



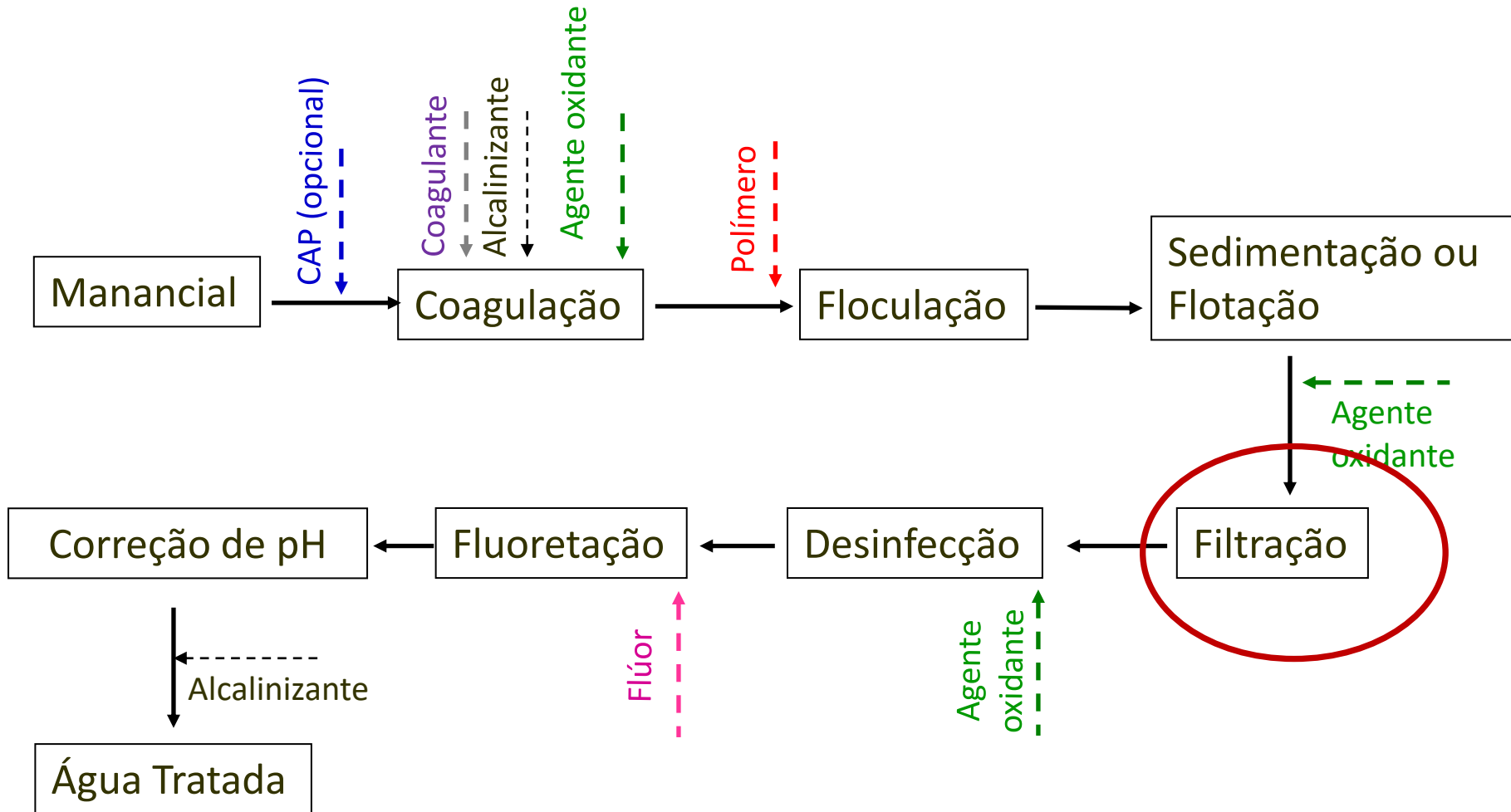
Universidade Federal do Paraná  
Setor de Tecnologia  
Departamento de Hidráulica e Saneamento



# Filtração

Prof. Ramiro Gonçalves Etchepare  
E-mail: [ramiro.etchepare@ufpr.br](mailto:ramiro.etchepare@ufpr.br)

# FLUXOGRAMA DO TRATAMENTO CONVENCIONAL DE ÁGUA



# Histórico

- 1804 – John Gibb (Paisley-Escócia) construiu um filtro lento de areia
- 1852 – Inglaterra obrigou a filtração de água de rios para consumo humano
- 1892 – Surto de Cólera (margens rio Elba)
  - Hamburgo (sem filtros) – registro de 8000 mortes
  - Altona (com filtros) – sem registros de mortes

# Filtração

## Conceito

- Passagem da água por um meio poroso
- Separação de sólidos do líquido

## Finalidade

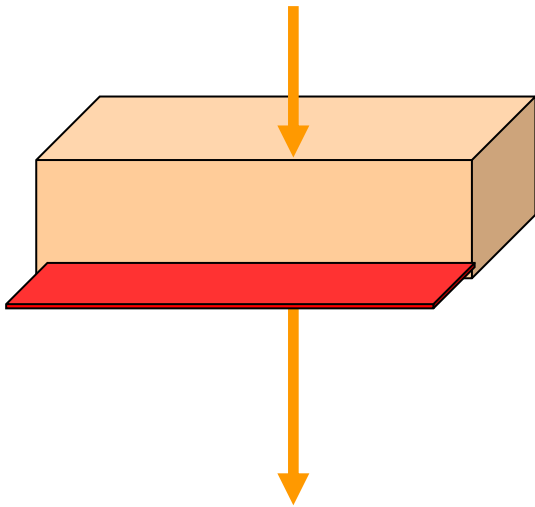
- Remoção de sólidos suspensos
- Precipitados químicos
- Micro-organismos (filtração lenta)

# Filtração

## Tipo de Filtração

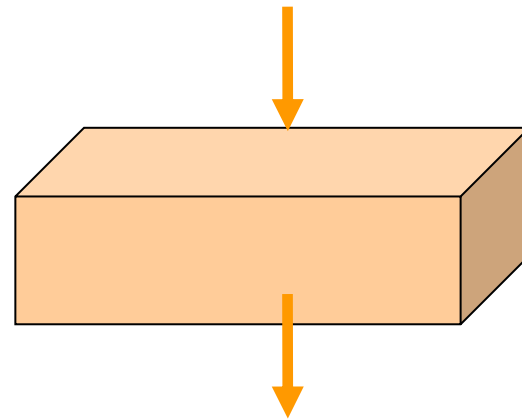
### Filtração em Membrana

- Osmose reversa
- Nanofiltração
- Ultrafiltração
- Microfiltração



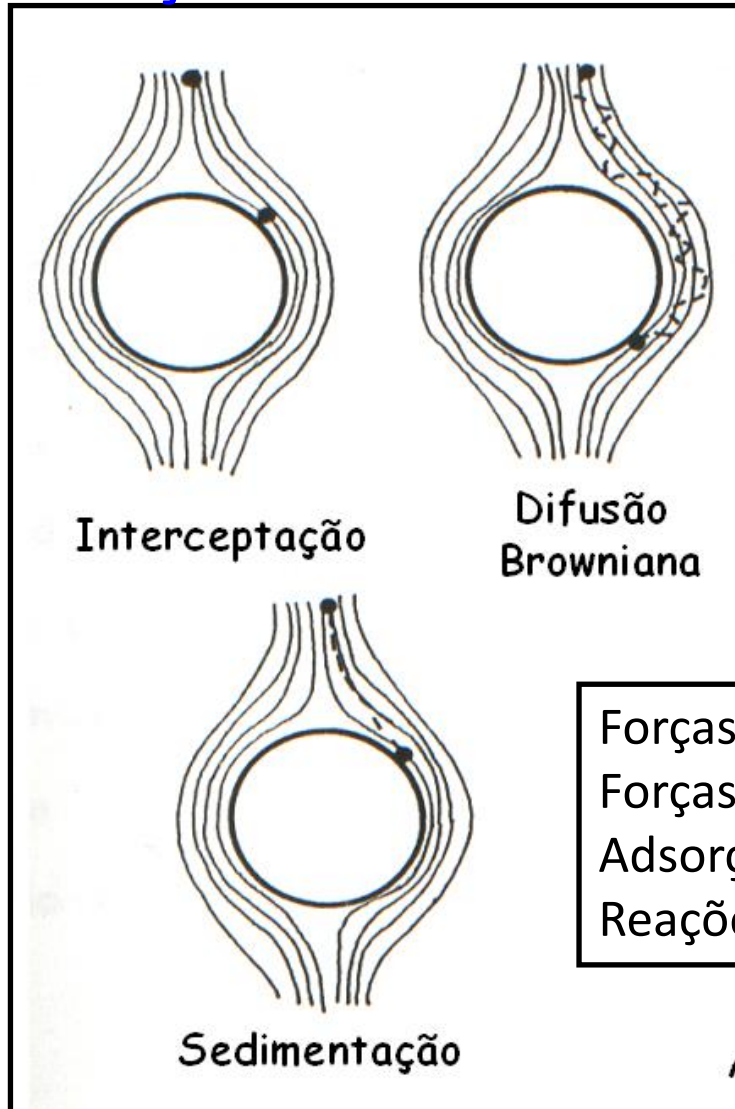
### Filtração em Meio Granular

- Filtros lentos ( $1-7,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ )
- Filtração rápida ( $120-480 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ )



# Filtração

## Mecanismos de Transporte e Aderência



- Virus: 0,01 - 0,025 mm
- Bacterias: 0,2 - 1 mm
- *Cryptosporidium*: 3 - 5 mm
- *Giardia*: 6 - 10 mm

