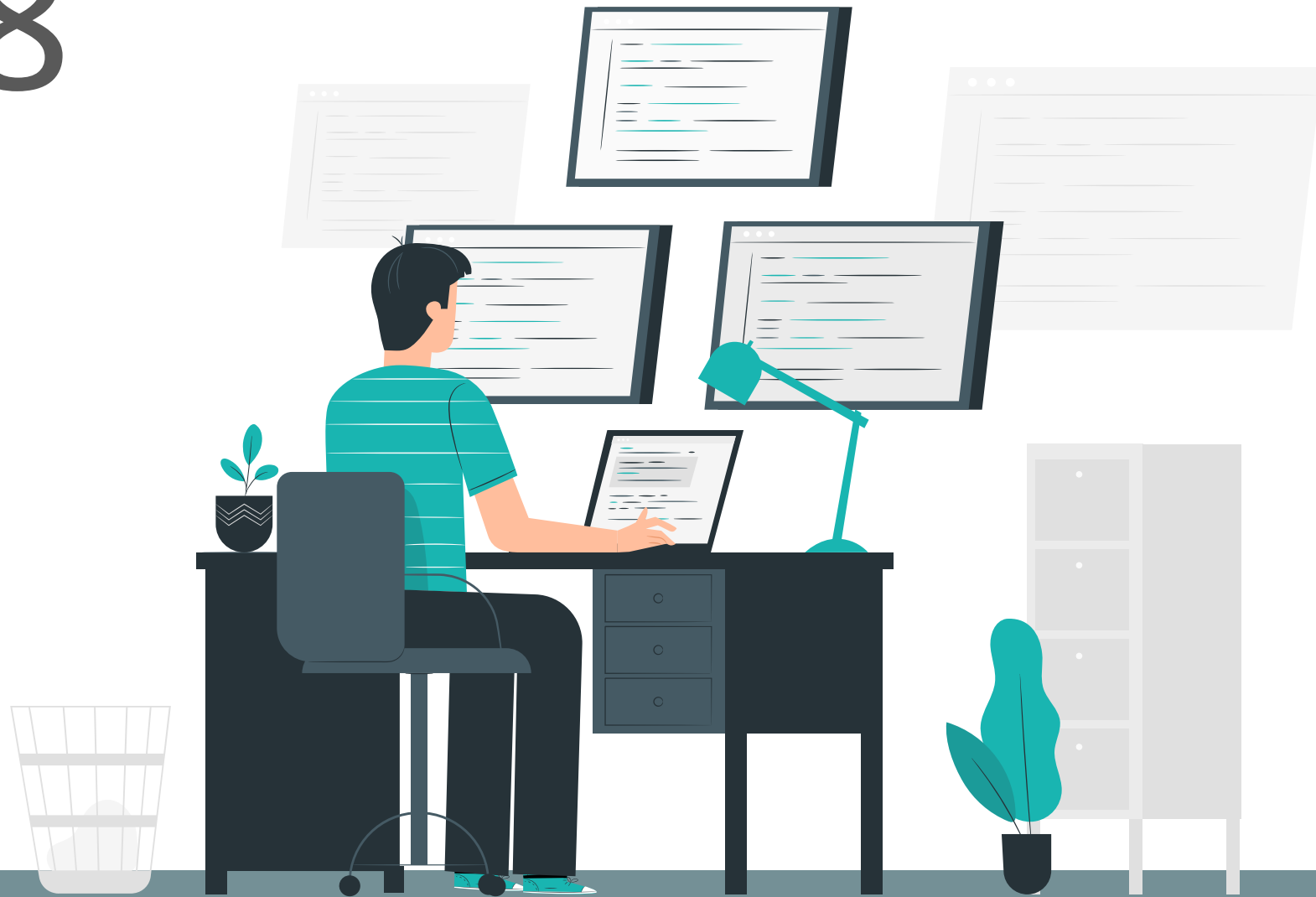
PROFª KASSIA G SANTOS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA  
UFTM



# AULA 8

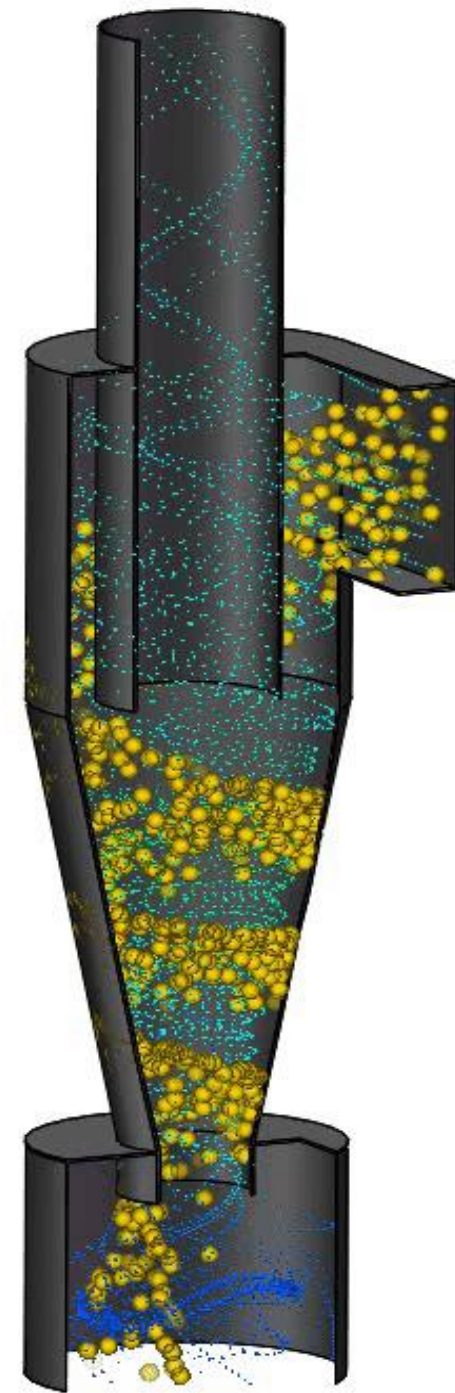
## CICLONES

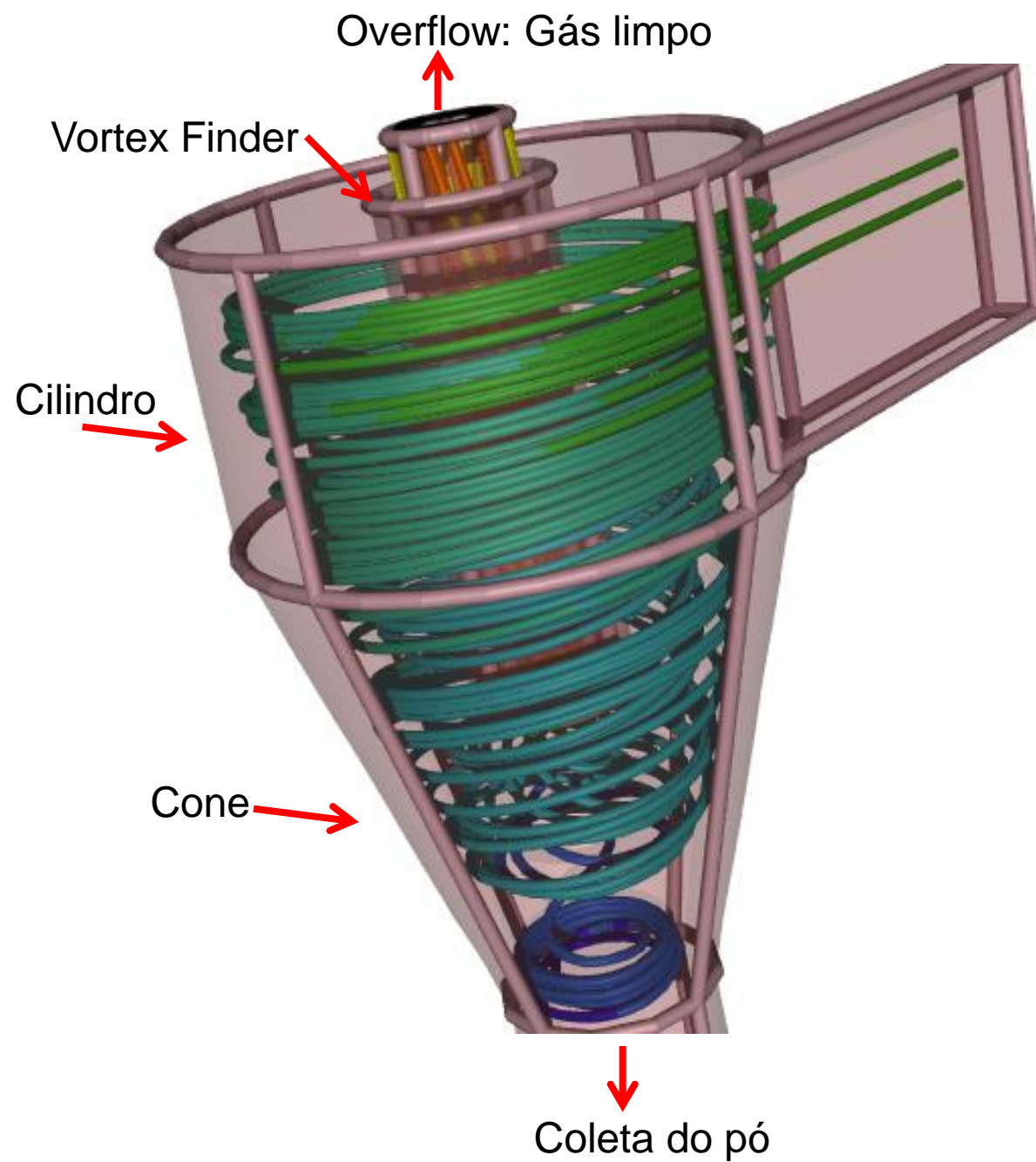
(Separação  
no campo  
centrífugo)



