



ESCOLA POLITÉCNICA DA USP
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
HIDRÁULICA E AMBIENTAL
PHA 3411 – TRATAMENTO DE ÁGUAS
DE ABASTECIMENTO

TRATAMENTO DE ÁGUAS DE
ABASTECIMENTO
FILTRAÇÃO

Prof. Dr. Sidney Seckler Ferreira Filho
Prof. Dr. José Carlos Mierzwa



FILTRAÇÃO

- ▶ Introdução
- ▶ Classificação de um sistema de filtração
- ▶ Materiais filtrantes e suas principais características
- ▶ Partes constitutivas de um sistema de filtração





FILTRAÇÃO

- ▶ Visão microscópica do sistema de filtração
- ▶ Perda de carga em sistemas de filtração
- ▶ Fluidização e expansão de meios filtrantes
- ▶ Lavagem de meios filtrantes
- ▶ Roteiro de cálculo





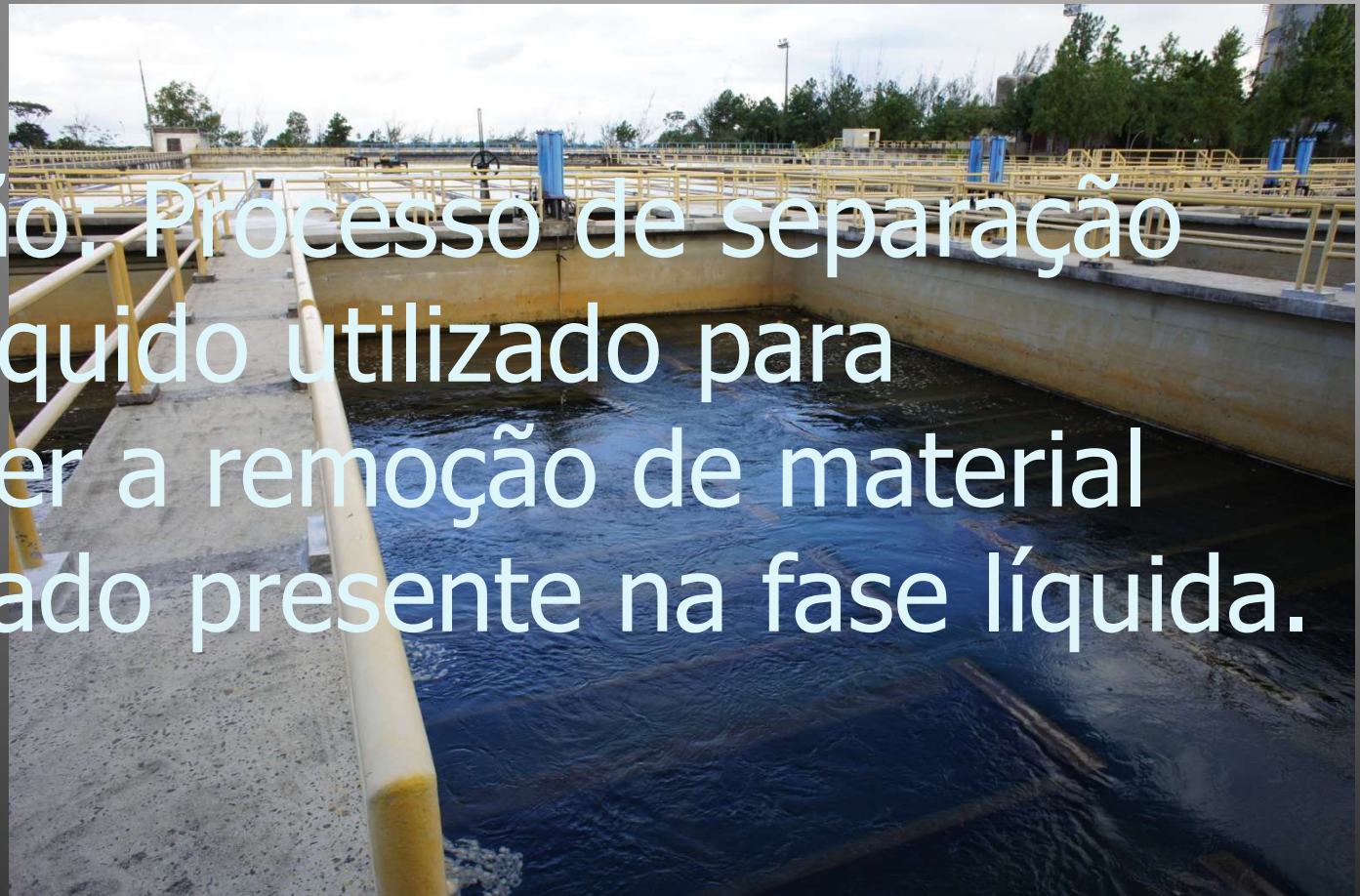
TRATAMENTO CONVENCIONAL DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO





FILTRAÇÃO

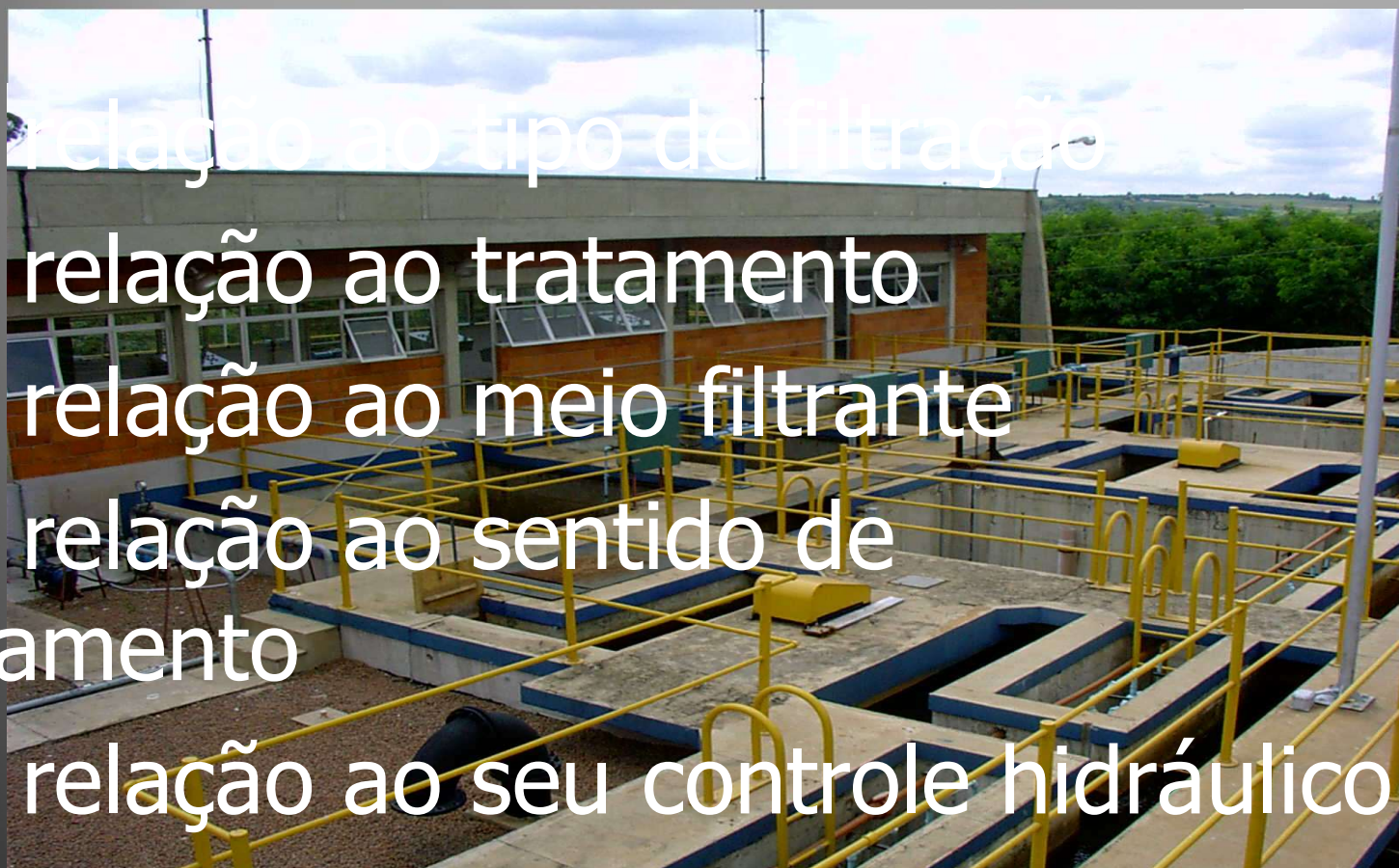
Definição: Processo de separação sólido-líquido utilizado para promover a remoção de material particulado presente na fase líquida.





CLASSIFICAÇÃO DOS PROCESSOS DE FILTRAÇÃO

- Com relação ao tipo de filtração
- Com relação ao tratamento
- Com relação ao meio filtrante
- Com relação ao sentido de escoamento
- Com relação ao seu controle hidráulico



Tipos de Filtros Disponíveis

- ▶ Filtros rápidos por gravidade:
 - Taxa de filtração constante;
 - Taxa de filtração declinante.
- ▶ Filtros lentos por gravidade;
- ▶ Filtros de pressão.

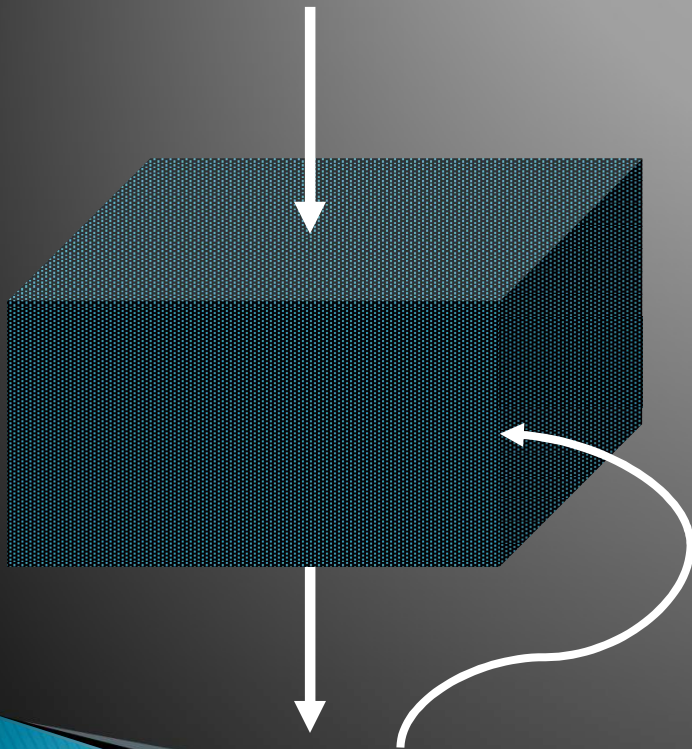
FILTRAÇÃO EM MEIO GRANULAR FILTROS RÁPIDOS POR GRAVIDADE



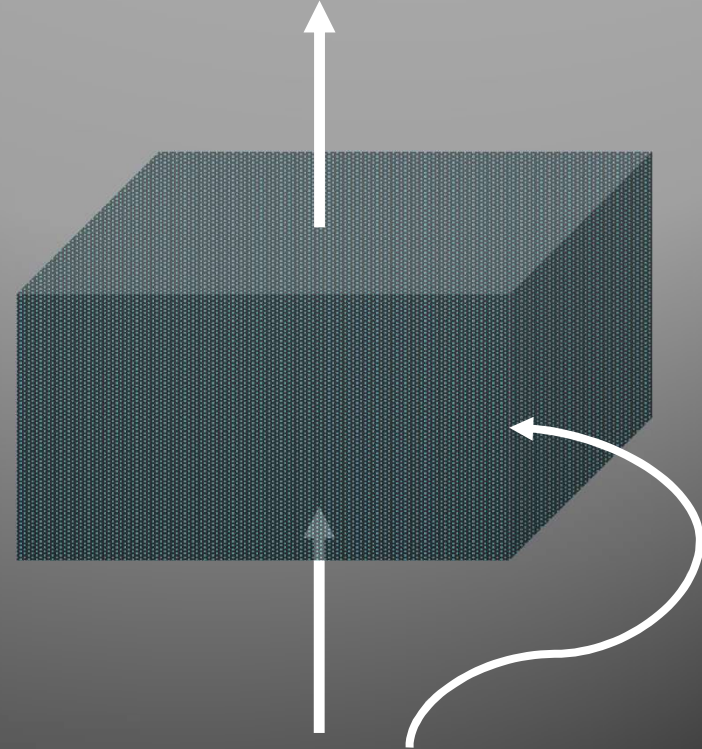


CLASSIFICAÇÃO DO PROCESSO DE FILTRAÇÃO

- Com relação ao sentido de escoamento



Filtração descendente



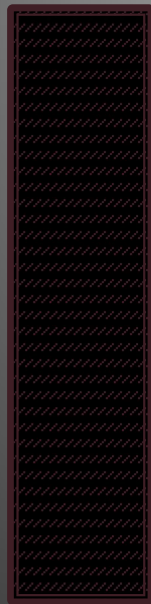
Filtração ascendente



CLASSIFICAÇÃO DO PROCESSO DE FILTRAÇÃO

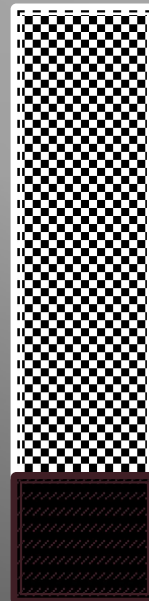
Com relação ao meio filtrante

Areia, antracito
ou CAG



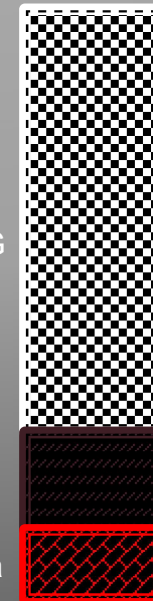
Antracito ou CAG

Areia



Antracito ou CAG

Areia
Granada



Camada simples

Dupla camada

Tripla camada



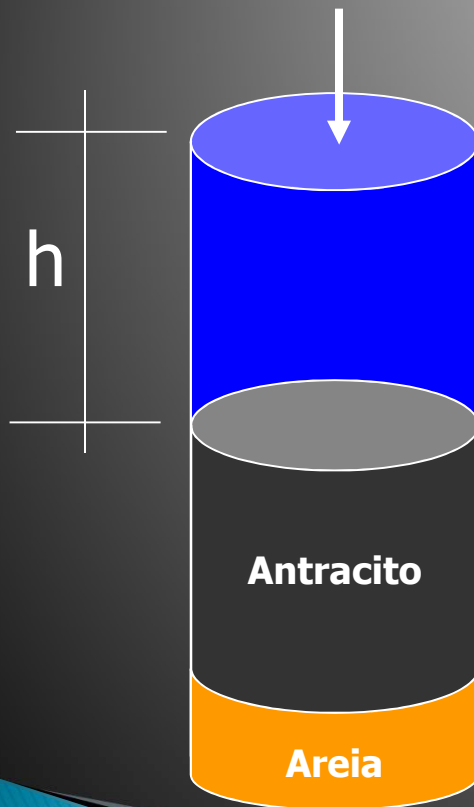
FILTRAÇÃO EM MEIO GRANULAR FILTROS RÁPIDOS POR GRAVIDADE



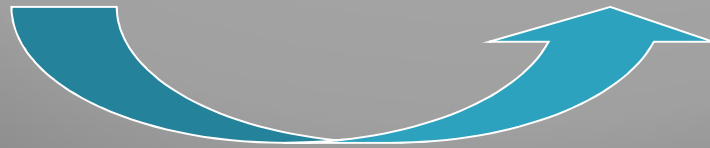


CLASSIFICAÇÃO DO PROCESSO DE FILTRAÇÃO

Com relação ao seu controle hidráulico



Taxa de filtração $q = \frac{Q}{A_{\text{filtração}}}$



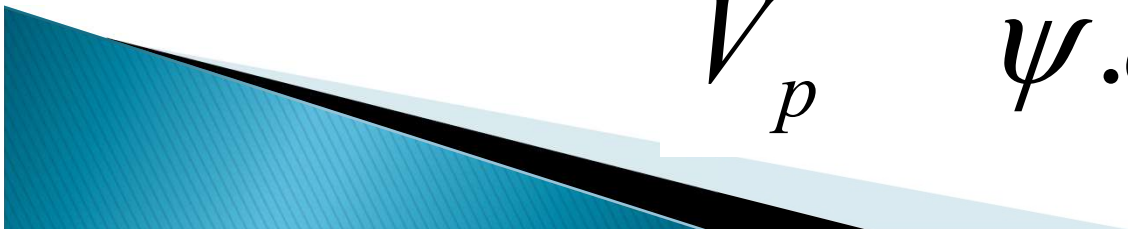
h = Altura do nível d'água acima do meio filtrante

- Taxa de filtração constante
Com variação de nível
Sem variação de nível
- Taxa declinante