Forças Eletrostáticas  
Forças de Van Der Waals  
Adsorção Mútua  
Reações de Hidratação

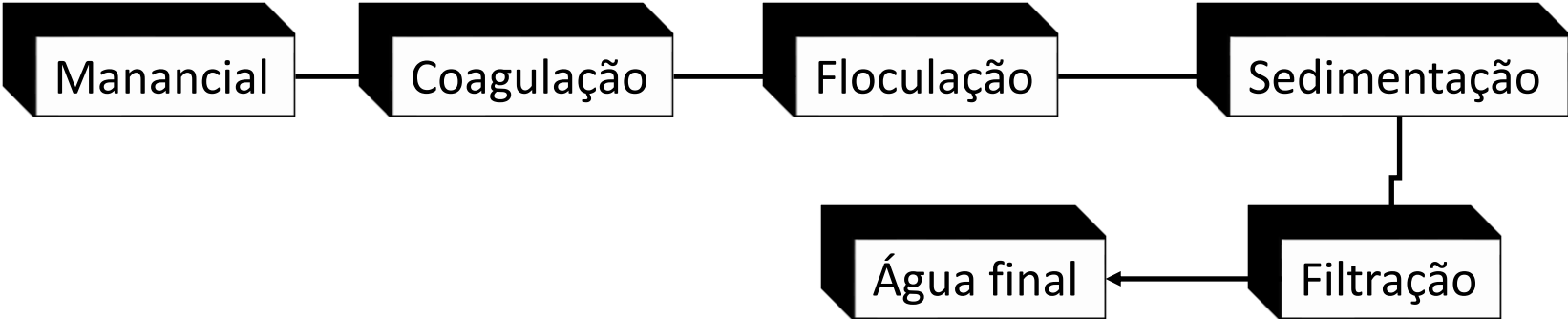
É imperativo que as partículas a serem filtradas tenham sido desestabilizadas previamente na etapa química