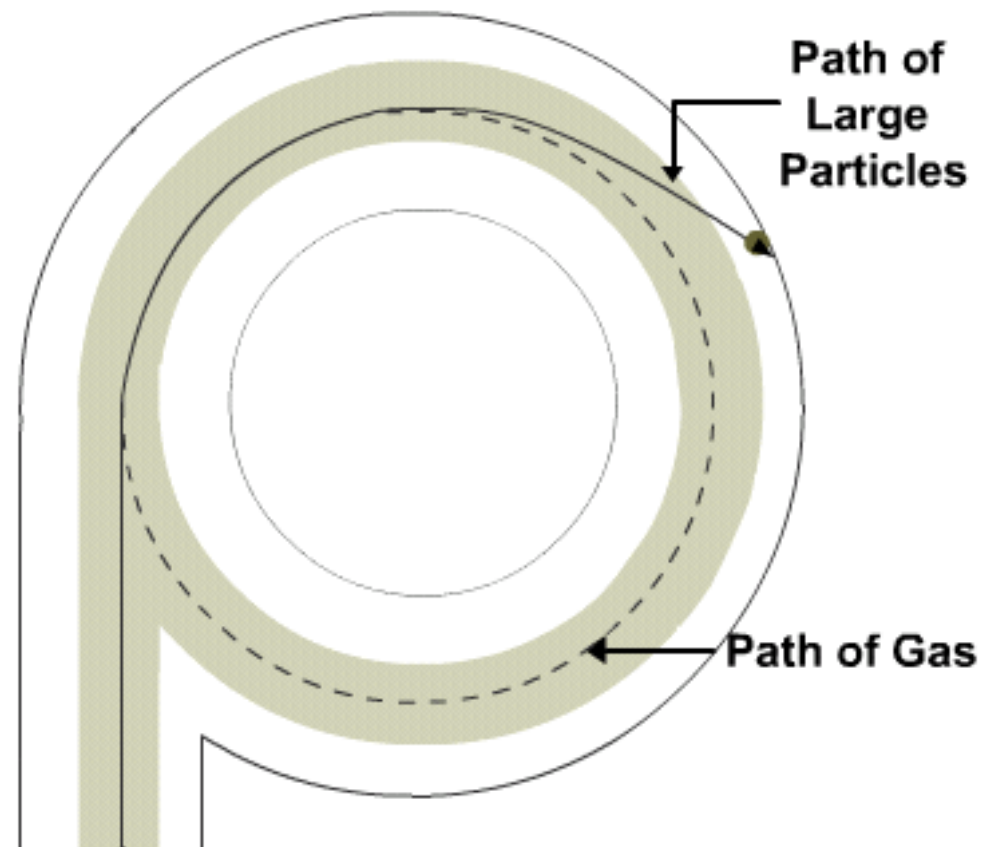
# CICLONES

Equipamentos de separação em que o campo centrífugo é o principal responsável pela separação das partículas (“underflow”).





Entrada do  
gás sujo



# APLICAÇÕES



Remover material particulado poluente de efluente gasoso

Separar/reciclar sólidos/produtos mais valiosos comercialmente

Separar e controlar pós/poeiras em ambientes de trabalho

Separar/classificar as drogas/alimentos

Ex: Processamento da madeira; exaustão, farinha de trigo, fertilizantes e cimento, etc

# VANTAGENS

Econômicos (baixos custos de fabricação e operação) e eficientes

Trabalham com elevada concentração de partículas

O sólido pode estar seco ou úmido

Queda de pressão da ordem de 1 KPa ou 4 in de H<sub>2</sub>O

Eficiência > 90% p/ partículas > 10 microns

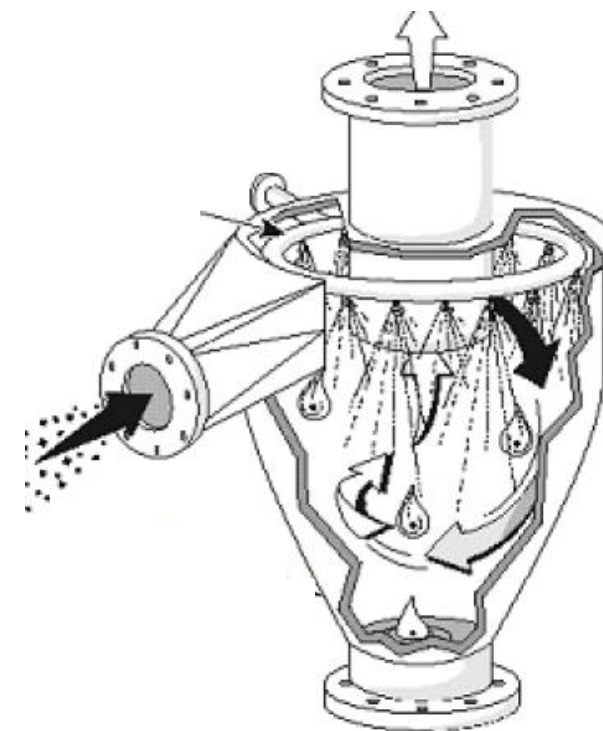




Empregado na limpeza de gases de caldeira por absorção de gases como ENXOFRE: produz de 5 a 15 galões H<sub>2</sub>O/(1000 ft<sup>3</sup>de gás.min)