Características dos Materiais Filtrantes

- ▶ Esfericidade (ψ) → Relação entre a área superficial de uma esfera com volume equivalente ao da partícula e a área superficial da partícula.
 - $\psi = (\text{Área da esfera} / \text{Volume esfera}) / (\text{Área da partícula} / \text{Volume da partícula})$

$$\frac{A_p}{V_p} = \frac{6}{\psi \cdot d}$$



Características dos Materiais Filtrantes

- ▶ Porosidade (e) → Relação entre o volume de vazios de um meio de filtração e o volume total desse meio:
 - $e = \text{Volume de vazios} / \text{volume do leito}$

TABLE 14.2 Particle Sphericity and Porosity

Description	Sphericity (ψ)	Typical porosity (e)
Spherical	1.00	0.38
Rounded	0.98	0.38
Worn	0.94	0.39
Sharp	0.81	0.40
Angular	0.78	0.43
Crushed	0.70	0.48

Tamanho de Grão e Distribuição Granulométrica

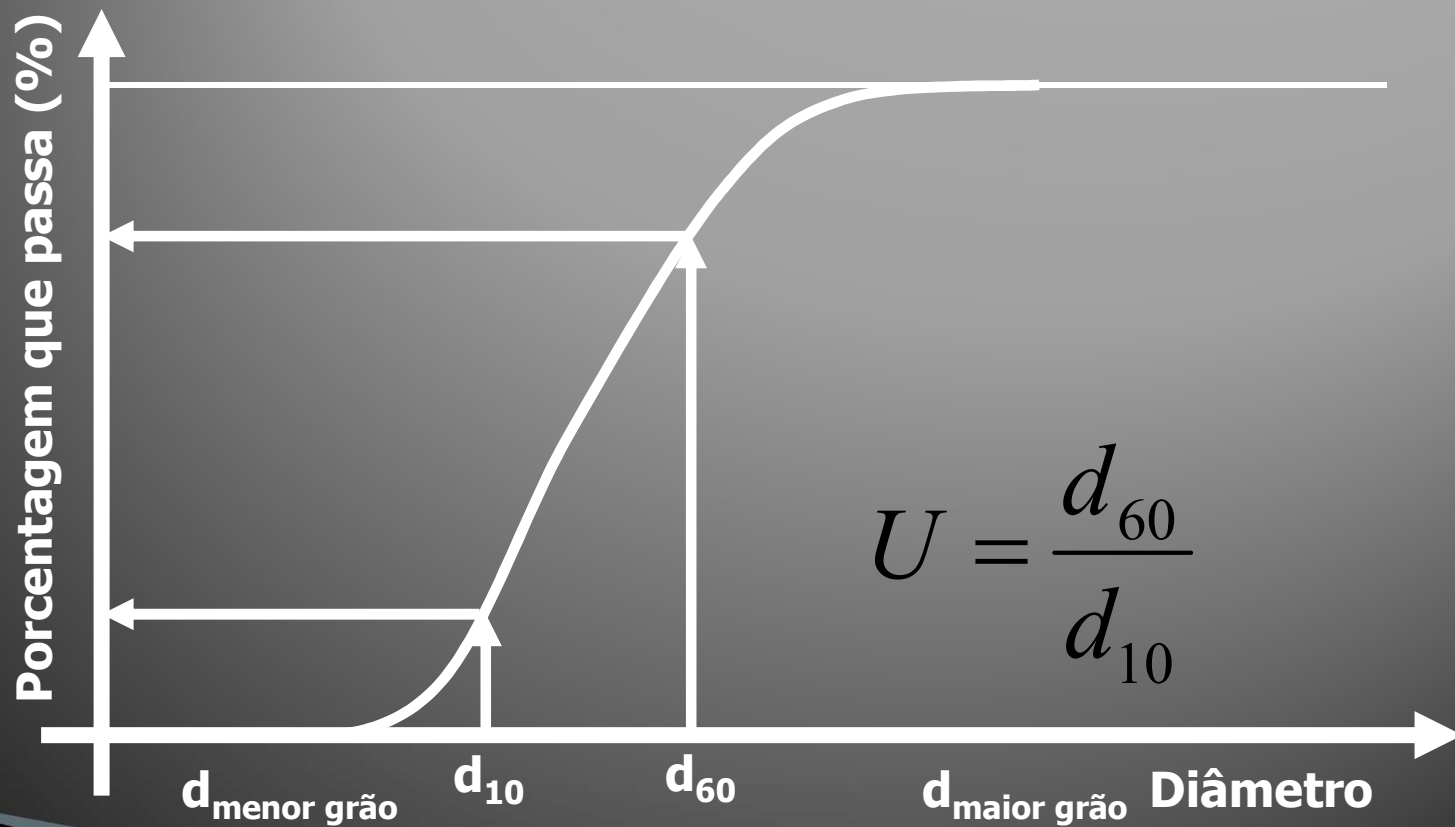
- ▶ Distribuição granulométrica → obtida por análise de separação em peneiras;
- ▶ Obtenção dos parâmetros necessários para caracterizar o material filtrante:
 - Tamanho Efetivo (TE) → diâmetro da abertura da peneira (partícula), através da qual apenas 10 % em massa do material filtrante passa;
 - Coeficiente de Uniformidade (U) → relação entre o diâmetro da abertura da peneira através da qual 60% em massa do material filtrante passa e tamanho efetivo do material. ($U = dp_{60} / dp_{10}$)





MATERIAIS FILTRANTES

$$d_{90} = d_{10} \cdot 10^{1,67 \cdot C_u}$$





FILTRAÇÃO EM MEIO GRANULAR FILTROS RÁPIDOS POR GRAVIDADE





MATERIAIS FILTRANTES

Meio filtrante	d_{10} (mm)	U	Altura (m)	Taxa de filtração ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$)
Filtros rápidos por gravidade de camada simples (Tipo A)				
Areia	0,45 a 0,55	Menor do que 1,6	0,6 a 0,8	120
Filtros rápidos por gravidade de dupla camada (Tipo B)				
Areia	0,45 a 0,55	Menor do que 1,6	0,2 a 0,3	240 a 360
Antracito	0,9 a 1,1	Menor do que 1,6	0,4 a 0,6	



MATERIAIS FILTRANTES

Meio filtrante	d_{10} (mm)	C_u	Altura (m)	Taxa de filtração ($m^3/m^2.dia$)
Filtros rápidos por gravidade de camada simples (Tipo A)				
Areia	0,45 a 0,55	Menor do que 1,6	0,6 a 0,8	120
Filtros rápidos por gravidade de dupla camada (Tipo B)				
Areia	0,45 a 0,55	Menor do que 1,6	0,2 a 0,3	240 a 360
Antracito	0,9 a 1,1	Menor do que 1,6	0,4 a 0,6	



MATERIAIS FILTRANTES

 Meio filtrante	d_{10} (mm)	C_u	Altura (m)	Taxa de filtração ($m^3/m^2.dia$)
Filtros rápidos por gravidade de tripla camada (Tipo C)				
Areia	0,45 a 0,55	Menor do que 1,6	0,2 a 0,3	240 a 360
Antracito	0,9 a 1,1	Menor do que 1,6	0,4 a 0,6	
Granada	0,2 a 0,3	Menor do que 1,6	0,10 a 0,15	
Filtros rápidos por gravidade monocamada de alta taxa (Tipo D)				
Areia	1,2 a 1,5	Menor do que 1,5	1,5 a 1,8	400 a 600
Antracito	1,2 a 1,5	Menor do que 1,5	1,5 a 1,8	400 a 600

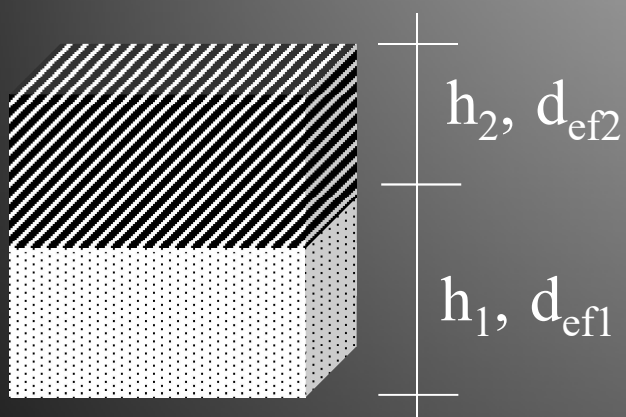


MATERIAIS FILTRANTES

 Meio filtrante	d_{10} (mm)	C_u	Altura (m)	Taxa de filtração ($m^3/m^2.dia$)
Filtros rápidos por gravidade de tripla camada (Tipo C)				
Areia	0,45 a 0,55	Menor do que 1,6	0,2 a 0,3	240 a 360
Antracito	0,9 a 1,1	Menor do que 1,6	0,4 a 0,6	
Granada	0,2 a 0,3	Menor do que 1,6	0,10 a 0,15	
Filtros rápidos por gravidade monocamada de alta taxa (Tipo D)				
Areia	1,2 a 1,5	Menor do que 1,5	1,5 a 1,8	400 a 600
Antracito	1,2 a 1,5	Menor do que 1,5	1,5 a 1,8	400 a 600



MATERIAIS FILTRANTES: COMPOSIÇÃO, GRANULOMETRIA E ALTURA



$$\frac{h}{d_{ef}}$$

1.000 (Camada simples de areia e dupla camada areia-antracito)

1.250 (Camada tripla areia, antracito e granada)

1.250 a 1500 (Filtros de camada profunda e constituídos de um único material filtrante)

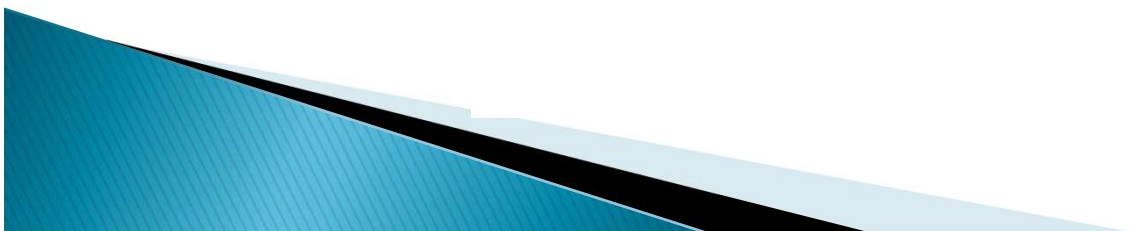
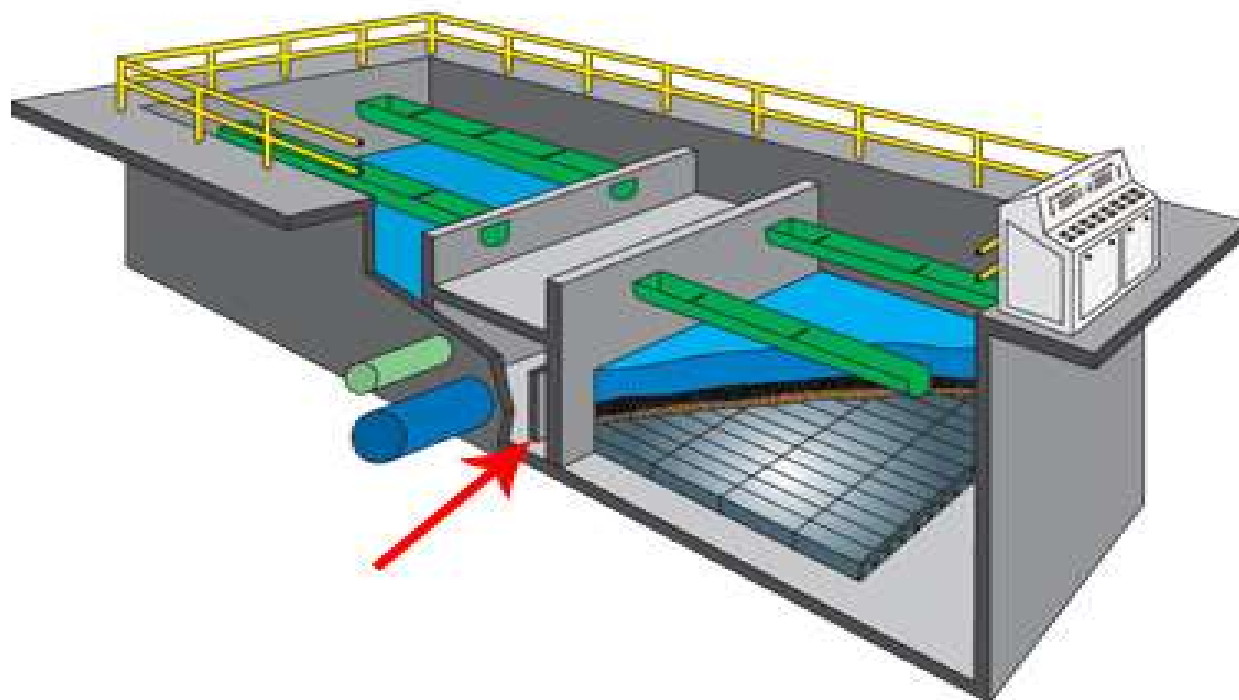
* $(1,2 \text{ mm} \leq d_{ef} \leq 1,4 \text{ mm})$

1.500 a 2.000 (Filtros de camada profunda e constituídos de um único material filtrante)

