



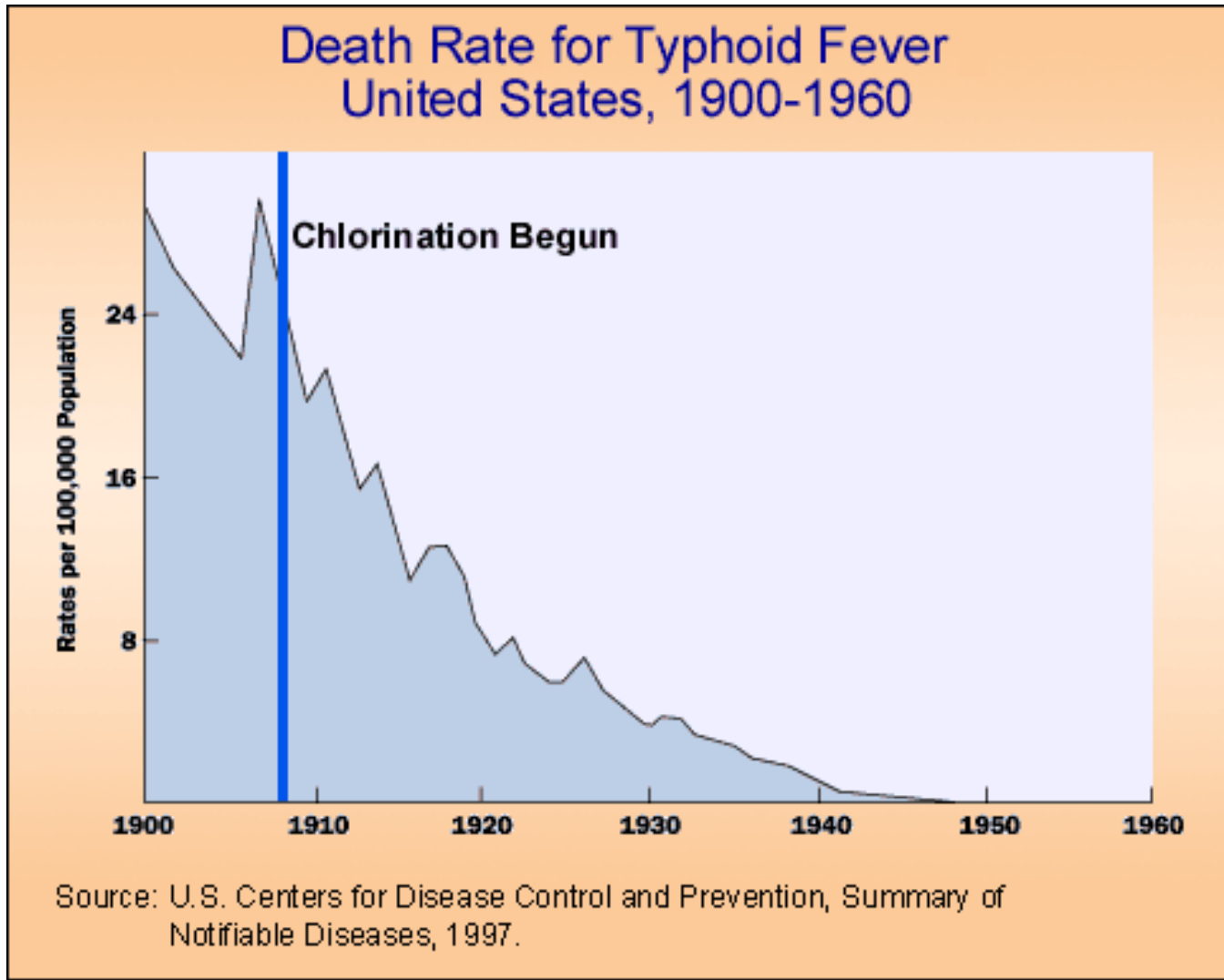
Universidade Federal do Paraná
Setor de Tecnologia
Departamento de Hidráulica e Saneamento