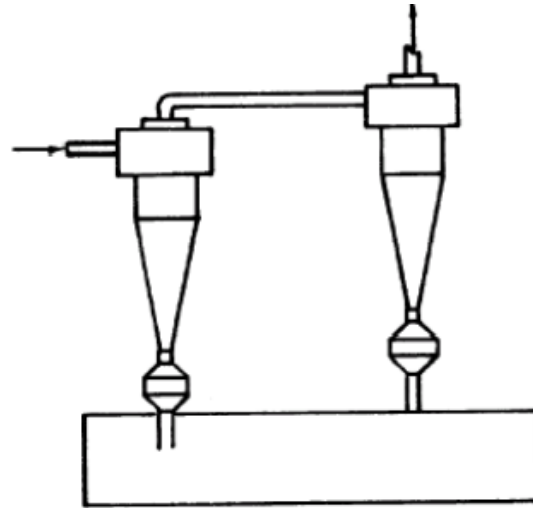


Ciclone Irrigado

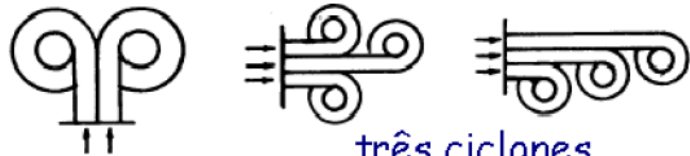


# ARRANJOS DE CICLONES

SÉRIE

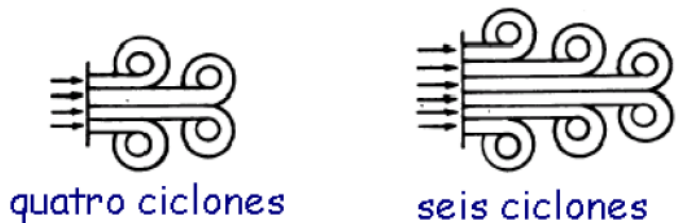


PARALELO



três ciclones

dois ciclones

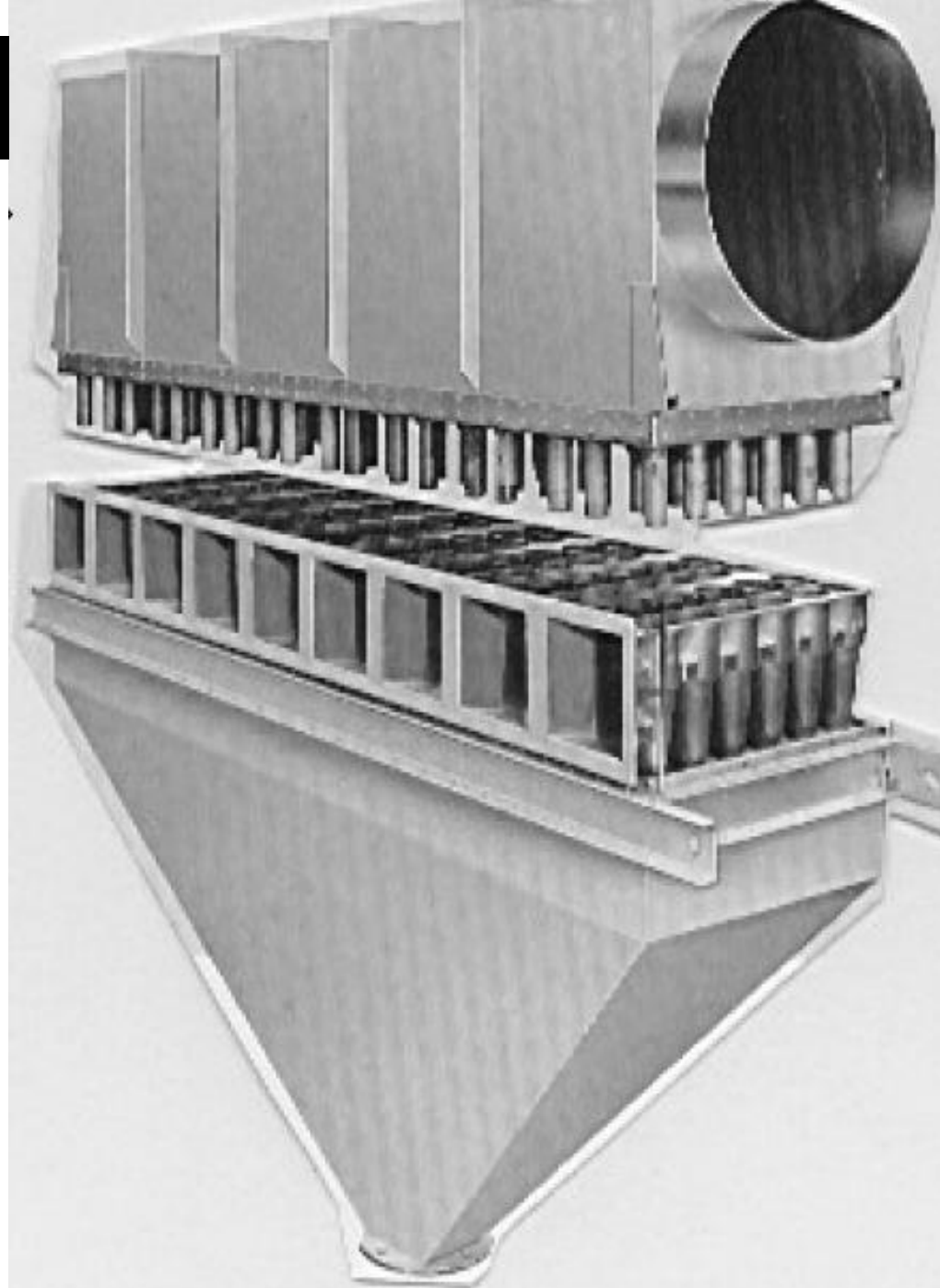
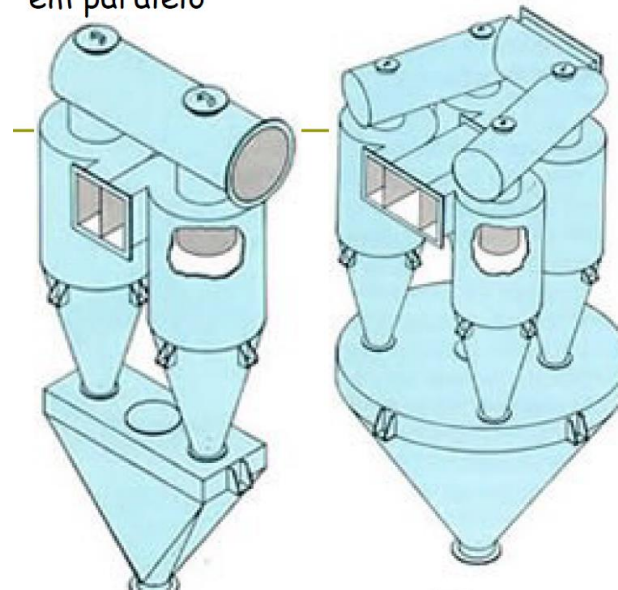


seis ciclones

quatro ciclones

Dois ciclones  
em paralelo

Quatro ciclones em paralelo

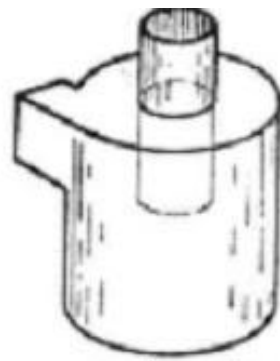




# CONFIGURAÇÕES DE ALIMENTAÇÃO

- ❑ Simples projeto e construção
- ❑ Menor Custo de fabricação
- ❑ Turbulência ocasiona o *bypassing* de no vortex finder
- ❑ Menor eficiência de coleta
- ❑ Maior queda de pressão

Tangencial



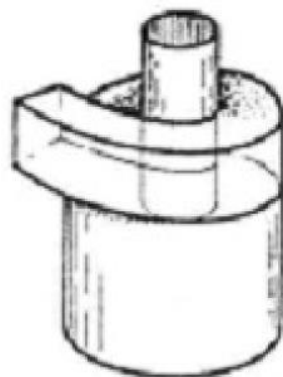
Tangencial com placa defletora



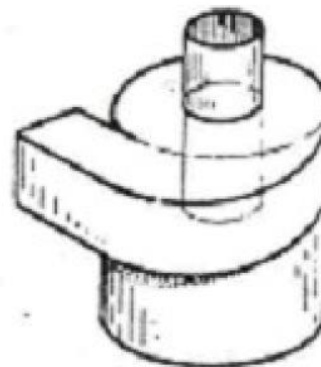
- ❑ Reduz a queda de pressão (requer soprador de menor capacidade)
- ❑ Reduz o vortex externo e diminui a eficiência de coleta
- ❑ Favorece o fluxo tangencial

- ❑ Geometria favorece escoamento tangencial do gás
- ❑ Fluxo de gás mais suave junto ao vortex finder
- ❑ Projeto mecânico mais complicado
- ❑ Maior o custo de construção

Helicoidal



Voluta



- ❑ Entrada do gás com menor turbulência e queda de pressão
- ❑ Menor Eficiência de coleta
- ❑ Custo relativamente maior e projeto mais complexo
- ❑ Equipamento maior para processar o mesmo fluxo de gás



### Diâmetro de corte

$$\frac{d^*}{D_c} = K \left[ \frac{\mu D_c}{Q(\rho_s - \rho)} \right]^{1/2} f(R_L) P$$

$d^*$  - diâmetro de corte ( $\eta=0,5$ )

$D_c$  - diâmetro da parte cilíndrica - caracteriza o ciclone

$K$  - constante específica para cada família (tipo) de ciclone

$Q$  - vazão volumétrica da suspensão na alimentação

$f(R_L)$  - função que leva em conta as relações volumétricas no "underflow" e na alimentação (importante só para hidrociclones), relacionado ao conceito de eficiência reduzida.

$P$  - fator que leva em conta a concentração de sólidos na alimentação

$d^* \Rightarrow D_c \downarrow (\rho_s - \rho) \uparrow Q \uparrow K \downarrow$

### Relação entre queda de pressão e a vazão

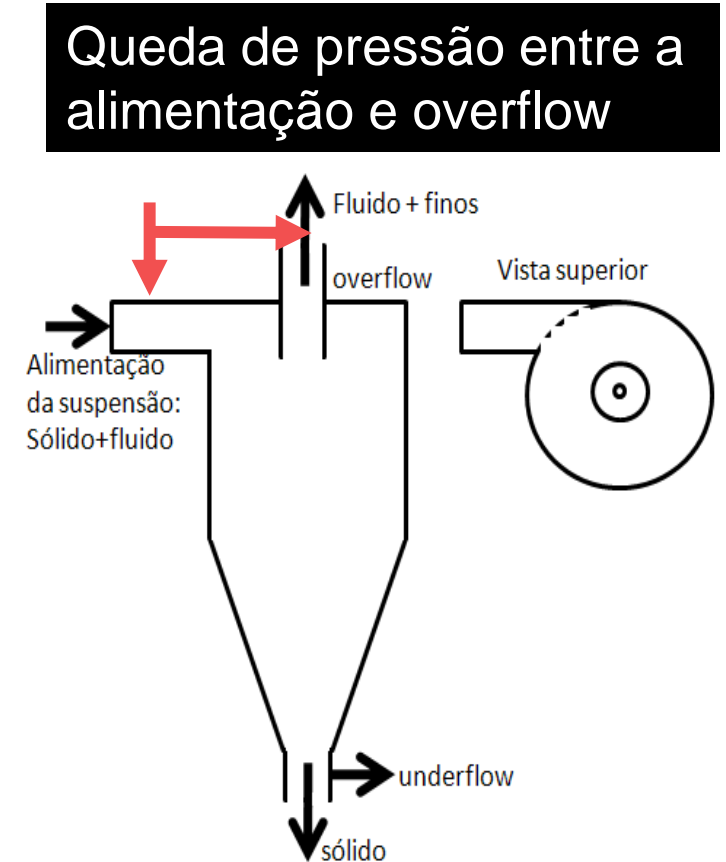
$$\beta = \left[ \frac{(-\Delta P)}{\left( \rho \frac{u_c^2}{2} \right)} \right]$$

$\therefore \beta$  – constante adimensional, função do tipo de ciclone/hidrociclone

$\Delta P$ -queda de pressão medida entre a alimentação e "overflow"

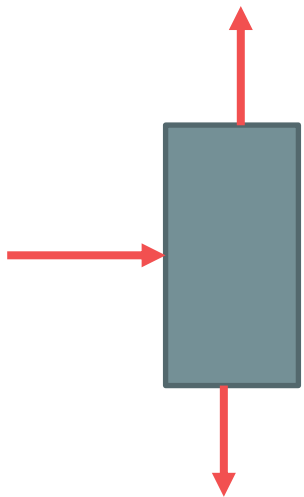
$$u_c = \frac{Q}{\left( \frac{\pi D_c^2}{4} \right)} - \text{velocidade da suspensão na seção cilíndrica}$$

eficiência  $\uparrow$   $\Delta P \uparrow$



### Eficiência individual de coleta ( $\eta$ )

❑ Específica para cada tipo de equipamento. Obtida a partir de dados experimentais.



$$\eta = f\left(\frac{D}{d^*}\right)$$

$$se\ D = d^* \rightarrow \eta = 0,5$$

$$D < d^* \rightarrow \eta < 0,5$$

$$D > d^* \rightarrow \eta > 0,5$$

$$\downarrow d^* \quad \uparrow \eta$$

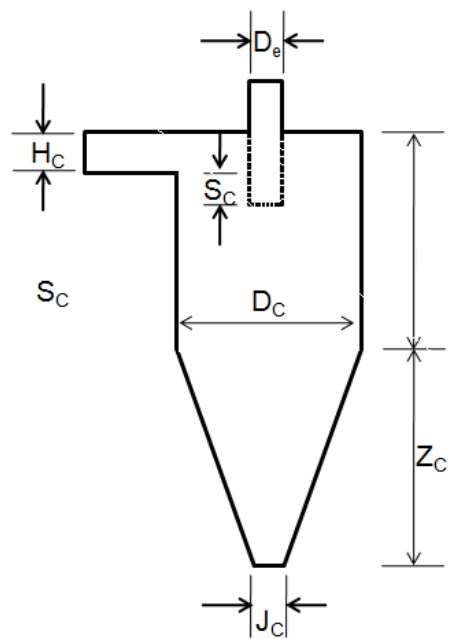
### Eficiência Global de coleta:

❑ Massa coletada pela massa alimentada

$$\bar{\eta} = (1 - R_L)I + R_L$$

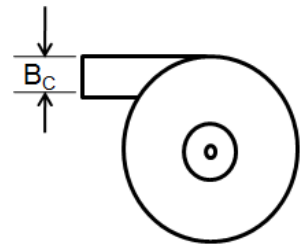
$$I = \int_0^1 \eta dX \quad I = \int_0^1 \eta dX = \int_0^\infty \eta \frac{dX}{dD} dD$$

I- Eficiência Global reduzida, devido ao campo centrífugo



Vista Lateral

Vista superior



Alimentação-seção  
retangular ( $B_c \times H_c$ )

### Geometria

Ciclone Lapple

$$B_c = \frac{D_c}{4} \quad S_c = \frac{D_c}{8}$$

$$D_e = \frac{D_c}{2} \quad Z_c = 2D_c$$

$$H_c = \frac{D_c}{2} \quad D_u = J_c = \frac{D_c}{4}$$

$$L_c = 2D_c$$

### Velocidade na entrada

$$u = \frac{Q}{H_c \times B_c}$$

$$20 \frac{ft}{s} < u < 70 \frac{ft}{s}$$

$$Q = u \cdot H_c \cdot B_c$$

$$Q = u \cdot \left( \frac{D_c}{2} \right) \cdot \left( \frac{D_c}{4} \right)$$

Velocidade usualmente adotada em projetos:  $u = 50 \frac{ft}{s}$



**a) Cálculo de  $d^*$ :**

$$\downarrow \frac{d^*}{D_c} = K \left[ \frac{\mu D_c}{Q(\rho_s - \rho)} \right]^{1/2} f(RL) P \quad \left\{ \begin{array}{l} P=1 \text{ (Função cv)} \\ f(R_L)=1 \\ K=0,095 \end{array} \right.$$

De acordo com Massarani:

$$\frac{d^*}{D_c} = 0,095 \left( \frac{\mu D_c}{Q(\rho_s - \rho)} \right)^{1/2}$$

Segundo o livro do Perry:

$$d^* = \left( \frac{9\mu B_c}{10\pi u(\rho_s - \rho)} \right)^{1/2}$$

**b) Perda de carga entre a alimentação e a descarga de gás**

$$\beta = 315 \rightarrow 315 = \left[ \frac{(-\Delta P)}{\rho \frac{u_c^2}{2}} \right] \quad \text{sendo: } u_c = \frac{Q}{\left( \pi \frac{D_c^2}{4} \right)}$$

Provando que as equações de Massarani e Perry são iguais:

$$d^* = \sqrt{\frac{9 \mu B_c}{10 \pi u (\rho_s - \rho)}} = \sqrt{\frac{9 \mu \left( \frac{D_c}{4} \right)}{10 \pi \frac{Q}{\left( \frac{D_c}{2} \right) \cdot \left( \frac{D_c}{4} \right)} (\rho_s - \rho)}}$$

$$d^* = \sqrt{\frac{9 \mu \left( \frac{D_c}{4} \right) \cdot \left( \frac{D_c^2}{8} \right)}{10 \pi Q (\rho_s - \rho)}} = D_c \cdot \sqrt{\frac{9 \mu \cdot \left( \frac{D_c}{32} \right)}{10 \pi Q (\rho_s - \rho)}}$$

$$\frac{d^*}{D_c} = \sqrt{\frac{9}{32}} \cdot \sqrt{\frac{\mu D_c}{Q (\rho_s - \rho)}} \Rightarrow \frac{d^*}{D_c} = 0,095 \cdot \left( \frac{\mu D_c}{Q (\rho_s - \rho)} \right)^{\frac{1}{2}}$$

## c) Eficiência Individual de coleta para Ciclone Lapple

D/d*	10	7	5	3	2	1,5	1	0,7	0,5	0,3	0,2
$\eta$	0,99	0,98	0,96	0,90	0,80	0,69	0,50	0,33	0,20	0,08	0,04

$$\eta = \frac{\left(\frac{D}{d^*}\right)^2}{1 + \left(\frac{D}{d^*}\right)^2}$$

## Eficiência Global:

$$\bar{\eta} = I$$

$$I = \int_0^1 \eta dX = \int_0^\infty \eta \frac{dX}{dD} dD$$

Para Modelo Distribuição Granulométrica RRB

$$X(D) = 1 - e^{-(D/D')^n}$$

$$I = \frac{\frac{1,11n}{0,118+n}}{1,81 - 0,322n + (D'/D^*)} \cdot \frac{D'}{D^*};$$

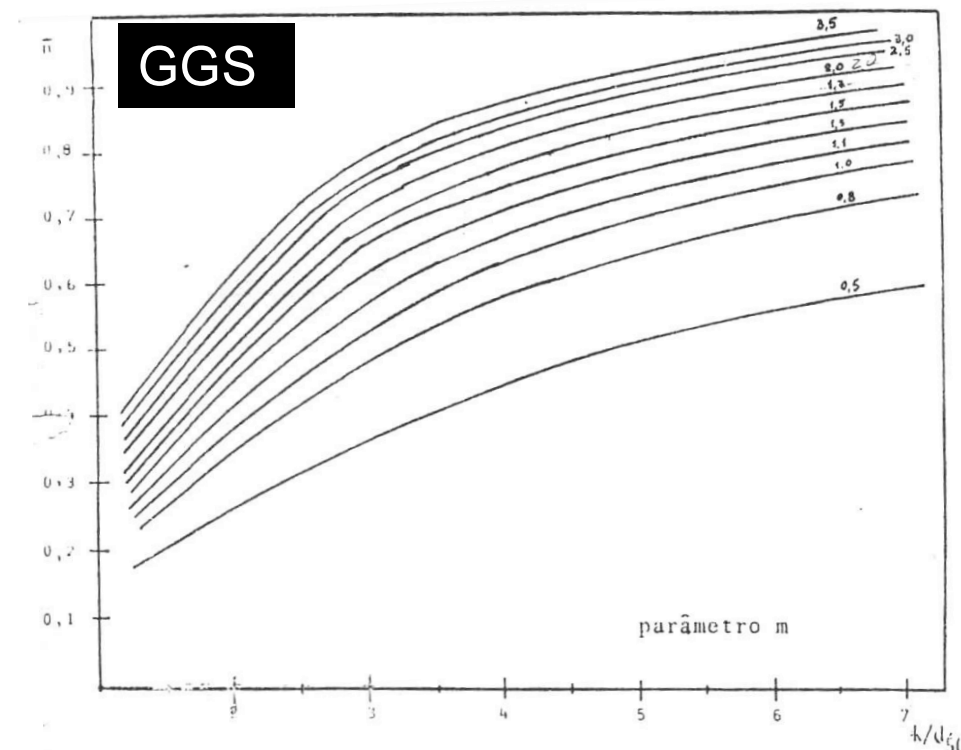
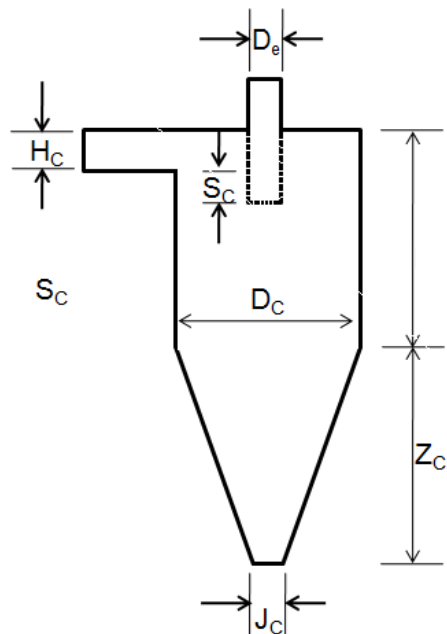
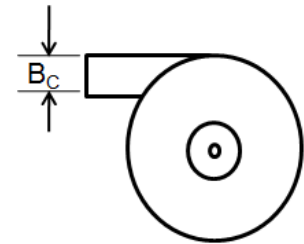


Figura 2 - Desempenho do ciclone LAPPLE (Modelo GGS)



Vista Lateral

Vista superior



Alimentação-seção retangular ( $B_c \times H_c$ )

## Ciclone Stairmand

$$B_c = \frac{D_c}{5}$$

$$S_c = \frac{D_c}{8}$$

$$D_e = \frac{D_c}{2}$$

$$Z_c = 2,5 D_c$$

$$H_c = \frac{D_c}{2}$$

$$D_u = J_c = 0,37 D_c$$

$$L_c = 1,5 D_c$$

Todas as dimensões estão relacionadas ao  $D_c$

## Velocidade na entrada

$$u = \frac{Q}{H_c \times B_c}$$

$$10 \frac{m}{s} < u < 30 \frac{m}{s}$$

$$Q = u \cdot H_c \cdot B_c$$

$$Q = u \cdot \left( \frac{D_c}{2} \right) \cdot \left( \frac{D_c}{5} \right)$$

Velocidade usualmente adotada em projetos:  $u = 15 \frac{m}{s}$



**a) Cálculo de  $d^*$ :**

$$\frac{d^*}{D_c} = K \left[ \frac{\mu D_c}{Q(\rho_s - \rho)} \right]^{1/2} f(RL) P \quad \begin{cases} P=1 \\ f(R_L)=1 \\ K=0,041 \end{cases}$$