* $(1,5 \text{ mm} \leq d_{ef} \leq 2,0 \text{ mm})$



FILTROS RÁPIDOS POR GRAVIDADE





FILTROS RÁPIDOS POR GRAVIDADE



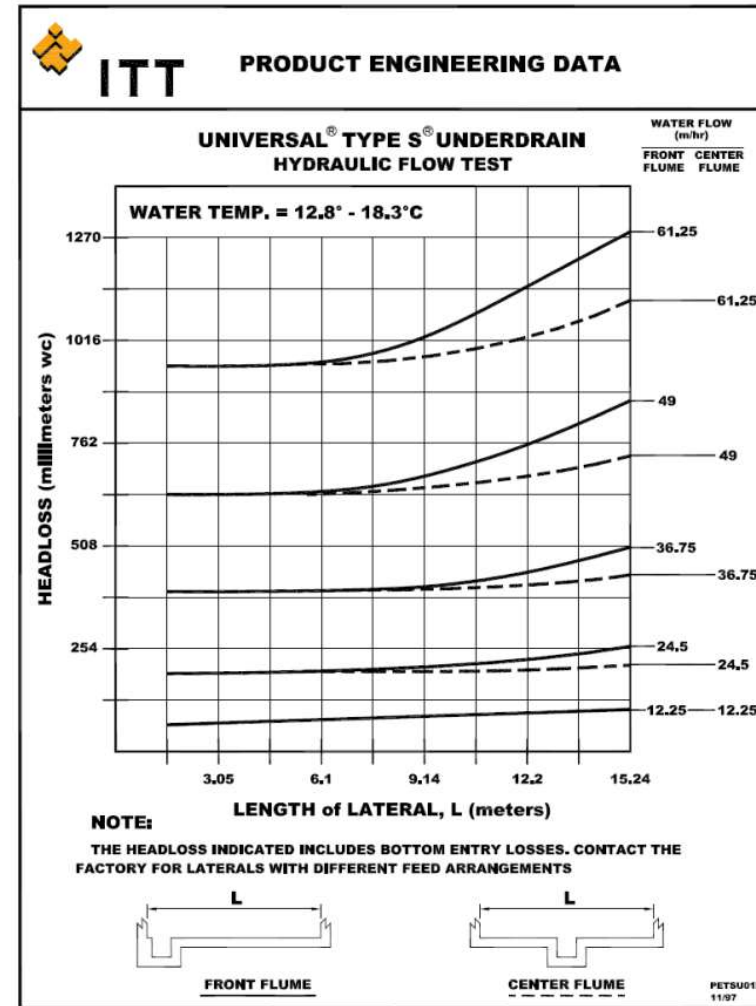


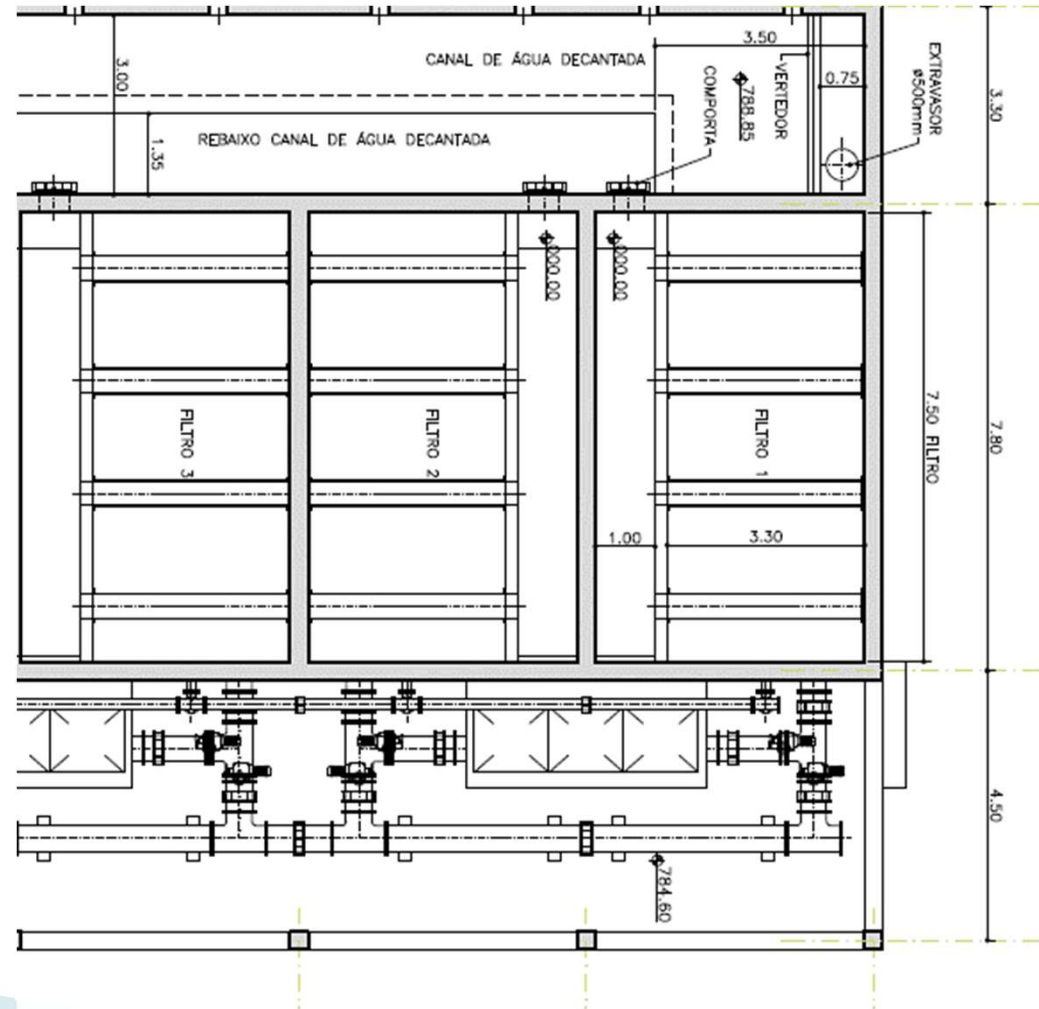
FILTROS RÁPIDOS POR GRAVIDADE





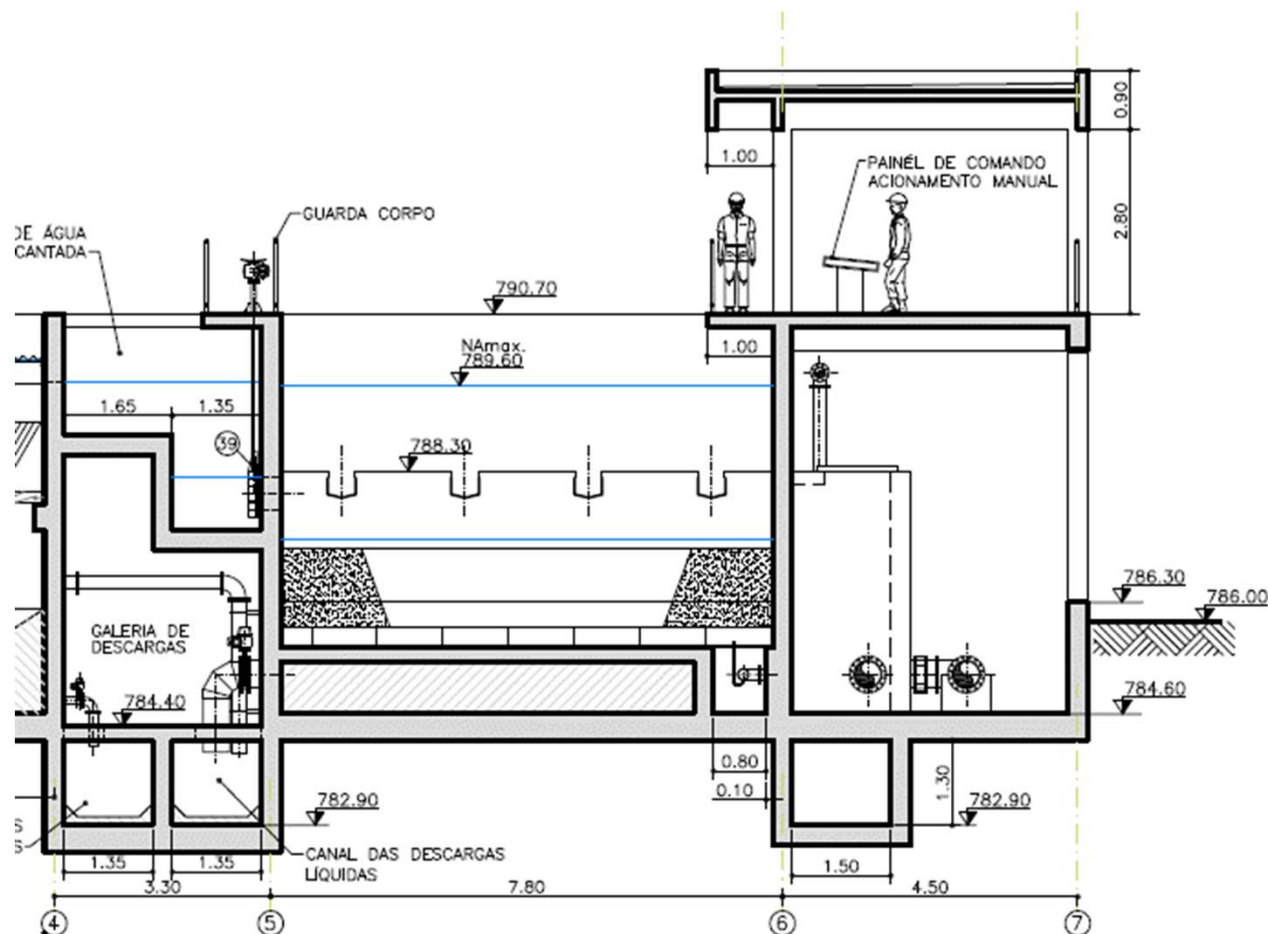
FILTROS RÁPIDOS POR GRAVIDADE







FILTROS RÁPIDOS POR GRAVIDADE





SISTEMA DE FILTRAÇÃO SABESP – ETA ABV





SISTEMA DE FILTRAÇÃO SABESP – ETA ABV





SISTEMA DE FILTRAÇÃO SABESP – ETA ABV





SISTEMA DE FILTRAÇÃO SABESP – ETA JURUBATUBA





SISTEMA DE FILTRAÇÃO SABESP – ETA JURUBATUBA



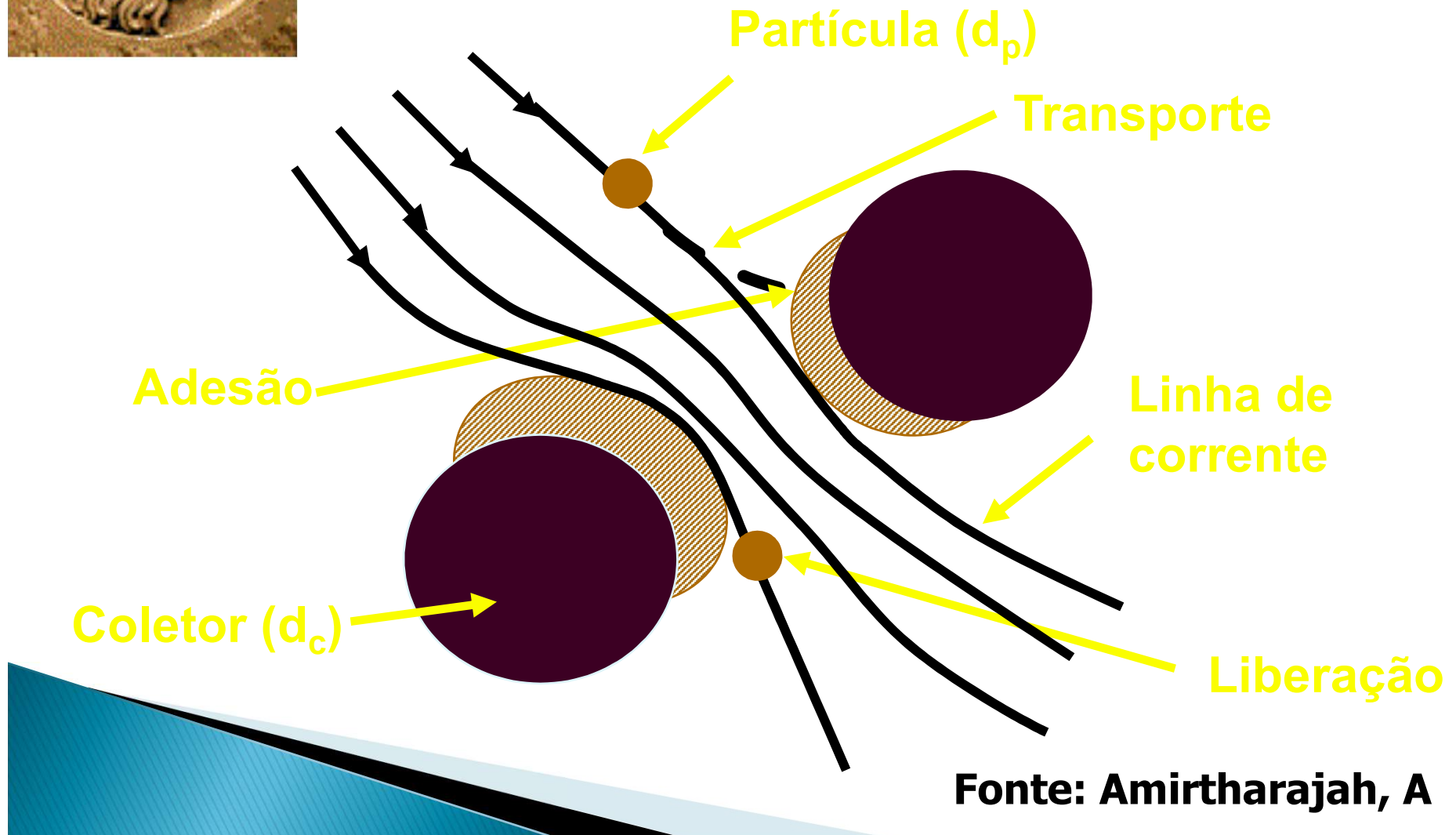


SISTEMA DE FILTRAÇÃO SABESP – ETA JURUBATUBA



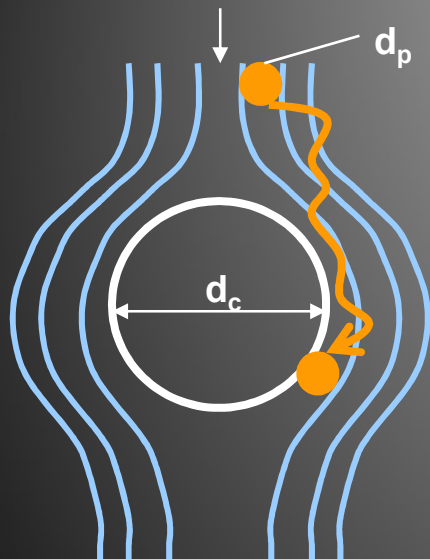


VISÃO MICROSCÓPICA DO PROCESSO DE FILTRAÇÃO

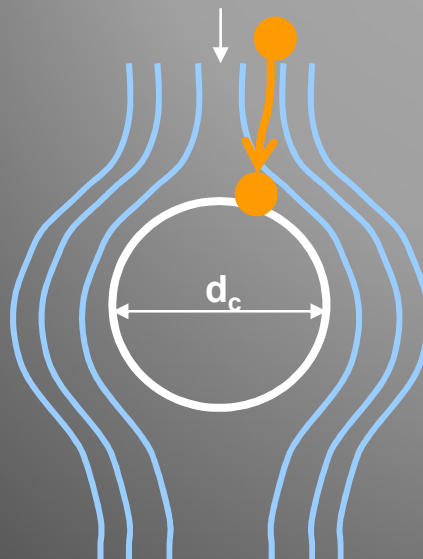




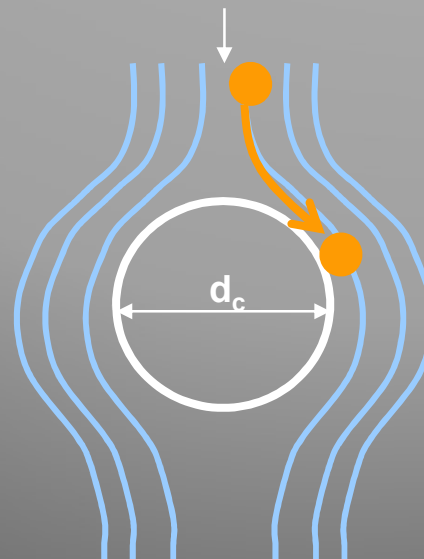
MECANISMOS DE TRANSPORTE E ADERÊNCIA



Difusão
 $d_p < 1 \mu\text{m}$



Sedimentação
 $d_p > 1 \mu\text{m}$



Interceptação

- **Virus**
 $0,01 - 0,025 \mu\text{m}$
- **Bacterias**
 $0,2 - 1 \mu\text{m}$
- ***Crypto***
 $3 - 5 \mu\text{m}$
- ***Giardia***
 $6 - 10 \mu\text{m}$

Fonte: Amirtharajah, A



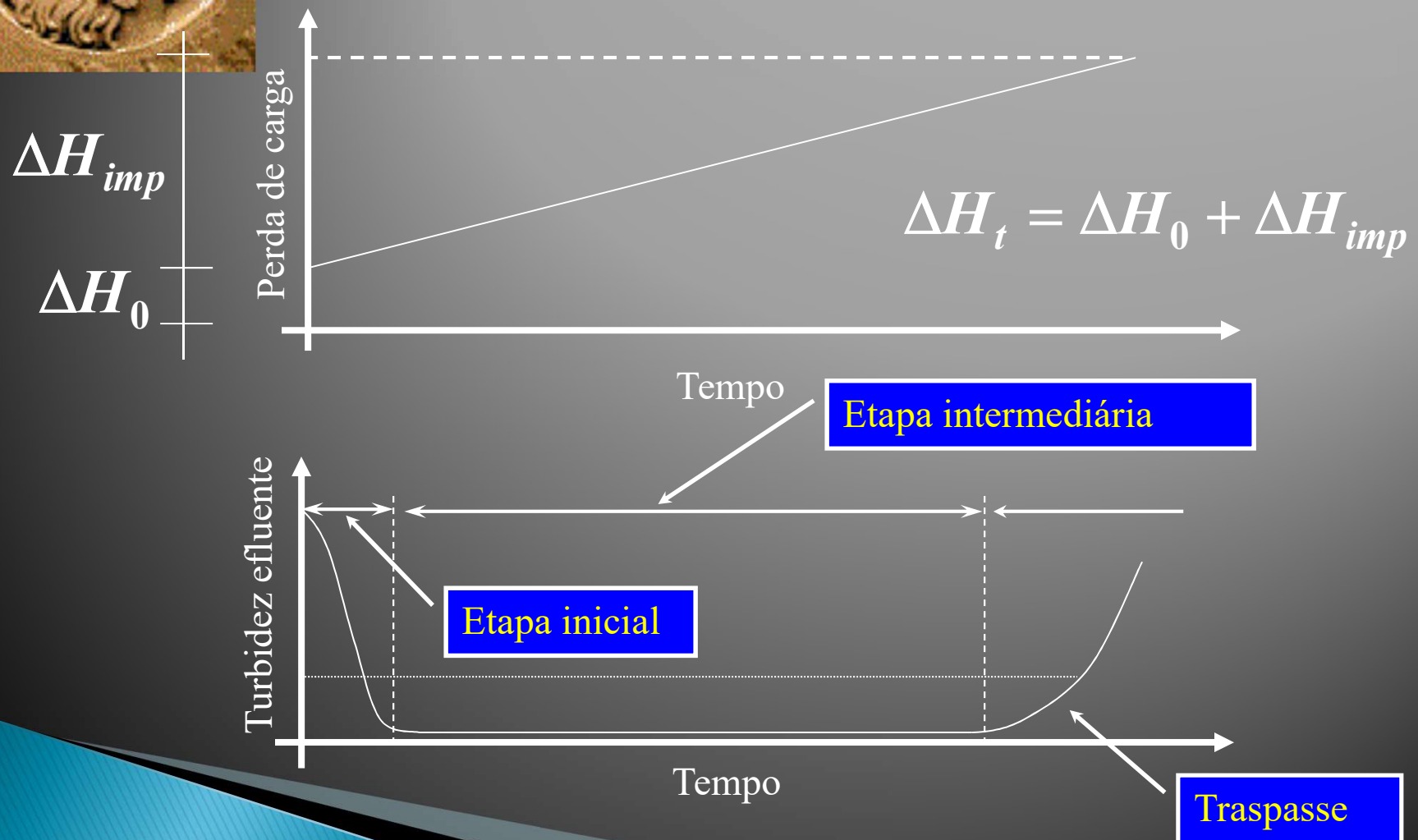
HIDRÁULICA DO PROCESSO DE FILTRAÇÃO

- ▶ Hidráulica do processo de filtração: modo de operação em filtração
- ▶ Hidráulica do processo de filtração: modo de operação em retrolavagem





COMPORTAMENTO DO PROCESSO DE FILTRAÇÃO





Perda de Carga nos Filtros

- ▶ É função:
 - Taxa de fluxo (filtração);
 - Pressão;
 - Concentração de sólidos suspensos na alimentação;
 - Características do meio filtrante;
 - Estruturas de entrada e saída de água.
- ▶ À medida que a filtração ocorre, a taxa de filtração varia, ou o nível do filtro aumenta.