# Filtração

Relação com o Tratamento

- Filtração Convencional
- Filtração Direta
- Filtração em Linha

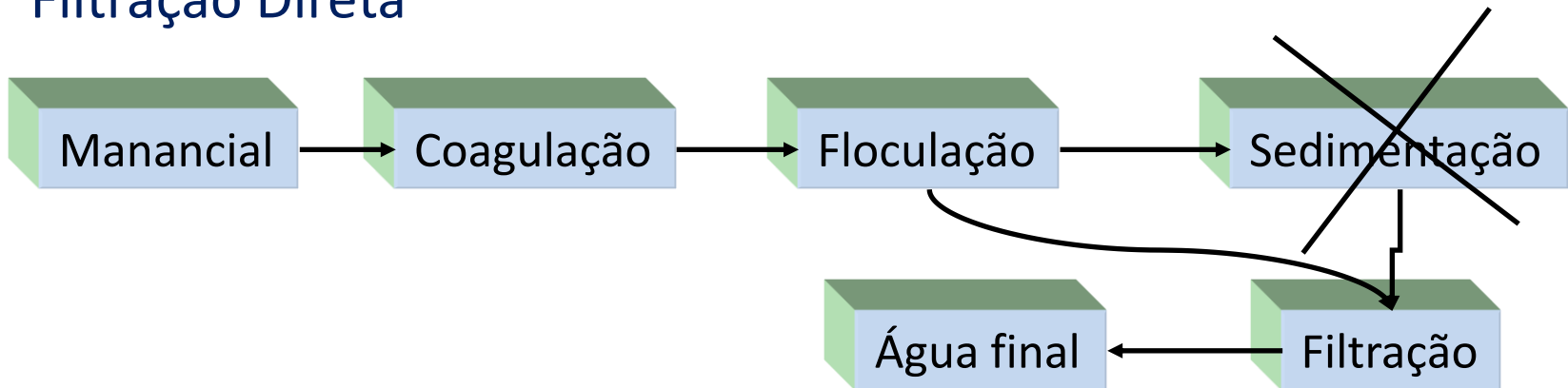
## Filtração Convencional



# Filtração

## Relação com o Tratamento

### Filtração Direta



Turbidez - 20 UNT

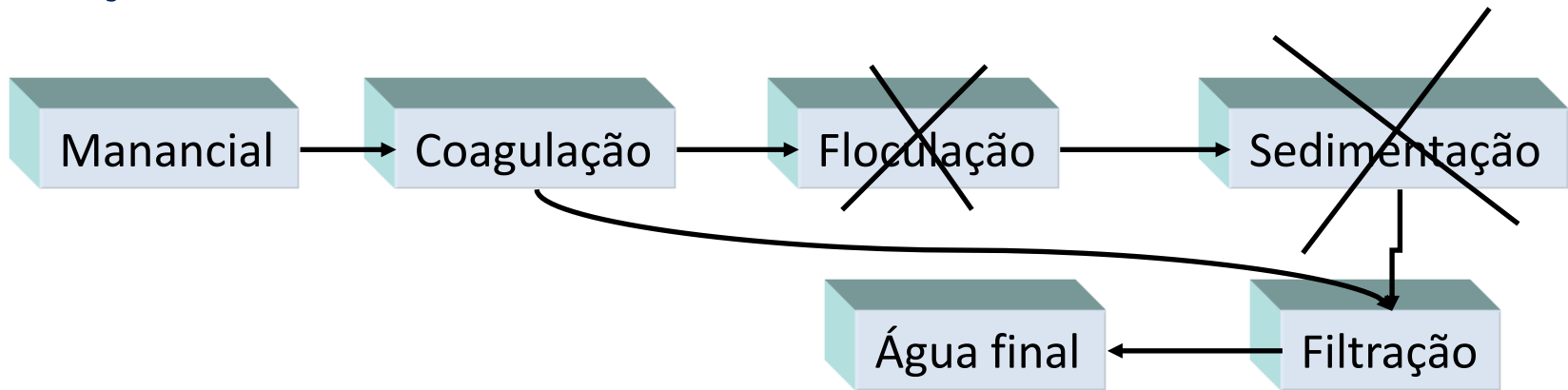
Cor aparente - 20 UC

Densidade algal – 1000 UPA/mL

# Filtração

## Relação com o Tratamento

### Filtração em Linha



Turbidez - 5 UNT

Cor aparente - 10 UC

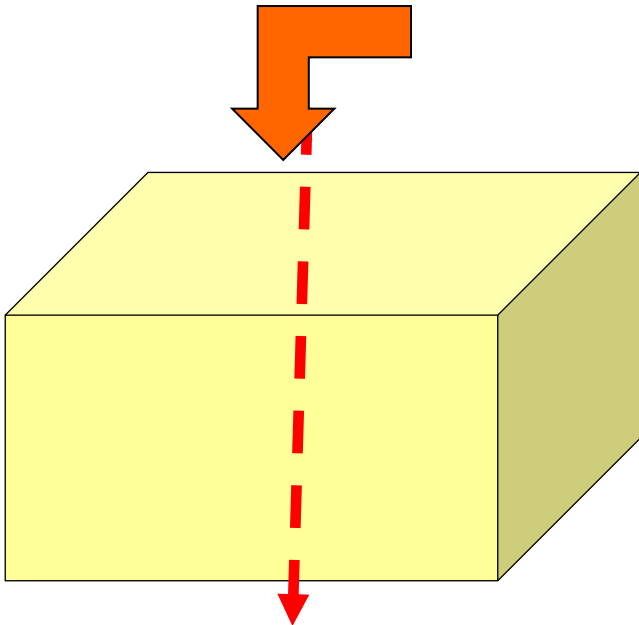
Densidade algal – 500 UPA/mL

# Filtração

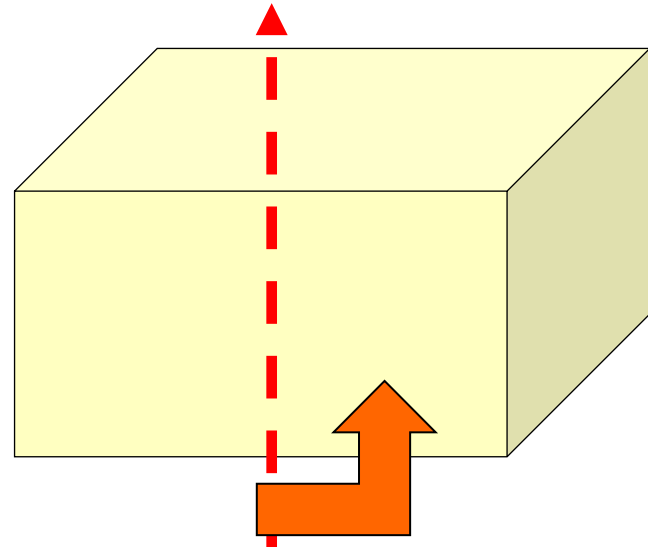
Sentido de Escoamento

- Filtro de Fluxo Descendente
- Filtro de Fluxo Ascendente

Filtração Descendente

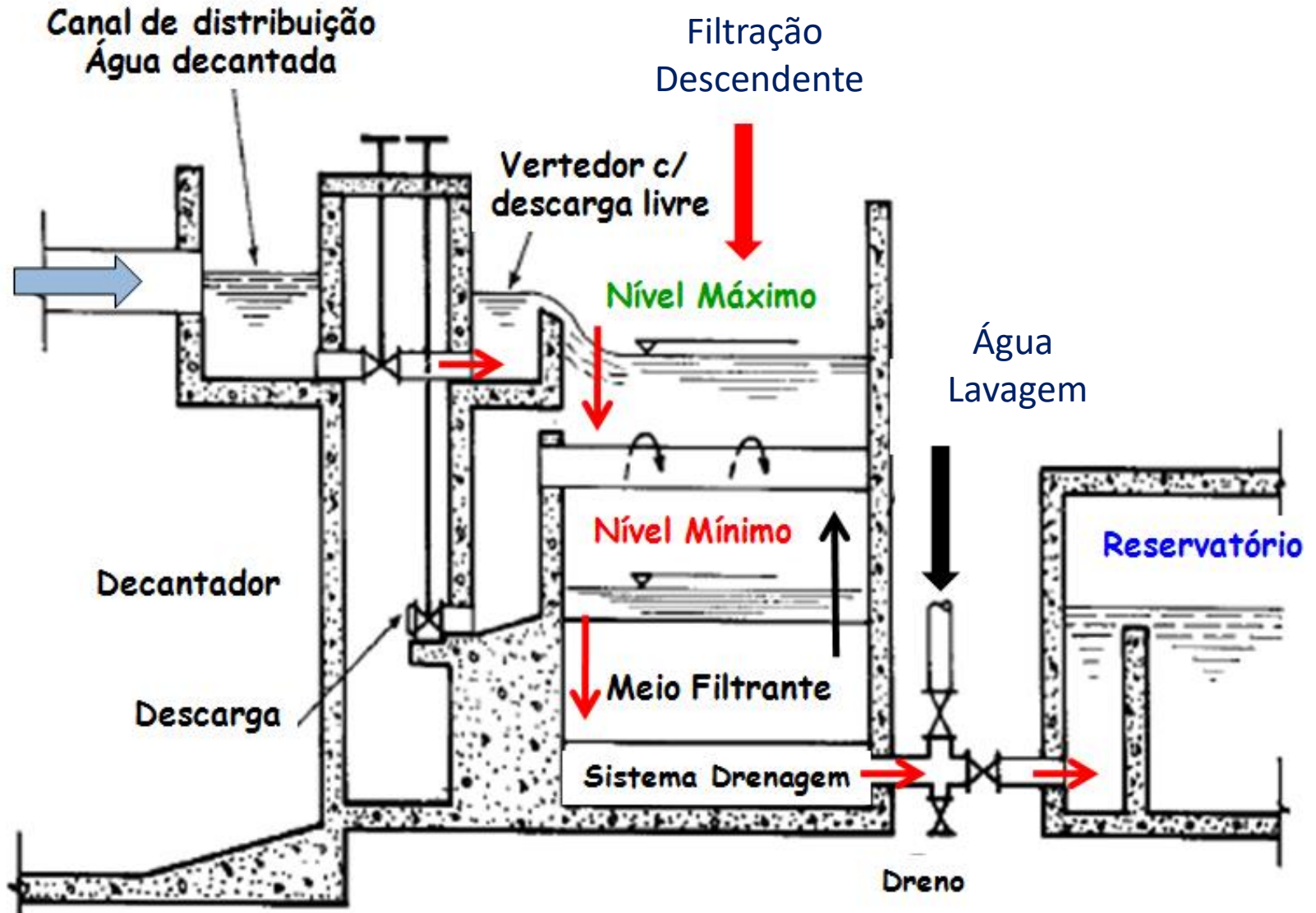


Filtração Ascendente



# Filtração

## Sentido de Escoamento: Filtração Descendente

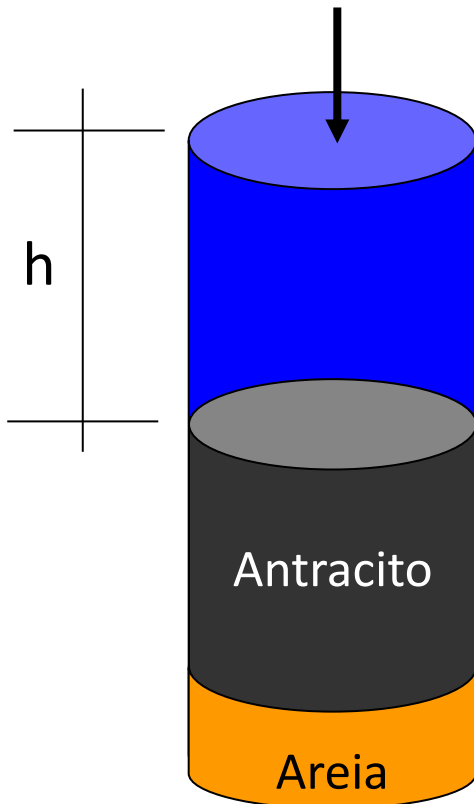


# Filtração

## Controle Hidráulico

Taxa de filtração

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



Taxa ou Velocidade de Filtração

Filtros lentos: 2 a 6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia

Filtros rápidos: 120 a 360 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia

Filtros rápidos de alta taxa: > 450 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia

NBR 12216

Filtros lentos: máxima de 6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> x dia

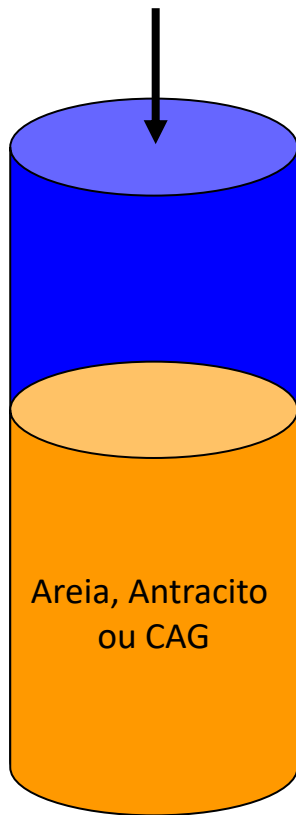
Filtros rápidos:

a) para filtro de camada simples, 180 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia

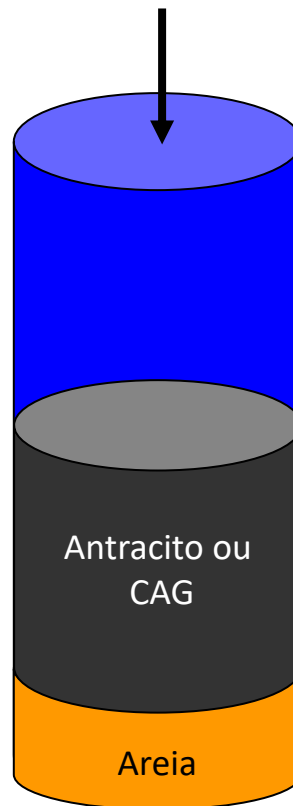
b) para filtro de camada dupla, 360 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia

# CLASSIFICAÇÃO DO PROCESSO DE FILTRAÇÃO

Com relação ao meio filtrante



Camada simples



Dupla camada



Tripla camada

# Filtração

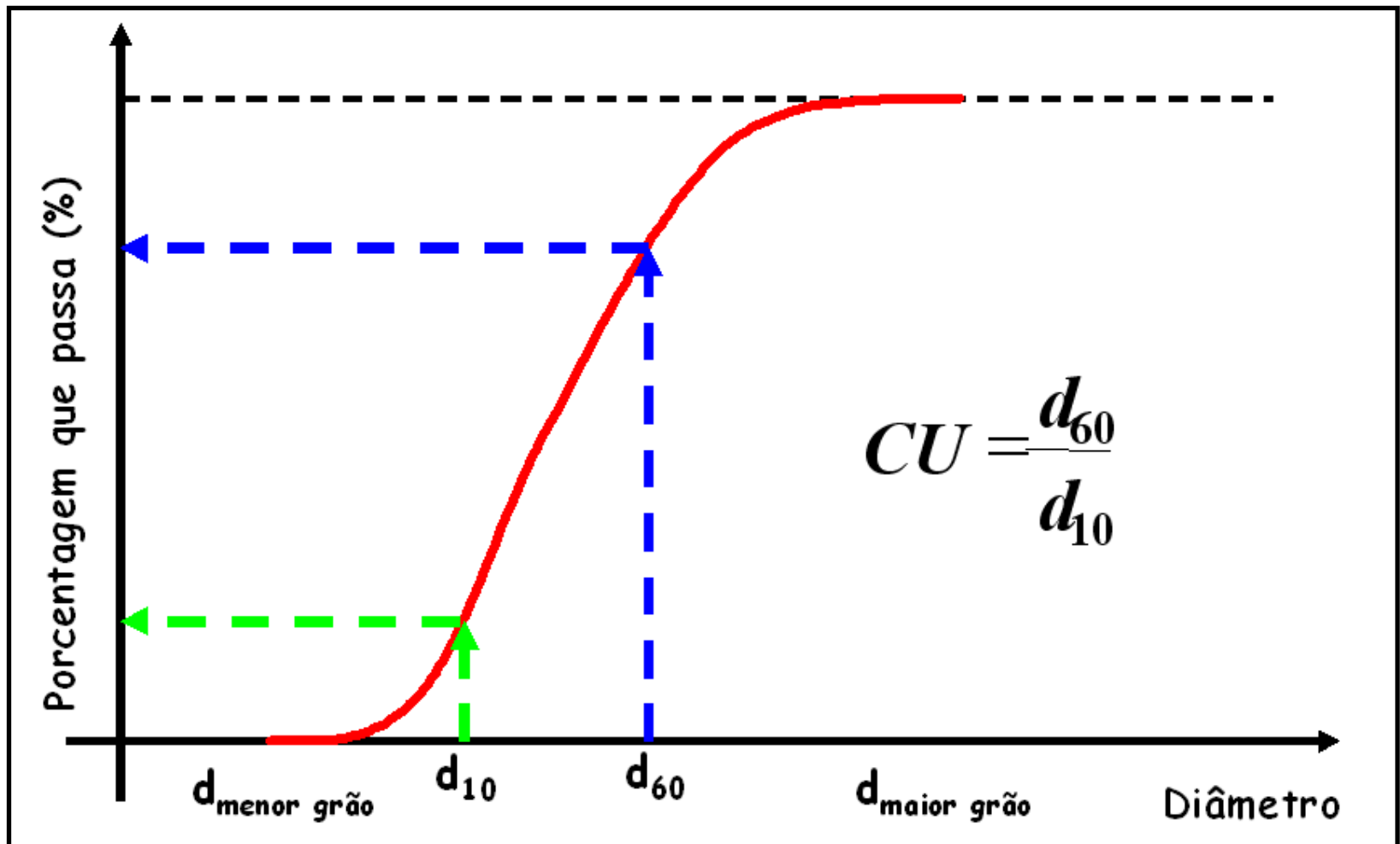
## Material do Leito Filtrante

<b>Parâmetros</b>	<b>Areia</b>	<b>Antracito</b>	<b>CAG</b>
<b>Massa Específica (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>2.650</b>	<b>1.450 - 1.730</b>	<b>1.300 - 1.500</b>
<b>Porosidade</b>	<b>0,42 - 0,47</b>	<b>0,56 - 0,60</b>	<b>0,50</b>
<b>Coef. de Esfericidade</b>	<b>0,70 - 0,80</b>	<b>0,46 - 0,60</b>	<b>0,75</b>

