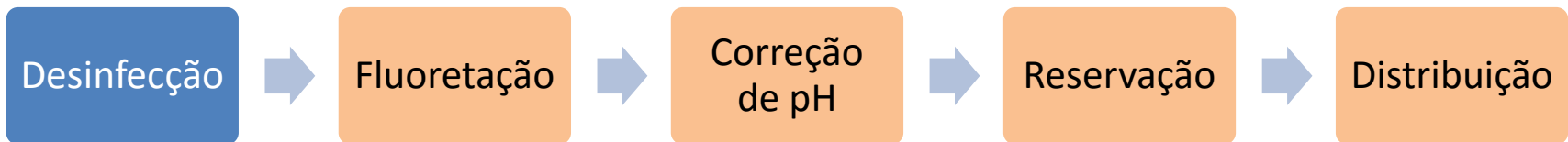


# 10.10 – Desinfecção

---

- Caráter corretivo e preventivo
- Mecanismos de inativação de patógenos
  - Destruição ou danificação estrutural da organização celular
  - Interferência com o balanço energético do metabolismo
  - Interferência com a biossíntese e crescimento



# Desinfetante ideal

---

Características	Propriedades
Toxicidade a microrganismos	Deve ser altamente tóxico em altas diluições
Não tóxico para homens e animais	Não deve ser tóxico para homens e animais
Solubilidade	Deve ser solúvel na água
Estabilidade	Perda da ação germicida deve ser baixa
Homogeneidade	Composição da solução deve ser uniforme
Toxicidade em temperaturas ambiente	Deve ser efetivo na faixa de temperaturas ambiente
Penetração	Deve ter capacidade de penetrar através de superfícies
Não corrosivo e não manchar	Não ser corrosivo e não manchar roupas
Disponibilidade	Deve ser disponível em grande quantidade e razoável preço

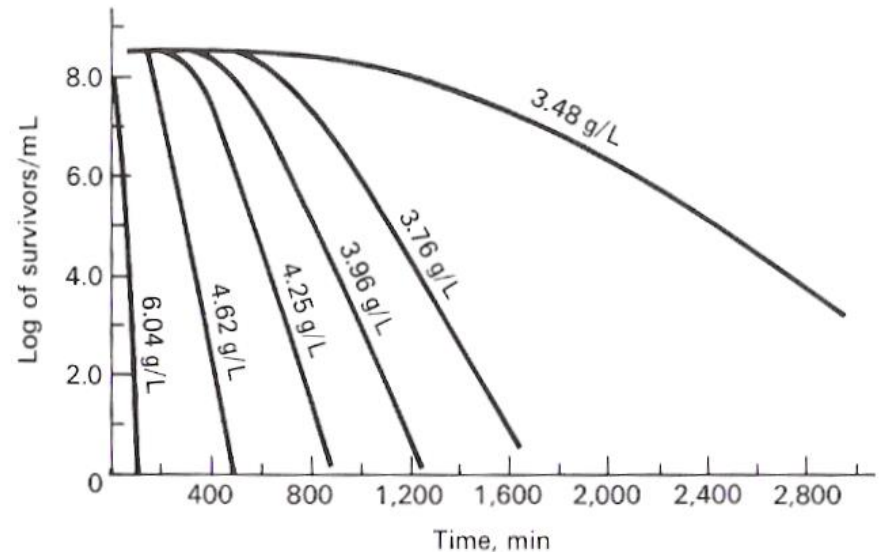
---

- 
- Tipos mais usados
    - Cloração
    - Ozonização
    - Ultra-violeta
    - Esterilização por íons de Prata
    - Filtração
-

# Fatores influenciando a ação de desinfetantes

---

- Tempo de contato
- Concentração e tipo do agente químico
- Intensidade e natureza do agente físico (luz e calor)
- Temperatura
- Número de organismos
- Tipo de organismos



Efeito do tempo e concentração na sobrevivência da *E.coli* usando fenol como desinfetante a 35°C

---

# Fator CT

---

Produto da **C**oncentração residual do desinfetante (mg/L) pelo **T**empo de contato (min) desse produto com a água.

Para conhecer eficiência germicida de um desinfetante.

Valores de CT para inativação de vírus:

Desinfetante	Unidade	Percentagens de inativação		
		99,0%	99,9%	99,99%
Cloro	mg.min/L	3	4	6
Cloramina	mg.min/L	643	1067	1491
Dióxido de cloro	mg.min/L	4,2	12,8	25,1
Ozônio	mg.min/L	0,5	0,8	1,0
UV	mW.min/L	21	36	

---

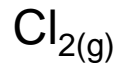
# A - Cloração

---

Usado na desinfecção em 3 formas:

## Cloro gasoso

Gás



## Hipoclorito de Sódio

Solução aquosa

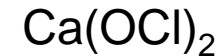


Gás cloro dissolvido em solução de hidróxido de sódio.

12,5% de cloro disponível.

## Hipoclorito de Cálcio

Sólido anidro

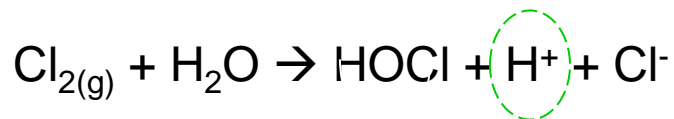


Precipitado resultante da dissolução de gás cloro em solução de óxido de cálcio e hidróxido de sódio.

65% de cloro disponível.