Determinação da Perda de Carga em um Meio Filtrante

- ▶ A partir da expressão de Darcy–Weisback, para perda de carga em canalizações forçadas;
- ▶ No processo de filtração o fluxo é sob pressão;
- ▶ O desafio é adaptar a expressão de cálculo da perda de carga em tubulações para o meio filtrante:
 - Deve-se utilizar características que sejam facilmente determinadas.



Abordagem para a Solução do Problema

- ▶ Na equação de Darcy–Weisbach, substitui-se o diâmetro do escoamento pelo raio hidráulico;
- ▶ Relacionar o raio hidráulico com características do meio filtrante.
 - $\text{Raio Hidráulico} = \text{Área molhada} / \text{perímetro molhado}$.
 - Caso o numerador e o denominador sejam multiplicados por parâmetros de comprimento, a dimensionalidade do raio hidráulico fica inalterada.
 - $\text{Raio hidráulico} = \text{Volume (disponível para o fluxo)} / \text{Área superficial total das partículas}$.
 - Esta expressão pode ser relacionada com os parâmetros que caracterizam o meio filtrante.



Relações

Perda de Carga

$$h_L = f \cdot \frac{L}{D_H} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$$D_H = 4 \cdot R_H$$

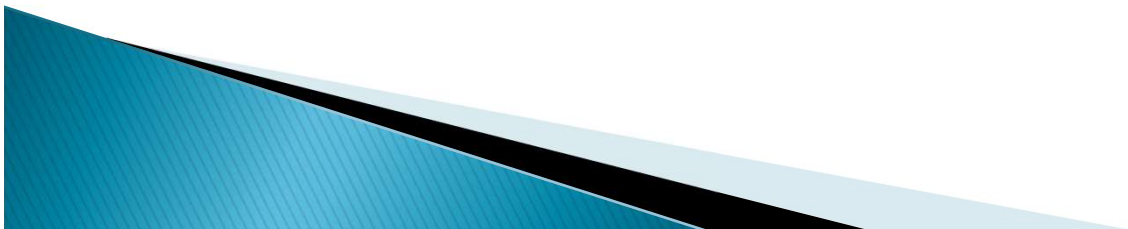
$$h_L = f \cdot \frac{L}{R_H} \cdot \frac{v^2}{8 \cdot g}$$

Características do Meio

$$V_{Tp} = N \cdot V_p; \quad A_{Tp} = N \cdot A_p$$

$$e = \frac{\text{volume de vazios}}{\text{volume do filtro}}$$

$$1 - e = \frac{\text{Volume de partículas}}{\text{volume do filtro}}$$



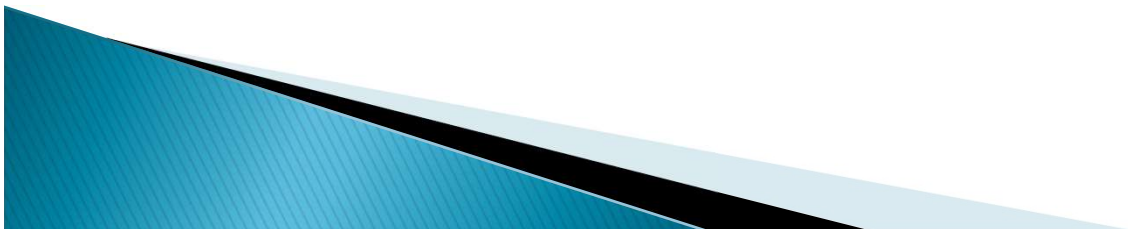
Relações

$$V_{filtro} = \frac{N.V_p}{1-e}$$

$$V_{vazios} = \frac{e.N.V_p}{1-e}$$

$$R_H = \left(\frac{e}{1-e} \right) \cdot \frac{V_p}{A_p}$$

$$\frac{V_p}{A_p} = \psi \cdot \frac{d_p}{6}$$



Relações

$$\frac{h_{|L}}{L} = f \cdot \frac{3 \cdot (1 - e) \cdot v^2}{4 \cdot g \cdot \psi \cdot d \cdot e}$$

Na expressão, a constante numérica foi incorporada ao fator de atrito do filtro.

O fator de atrito depende de Re.

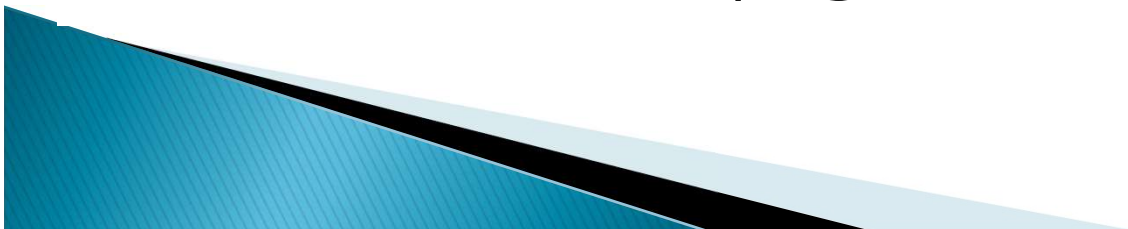
$$v_0 = v \cdot e$$

$$\frac{h_{|L}}{L} = f_f \cdot \left(\frac{1 - e}{e^3} \right) \cdot \frac{v_0^2}{\psi \cdot g \cdot d}$$

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot v_0 \cdot \psi \cdot d}{\mu}$$

$$f_f = 150 \cdot \frac{1 - e}{\text{Re}} + k$$

$$k = 1,75$$



Expressão de Ergun

$$\frac{h_L}{L} = \frac{150.\mu}{\rho.g} \cdot \frac{(1-e)^2}{e^3} \cdot \frac{v_0}{(\psi.d)^2} + 1,75 \cdot \left(\frac{1-e}{e^3} \right) \cdot \frac{v_0^2}{\psi.d.g}$$

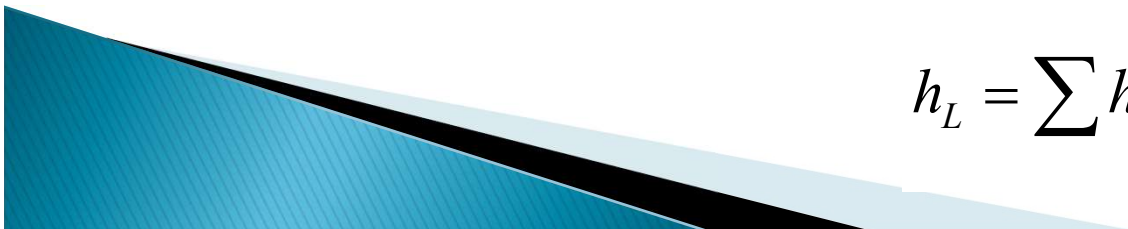
- Cálculo para meio filtrante com variação do diâmetro de partículas

$$\sum x_i = 1,0$$

$$l_i = x_i.L; \quad e \text{ não varia}$$

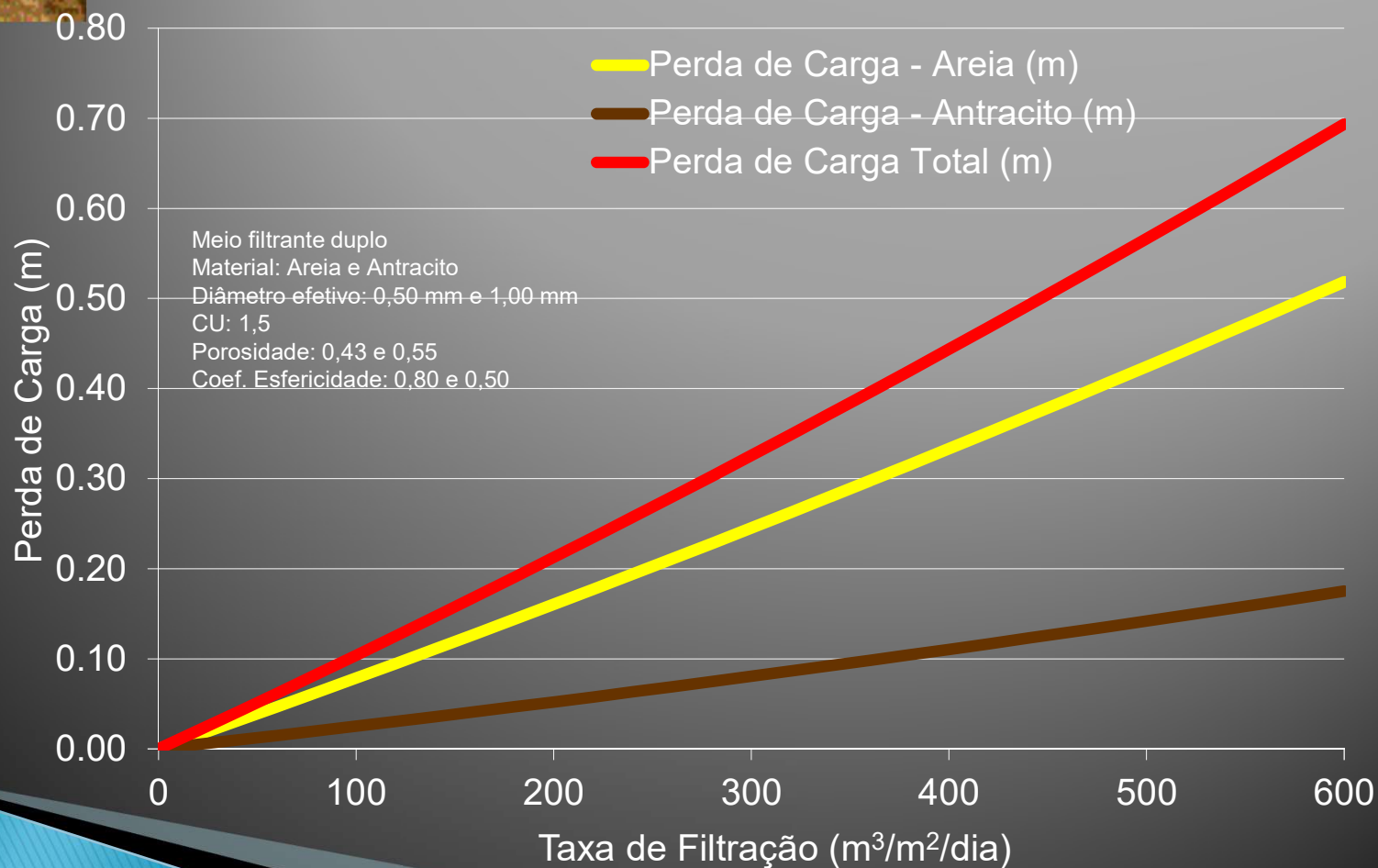
$$h_{li} = \left(\frac{1-e}{e^3} \right) \cdot \frac{v_0^2}{\psi.g} \cdot f_{fi} \cdot \frac{l_i}{d_i}$$

$$h_L = \sum h_{li} = \left(\frac{1-e}{e^3} \right) \cdot \frac{v_0^2.L}{\psi.g} \cdot \sum f_{fi} \frac{x_i}{d_i}$$



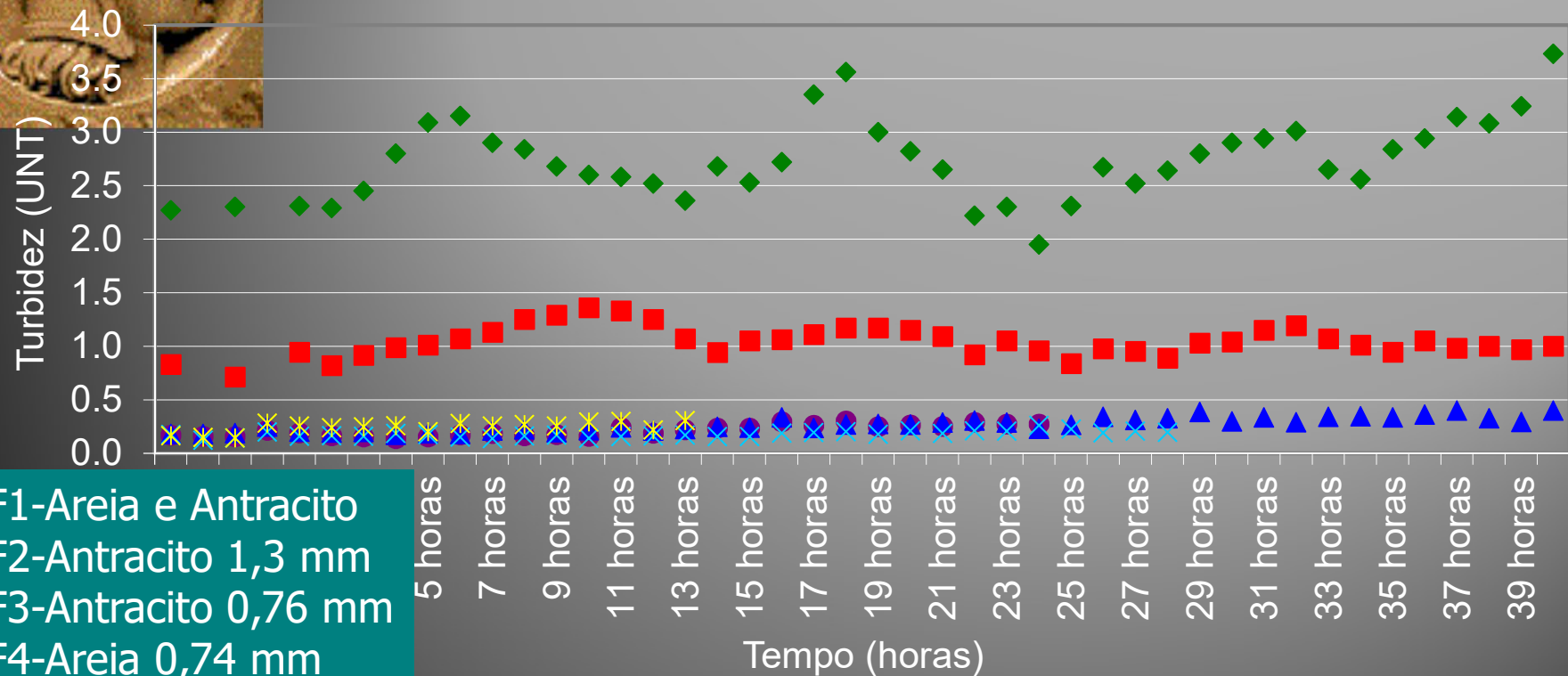


COMPORTAMENTO DO PROCESSO DE FILTRAÇÃO





COMPORTAMENTO DO PROCESSO DE FILTRAÇÃO



◆ Turbidez da água bruta (UNT)

■ Turbidez da água decantada (UNT)