- Coef. de esfericidade é a área superficial de uma esfera perfeita de igual volume da partícula, dividido pela área superficial da partícula
- Porosidade é igual ao volume de vazios do material filtrante dividido pelo volume total do material filtrante

# Filtração

## Material do Leito Filtrante



# Filtração

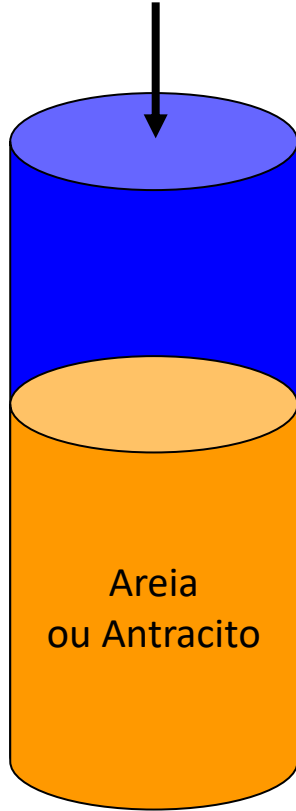
## Material do Leito Filtrante

Meio Filtrante	d 10(mm)	C.U.	Altura (m)
<b>Camada Única</b>			
Areia	0,45 - 0,55	<1,6	0,60 - 0,80
Areia	0,80 - 1,20	<1,5	1,20 - 1,80
Antracito	1,10 - 1,50	<1,5	1,20 - 1,80
<b>Areia - Antracito</b>			
Areia	0,45 - 0,55	<1,6	0,15 - 0,30
Antracito	0,90 - 1,10	<1,8	0,30 - 0,60

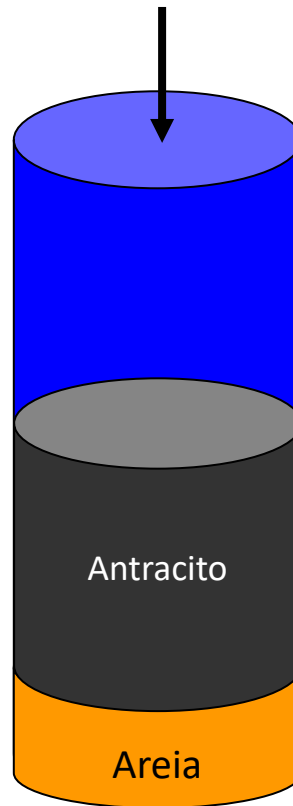
- Tamanho Efetivo ( $d_{10}$ )
- Coeficiente de Uniformidade ( $C.U. = d_{60}/d_{10}$ ) – representa uma média da curva granulométrica do material

# Filtração

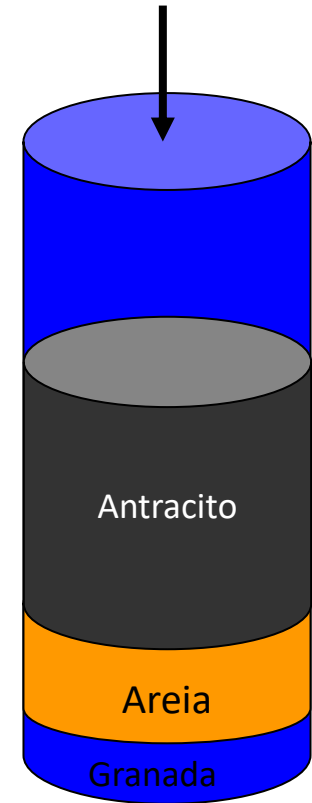
## Disposição do Material no Leito Filtrante



Meio Simples  
Camada Simples



Meio Duplo  
Camada Dupla



Múltiplas Camadas

Meio Simples – 120 a 240 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia

Meio Duplo e Múltiplas Camadas - 240 a 480 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia

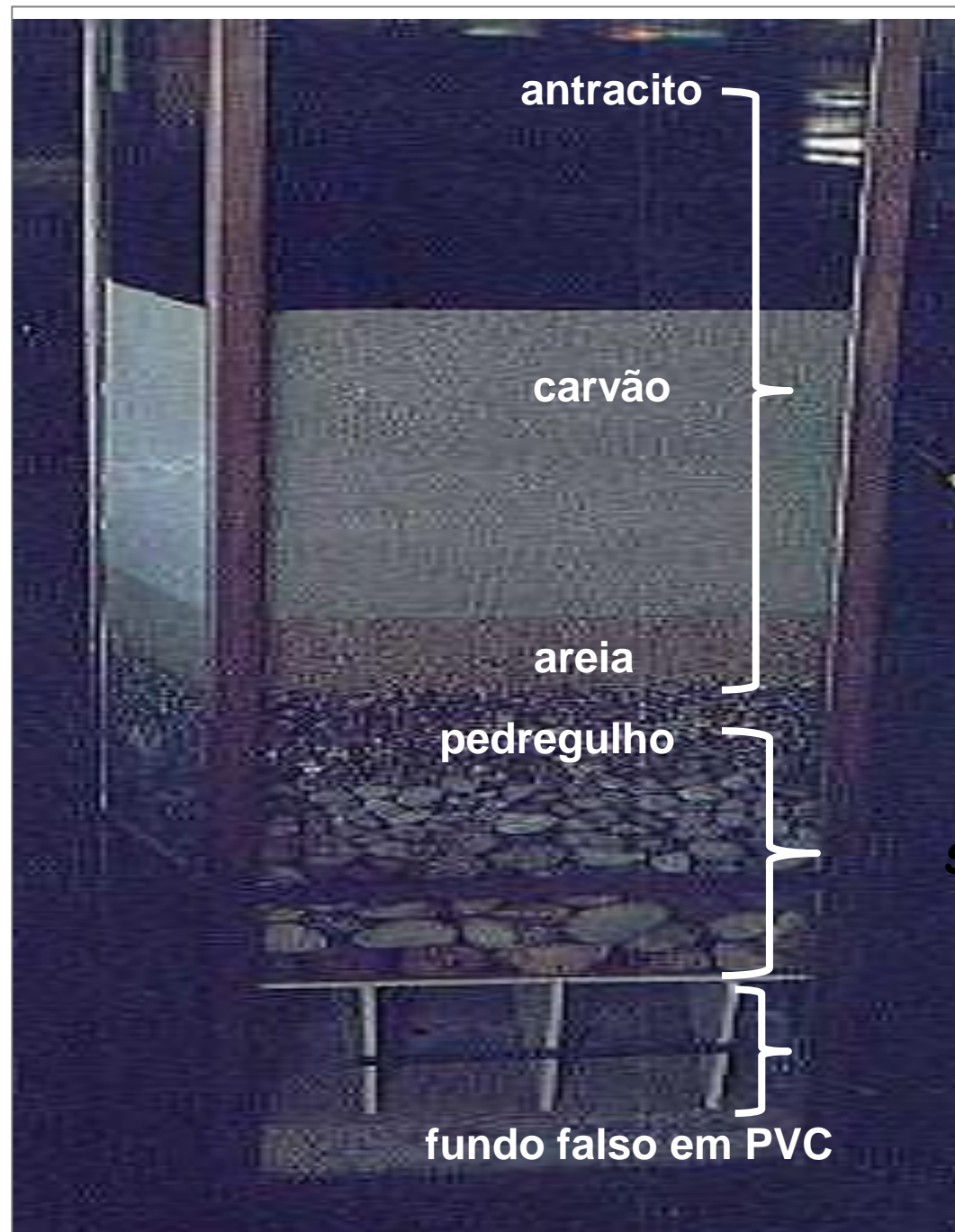
# Filtração

## Sistema de drenagem

- Fundo Leopold



Camada suporte



antracito

carvão

areia

pedregulho

fundo falso em PVC

Leito Suporte

# CAMADA SUPORTE - GRANULOMETRIA E ALTURA

- 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
- 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
- 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
- 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.
- Espessura da camada suporte normalmente varia entre 25 – 50 cm

- **Características da camada suporte do tipo reversa – quando o sistema de lavagem é feito com ar e água**

<b>Camada</b>	<b>Granulometria</b>	<b>Altura</b>
Camada 1	12,7 mm a 19,0 mm	5,0 cm (Topo)
Camada 2	6,4 mm a 12,7 mm	5,0 cm
Camada 3	3,2 mm a 6,4 mm	5,0 cm
Camada 4	1,6 mm a 3,2 mm	5,0 cm
Camada 5	3,2 mm a 6,4 mm	5,0 cm
Camada 6	6,4 mm a 12,7 mm	5,0 cm
Camada 7	12,7 mm a 19,0 mm	5,0 cm (Fundo)
<b>Total</b>		<b>35 cm</b>

# Filtração

## Exemplo – ETA Iguaçu – Curitiba /PR

- Carvão possui altura de 45 cm
- Areia possui altura de 40 cm
- Camada suporte possui altura de 25 cm
- Total de 1,10 metros
- A coluna de água pode chegar a 1,00 m de altura sobre o filtro

# Filtração

## Parâmetros de projeto:

Cálculo aproximado do número de filtros

- Pela fórmula empírica proposta por Kawamura (2000):

$$N_f = 1,2 \times \sqrt{Q}$$

*Sendo:*

$Q$  = vazão em mgd

1 mgd = 3.785 m<sup>3</sup>/d

- **Em função do número dos decantadores, das condições de operação da ETA e da experiência do projetista, definir o número de filtros**

# Filtração

## Parâmetros de projeto:

### NBR 12.216/1992

Filtros lentos: A camada filtrante deve ser constituída de areia, com as seguintes características:

- a) espessura mínima de 0,90 m;
- b) tamanho efetivo de 0,25 a 0,35 mm;
- c) coeficiente de uniformidade menor que 3.