## Cloro gasoso

Hidroliza rapidamente:



Ácido hipocloroso

Ácido fraco - dissocia rapidamente:



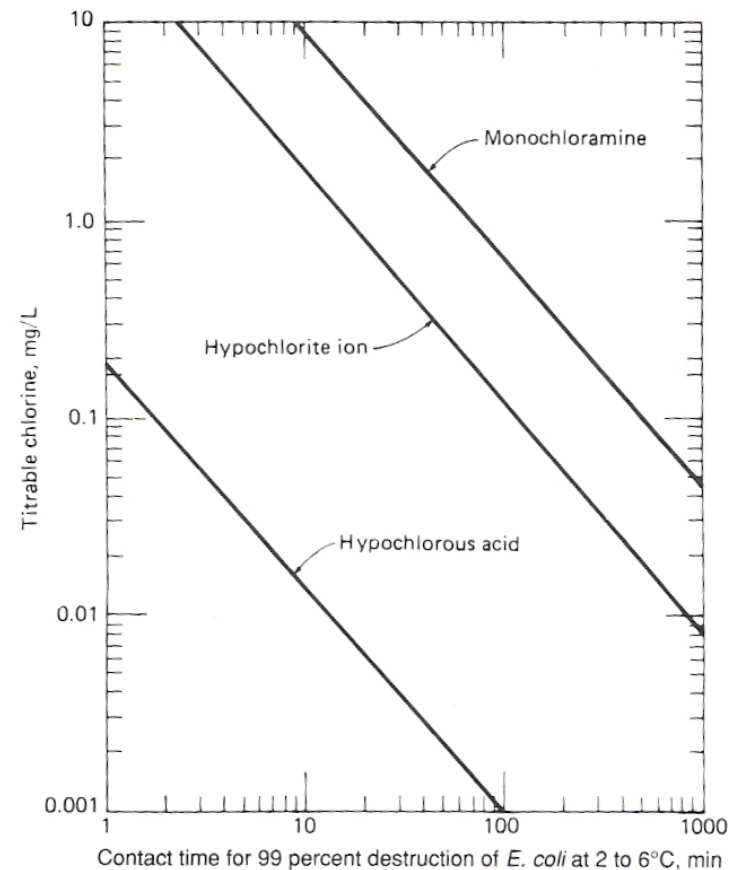
Ion hipoclorito

pH entre 6,5 e 8,5: dissociação incompleta

pH < 6,5: não ocorre dissociação

pH > 8,5: dissociação completa

Fonte: Metcalf&Eddy, 1991



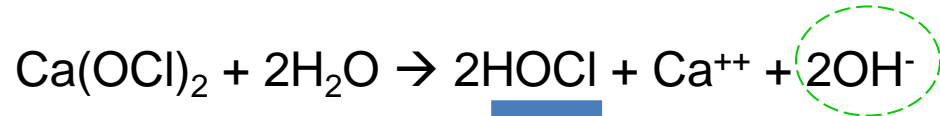
Poder germicida de HOCl é maior que de OCl<sup>-</sup>

---

## Hipoclorito de Sódio



## Hipoclorito de Cálcio





# Fatores que afetam a eficiência da desinfecção do cloro

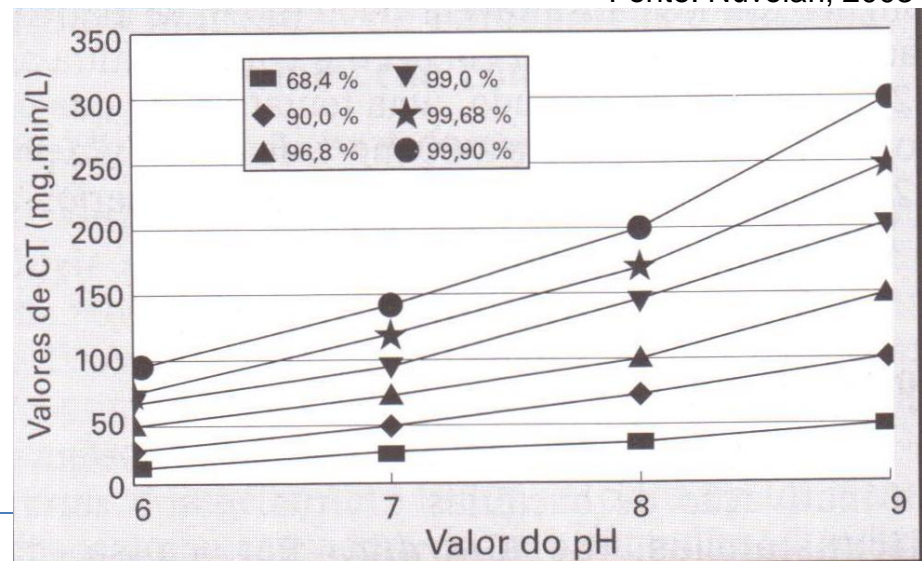
- Concentração de cloro residual .....
- Tempo de contato .....
- Temperatura .....
- pH .....
- Turbidez .....
- Características dos microrganismos
- Boa mistura