● Turbidez (UNT) - F1

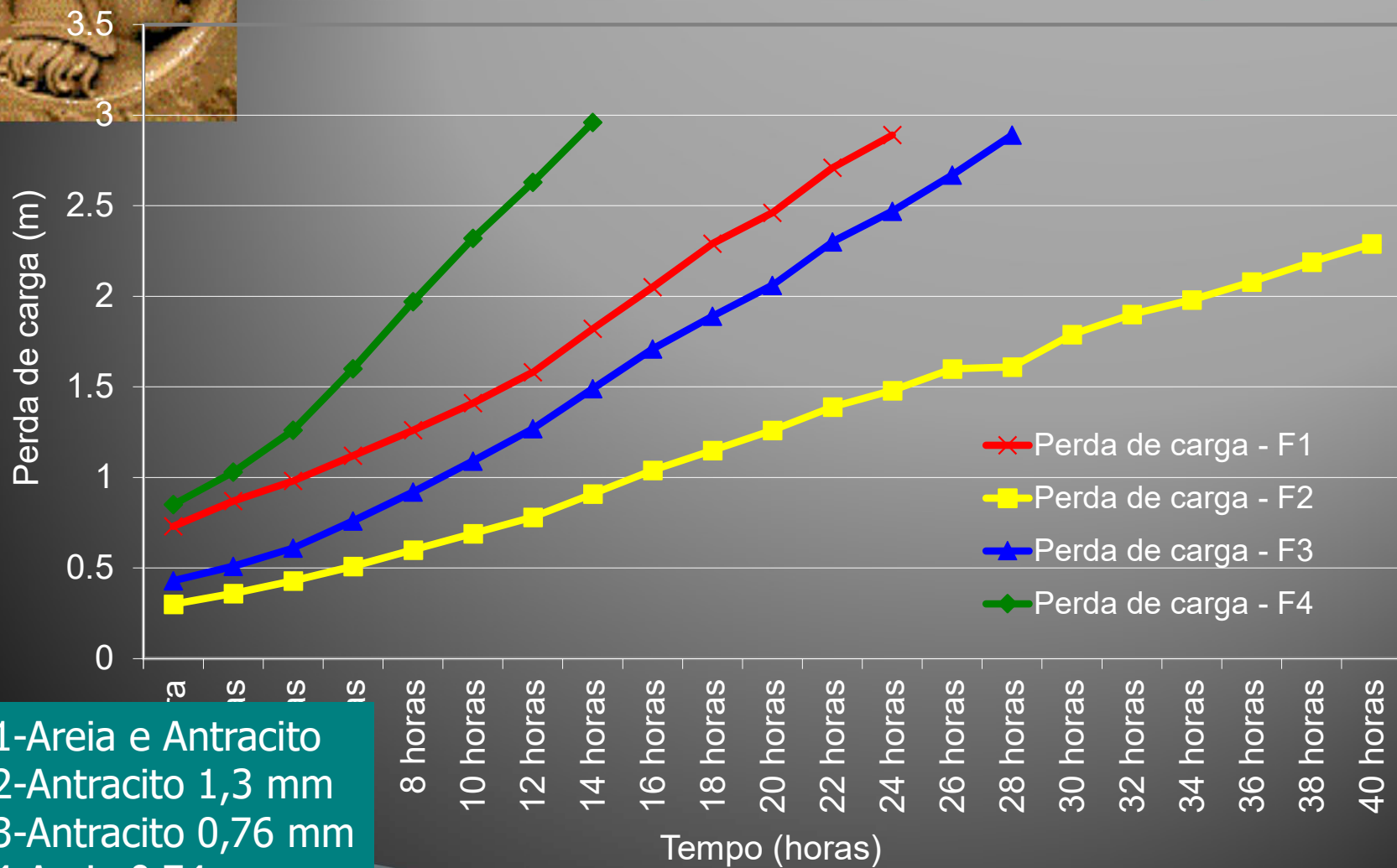
▲ Turbidez (UNT) - F2

× Turbidez (UNT) - F3

✱ Turbidez (UNT) - F4



COMPORTAMENTO DO PROCESSO DE FILTRAÇÃO

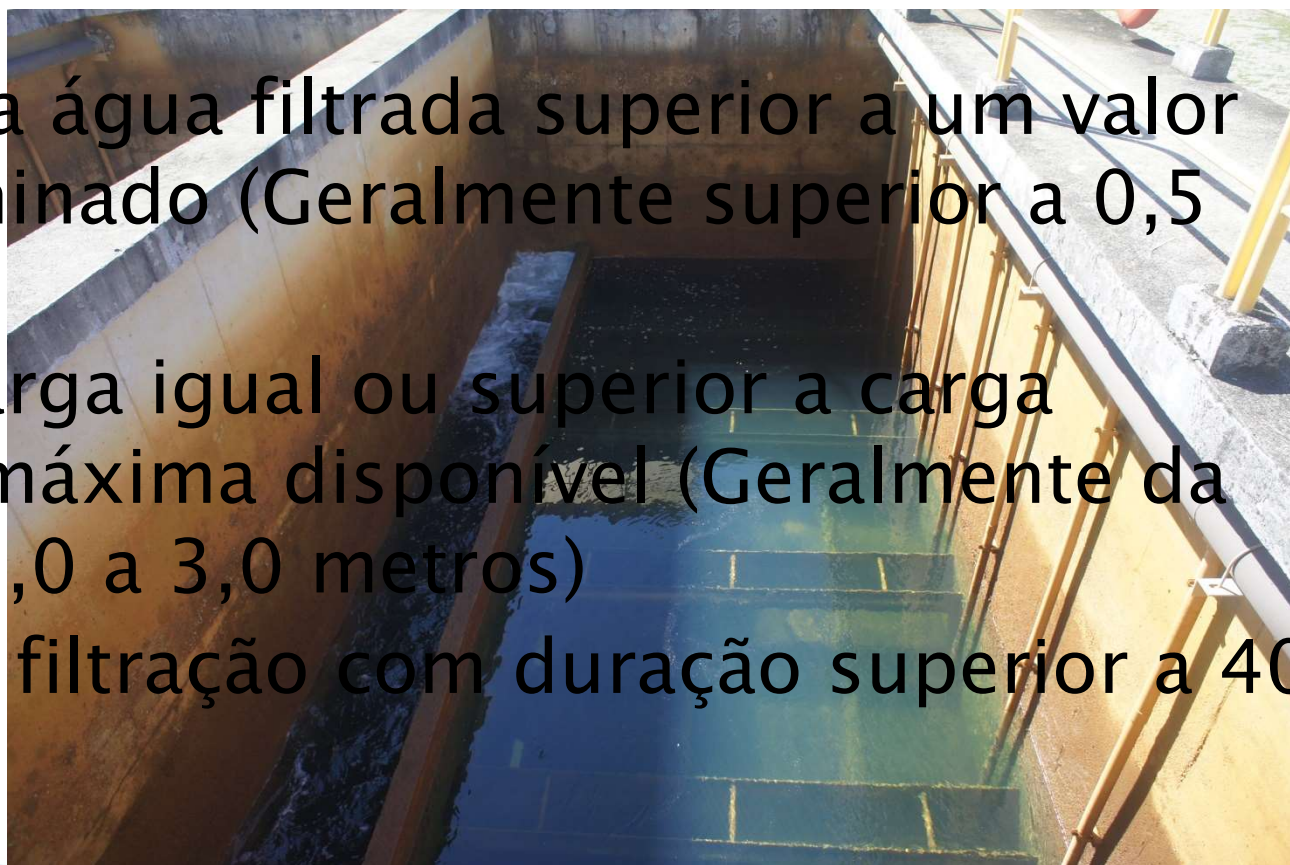


F1-Areia e Antracito
F2-Antracito 1,3 mm
F3-Antracito 0,76 mm
F4-Areia 0,74 mm



CRITÉRIOS PARA O ENCERRAMENTO DA CARREIRA DE FILTRAÇÃO

- ▶ Turbidez da água filtrada superior a um valor pré-determinado (Geralmente superior a 0,5 UNT)
- ▶ Perda de carga igual ou superior a carga hidráulica máxima disponível (Geralmente da ordem de 2,0 a 3,0 metros)
- ▶ Carreira de filtração com duração superior a 40 horas





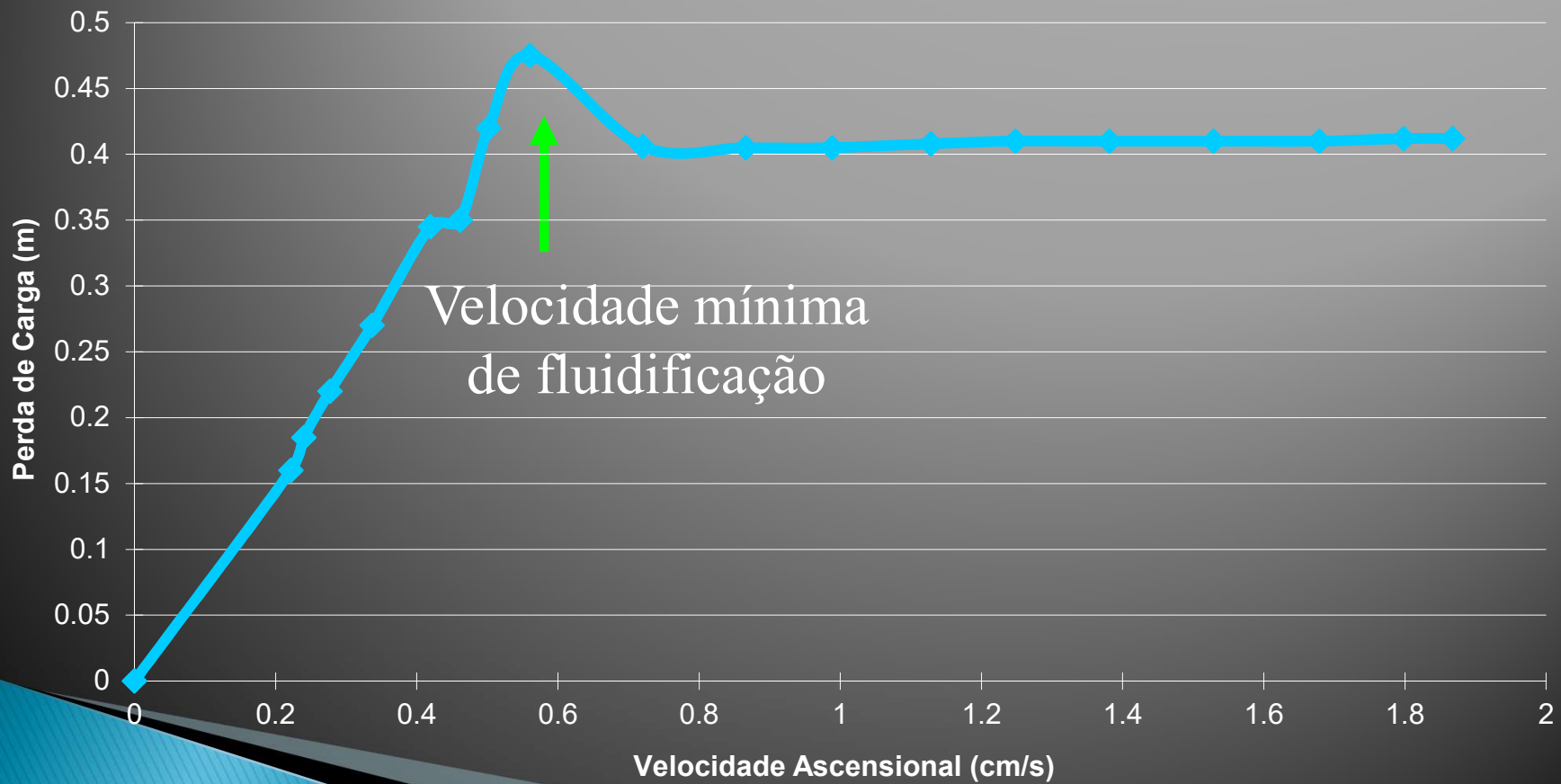
HIDRÁULICA DO PROCESSO DE FILTRAÇÃO

- ▶ Hidráulica do processo de filtração: modo de operação em filtração
- ▶ Hidráulica do processo de filtração: modo de operação em retrolavagem



HIDRÁULICA DO PROCESSO DE FILTRAÇÃO – FLUIDIZAÇÃO

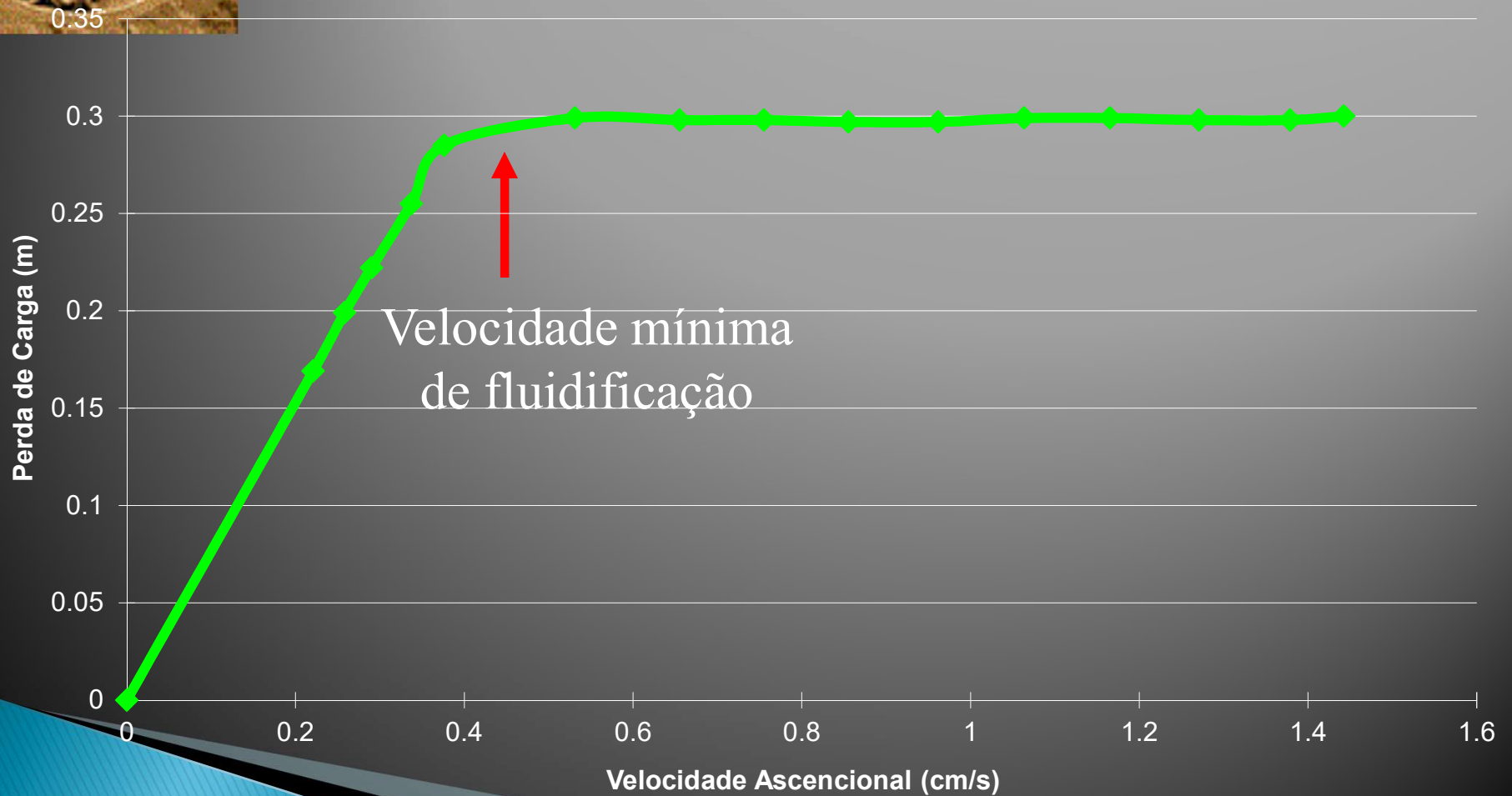
Perda de Carga e Expansão de Meios Filtrantes (Areia-Antracito)





HIDRÁULICA DO PROCESSO DE FILTRAÇÃO – FLUIDIFICAÇÃO

Perda de Carga e Expansão de Meios Filtrantes (Areia-CAG)





HIDRÁULICA DO PROCESSO DE FILTRAÇÃO – EXPANSÃO

- Relação entre porosidade e altura do meio filtrante

$$\frac{L}{L_0} = \frac{(1 - \varepsilon_0)}{(1 - \varepsilon_{\text{exp}})}$$

- Perda de carga em meios filtrantes expandidos

$$\Delta H = \frac{L_0 \cdot (1 - \varepsilon_0) \cdot (\rho_p - \rho)}{\rho}$$

L_0 =altura inicial do meio filtrante

ε_0 =porosidade inicial do meio filtrante

Velocidade Mínima de Fluidização do Leito

- ▶ No início da fluidização o leito ainda está fixo, de forma que a equação de Ergun pode ser igualada à equação de perda de carga no leito:

$$\frac{h_L}{L} = \frac{150.\mu}{\rho.g} \cdot \frac{(1-e)^2}{e^3} \cdot \frac{v_{mf}}{(\psi.d)^2} + 1,75 \cdot \left(\frac{1-e}{e^3} \right) \cdot \frac{v_{mf}^2}{\psi.d.g} = \frac{(\rho_p - \rho)}{\rho} \cdot (1-e)$$

$$\frac{150.\mu}{d^2} \cdot \left(\frac{1-e}{\psi^2.e^3} \right) \cdot v_{mf} + 1,75 \cdot \left(\frac{1}{\psi.e^3} \right) \cdot \frac{\rho}{d} \cdot v_{mf}^2 = (\rho_p - \rho).g$$

Segundo Wen e Yu:

$$\frac{1-e}{\psi^2.e^3} = 11 \quad e \quad \frac{1}{\psi.e^3} = 14$$



Velocidade Mínima de Fluidização do Leito

- ▶ Rearranjando-se a expressão com os valores de Wen e Yu para que a mesma seja expressa em função do número de Reynolds:

$$\frac{1650 \cdot \mu}{d^2} \cdot v_{mf} + 24,5 \cdot \frac{\rho}{d} \cdot v_{mf}^2 = (\rho_p - \rho) \cdot g$$

Multiplicando os dois lados por: $\frac{d^3 \cdot \rho}{\mu^2}$

$$24,5 \cdot \left(\frac{\rho \cdot v_{mf} \cdot d}{\mu} \right)^2 + 1650 \cdot \left(\frac{\rho \cdot v_{mf} \cdot d}{\mu} \right) - \frac{d^3 \cdot \rho \cdot (\rho_p - \rho) \cdot g}{\mu^2} = 0$$

$$Ga = \frac{d^3 \cdot \rho \cdot (\rho_p - \rho) \cdot g}{\mu^2}; \quad Re_{mf} = \left(\frac{\rho \cdot v_{mf} \cdot d}{\mu} \right)$$

$$v_{mf} = \left(\frac{\mu}{\rho \cdot d} \right) \cdot \left[(1.133,9 + 0,0408 \cdot Ga)^{1/2} - 33,7 \right]$$

Para meios filtrantes com partículas de diâmetro variado, utiliza-se o d_{90} .

A velocidade de lavagem deve ser $> 1,3 \cdot v_{mf}$.