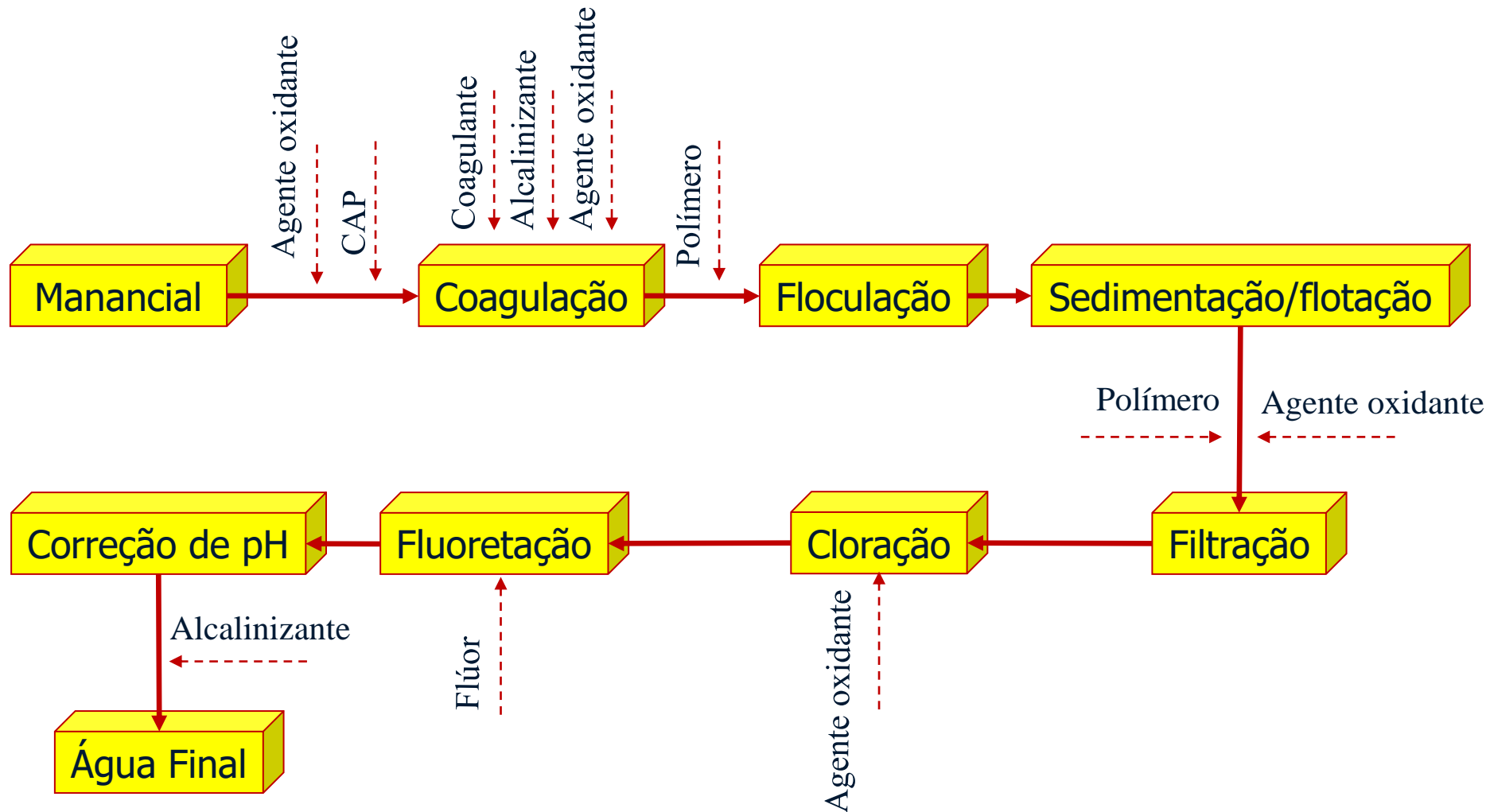
Desinfecção com cloro

Prof. Ramiro Gonçalves Etchepare

Histórico do uso de cloro



TRATAMENTO CONVENCIONAL DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO



Micro-organismos

1) Bactérias: febre tifóide (*Salmonella typhi*), febre paratifóide (*Salmonella paratyphi*), disenteria bacilar (*Shigella*), cólera (*Vibrio cólera*), leptospirose (*Leptospira icterohaemorrhagica*), legionelose (*Legionella*).

Organismos unicelulares
que variam em tamanho de
0,5 a 5 mm.



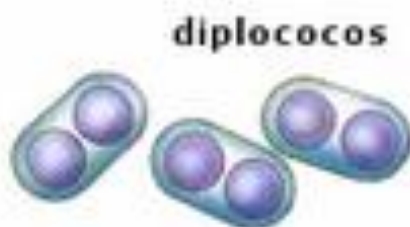
Shigella dysenteriae



cocos



esporos bacterianos



diplococos



bactéria flagelada



estreptococos



estafilococos



vibriões



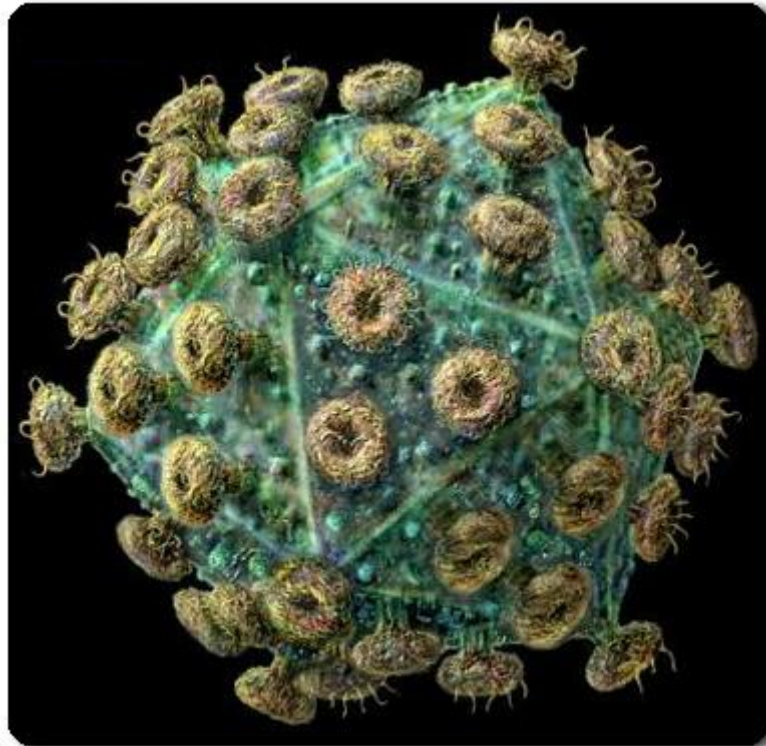
espirilos



bacilos

Micro-organismos

2) Vírus: São menores que as bactérias (inferior a 0,3 mm) e, consistem basicamente em material genético encerrado em proteína.