Camada suporte com espessura mínima de 20 cm acima do leito de drenagem

### Filtros rápidos (camada dupla)

#### a) areia:

- espessura mínima da camada = 25 cm
- tamanho efetivo, de 0,40 mm a 0,45 mm
- coeficiente de uniformidade, de 1,4 a 1,6

#### b) antracito:

- espessura mínima da camada, 45 cm
- tamanho efetivo, de 0,8 mm a 1,0 mm
- coeficiente de uniformidade, inferior ou igual a 1,4

## Exemplo de pré-dimensionamento

Dimensione as unidades de filtração rápida do tipo fluxo descendente (áreas, dimensões e taxa de filtração) de uma ETA, sabendo que a vazão de projeto é 500 L/s e que a mesma possui 2 decantadores. Dados: largura decantador = 8m.

Cálculo da área total de filtração

$$TAXA = \frac{Q}{A_{Tf}} \quad A_{tf} = \frac{Q}{TAXA}$$

$$A_{tf} = \frac{0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}}{300 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1}} \cdot \frac{86400 \text{ s}}{1 \text{ d}} = 144 \text{ m}^2$$

Cálculo do número de filtros:

Fórmula empírica proposta por Kawamura

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

N=número de filtros

Q=vazão em mgd (1 mgd = 3.785 m<sup>3</sup>/dia)

$$Q = \frac{0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot 86400\text{s}}{1\text{d}} \cdot \frac{1}{3785} \text{mgd}$$

$$Q = 11,413 \text{ mgd}$$

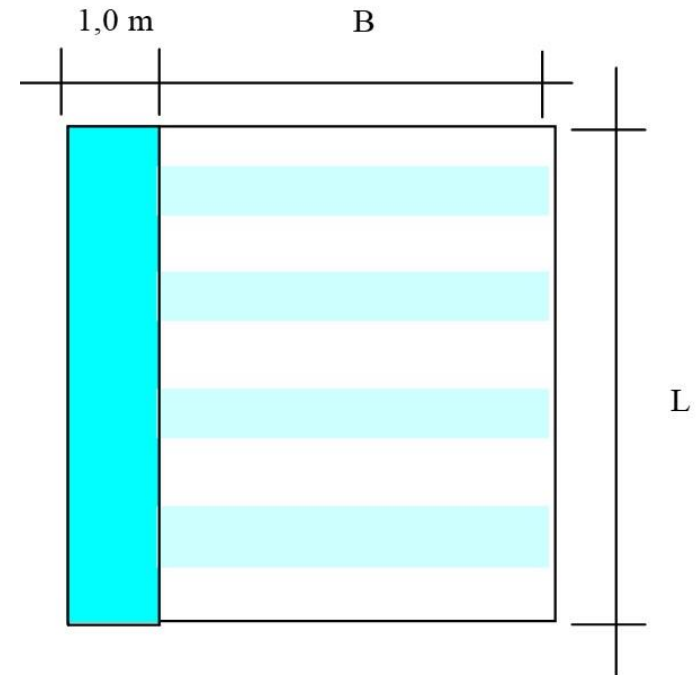
$$n = 1,2 \sqrt{11,413} = 4,05 \text{ filtros} = 4 \text{ filtros (adotado)}$$

Área individual dos filtros:

$$A_i = \frac{144}{4} = 36 \text{ m}^2$$

Dimensões de cada filtro:

- Cada filtro será composto por canal lateral de coleta de água de lavagem, com largura igual a 1,0 m, para permitir a instalação de comporta de saída de água de lavagem.
- Cada decantador apresenta uma largura individual de 8 m e, admitindo-se que a cada um esteja associado 2 filtros, tem-se que:

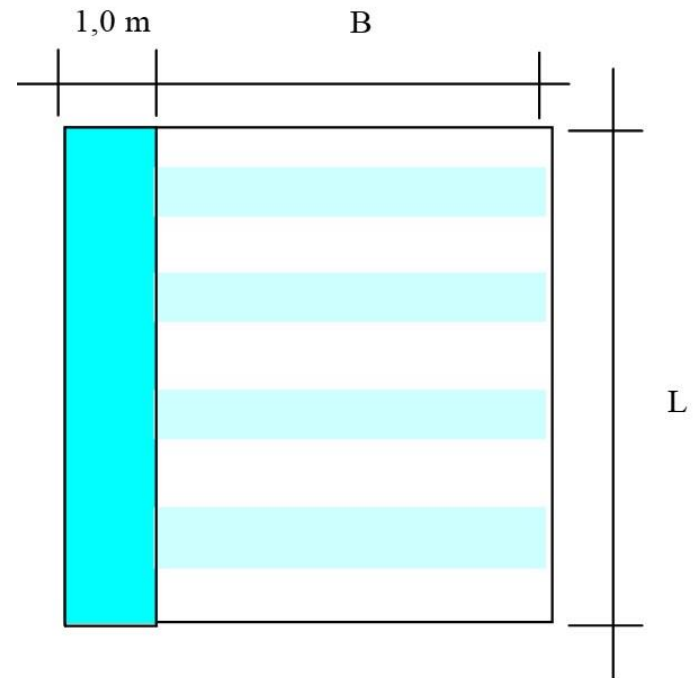


Dimensões de cada filtro:

Como  $Bd = 8 \text{ m}$  e adotando  $b' = 1 \text{ m}$

$$Bi = \frac{Bd}{2} - b' = \frac{8}{2} - 1 = 3 \text{ m}$$

$$Ai = Bi \cdot Li \rightarrow 36 \text{ m}^2 = 3 \text{ m} \cdot Li \rightarrow Li = 12 \text{ m}$$



# Definição das características do leito filtrante

## NBR 12216

5.12.2.2 A camada filtrante dupla deve ser constituída de camadas sobrepostas de areia e antracito, com espessuras e características granulométricas determinadas por ensaios em filtro-piloto; quando os ensaios não são realizados, pode ser utilizada a especificação básica seguinte:

a) areia:

- espessura mínima da camada, 25 cm;
- tamanho efetivo, de 0,40 mm a 0,45 mm;
- coeficiente de uniformidade, de 1,4 a 1,6;

b) antracito:

- espessura mínima da camada, 45 cm;
- tamanho efetivo, de 0,8 mm a 1,0 mm;
- coeficiente de uniformidade, inferior ou igual a 1,4.

- A NBR 12.216/1992 indica que é recomendado a realização de testes em filtro piloto para a determinação da altura das camadas filtrantes.
- Em caso da impossibilidade da realização deste teste é recomendado que, para filtros de camada dupla composto por carvão e areia, a espessura mínima da camada de areia e antracito seja de 25 cm e 45 cm, respectivamente.

# Definição das características do leito filtrante

## NBR 12216

5.12.2.2 A camada filtrante dupla deve ser constituída de camadas sobrepostas de areia e antracito, com espessuras e características granulométricas determinadas por ensaios em filtro-piloto; quando os ensaios não são realizados, pode ser utilizada a especificação básica seguinte:

a) areia:

- espessura mínima da camada, 25 cm;
- tamanho efetivo, de 0,40 mm a 0,45 mm;
- coeficiente de uniformidade, de 1,4 a 1,6;

b) antracito:

- espessura mínima da camada, 45 cm;
- tamanho efetivo, de 0,8 mm a 1,0 mm;
- coeficiente de uniformidade, inferior ou igual a 1,4.