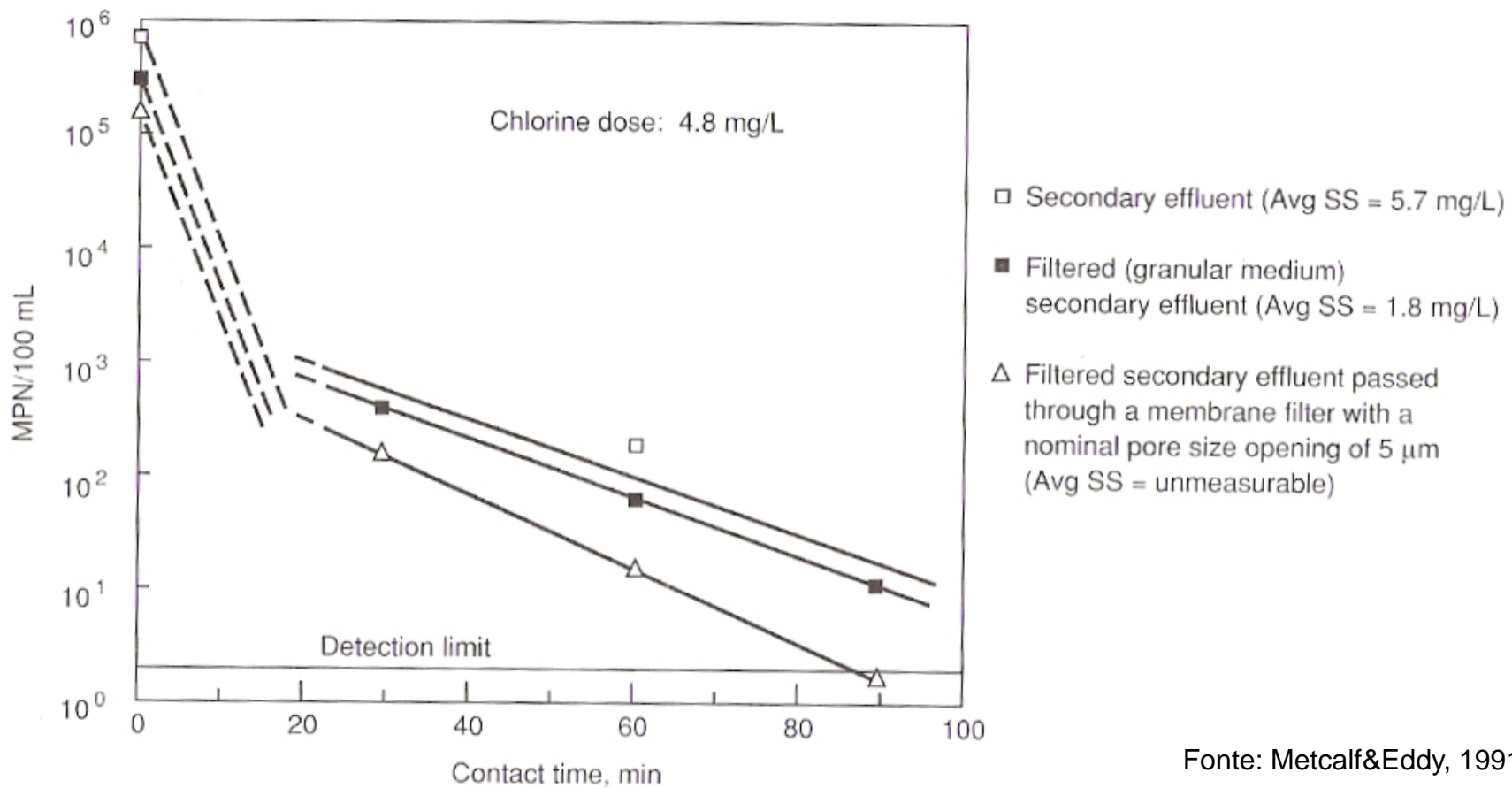
Para maior eficiência:



Valores de CT para inativação de *Giardia* com 3mg/L de cloro livre a 10°C

Fonte: Nuvolari, 2003

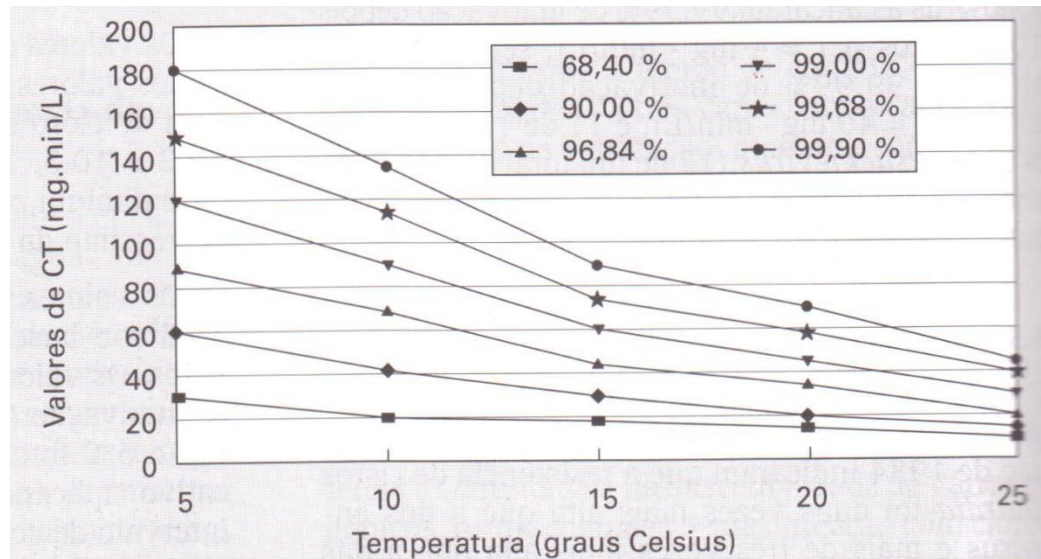




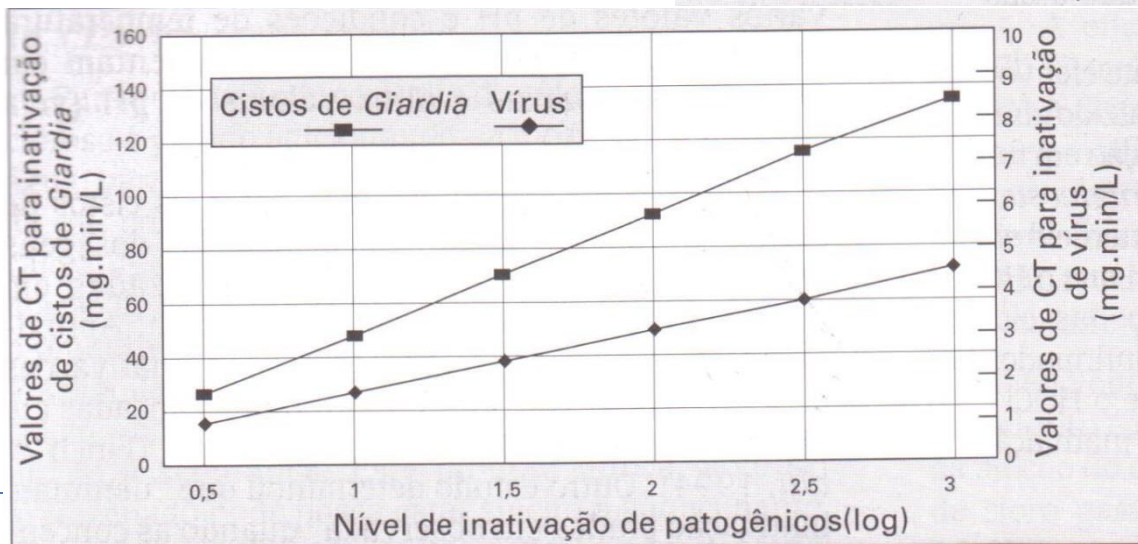
Fonte: Metcalf&Eddy, 1991

Resultados de desinfecção obtidos quando sólidos suspensos estão presentes

Valores de CT para inativação de *Giardia* com 3mg/L de cloro livre em pH=7



Fonte: Nuvolari, 2003



Valores de CT necessários para inativação de *Giardia* e vírus com cloro livre.

## Características dos microrganismos

### a) Idade dos microrganismos

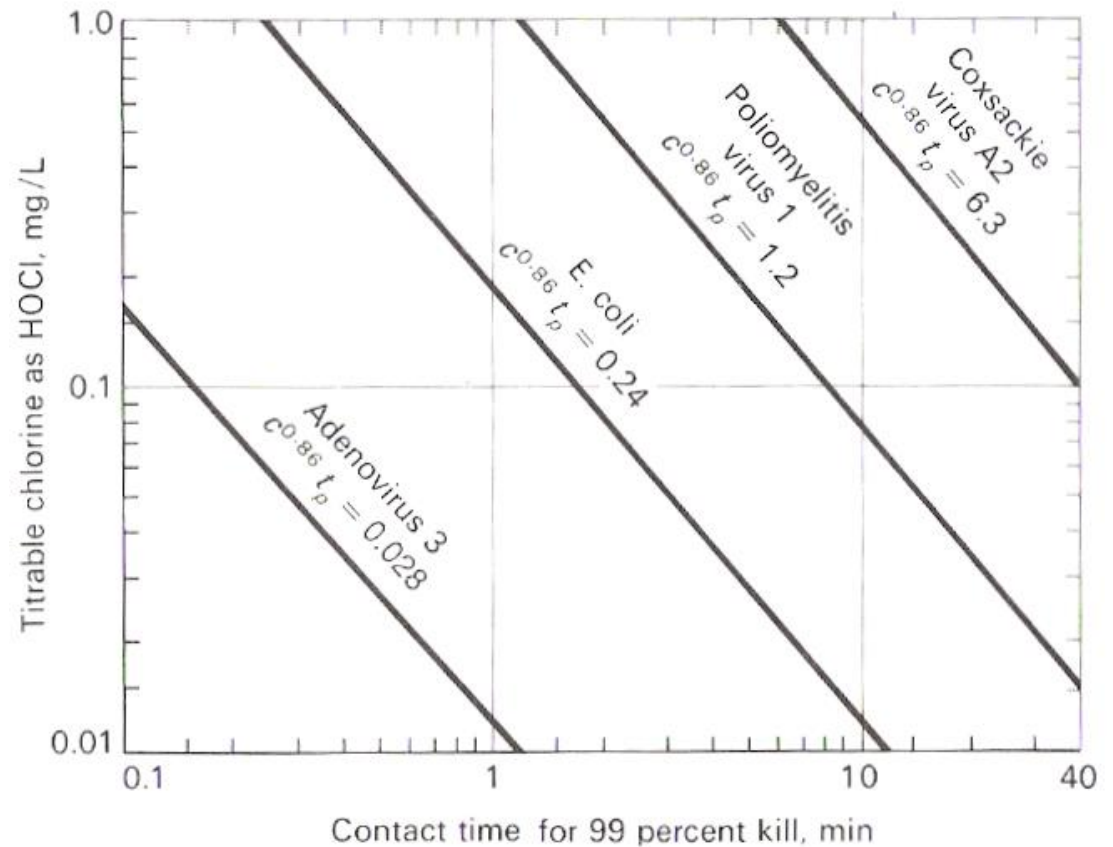
Para alcançar baixa quantidade de bactérias, com dosagem de 2mg/L:

-----  
Idade      tempo contato  
-----

< 1d      1 min

>10d      30 min  
-----

### b) Tipo do microrganismo



# Projeto

---

- Suprimento/armazenamento de cloro e segurança
  - Alimentação e aplicação
  - Mistura e contato
  - Sistemas de controle
    - Manutenção de um certo valor de cloro residual ao final do tempo de contato especificado.
-

## a) Suprimento/armazenamento de cloro e segurança

Cilindros de 45,4 – 90 kg (Retirada de gás)

Cilindros de 907kg (Gás ou líquido)

Caminhões tanque 18 e 20 t (líquido)

Tanques estacionários de 50 t

Gás venenoso e corrosivo

Se consumo ~180 kg/d (gás)

~ 900 kg/d (líquido)

Cilindros de 90 kg



Cilindros de 900 kg



Fonte: EPUSP

Fonte: EPUSP

# Hipoclorito de sódio (líquido)



Fonte: EPUSP

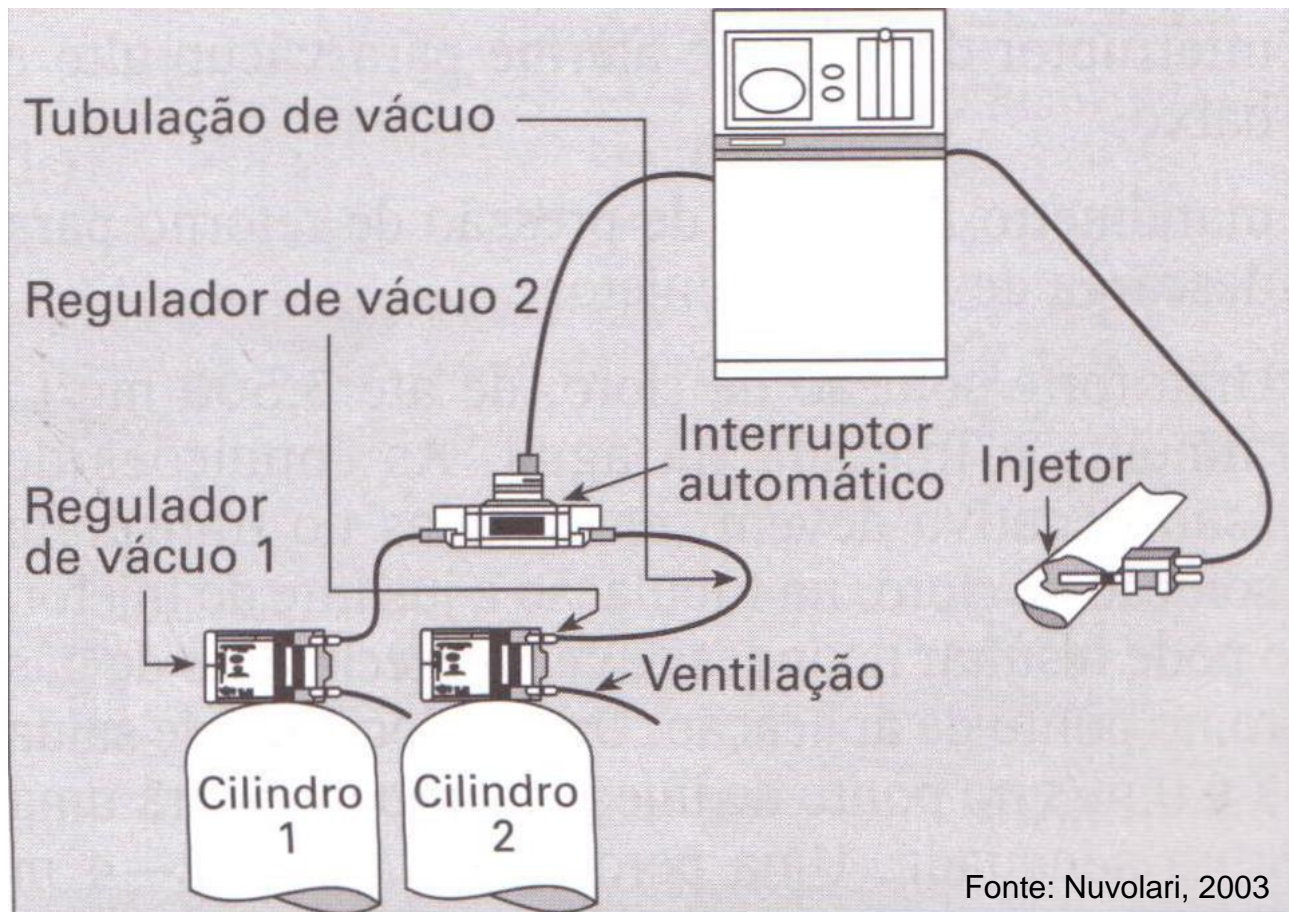


Caminhão tanque de 18 t  
Fonte: EPUSP



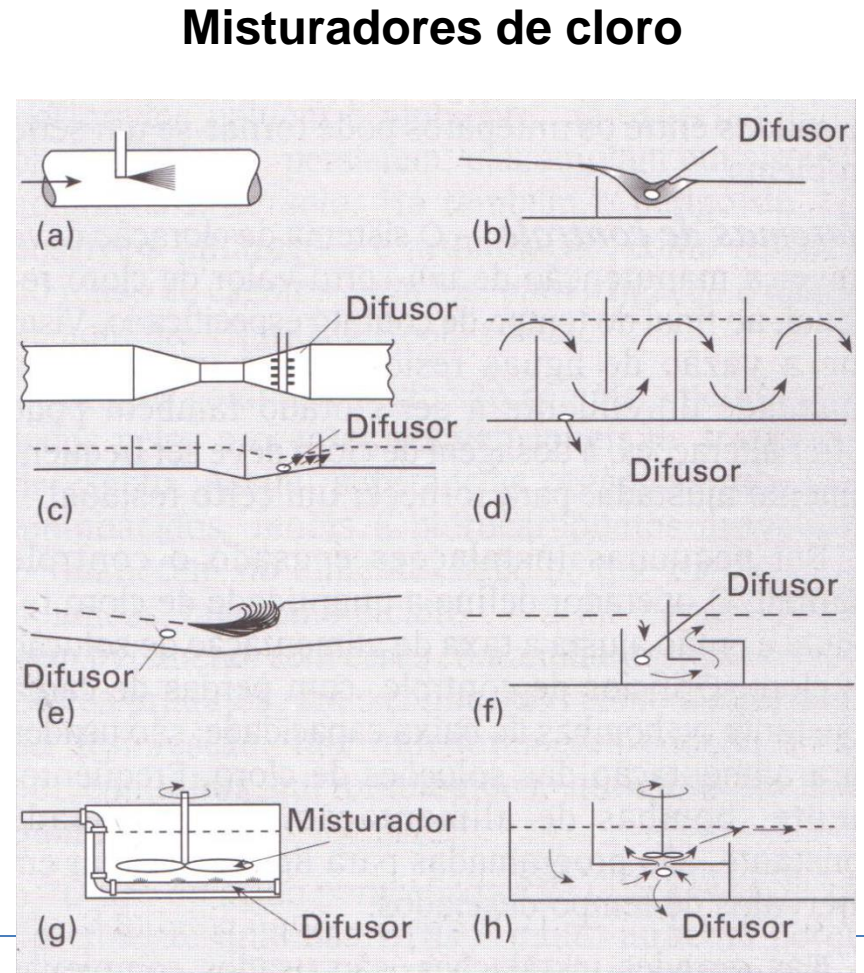