Vírus da caxumba



Vírus da varíola



Rabdovírus



Vírus da gripe



Vírus do herpes



Vírus do mosaico do tabaco



Vírus do mosaico da alfafa

Bacteriófago



Vírus da batata

Vírus poliédrico dos insetos



Adenovírus



Vírus da poliomielite



Bacteriófago



Micro-organismos

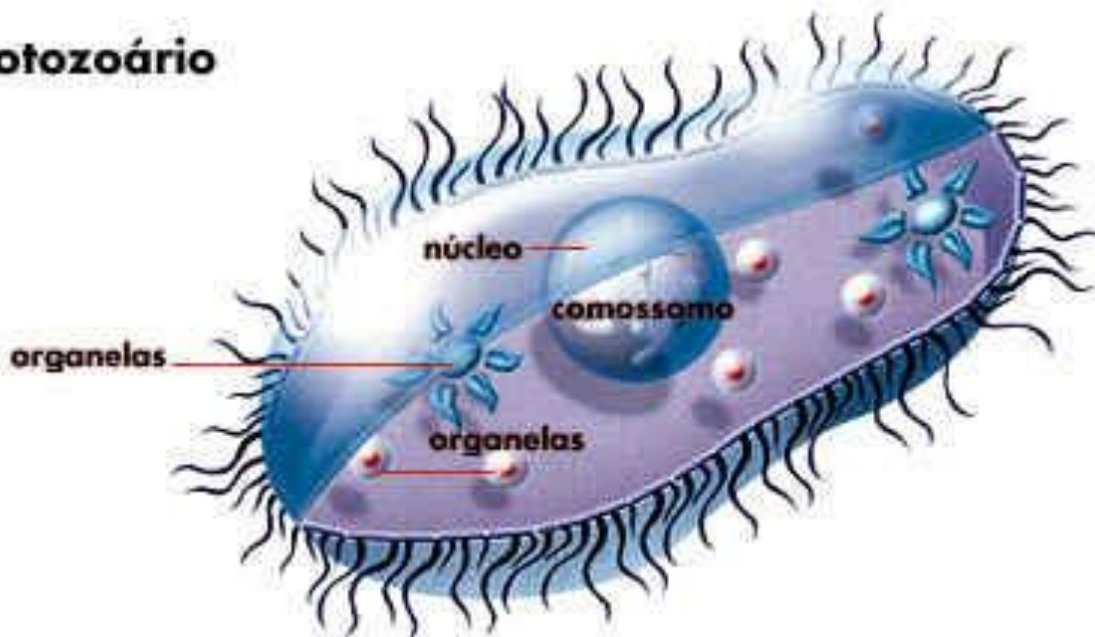
- 3) Algas:** vivem em águas doces e no mar e desempenham um papel importante na eutrofização do manancial. São relacionadas a problemas de cor e odor e encurtam as carreiras de filtração



Micro-organismos

- 4) **Protozoários:** organismos unicelulares e móveis. Alguns são patogênicos – *Entameba histolitica* (amebíase), *Cristoporidium parvum* e *Giardia lamblia* (giardíase).

Protozoário

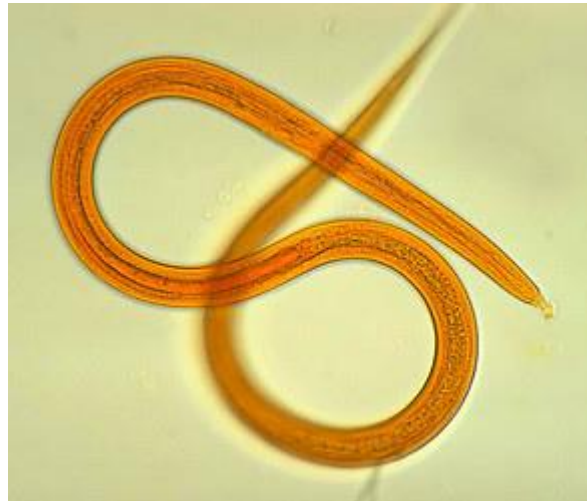


A maioria deles é minúscula, medindo de 0,01 mm a 0,05 mm aproximadamente, sendo que, em algumas exceções, podem medir até 0,5 mm



Micro-organismos

5) Vermes: Podem ser vistos a olho nu (~2,5 mm), e habitam o fundo de rios ou lagos, onde exercem importante papel de purificação. Os vermes cilíndricos (*Nematodas*) são considerados o segundo grupo em número após os insetos. Os problemas freqüentes estão associados ao entupimento de filtros.



Desinfecção

A desinfecção da água para consumo humano tem caráter **corretivo e preventivo**.

- 1) Inativação/destruição de organismos patogênicos presentes na água.
- 2) Manutenção de um residual do desinfetante na água, para atuar preventivamente.