Tabela 1: Característica do material filtrante

Material	Altura (m)	Diâmetro efetivo (mm)	C.Unif	Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	Porosidade	Coef. Esfericidade
Areia	0,3	0,45	1,5	2.750	0,45	0,80
Antracito	0,5	1,0	1,4	1.600	0,55	0,55

# Definição da camada suporte

Dado que a lavagem do material filtrante será efetuado com ar e água:

- Será adotado o bloco Leopold como sistema de drenagem. A camada suporte recomendada é do tipo reversa, com as seguintes características:

Tabela 2. Composição da camada suporte sugerida para o filtro

<b>Camada</b>	<b>Granulometria</b>	<b>Altura</b>
Camada 1	12,7 mm a 19,0 mm	5,0 cm (fundo)
Camada 2	6,4 mm a 12,7 mm	5,0 cm
Camada 3	3,2 mm a 6,4 mm	5,0 cm
Camada 4	1,6 mm a 3,2 mm	5,0 cm
Camada 5	3,2 mm a 6,4 mm	5,0 cm
Camada 6	6,4 mm a 12,7 mm	5,0 cm
Camada 7	12,7 mm a 19,0 mm	5,0 cm (topo)
<b>Total</b>		<b>35 cm</b>

Cálculo da vazão de água de lavagem

NBR = v min = 60 cm/min

Será adotada uma velocidade de ascensão da água de lavagem igual a 1,3 cm/s

$$Q' = v \cdot Ai = 1,3 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 36 \text{ m}^2 = 0,468 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

Reservatório de água de lavagem

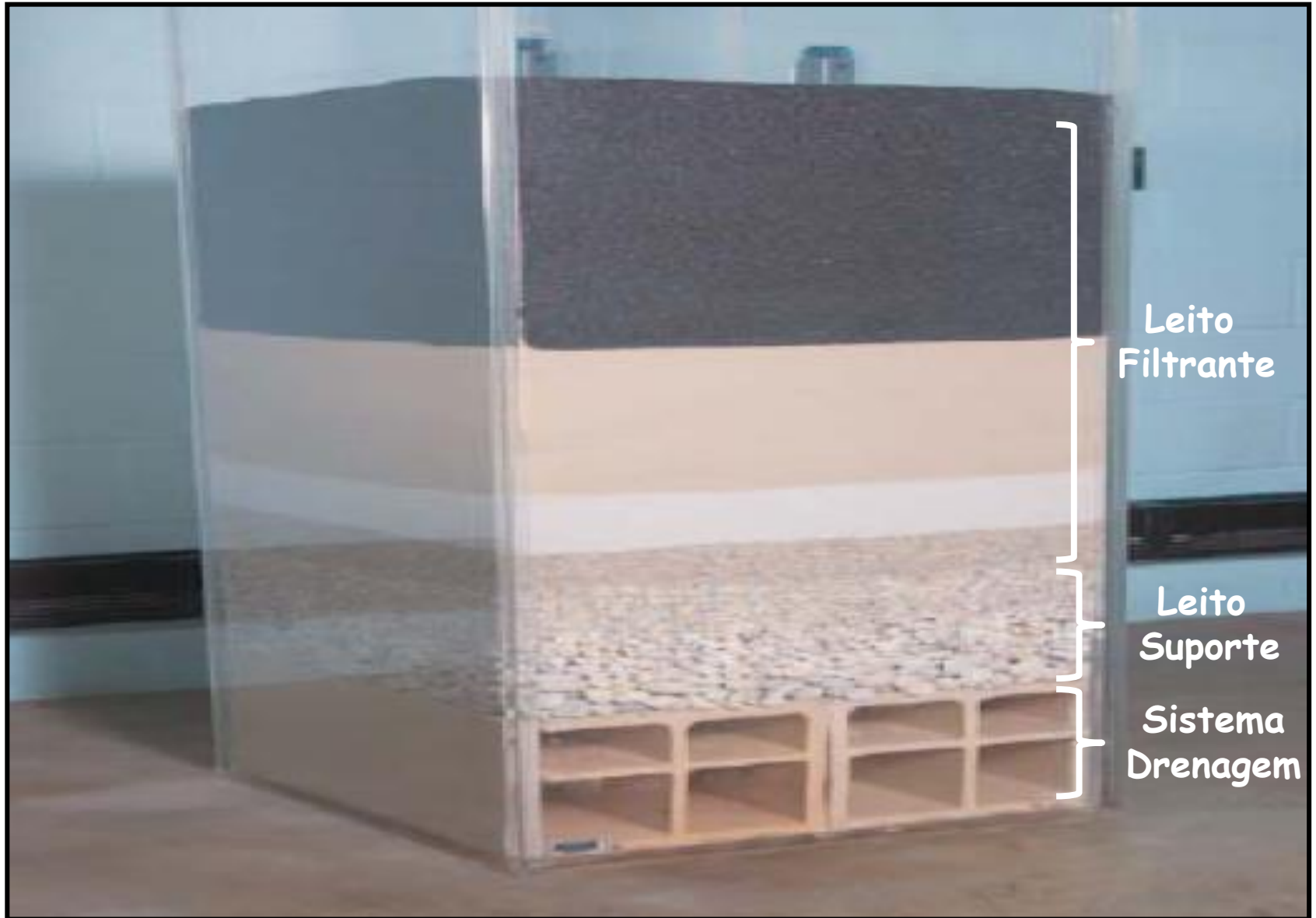
Adotando o tempo de lavagem em contracorrente de 10 min  
(adotar entre 8 e 12 min em sistemas com lavagem com ar)

$$V = Q' \cdot t = Q' \cdot 10 \text{ min} = 0,468 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \cdot 10 \text{ min} = 280,8 \text{ m}^3$$