HIDRÁULICA DO PROCESSO DE FILTRAÇÃO – FLUIDIZAÇÃO

$$V_{mf} = V_{mf1} \cdot \left(\frac{V_{mf2}}{V_{mf1}} \right)^{x_2^{1,69}}$$

V_{mf1} = velocidade mínima de fluidização das partículas mais pesadas.

V_{mf2} = velocidade mínima de fluidização das partículas mais leves.

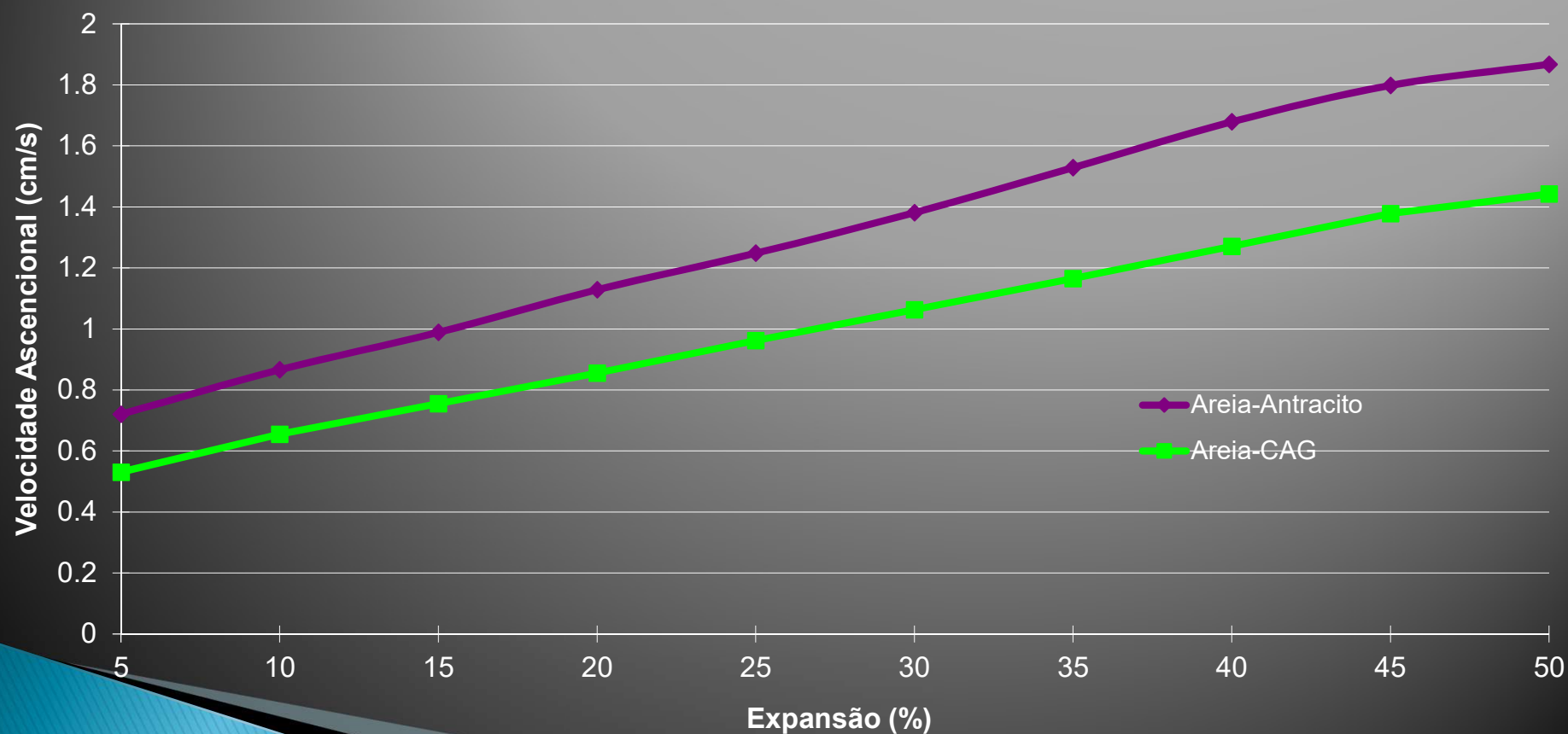
x_2 = fração mássica do meio filtrante associado à

V_{mf2}



HIDRÁULICA DO PROCESSO DE FILTRAÇÃO – EXPANSÃO

Expansão de Meios Filtrantes



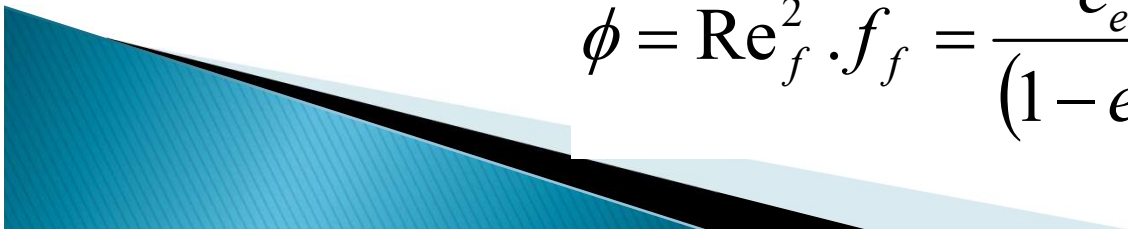
Expansão do Leito e Taxa de Contralavagem

- ▶ Pode ser obtida pela equação que relaciona o número de Reynolds com as características do meio filtrante e a perda de carga dada pela equação de Carman-Kozeny.

$$\text{Re}_f = \frac{\rho \cdot v_b \cdot \psi \cdot d}{6 \cdot \mu \cdot (1 - e_e)}; \quad (1)$$

$$f_f = \frac{(\rho_s - \rho)}{\rho} \cdot \frac{e_e^3 \cdot \psi \cdot d \cdot g}{v_b^2}; \quad (2)$$

$$\phi = \text{Re}_f^2 \cdot f_f = \frac{e_e^3}{(1 - e_e)^2} \cdot \left[Ga \cdot \frac{\psi^3}{36} \right]; \quad (3)$$



Expansão do Leito e Taxa de Contralavagem

- ▶ Para $Re_f \leq 0,2 \rightarrow \Phi = 18,1 \times Re_f$
- ▶ Para $Re_f > 0,2$:

$$\log\left(\frac{\phi}{6}\right) = 0,56543 + 1,09348 \cdot \log Re_f + 0,17979 \cdot (\log Re_f)^2 - 0,00392 \cdot (\log Re_f)^4 - 1,5 \cdot (\log \psi)^2; \quad (4)$$

- As expressões apresentadas resultam em valores adequados para uma ampla variedade de meios porosos, em diferentes porosidades expandidas, para expansões acima de 10%.



Taxa de Contralavagem

- ▶ O procedimento para a utilização da expressão (4) em função de Re_f , consiste:
 - Seleção de uma velocidade v_b , acima de v_{mf} ;
 - Por tentativa e erro determinar a porosidade e altura do leito expandido;
 - θ deve ser calculado pela expressão (3);
 - Re_f deve ser calculado pela expressão (1);
 - Verificar o valor de θ pela expressão (4).
- ▶ Para meios filtrantes estratificados ou com distribuição granulométrica de partículas conhecida, o cálculo é feito para cada camada, da mesma forma que a perda de carga.

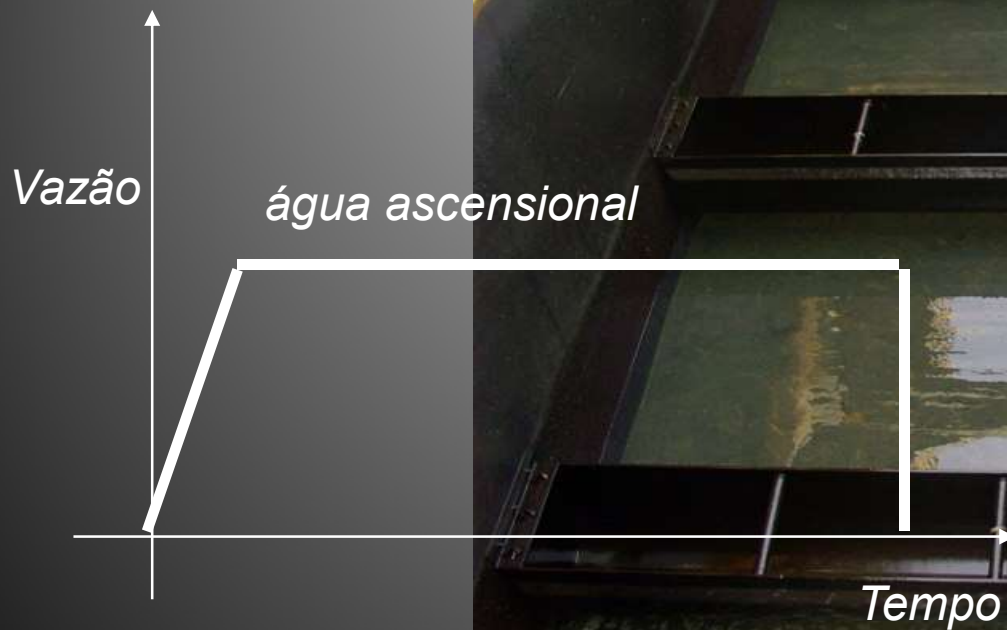




HIDRÁULICA DE FILTRAÇÃO

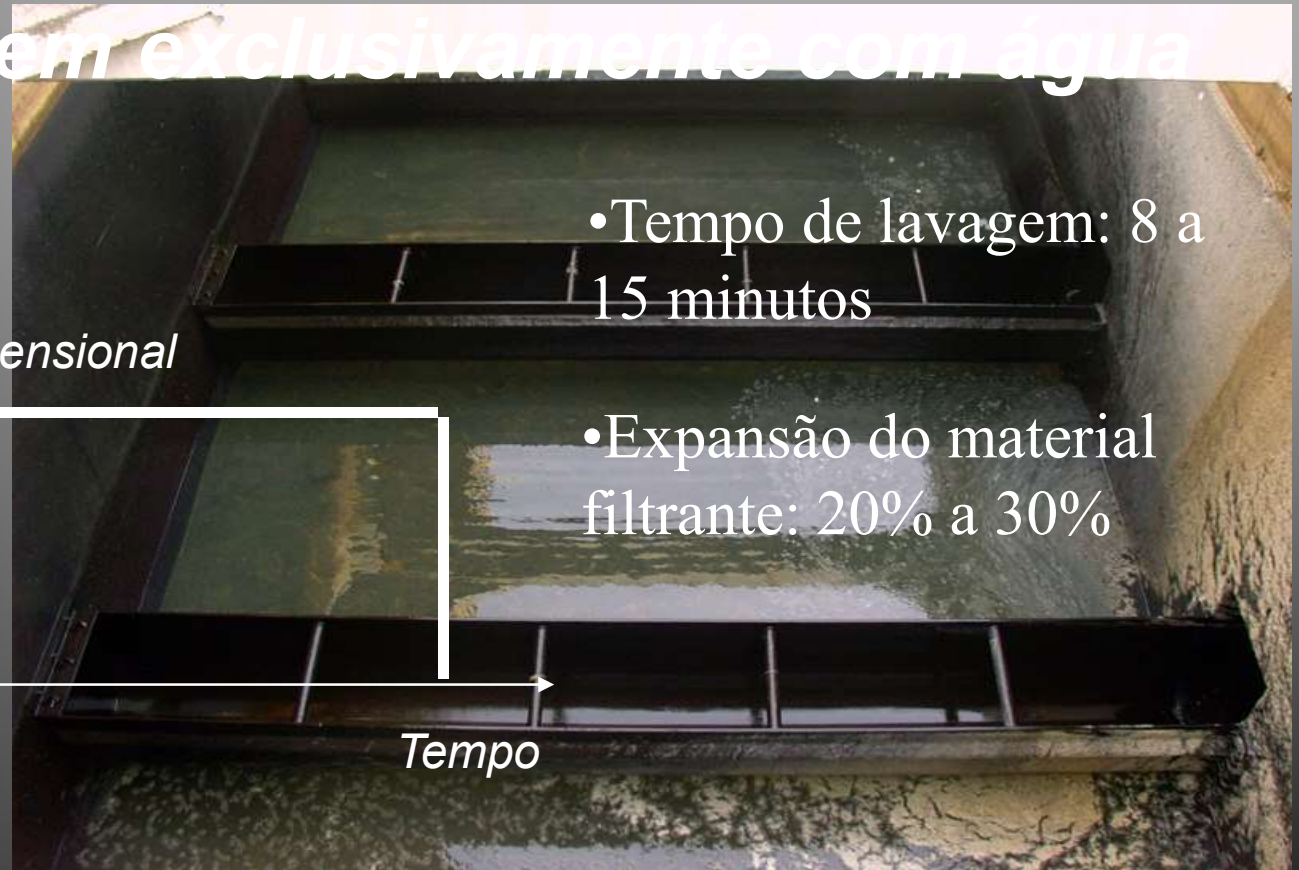
LAVAGEM DE MEIOS FILTRANTES

Lavagem exclusivamente com água



- Tempo de lavagem: 8 a 15 minutos

- Expansão do material filtrante: 20% a 30%

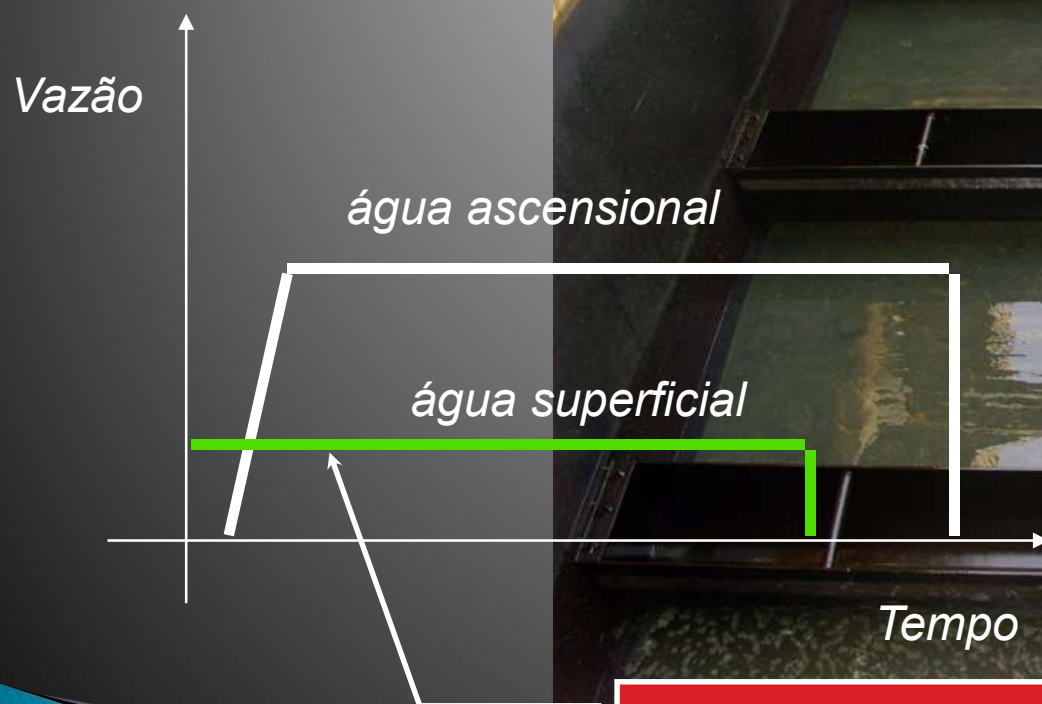




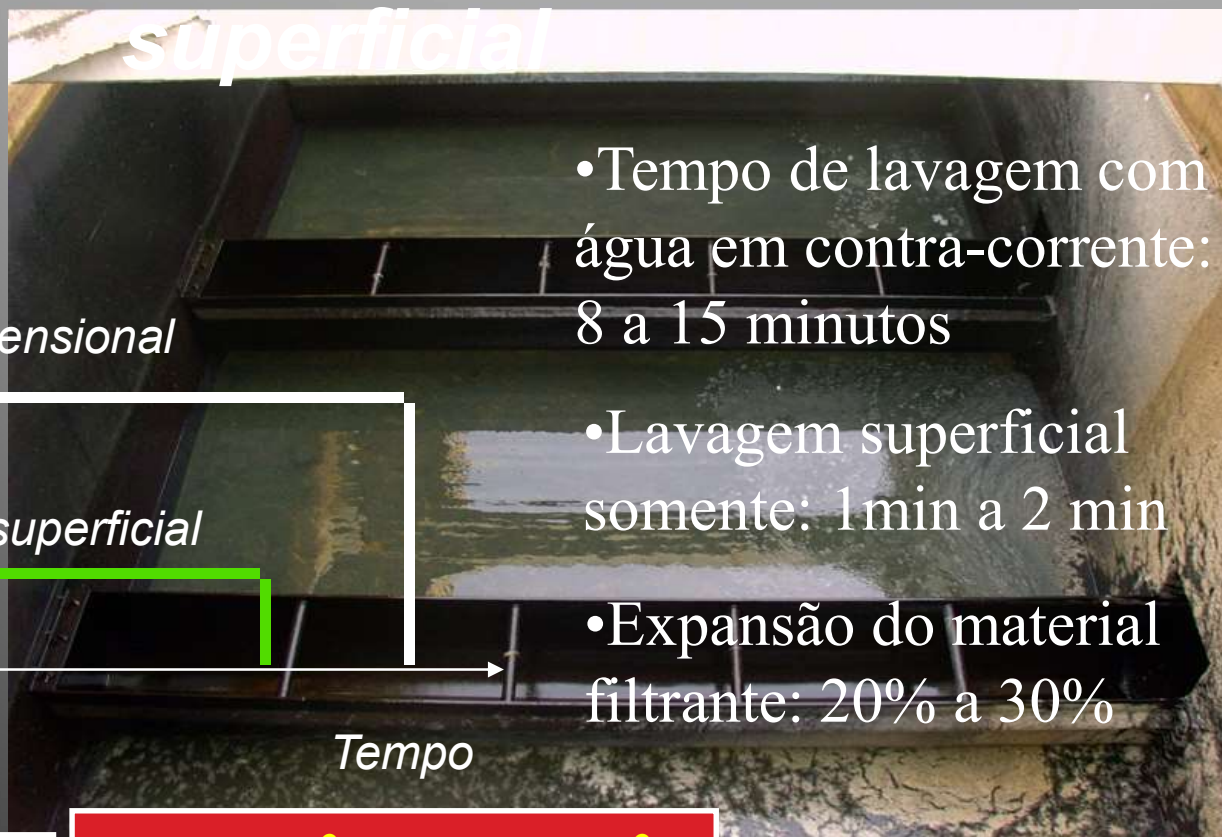
HIDRÁULICA DE FILTRAÇÃO

LAVAGEM DE MEIOS FILTRANTES

Lavagem com água e sistema de lavagem superficial



1,5 l/s/m² a 3,0 l/s/m²



- Tempo de lavagem com água em contra-corrente: 8 a 15 minutos
- Lavagem superficial somente: 1 min a 2 min
- Expansão do material filtrante: 20% a 30%