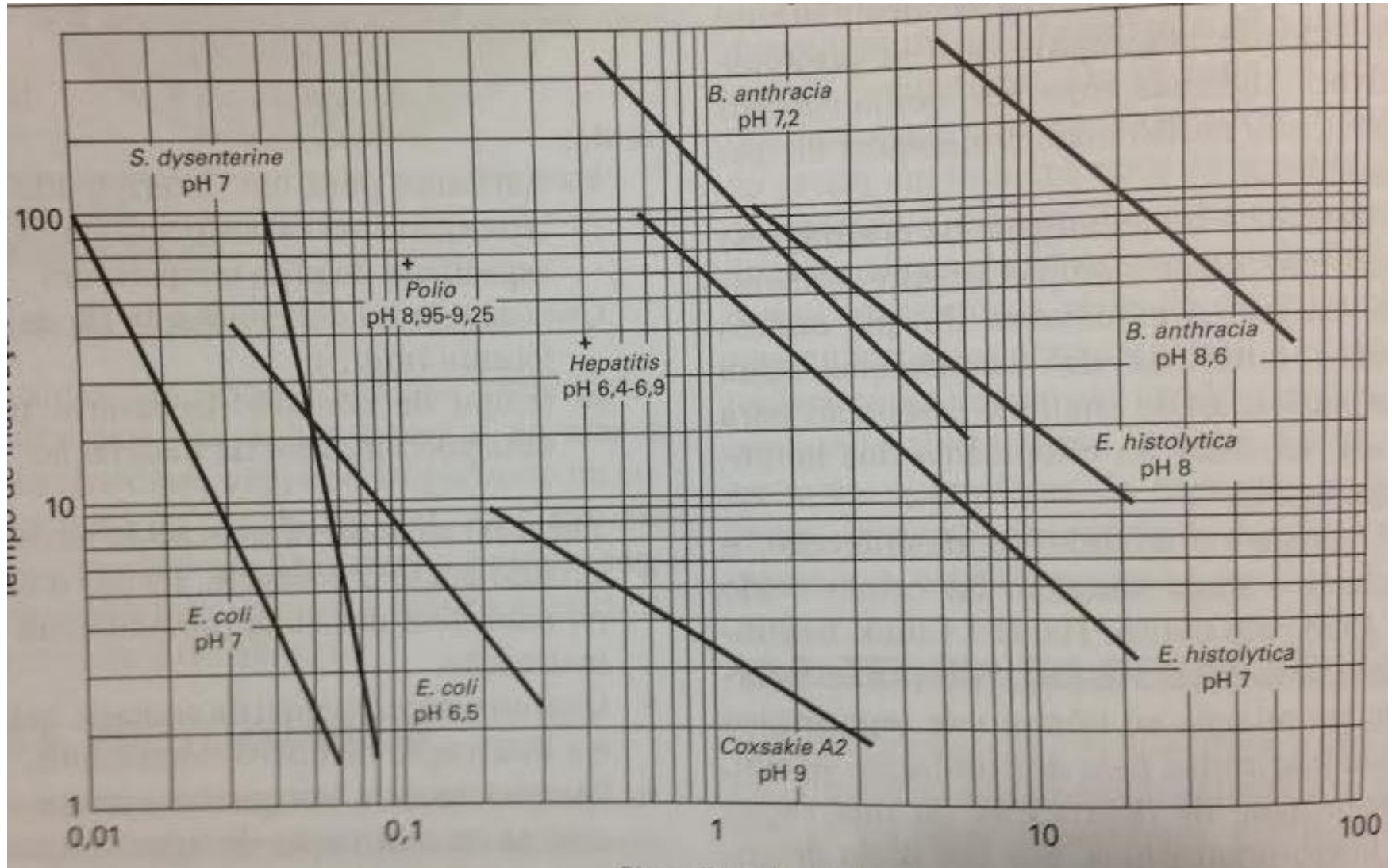
Desinfecção

Portaria de Consolidação 5-2017

- Mínimo 0,2 mg/L de cloro livre na rede de distribuição.
- Máximo de 2,0 mg/L de cloro na rede de distribuição.

Curvas CxT

Tempo de Inativação (min)



Cloro Livre (mg/L)

1 log = 90%; 2 log = 99%;
3 log = 99,9%; 6 log = 99,9999%

Destruição de 99 % de diferentes M.O.
Temperatura = 20 - 29°C

Esterilização

Definição: Processo de destruição de todas as formas de vida microscópica

Desinfecção: destruição de parte ou todo um grupo de organismos patogênicos

CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DE UM AGENTE DESINFETANTE

- Atividade antimicrobiana
- Solubilidade
- Estabilidade
- Inocuidade para o homem e os animais
- Ausência de combinação com material orgânico estranho

CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DE UM AGENTE DESINFETANTE

- Apresentar toxicidade para os micro-organismos em temperatura ambiente
- Ausência de efeitos corrosivos e tintoriais
- Disponibilidade

PRINCIPAIS AGENTES DESINFETANTES UTILIZADOS NO TRATAMENTO DE ÁGUA

- Cloro (Cloro líquido/gasoso, Hipoclorito de Sódio e Hipoclorito de cálcio)
- Cloraminas
- Dióxido de cloro
- Ozônio
- Radiação Ultravioleta

Cloração

Vantagens:

- Capacidade de inativação da maioria dos microrganismos patogênicos
- Disponibilidade (gás, líquido ou sólido)
- Baixo custo do produto comercial
- Alta solubilidade (7g/L, aproximadamente, 20°C)
- Manutenção de concentração residual em solução, facilmente determinável

Cloração

Desvantagens:

- Gás tóxico e corrosivo
- Requer cuidado no manejo
- Pode causar gosto e odor (especialmente na presença de fenóis)



DESINFECÇÃO COM CLORO

Outras finalidades da cloração:

O cloro tem um forte poder oxidante, podendo ser usado:

- Controle de sabor e odor;
- Remoção de sulfeto de hidrogênio;
- Remoção de ferro e manganês.