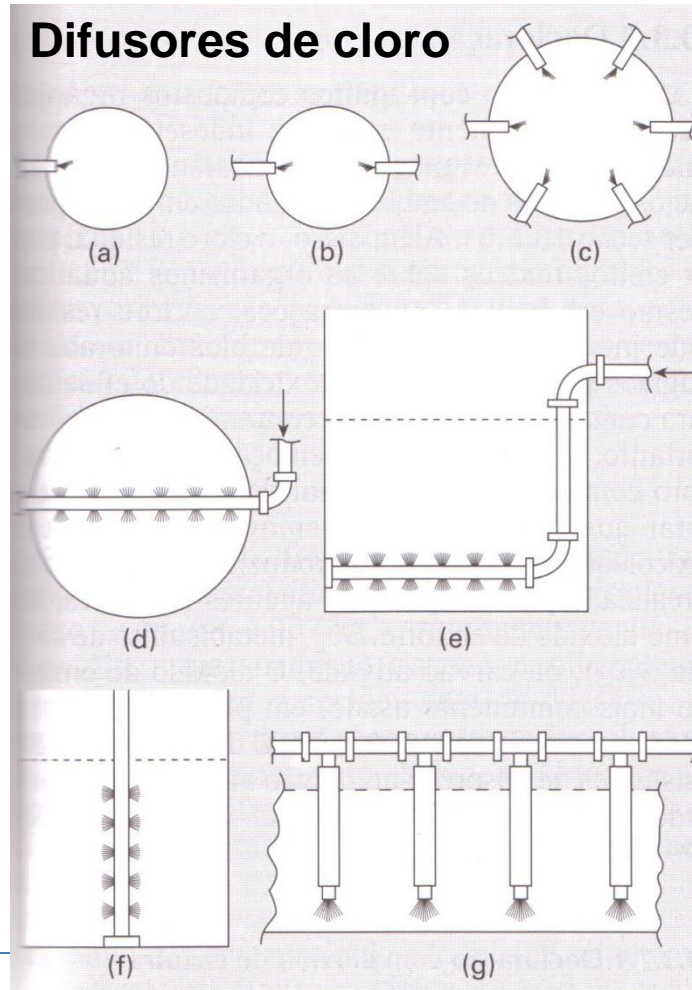
- 
- Alguns itens de segurança:
    - Sistema de exaustão/ventilação ao nível do solo (gás cloro mais pesado que o ar)
    - Proteção de risco de incêndios
    - Boa iluminação e equipamentos de proteção individual na entrada
    - Válvula e tubos próprios para uso com cloro
      - Cloro gasoso: tubos de ferro forjado
      - Cloro líquido: tubos de ferro forjado; coeficiente de expansão de volume muito alto → câmaras de expansão
      - Soluções aquosas de cloro: tubos de plástico rígido
    - Quando confinado em uma recipiente, cloro pode sair como gás, líquido ou ambos simultaneamente
      - Medidor de pressão não é indicador de quantidade de cloro, pois é capaz de mudar de estado físico enquanto volume é constante
      - Cilindros devem ser colocados em plataforma tipo balança (perda de peso para registro das dosagens de cloro)
-