De acordo com Massarani:

$$\frac{d^*}{D_c} = 0,041 \left( \frac{\mu D_c}{Q(\rho_s - \rho)} \right)^{1/2}$$

Segundo o livro do Perry:

$$d^* = \left( \frac{9\mu B_c}{10\pi u(\rho_s - \rho)} \right)^{1/2}$$

**b) Perda de carga entre a alimentação e a descarga de gás (Massarani, 2000)**

$$\beta = 400 \rightarrow 400 = \left[ \frac{(-\Delta P)}{\rho \frac{u_c^2}{2}} \right] \text{ sendo: } u_c = \frac{Q}{\left( \pi \frac{D_c^2}{4} \right)}$$

**Potência do soprador:**

$$P[cv] = \frac{Q_T [m^3 / s] \cdot \Delta P_i [mm H_2O]}{75 \cdot \eta}$$

## c) Eficiência Individual de coleta

D/d*	10	7	5	3	2	1,5	1	0,7	0,5	0,3	0,2
$\eta$	0,99	0,98	0,96	0,90	0,80	0,69	0,50	0,33	0,20	0,08	0,04

$$\eta = \frac{\left(\frac{D}{d^*}\right)^2}{1 + \left(\frac{D}{d^*}\right)^2}$$

**Eficiência Global:**  $\bar{\eta} = I$

$$I = \int_0^1 \eta dX = \int_0^\infty \eta \frac{dX}{dD} dD$$

Para Modelo Distribuição Granulométrica RRB

$$X(D) = 1 - e^{-(D/D')^n}$$

$$I = \frac{\frac{1,11n}{0,118+n}}{1,81 - 0,322n + (D'/D^*)} \cdot \frac{D'}{D^*};$$

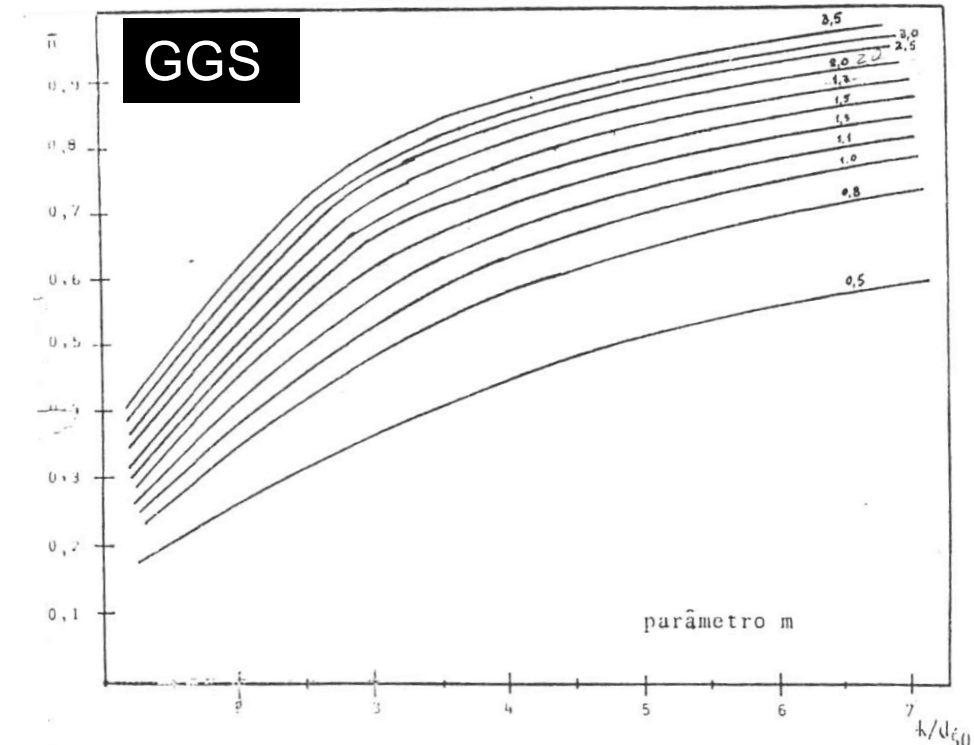
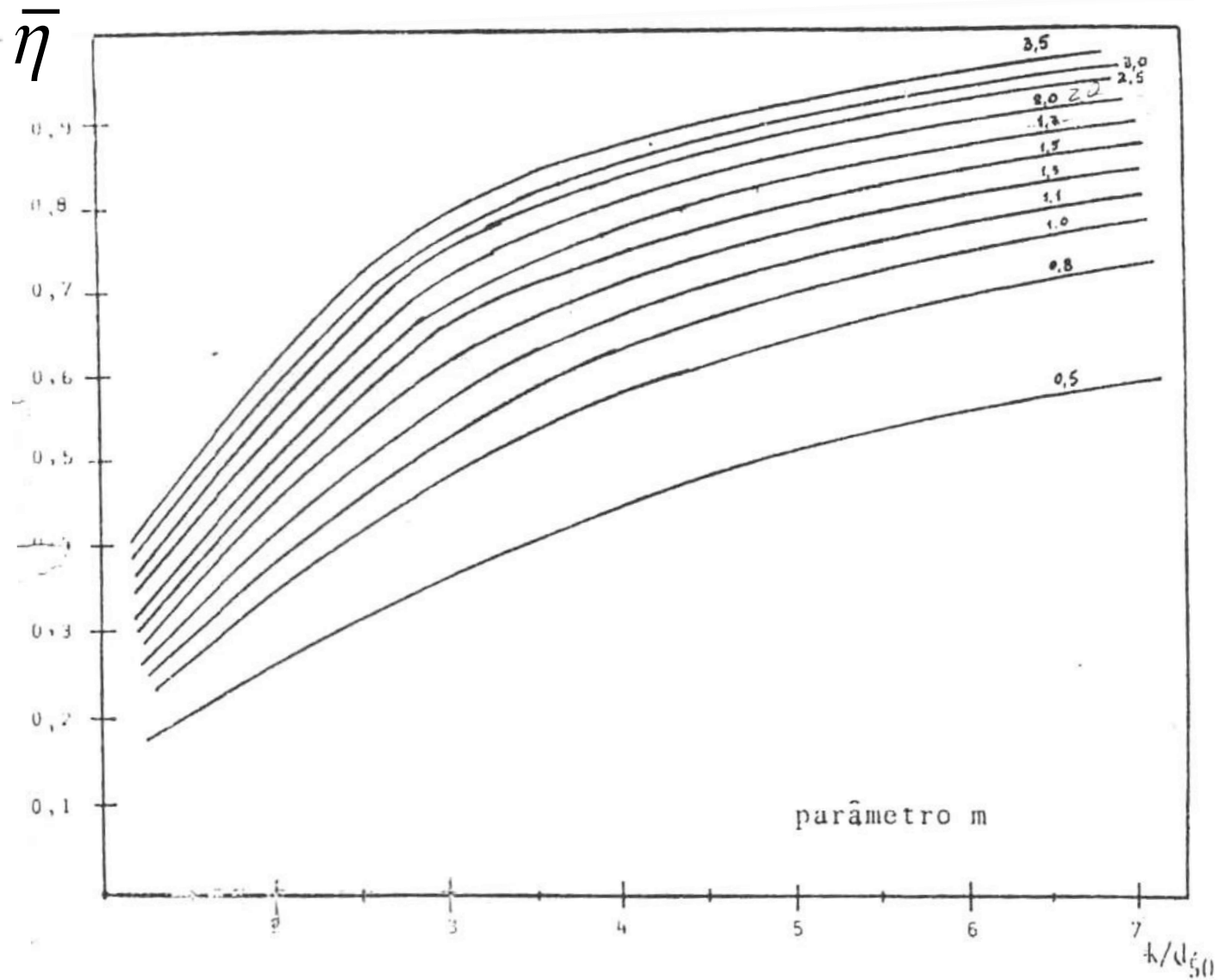