Principais tipos de Cloração

- Cloração simples (águas não muito poluídas)
- Cloração ao Break-Point (águas poluídas)

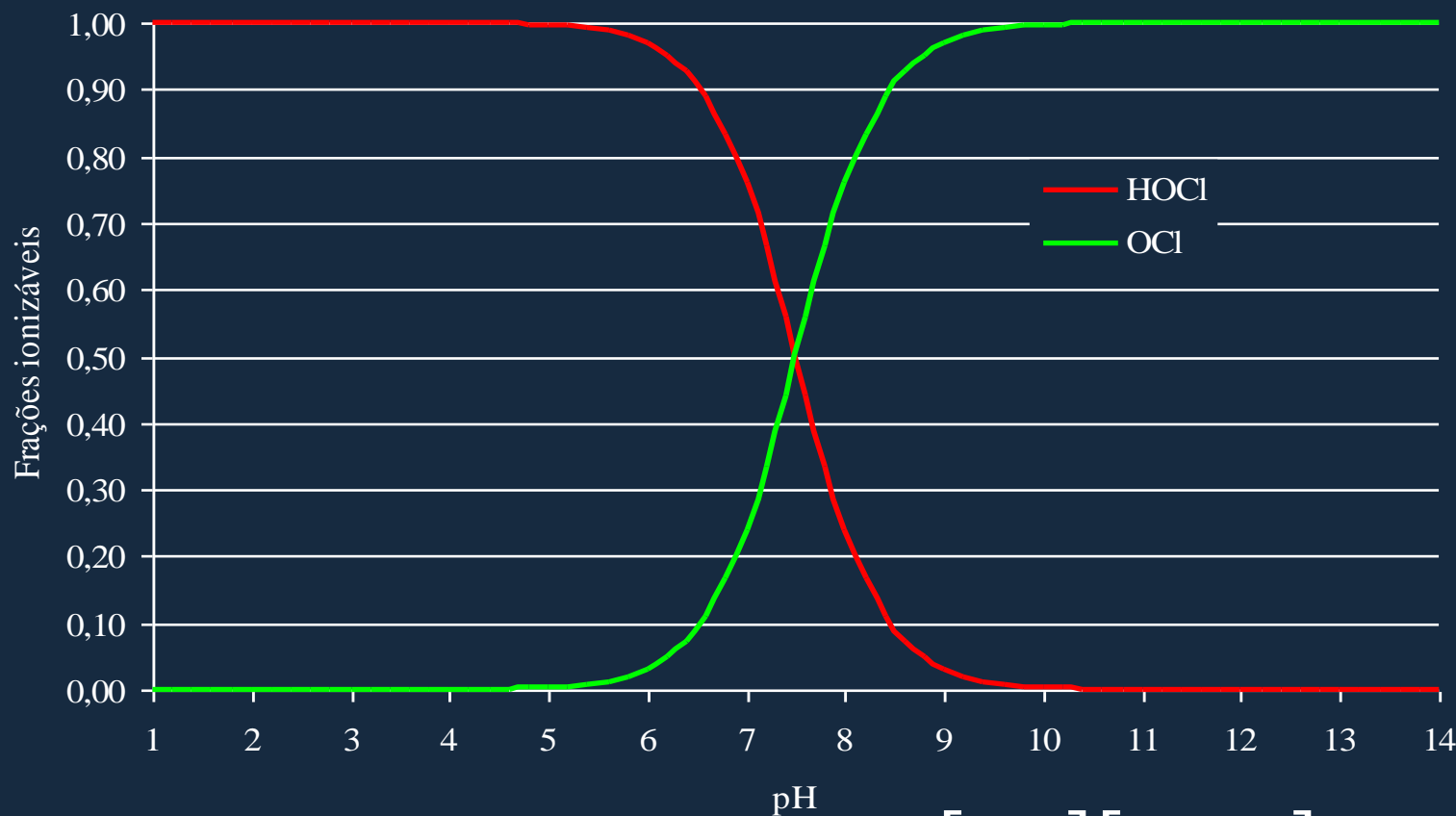
Cloração Simples

- aplicação de uma dosagem tal que, ao fim de um determinado tempo de contato, 20 minutos por exemplo, o cloro residual livre se mantenha entre 0,2 e 2 mg/L.