## b) Alimentação e aplicação



## c) Mistura e contato

Fonte: Nuvolari, 2003



# Aplicação do cloro e dosagens típicas

Aplicação	Dosagem típica	pH ótimo	Tempo de Reação	Efetividade
Oxidação de ferro	0,62 mg/mg Fe	7,0	< 1,0 hora	Bom
Oxidação de manganês	0,77 mg/mg Mn	7,5 a 8,5 9,5	1 a 3 horas Minutos	Razoável, função do pH
Controle de biofilmes	1 mg/l a 2 mg/l	6,0 a 8,0	Não Disponível	Bom
Controle de gosto e odor	Variável	6,0 a 8,0	Variável	Variável
Remoção de cor	Variável	4,0 a 7,0	Minutos	Bom

Fonte: EPU SP

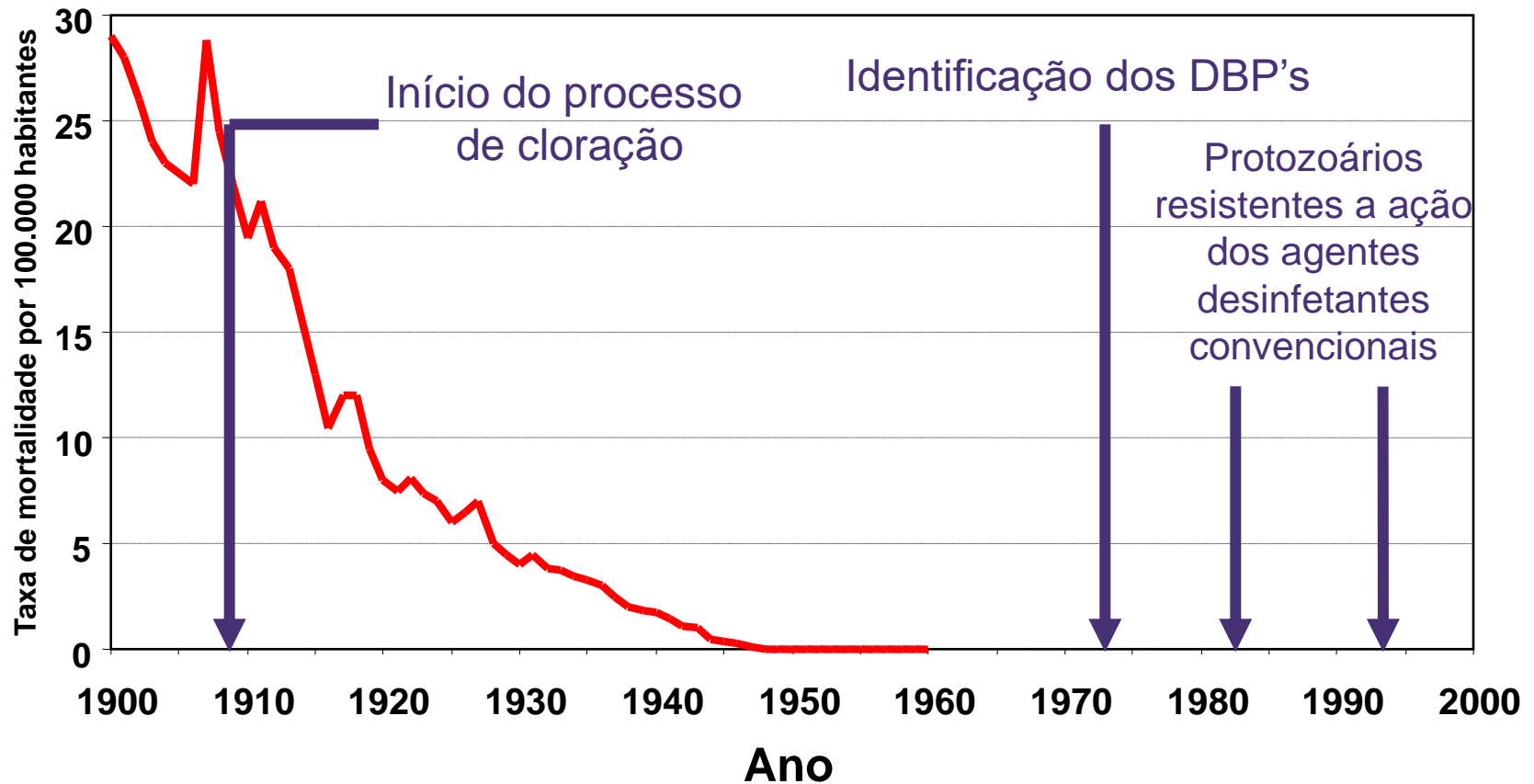
---

$$\text{Eficiência} = C.t \left\{ \begin{array}{l} \text{Tempo de contato} \\ 30 \text{ minutos} \end{array} \right.$$