LAVAGEM DE MEIOS FILTRANTES

LAVAGEM COM ÁGUA E SUPERFICIAL





LAVAGEM DE MEIOS FILTRANTES LAVAGEM COM ÁGUA E SUPERFICIAL





LAVAGEM DE MEIOS FILTRANTES

LAVAGEM COM ÁGUA E

SUPERFICIAL





LAVAGEM DE MEIOS FILTRANTES

LAVAGEM COM ÁGUA E

SUPERFICIAL

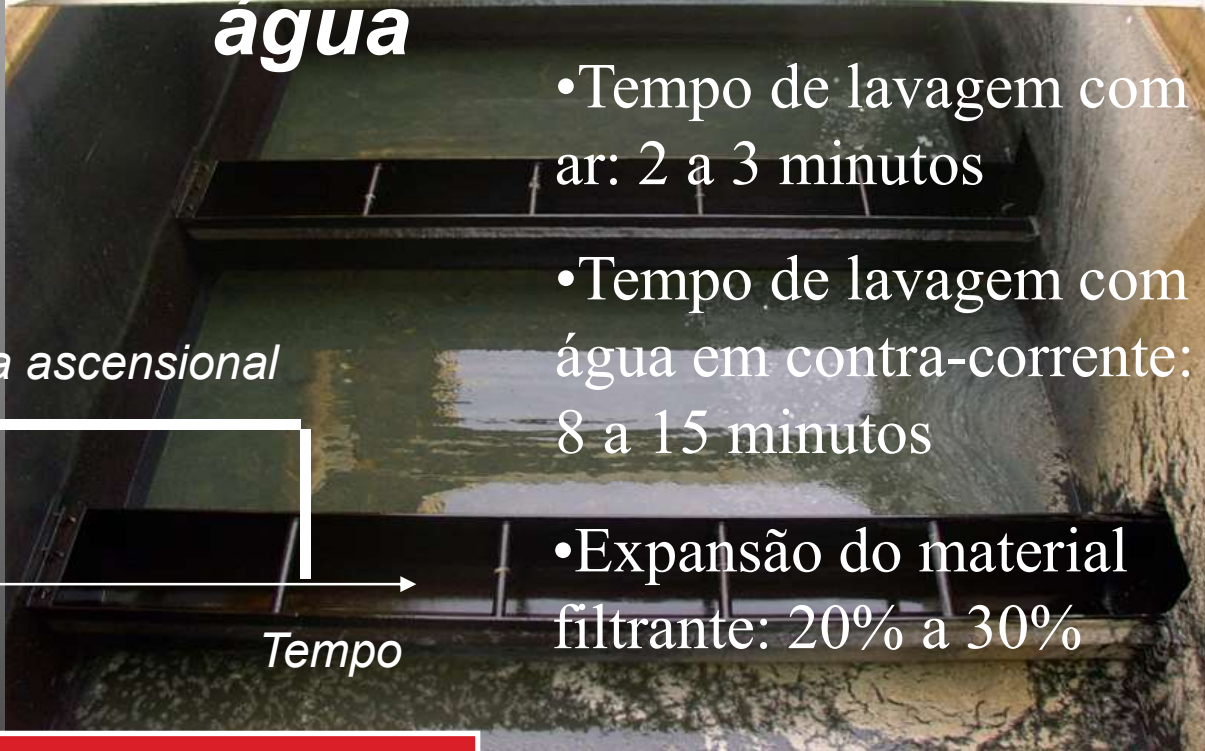
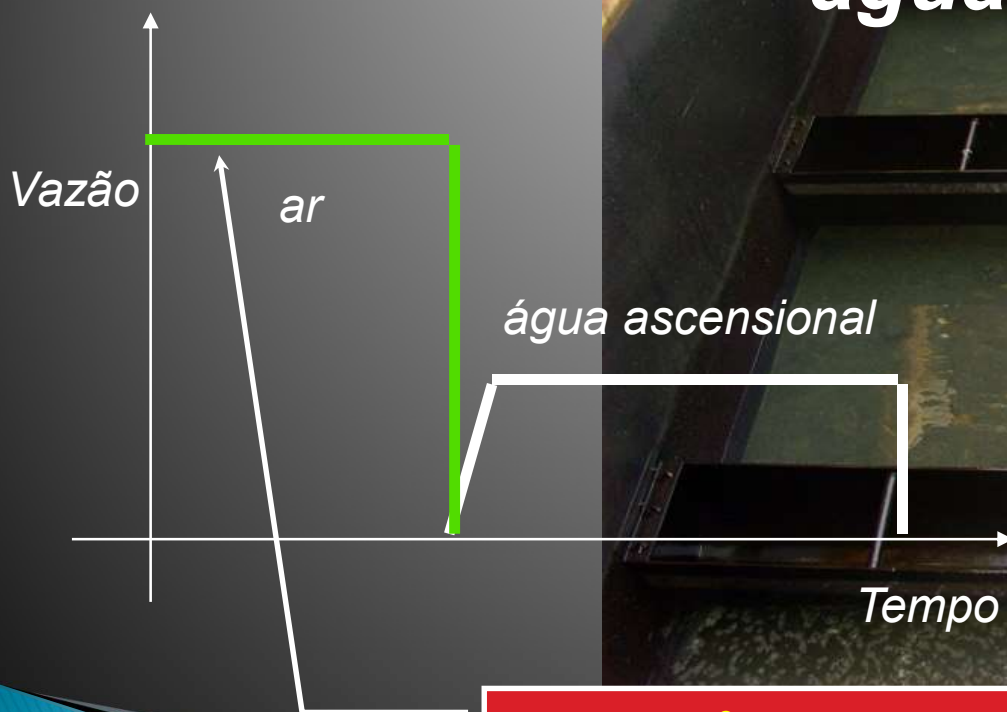




HIDRÁULICA DE FILTRAÇÃO

LAVAGEM DE MEIOS FILTRANTES

Lavagem com ar unicamente seguido de água



- Tempo de lavagem com ar: 2 a 3 minutos

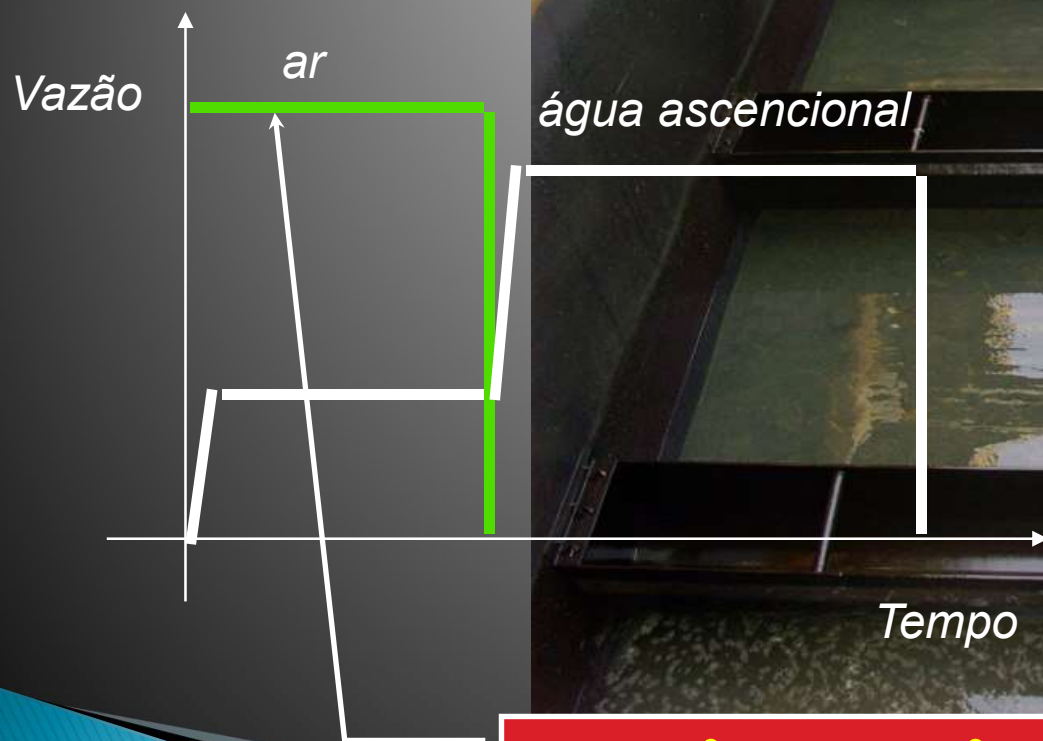
- Tempo de lavagem com água em contra-corrente: 8 a 15 minutos

- Expansão do material filtrante: 20% a 30%

HIDRÁULICA DE FILTRAÇÃO

LAVAGEM DE MEIOS FILTRANTES

Lavagem com ar e água simultaneamente



- Tempo de lavagem com ar e água simultaneamente: 2 a 4 minutos

- Tempo de lavagem com água em contra-corrente: 8 a 15 minutos

- Expansão do material filtrante: 20% a 30%

4 l/s/m² a 8 l/s/m²



LAVAGEM DE MEIOS FILTRANTES

LAVAGEM COM AR E ÁGUA





LAVAGEM DE MEIOS FILTRANTES

LAVAGEM COM AR E ÁGUA





LAVAGEM DE MEIOS FILTRANTES LAVAGEM COM AR E ÁGUA

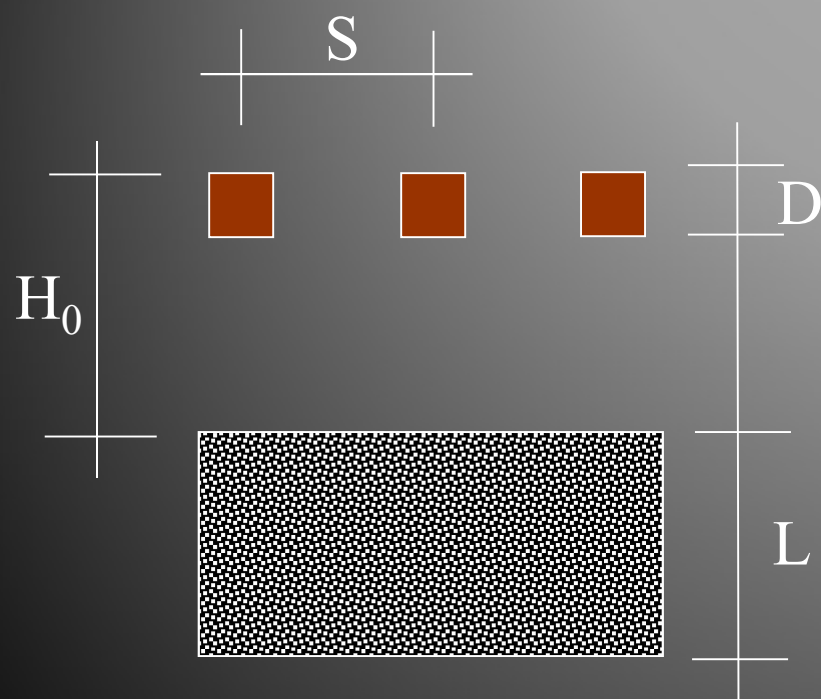




SISTEMA DE COLETA DE ÁGUA DE LAVAGEM

$$(0,5.L + D) \leq H_0 \leq (L + D)$$

$$1,5H_0 \leq S \leq 2,5H_0$$



H_0 = Altura entre a borda superior da calha de água de lavagem e o topo do material filtrante

S = Espaçamento entre as calhas

L = Espessura da camada filtrante

D = altura da calha de água de lavagem



SISTEMAS DE FILTRAÇÃO

ROTEIRO DE CÁLCULO

- ▶ Definição da concepção do sistema de filtração (simples, dupla camada ou tripla camada)
- ▶ Definição da granulometria dos materiais filtrantes e sua respectiva espessura



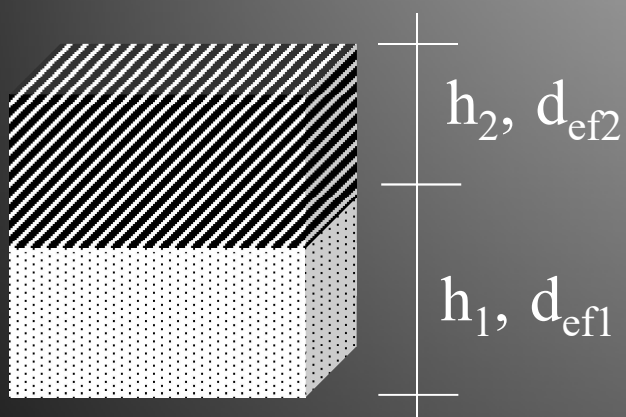
SISTEMAS DE FILTRAÇÃO

ROTEIRO DE CÁLCULO

- ▶ Definição da concepção do sistema de filtração (simples, dupla camada ou tripla camada)
- ▶ Definição da granulometria dos materiais filtrantes e sua respectiva espessura



MATERIAIS FILTRANTES: COMPOSIÇÃO, GRANULOMETRIA E ALTURA



$$\frac{h}{d_{ef}}$$

1.000 (Camada simples de areia e dupla camada areia-antracito)

1.250 (Camada tripla areia, antracito e granada)

1.250 a 1500 (Filtros de camada profunda e constituídos de um único material filtrante)

* ($1,2 \text{ mm} \leq d_{ef} \leq 1,4 \text{ mm}$)

1.500 a 2.000 (Filtros de camada profunda e constituídos de um único material filtrante)

* ($1,5 \text{ mm} \leq d_{ef} \leq 2,0 \text{ mm}$)



SISTEMAS DE FILTRAÇÃO

ROTEIRO DE CÁLCULO

- ▶ Definição do controle hidráulico do sistema de filtração (Taxa de filtração constante (com variação ou não de nível) ou taxa de filtração declinante)
- ▶ Concepção do fundo falso e sistema de drenagem