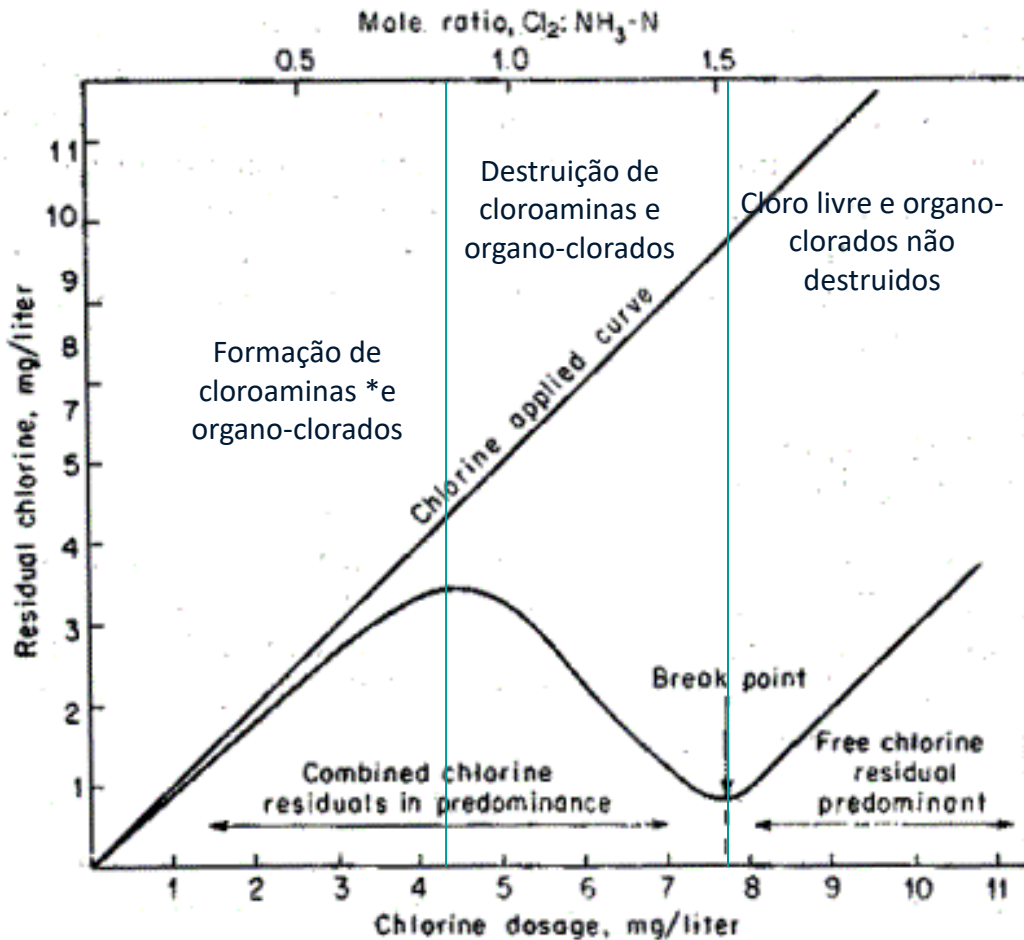
ASPECTOS QUÍMICOS DO CLORO EM MEIO AQUOSO

Cloro livre

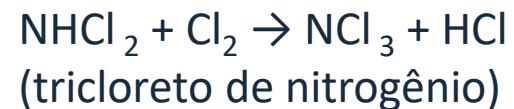
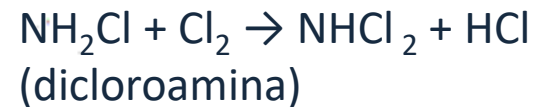
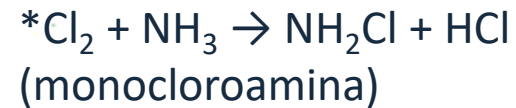


$$K_1 = \frac{[H^+][OCl^-]}{[HOCl]} = 10^{-7,5}$$

Cloração ao breakpoint



Cloro combinado



Demanda de cloro (DC):

$$DC(t) = \text{Dosagem de cloro} - \text{Cloro livre (t)}$$

ARMAZENAMENTO E UTILIZAÇÃO

Cilindros

Sob condições normais de operação:

- Os cilindros pequenos (68 - 90 kg) são armazenados e utilizados em posição vertical (de pé): fluxo de gás é limitado a um máximo de 18 kg/dia,
- Os cilindros de 900 kg são utilizados na posição horizontal (deitados), com as válvulas de saída num plano vertical a um máximo de 180 kg/dia



ARMAZENAMENTO E UTILIZAÇÃO

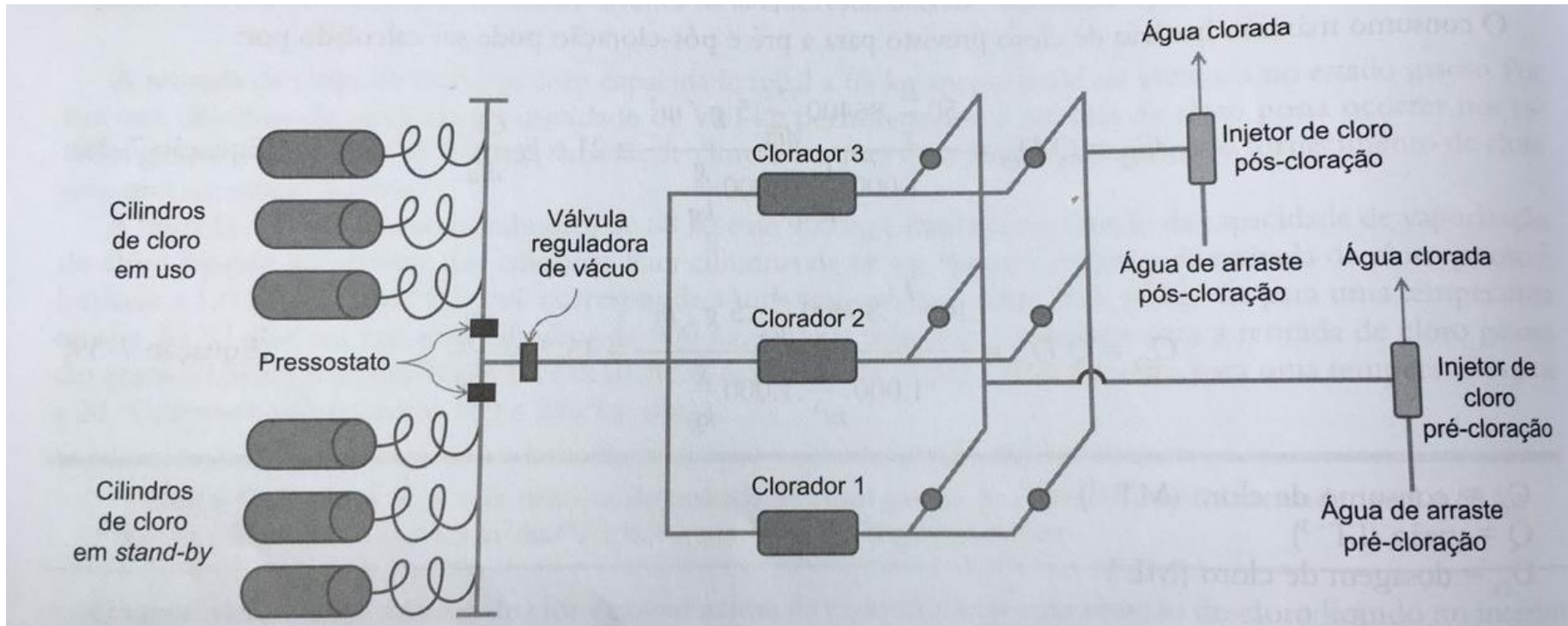
Aspectos físicos da retirada de cloro dos cilindros