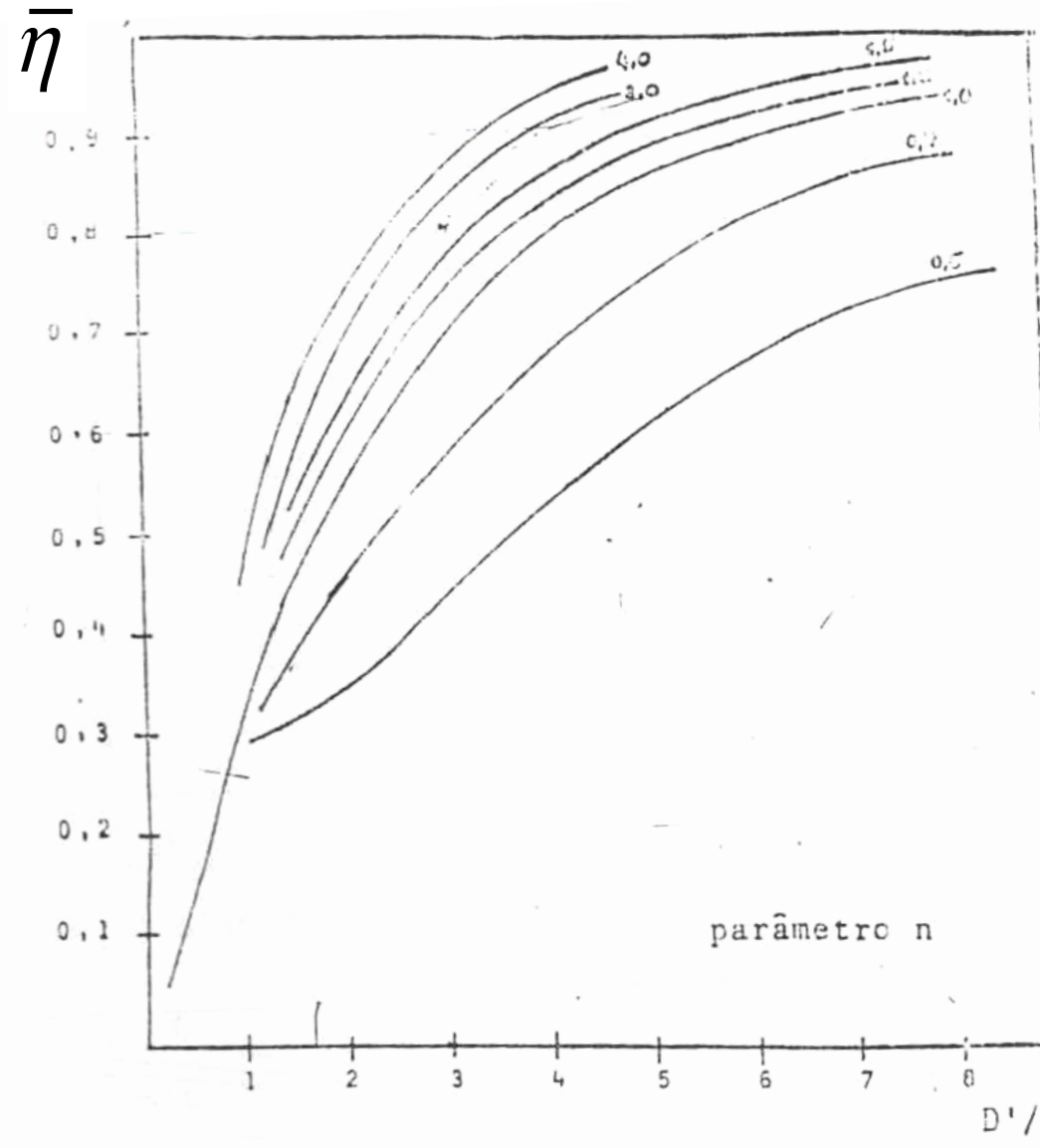
Figura 2 - Desempenho do ciclone LAPPLE (Modelo GGS)

## Eficiência de coleta – Modelo GGS



Desempenho para ciclone Lapple (modelo GGS)

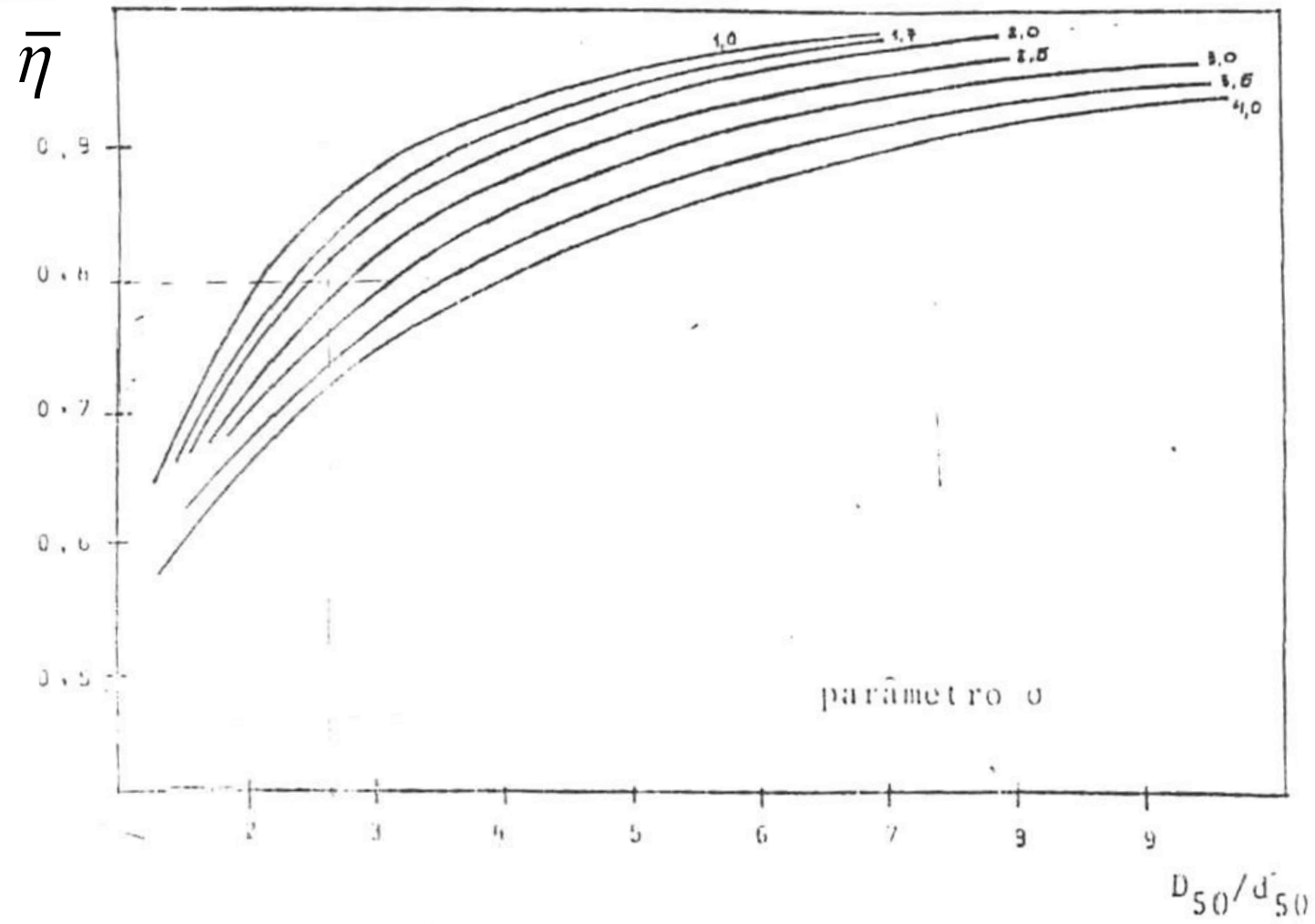
## Eficiência de coleta – Modelo RRB



Desempenho para ciclone Lapple (modelo RRB)



## Eficiência de coleta: Modelo Log Normal



Desempenho para ciclone Lapple (modelo Log-Normal)

**Table 5.1**  
**Cyclone Design Configuration**

			High efficiency			General purpose	
Term	Description		Stairmand	Swift	Shepherd & Lapple	Swift	Peterson & Whitby
D	Body diameter		1	1	1	1	1
a	Inlet height	$K_a = a/D$	0.5	0.44	0.5	0.5	0.583
b	Inlet width	$K_b = b/D$	0.2	0.21	0.25	0.25	0.208
S	Outlet length	$K_S = S/D$	0.5	0.5	0.625	0.6	0.583
$D_e$	Gas outlet diameter	$K_{de} = D_e/D$	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5
h	Cylinder height	$K_h = h/D$	1.5	1.4	2	1.75	1.33
H	Overall height	$K_H = H/D$	4	3.9	4	3.75	3.17
B	Dust outlet diameter	$K_B = B/D$	0.375	0.4	0.25	0.4	0.5
K	Configuration		551.3	699.2	402.9	381.8	342.3
$N_H$	Inlet velocity head		6.4	9.24	8	8	7.76
surf	Surface parameter		3.67	3.57	3.78	3.65	3.2
$K/N_H$ surf			23.5	21.2	13.3	13.1	13.8

## Faixas recomendáveis de operação em ciclones

---

Tipo	Diâmetro do ciclone (D) em ft	Vazão de gás em ft <sup>3</sup> /min	Queda de pressão em in de H <sub>2</sub> O	Velocidade do gás (u <sub>i</sub> ) em ft/s	Eficiência global de coleta (%)
Convencional ou <i>standard</i>	4 - 12	1.000 a 20.000	0,5 a 2	20 a 70	50 a 80
Ciclone com elevada eficiência	< 3	100 a 2.000	2 a 6	50 a 70	80 a 95
Multiciclone	0,5 - 1	30.000 a 100.000	3 a 6	50 a 70	90 a 95
Ciclone irrigado ( <i>wet</i> ) elevada eficiência	< 3	100 a 2.000	2 a 6	50	90 a 95

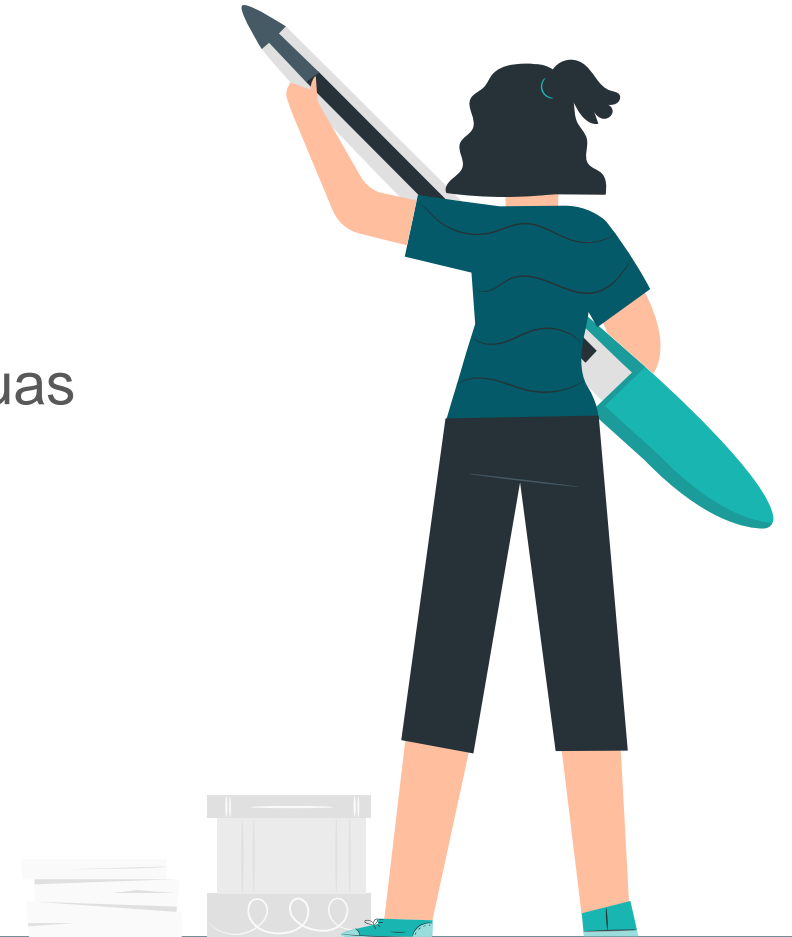
# Referências:

- ❑ Cremasco, Operações Unitárias em Sistemas Particulados e Fluidomecânicos, Blusher, 2012.
- ❑ Massarani, Fluidodinâmica de Sistemas Particulados, 2001.