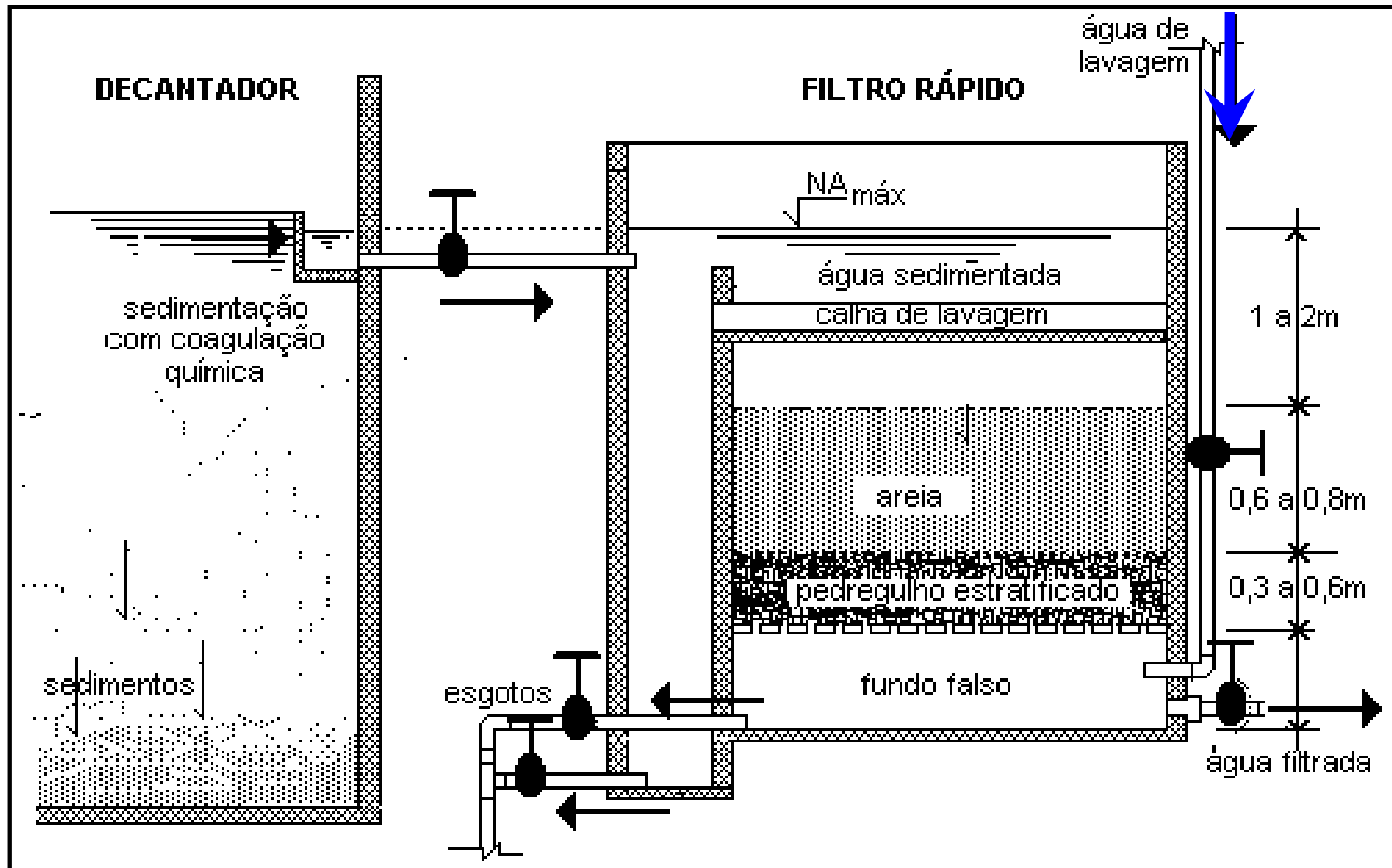
Adotando por segurança:  $V \times 2$

$$V = 562 \text{ m}^3$$

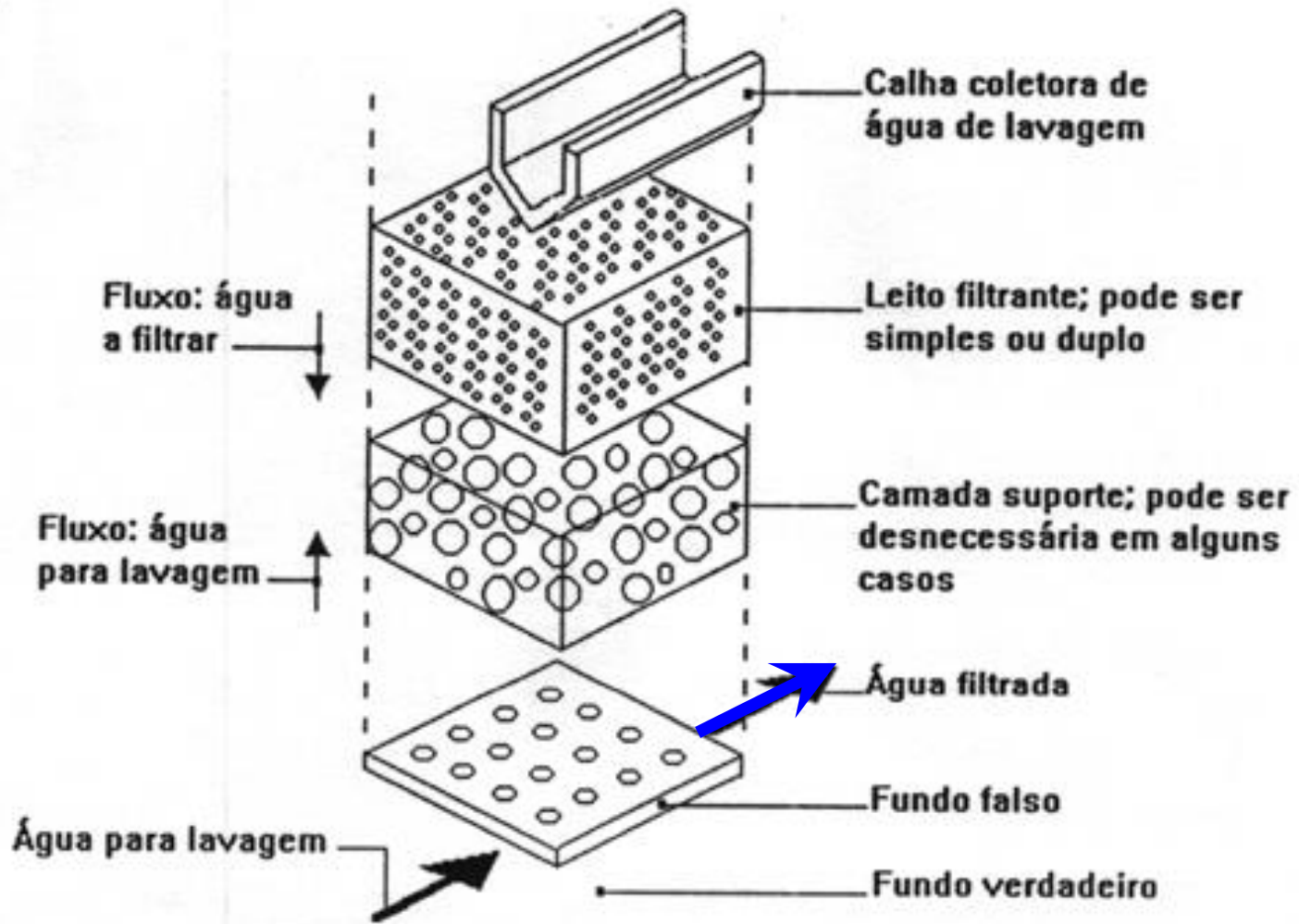
# Filtração

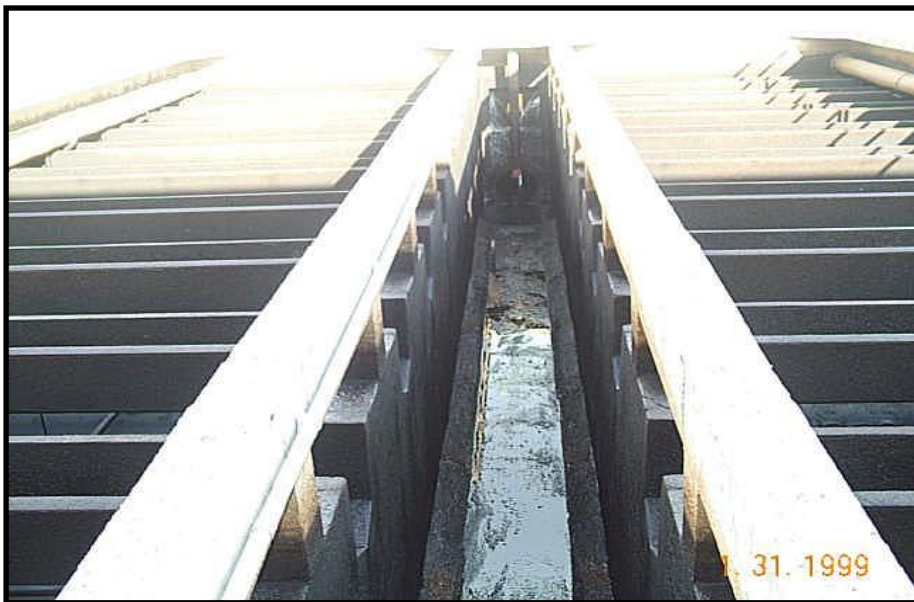


# Filtração Rápida



# Filtração Rápida



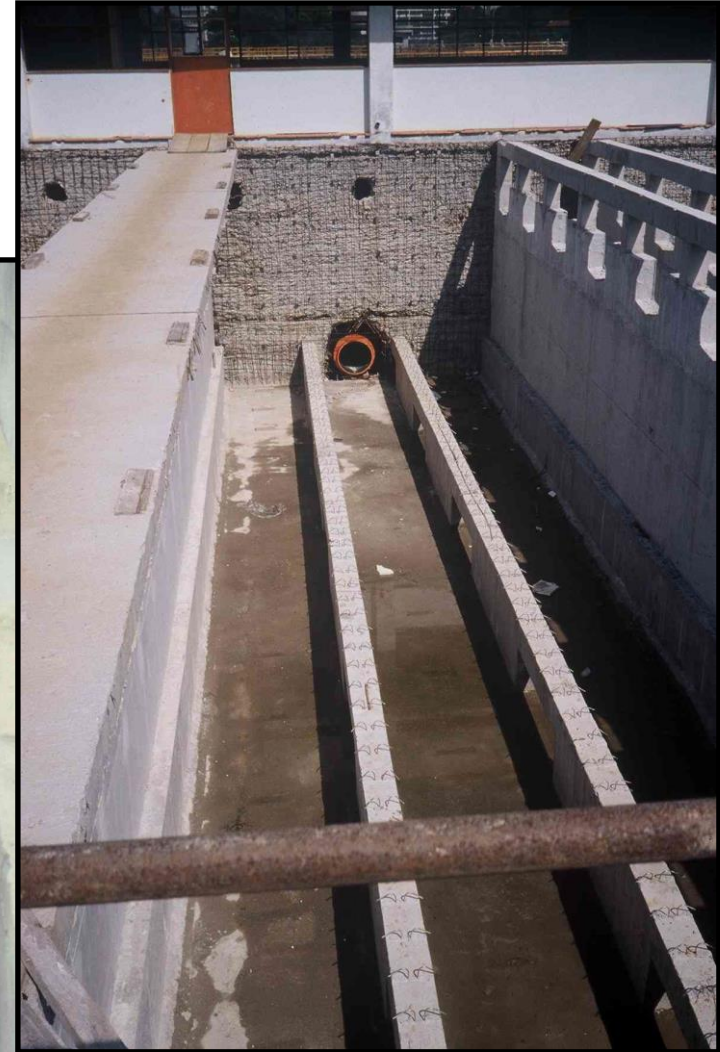


**Sistema de Coleta de Água de Lavagem**

## Sistema de Coleta de Água de Lavagem



# Sistema de Filtração: Tubulações, Válvulas e Comportas



Saída água lavagem

# Filtros Rápidos



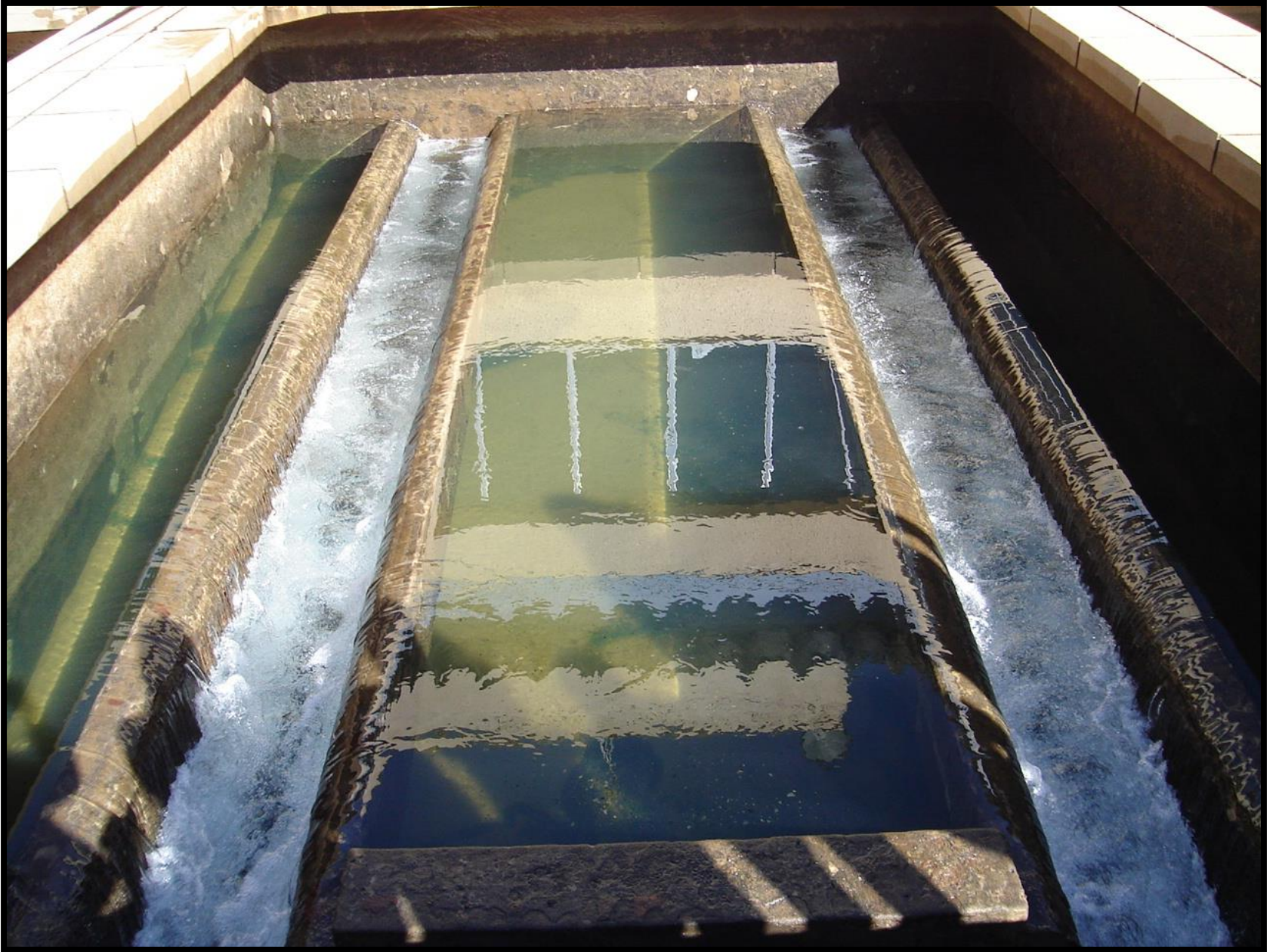
# Filtros Rápidos



Injeção de ar no filtro,  
início lavagem








ETA Santa Maria





The image shows a cross-section of a wastewater treatment tank. At the top, there is a concrete walkway labeled "viga passarela". Below it is a layer of brown sludge. Underneath the sludge is a layer of water labeled "calha". Below the water is a layer of water labeled "água com impurezas". Arrows indicate the flow of water from the bottom layer up through the water layer and into the sludge layer. A label "calha principal" with an arrow points to the left side of the tank.

viga passarela