- Vazão Q_c depende da Pressão interna (P_i);
- P_i depende da Temperatura (T);
- A T cai quando o líquido evapora (causando uma queda de P_i e, conseqüentemente, de Q_c);
- Quando a retirada de cloro é acima da sua capacidade de vaporização, pode ocorrer o congelamento da umidade externa aos cilindros, reduzindo ainda mais a Q_c .





Esquema típico da retirada de cloro na forma de gás



Fonte: Ferreira Filho et al (2017)



Injetor de cloro

Exemplo de dimensionamento de um sistema de desinfecção com cloro (cloração final simples) para uma Estação de Tratamento de Água (cloro gasoso e cloro líquido).

Dados a serem adotados:

- Vazão: 1200 L/s
- Dosagem mínima de cloro = 1,0 mgCl₂/L
- Dosagem média de cloro = 1,6 mgCl₂/L
- Dosagem máxima de cloro = 2,5 mg/Cl₂/L
- Tempo de contato = 30 min
- Profundidade lâmina d'água = 3,6 m
- Relação L/B da câmara de cloração = 3,0
- Cilindros de cloro gasoso de 900 kg
- Massa específica de hipoclorito de sódio = 1220 kg/m³ (10 % em peso como Cl₂)

Dimensões da câmara de cloração

Cálculo do volume

$$t_c = \frac{V}{Q}$$

$$V = Q \cdot t_c = 1,2 \text{ m}^3 \cdot s \cdot \frac{60s}{\text{min}} \cdot 30 \text{ min} = 2160 \text{ m}^3$$

$$V = A \cdot h = A \times 3,6 \text{ m} = 2160 \text{ m}^3$$

$$A = 600 \text{ m}^2$$

$$A = L \cdot B \quad \frac{L}{B} = 3$$

$$A = 3B \cdot B = 3B^2 = 600 \text{ m}^2$$

$$B = 14,14 \text{ m}$$

$$L = 42,42 \text{ m}$$

A) Cloro gasoso

Estimativa da massa diária requerida

$$m = Q \cdot C_{\text{mín}}$$

$$= 1,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot 1\text{g m}^{-3}$$

$$= 1,2 \cdot \text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \frac{86400 \text{ s}}{1\text{d}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000\text{g}}$$

$$m_{\text{min}} = 103,68 \text{ kg d}^{-1}$$

$$m_{\text{med}} = 1,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot 1,6\text{g m}^{-3} \cdot \frac{86400 \text{ s}}{1\text{d}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000\text{g}} = 165,89 \text{ kg d}^{-1}$$

$$m_{\text{max}} = 1,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot 2,5\text{g m}^{-3} \cdot \frac{86400 \text{ s}}{1\text{d}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000\text{g}} = 259,2 \text{ kg d}^{-1}$$

$$\text{Capacidade} = m_{\text{max}} \cdot 20 \text{ dias} = 5184 \text{ kg (autonomia)}$$

A) Cloro gasoso

Cilindros de 900 kg

Retirada máxima: 180 kg /dia / cilindro

$$\text{Cilindros em paralelo} = \frac{m_{max}}{180 \text{ kg/d}} = \frac{259,2 \text{ kg/d}}{180 \text{ kg/d}} = 1,44 = 2 \text{ cilindros}$$

Para fim de plano, pode-se prever 2 cilindros em operação dispostos em paralelo, 2 cilindros em stand-by e 2 cilindros reservas, totalizando **6 cilindros**