## Atividades da Aula 8

### Empresa

- ❑ Procurar vídeos sobre o funcionamento de ciclones e suas aplicações industriais e colocar no site da empresa
- ❑ Escolher tema para o Projeto Orientado de Ciclones

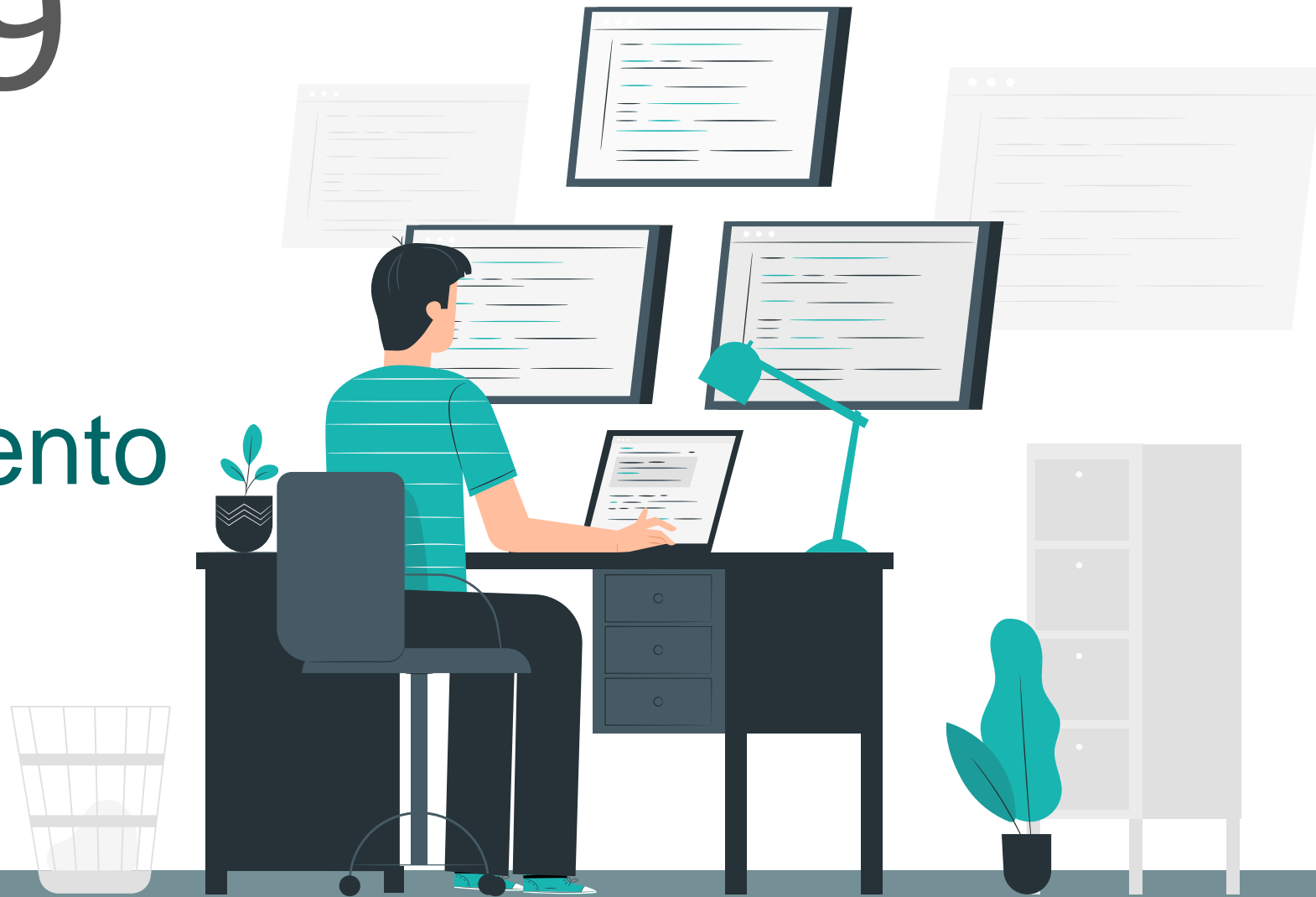




# ASSISTA AGORA: Exercício de Dimensionamento de Ciclones

# AULA 9

## Exercícios de Dimensionamento de Ciclones



**EX7-** Uma empresa de consultoria foi contratada para projetar um ciclone Lapple de diâmetro  $D_c=55$  cm, para coletar partículas de um fluxo de ar a  $70^\circ\text{C}$  e  $1,0$  atm ( $\mu = 0,02$  cP). A velocidade do ar na seção de entrada é  $u = 15$  m/s, e  $\rho_s=1,05$  g/cm<sup>3</sup>. A empresa de consultoria afirma que partículas maiores que  $D = 20$   $\mu\text{m}$  são coletadas com uma eficiência superior à 99,5%. Verifique esta afirmação.

**Dados:**

Ciclone Lapple

$D_c = 55$  cm

$T = 70^\circ\text{C}$ ;

$\mu = 0,0002$  P

$\rho_s = 1,05$  g/cm<sup>3</sup>

$u = 15$  m/

Para  $D = 20$   $\mu\text{m}$

$\eta = 0,995$ ???

1º) Encontrando a densidade do ar a  $70^\circ\text{C}$  e  $P=1$  atm

$$\rho_1 T_1 = \rho_2 T_2 \rightarrow \rho_{ar} = 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot \left( \frac{298}{273 + 70} \right) \Rightarrow \rho_{ar} = 1,025 \cdot 10^{-3} \text{ g / cm}^3$$

2º) Calculando o diâmetro de corte  $d^*$

$$d^* = \sqrt{\frac{9 \mu B_c}{10 \pi u (\rho_s - \rho)}} = \sqrt{\frac{9 \cdot (0,02 \cdot 10^{-2}) \cdot (55/4)}{10 \pi (1500) (1,05 - 1,025 \cdot 10^{-3})}} = 7,07 \cdot 10^{-4} \text{ cm} \quad \mathbf{7,07 \mu m}$$

3º) Calculando a Ef. Individual da partícula  $D=20$   $\mu\text{m}$

$$\eta = \frac{\left( \frac{D}{d^*} \right)^2}{\left[ 1 + \left( \frac{D}{d^*} \right)^2 \right]} = \frac{\left( \frac{20}{7,07} \right)^2}{1 + \left( \frac{20}{7,07} \right)^2} = \frac{(2,83)^2}{1 + (2,83)^2} = 0,889$$

A consultoria estava errada, só 88,9% das partículas de  $20 \mu\text{m}$  serão coletadas



**EX8-** Especificar a bateria de ciclones Lapple (ciclones operando em paralelo) para operar com 5500 ft<sup>3</sup>/min de ar a 600 °C e 1,0 atm, contendo cinzas de carvão ( $\rho_s=2,3 \text{ g/cm}^3$ ). A eficiência global de coleta deve ser 80%. A análise granulométrica segue o modelo log-Normal ( $D_{50} = 15,5 \mu\text{m}$  e  $\delta= 2,3$ ).

**Dados:**

**Ciclones Lapple  
em Paralelo**

Q=5500 ft<sup>3</sup>/min

T= 600°C;

$\rho_s=2,3 \text{ g/cm}^3$

Ef. Global 80%

Log-Normal:

$D_{50}= 15,5 \mu\text{m}$

e  $\delta= 2,3$ .