calha principal

calha

água com impurezas



**Filtro cheio**

**Filtro seco**

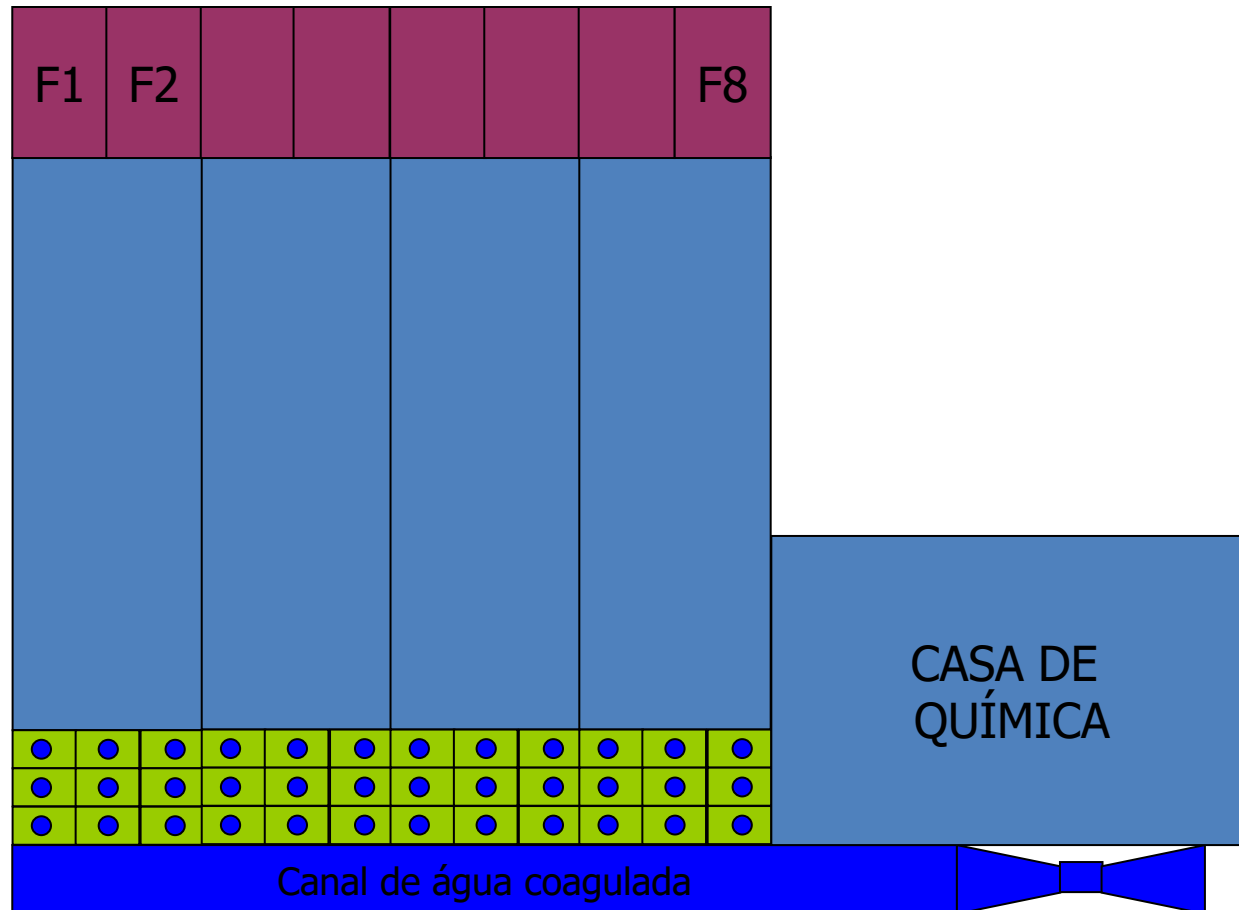
**sistema contra  
corrente**

**areia**

**calha coletora**

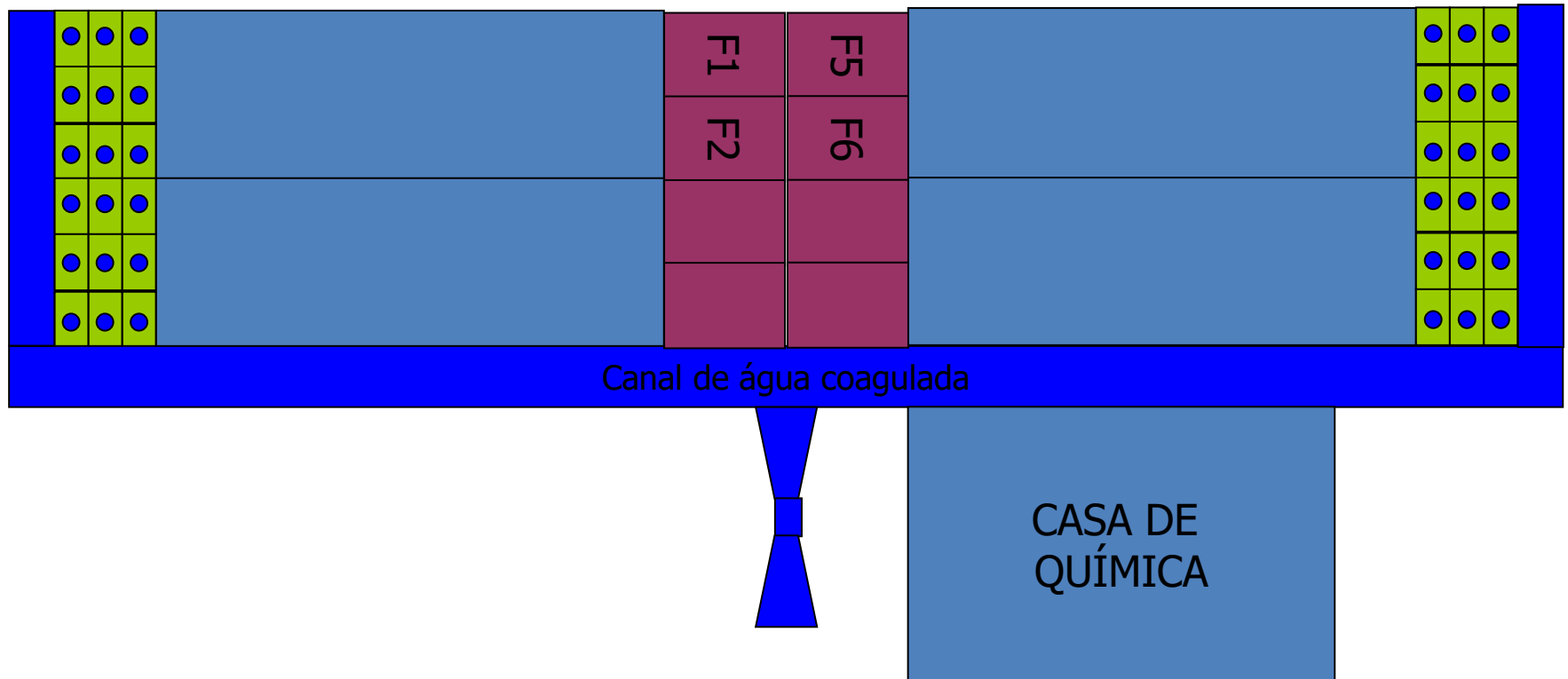
# LAY-OUT DE ETAs

## ASSOCIAÇÃO FLOCULADORES E DECANTADORES



# LAY-OUT DE ETAs

## ASSOCIAÇÃO FLOCULADORES E DECANTADORES



# Referências bibliográficas de apoio

- ABNT, NBR. 12216 – Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.
- HOWE, Kerry J. et al. Princípios do Tratamento de Água. São Paulo: Cengage, 2016. 624 p
- LIBÂNIO, Marcelo. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. Átomo, 2008.
- RICHTER, Carlos A. Água: métodos e tecnologia de tratamento. Edgard Blucher, 2009.
- Piveli, R.P; Ferreira Filho, S.S. Filtração. Escola Politécnica da USP – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária PHD 2411 – Saneamento I
- Ferreira Filho, S. et al. Tratamento de água –concepção, projeto e operação de estações de tratamento. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017
- ABNT, NBR. 12216 – Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.