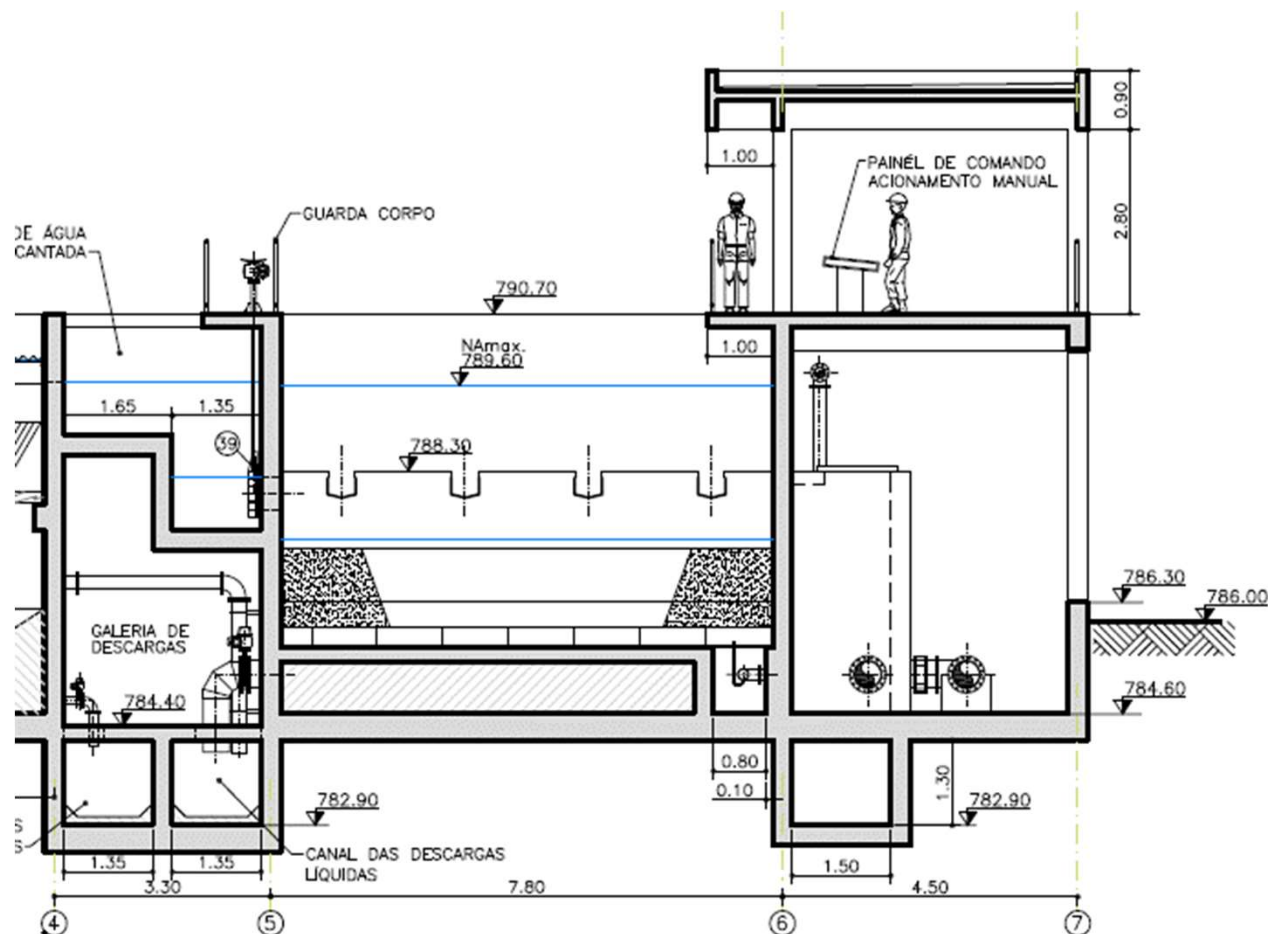
SISTEMAS DE FILTRAÇÃO

ROTEIRO DE CÁLCULO

- ▶ Definição do controle hidráulico do sistema de filtração (Taxa de filtração constante (com variação ou não de nível) ou taxa de filtração declinante)
- ▶ Concepção do fundo falso e sistema de drenagem



FILTROS RÁPIDOS POR GRAVIDADE





SISTEMAS DE FILTRAÇÃO ROTEIRO DE CÁLCULO

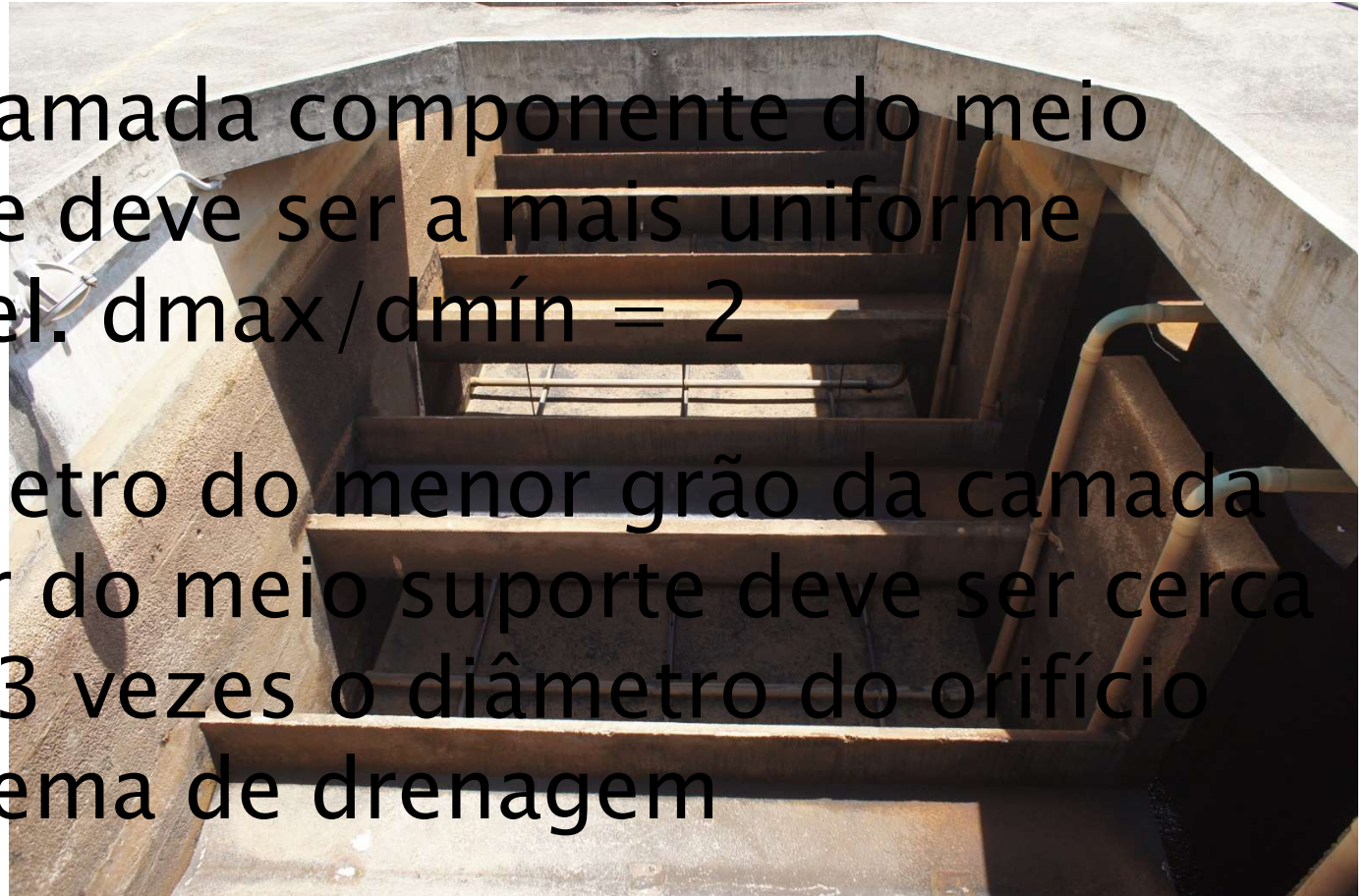
Taxas de Filtração

- ▶ Relação entre a vazão de água a ser filtrada e a área superficial do filtro:
 - Filtros de camada única → 120 a 360 m/d;
 - Filtros de dupla camada → 240 a 600 m/d;
- ▶ Pela ABNT os valores recomendados são:
 - Filtros de camada única → 180 m/d;
 - Filtros de dupla camada → 360 m/d.



CAMADA SUPORTE GRANULOMETRIA E ALTURA

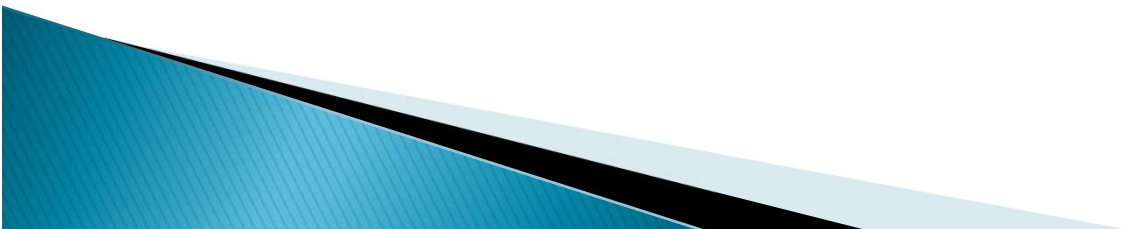
- ▶ Cada camada componente do meio suporte deve ser a mais uniforme possível. $d_{max}/d_{mín} = 2$
- ▶ O diâmetro do menor grão da camada inferior do meio suporte deve ser cerca de 2 a 3 vezes o diâmetro do orifício do sistema de drenagem





CAMADA SUPORTE GRANULOMETRIA E ALTURA

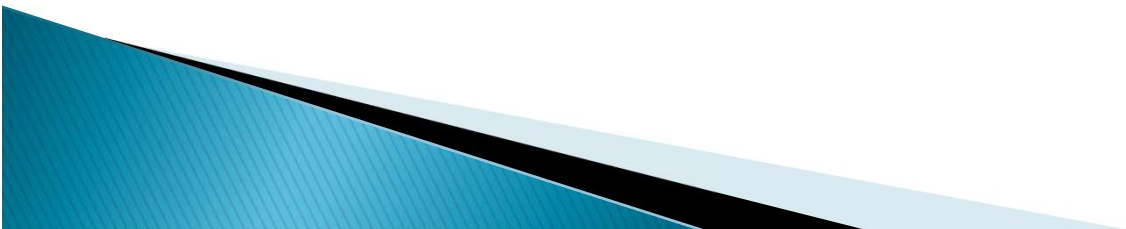
- ▶ O diâmetro do menor grão da camada superior do meio suporte deve ser cerca de 4 a 4,5 vezes o valor do diâmetro efetivo do material filtrante





CAMADA SUPORTE GRANULOMETRIA E ALTURA

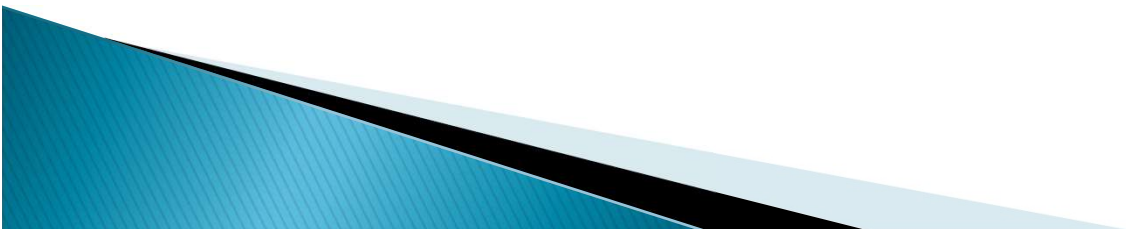
- ▶ Entre as camadas que compõem o meio suporte, a relação entre o diâmetro do maior grão e o diâmetro do menor grão da camada adjacente deve ser igual a 4





CAMADA SUPORTE GRANULOMETRIA E ALTURA

- ▶ A espessura mínima de cada camada componente do meio suporte deve ser igual a 7,5 cm ou três vezes o diâmetro máximo do grão.





SISTEMAS DE FILTRAÇÃO

ROTEIRO DE CÁLCULO

- ▶ Cálculo da área total de filtração

$$q = \frac{Q}{A_{\text{filtração}}}$$

- ▶ Cálculo aproximado do número de filtros

$$N = 1,2.Q^{0,5}$$

Q = vazão em mgd

$$1 \text{ mgd} = 3.785 \text{ m}^3/\text{d}$$



SISTEMAS DE FILTRAÇÃO

ROTEIRO DE CÁLCULO

- ▶ Cálculo da área total de filtração

$$q = \frac{Q}{A_{\text{filtração}}}$$

- ▶ Cálculo aproximado do número de filtros

$$N = 1,2.Q^{0,5}$$

Q = vazão em mgd

$$1 \text{ mgd} = 3.785 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$N = 0,0195.Q^{0,5}$$

Q = vazão em m^3/d



SISTEMAS DE FILTRAÇÃO

ROTEIRO DE CÁLCULO

- ▶ Definição do número de filtros
- ▶ Determinação da área individual de cada filtro. Recomendável (25 m² a 100 m²)

$$A_f = \frac{A_{total}}{N}$$

- ▶ Definição das dimensões de cada filtro. Recomendável que seja efetuado em função do arranjo das estruturas da ETA.



SISTEMAS DE FILTRAÇÃO

ROTEIRO DE CÁLCULO

- ▶ Definição do método e sistema de lavagem
- ▶ Cálculo da velocidade mínima de fluidificação e velocidade ascensional de água de lavagem para valores pré-determinados de expansão do meio filtrante



SISTEMAS DE FILTRAÇÃO

ROTEIRO DE CÁLCULO

- ▶ Definição do método e sistema de lavagem
- ▶ Cálculo da velocidade mínima de fluidização e velocidade ascensional da água de lavagem para valores pré-determinados de expansão do meio filtrante



SISTEMAS DE FILTRAÇÃO

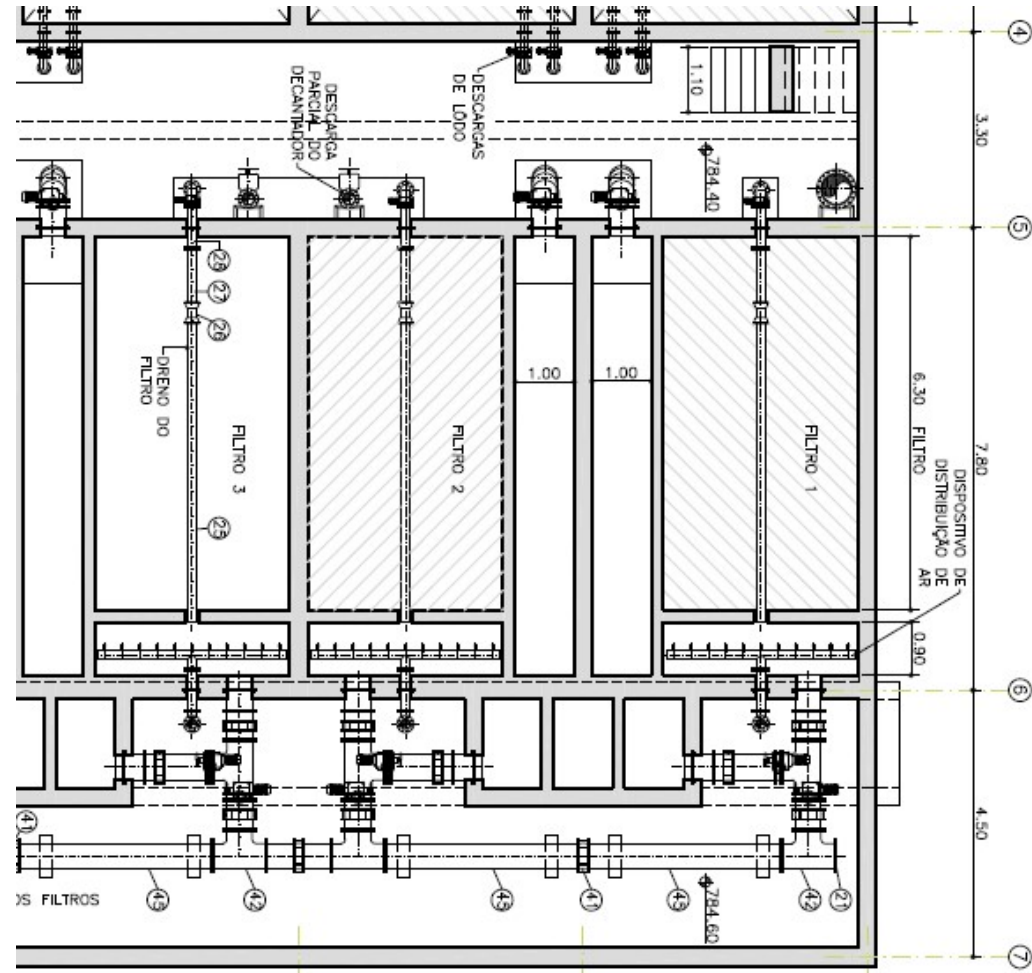
ROTEIRO DE CÁLCULO

- ▶ Dimensionamento do sistema de lavagem (Tubulações, válvulas demais e acessórios)
- ▶ Dimensionamento das calhas de coleta de água de lavagem
- ▶ Definição da carga hidráulica disponível e cálculo do perfil hidráulico



Outras Características de Projeto

- ▶ Velocidades nos dispositivos de veiculação de água:
 - Alimentação do filtro → 0,6 a 1,8 m/s;
 - Tubulação de água filtrada → 0,9 a 1,8 m/s;
 - Drenagem da água de lavagem → 1,2 a 2,4 m/s;
 - Alimentação de água de lavagem → 2,4 a 3,7 m/s;
 - Drenagem do filtro → 3,7 a 4,8 m/s.





SISTEMAS DE FILTRAÇÃO

ROTEIRO DE CÁLCULO

- ▶ Dimensionamento do sistema de lavagem (Tubulações, válvulas demais e acessórios)
- ▶ Dimensionamento das calhas de coleta de água de lavagem
- ▶ Definição da carga hidráulica disponível e cálculo do perfil hidráulico



SISTEMAS DE FILTRAÇÃO

ROTEIRO DE CÁLCULO

- ▶ Dimensionamento do sistema de lavagem (Tubulações, válvulas demais e acessórios)
- ▶ Dimensionamento das calhas de coleta de água de lavagem
- ▶ Definição da carga hidráulica disponível e cálculo do perfil hidráulico



**Muito
Obrigado !!!**