Usar  $\mu=0,00035 \text{ P}$

1º) Encontrando a densidade do ar a 600°C e P=1 atm

$$\rho_1 T_1 = \rho_2 T_2 \rightarrow \rho_{ar} = 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot \left( \frac{298}{273 + 600} \right) \Rightarrow \rho_{ar} = 4,03 \cdot 10^{-4} \text{ g / cm}^3$$

2º) Do Gráfico de Ef. Global para Modelo Log-Normal, tirar  $d^*$

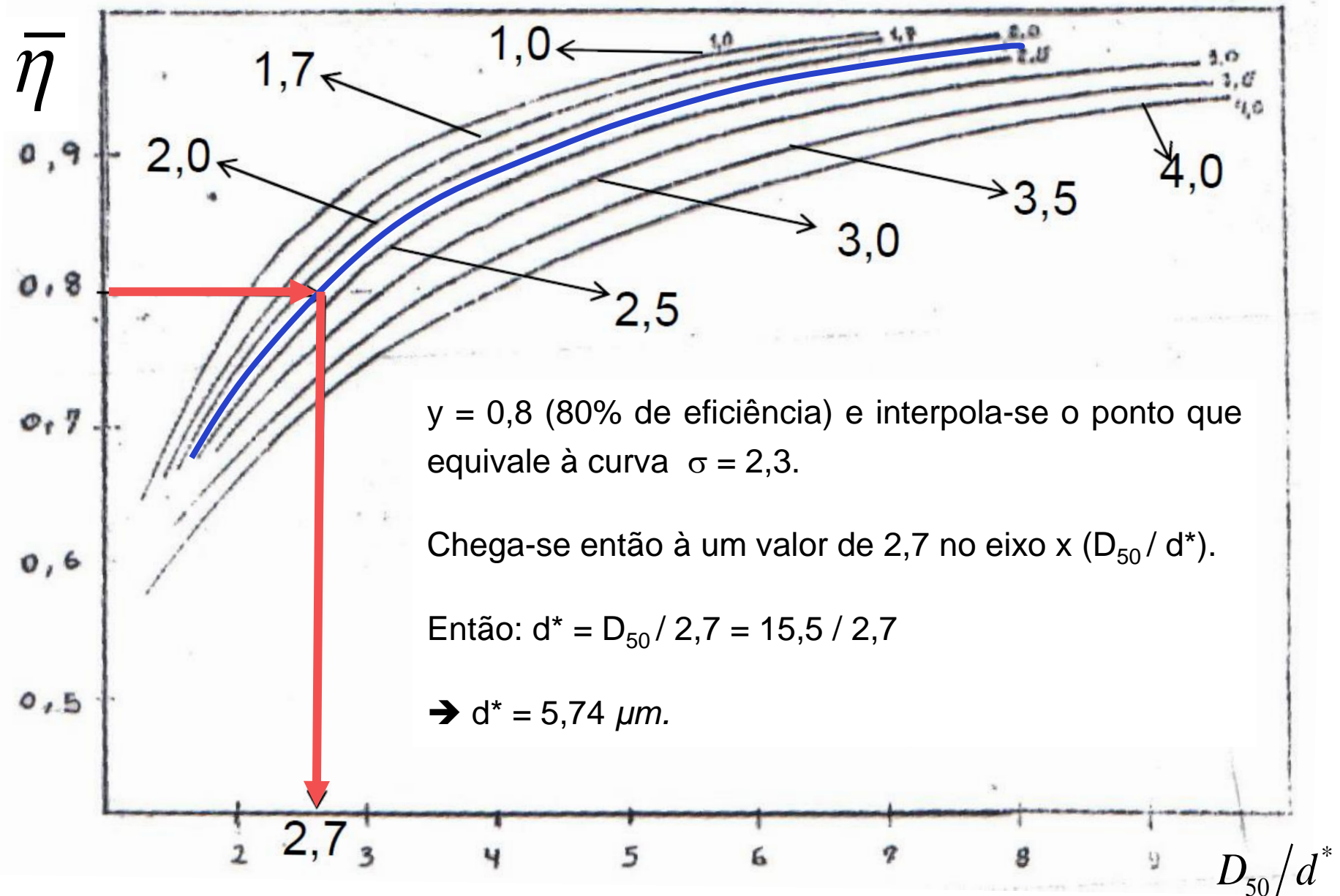
Chega-se então à um valor de 2,7 no eixo x ( $D_{50} / d^*$ ).

$$\frac{D_{50}}{d^*} = 2,7 = \frac{15,5 \mu\text{m}}{d^*}$$

$$d^* = 5,74 \mu\text{m}$$

3º) Calcular  $D_c$  usando a definição de  $d^*$ . Chutar  $u=50 \text{ ft/s} = 1524 \text{ cm/s}$

$$d^* = 5,74 \cdot 10^{-4} \text{ cm} = \sqrt{\frac{9 \mu B_c}{10 \pi u (\rho_s - \rho)}} = \sqrt{\frac{9 \mu D_c / 4}{10 \pi u (\rho_s - \rho)}} \rightarrow D_c = 46,08 \text{ cm}$$



**Desempenho para ciclone Lapple (modelo Log-Normal)**



**EX8-** Especificar a bateria de ciclones Lapple (ciclones operando em paralelo) para operar com 5500 ft<sup>3</sup>/min de ar a 600 °C e 1,0 atm, contendo cinzas de carvão ( $\rho_S=2,3 \text{ g/cm}^3$ ). A eficiência global de coleta deve ser 80%. A análise granulométrica segue o modelo log-Normal (  $D_{50} = 15,5 \text{ }\mu\text{m}$  e  $\delta= 2,3$ ).

### Dados:

Ciclones Lapple  
em Paralelo

$Q=5500 \text{ ft}^3/\text{min}$

$T= 600^\circ\text{C};$

$\rho_S=2,3 \text{ g/cm}^3$

Ef. Global 80%

Log-Normal:

$D_{50}= 15,5 \text{ }\mu\text{m}$

e  $\delta= 2,3$ .

Usar  $\mu=0,00035 \text{ P}$

4º) Calculando a vazão individual (por ciclone)

$$Q_i = u \cdot H_c \cdot B_c \quad Q_i = 1524 \cdot \frac{46,08}{2} \cdot \frac{46,08}{4} = 404417,2 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

5º) Encontrando o Número de Ciclones da Bateria

$$n = \frac{Q_t}{Q_i} = \frac{5500 \text{ ft}^3/\text{min}}{404417,2 \text{ cm}^3/\text{s}} \cdot \frac{471,9475 \text{ cm}^3/\text{s}}{1 \text{ ft}^3/\text{min}} \Rightarrow n = 6,42 \text{ ciclones}$$

Arredondando

$$n = 7$$

6º) Recalcular a vazão individual  $Q_i$  e  $u$

$$Q_i = \frac{Q_t}{n} = \frac{5500 \text{ ft}^3/\text{min}}{7} \cdot \frac{471,9475 \text{ cm}^3/\text{s}}{1 \text{ ft}^3/\text{min}} = 370815,9 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

$$u = \frac{Q_i}{H_c \cdot B_c}$$

**Atenção!!!** Se mudou  $Q_i$  e não mudar o  $D_c$  você orá coletar outro  $d^*$   
É preciso recalcular  $D_c$  para recalcular  $u$

**EX8- Especificar a bateria de ciclones Lapple (ciclones operando em paralelo) para operar com 5500 ft<sup>3</sup>/min de ar a 600 °C e 1,0 atm, contendo cinzas de carvão ( $\rho_s=2,3 \text{ g/cm}^3$ ). A eficiência global de coleta deve ser 80%. A análise granulométrica segue o modelo log-Normal (  $D_{50} = 15,5 \text{ }\mu\text{m}$  e  $\delta= 2,3$ ). Calcular**

### Dados:

**Ciclones Lapple  
em Paralelo**

$Q=5500 \text{ ft}^3/\text{min}$

$T= 600^\circ\text{C};$

$\rho_s=2,3 \text{ g/cm}^3$

Ef. Global 80%

Log-Normal:

$D_{50}= 15,5 \text{ }\mu\text{m}$

e  $\delta= 2,3$ .

Usar  $\mu=0,00035 \text{ P}$

7º) Recalculando o  $D_c$ :

$$\frac{d^*}{D_c} = 0,095 \left( \frac{\mu D_c}{Q (\rho_s - \rho)} \right)^{\frac{1}{2}} \Rightarrow \frac{5,74 \cdot 10^{-4}}{D_c} = 0,095 \left( \frac{0,00035 D_c}{370815,9 (2,3 - 4,27 \cdot 10^{-4})} \right)^{\frac{1}{2}} \quad D_c = 44,6 \text{ cm}$$

8º) Recalculando  $u$ :

$$u = \frac{Q_i}{H_c \cdot B_c} = \frac{8 \cdot Q_i}{D_c^2} = \frac{8 \cdot 2708415,9}{44,6^2} = 1488 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

9º) Calculando  $u_c$ :

$$u_c = \frac{4 Q_i}{\pi D_c^2} = 236,8 \text{ cm/s}$$

10º) Queda de Pressão:

$$\Delta P_i = 315 \frac{\rho u_c^2}{2}; \Rightarrow \Delta P_i = 3768,5 \frac{\text{dyn}}{\text{cm}^2} = 38,43 \text{ mm H}_2\text{O}$$

11º) Potência requerida:

$$P = \frac{Q_T \cdot \Delta P_i}{75 \cdot \eta} = \frac{2,6 \text{ m}^3 / \text{s} \cdot 38,43 \text{ mm H}_2\text{O}}{75 \cdot 0,5} = 2,6 \text{ cv}$$

**Conclusão:**  $d^*=5,74 \text{ }\mu\text{m}$ , 7 ciclones,  $D_c=44,6 \text{ cm}$ ,  $\eta_G=0,80$ ,  $Q_i=0,37 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $u=1488 \text{ cm/s}$ ,  $dP=38,43 \text{ mmH}_2\text{O}$ ,  $P=2,6 \text{ cv}$



**Para Casa:** O ferro-velho "Dois Irmãos" da Pavuna dispõe de 2 conjuntos de 3 ciclones em paralelo, um na configuração Lapple e outro na Stairmand. O diâmetro dos ciclones é 15 in. Estimar para os dois tipos de ciclones:

- a) A capacidade do conjunto para  $u = 15 \text{ m/s}$ ;
- b) O diâmetro da partícula que é coletada com eficiência de 95%;
- c) A potência do soprador a ser usado na operação.

Considerar que o gás tenha as propriedades físicas do ar a  $200^\circ\text{C}$  e 1 atm (densidade= $0,000746 \text{ g/cm}^3$  e viscosidade  $0,00026 \text{ P}$ ) e que as partículas sólidas tenham densidade  $2,5 \text{ g/cm}^3$ .

# Referências:

- ❑ Cremasco, Operações Unitárias em Sistemas Particulados e Fluidomecânicos, Blusher, 2012.
- ❑ Massarani, Fluidodinâmica de Sistemas Particulados, 2001.

## Atividades da Aula 9

### Individual

- ❑ Refazer os exercícios, o exemplo de atividade e exemplos de outros livros.

### Empresa

- ❑ Fazer o Projeto Orientado de Ciclones