Verificação: $900 \times 6 = 5400 \text{ kg} > 5184 \text{ kg}$

B) Hipoclorito de sódio: 10% Cl₂

$$\text{Massa necessária: } 0,1 = \frac{\text{massa de Cl}}{\text{Massa total}}$$

$$Mt = \frac{5184 \text{ kg}}{0,1} = 51840 \text{ kg (solução)}$$

$$\text{Volume de solução} = \frac{\text{massa}}{\text{densidade}}$$

$$= \frac{51840 \text{ kg}}{1220 \text{ kg/m}^3} = 42,5 \text{ m}^3$$

$$\text{Fator de segurança} = 10\%$$

$$Vs = 42,5 \times 1,1 = 46,75 \text{ m}^3$$

Aplicação de cloro em ETAs com hipoclorito de sódio



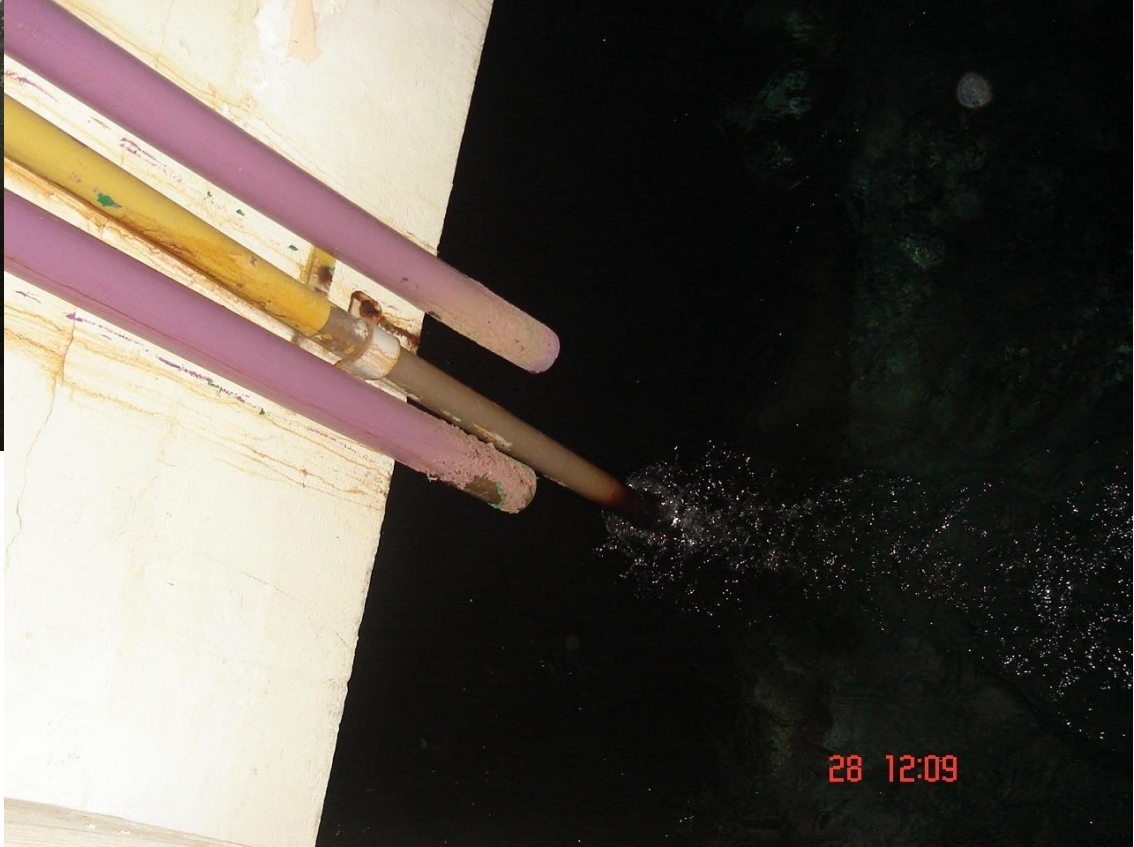
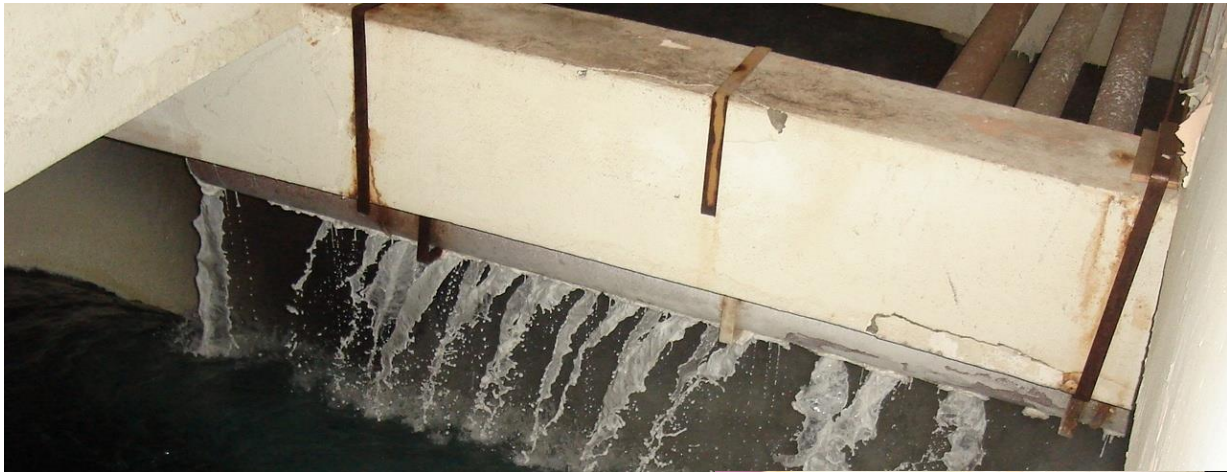
Aplicação de cloro em ETAs com cloro gasoso





Aplicação de cloro em ETAs







Referencias bibliográficas

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