Concentração mínima de cloro residual livre após a desinfecção: 0,5 mg/l

Concentração mínima de cloro residual livre na rede de distribuição: 0,2 mg/l

Concentração máxima de cloro residual livre na rede de distribuição: 2,0 mg/l



Taxa de mortalidade de febre tifóide nos Estados Unidos da América  
Fonte: Jacangelo, M. (2001), apud EPUSP

# Cloração – Vantagens e Desvantagens

---

## **Vantagens:**

- Tecnologia amplamente conhecida
- Menor custo
- Cl residual prolonga a desinfecção e indica a eficiência do processo
- Residual fácil de medir e controlar
- Efetiva e confiável para grande variedade de patógenos
- Oxida certos compostos orgânicos e inorgânicos
- Flexibilidade de dosagens

## **Desvantagens:**

- Cl residual é tóxico; requer decloração
  - Todas as formas de cloro são altamente corrosivas
  - As reações com Cl geram compostos potencialmente perigosos (trihalometanos-THM)
  - Aumenta os sólidos totais dissolvidos
  - Cl residual é instável na presença de materiais que demandam cloro
  - Alguns patógenos são resistentes
-

# Subprodutos da desinfecção com cloro

- Formação de trihalometanos (THM)
  - Compostos organoclorados
  - Presumidamente carcinogênico
  - Não são facilmente biodegradáveis
  - Persistem em ambientes aquáticos e no solo

Se compostos não são removidos pelos processos de tratamento. Ex.:

**Substâncias**

**Orgânicas:**

aminoácidos, fenóis e hidrocarbonetos aromáticos

+

**Oxidante  
químico: cloro**

=

Formação de outros produtos ~  
**subprodutos da  
desinfecção**



# Pós-cloração na ETA ABV

---



Fonte: EPUSP

# Exercício

---

- Vazão:  $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$
- Profundidade da lâmina líquida =  $3,5 \text{ m}$
  
- Dosagem mínima de cloro:  $0,8 \text{ mg/L}$
- Dosagem média de cloro:  $1,5 \text{ mg/L}$
- Dosagem máxima de cloro:  $2,5 \text{ mg/L}$
- Tempo de contato: 30 minutos

Dimensione sistema de cloração.

Fonte: EPUSP

# Solução

---

Volume do tanque de contato

$$\theta_h = \frac{V_{ol}}{Q}$$

$$V_{ol} = Q \cdot \theta_h = 1,0 \text{ m}^3 / \text{s} \cdot 30 \text{ min} \cdot 60 \text{ s} / \text{min} = 1.800 \text{ m}^3$$

Geometria do tanque de contato

$$A_S = \frac{V_{ol}}{H} = \frac{1.800 \text{ m}^3}{3,5 \text{ m}} \cong 515 \text{ m}^2$$

$$A_S = B \cdot L = 3 \cdot B^2 = 515 \text{ m}^2$$

$$B = 13,0 \text{ m}$$

$$L = 40,0 \text{ m}$$

$$H = 3,5 \text{ m}$$

---

## Cálculo do consumo diário de cloro

$$Massa = Q.C.\Delta t$$

$$Massa_{mínima} = \frac{86.400 \text{ m}^3 / \text{dia} \cdot 0,8 \text{ g} / \text{m}^3}{1.000 \text{ g} / \text{kg}} = 69,12 \text{ kg} / \text{dia}$$

$$Massa_{média} = 129,6 \text{ kg} / \text{dia}$$

$$Massa_{máxima} = 216 \text{ kg} / \text{dia}$$

## Sistema de reservação

---

Admitido: sistema de reservação com autonomia de 20 dias.

$$\text{Massa} = (216 \text{ kg/d}) \times 20 \text{ d} = 4320 \text{ kg}$$

■ Opção 1 - Cloro gasoso      05 Cilindros de 01 tonelada cada.

■ Opção 2 - Hipoclorito de sódio

Concentração da solução: 12,0% em peso como  $\text{Cl}_2$

Massa específica da solução:  $1.220 \text{ kg/m}^3$

$$0,12 = \frac{M_{\text{produto}}}{M_{\text{solução}}} = \frac{4.320 \text{ kg}}{M_{\text{solução}}} \longrightarrow M_{\text{solução}} = 36.000 \text{ kg}$$

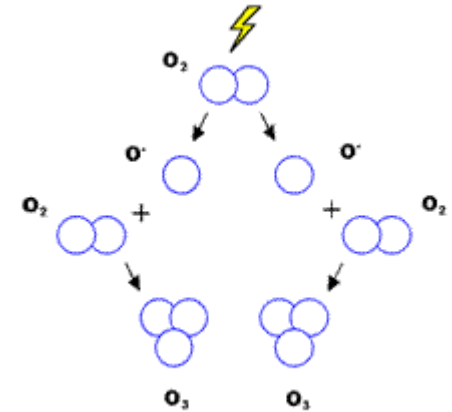
$$V_{\text{volume}} = \frac{M_{\text{solução}}}{\rho_{\text{solução}}} = \frac{36.000 \text{ kg}}{1.220 \text{ kg/m}^3} = 29,5 \text{ m}^3 \longrightarrow V_{\text{volume}} = 30,0 \text{ m}^3 \text{ (Adotado)}$$

# B - Ozonização

---

Alto poder de oxidação → poderoso bactericida e virucida.

Exige alta energia



O ozônio é um poderoso oxidante (1,5 vezes mais forte do que o cloro)

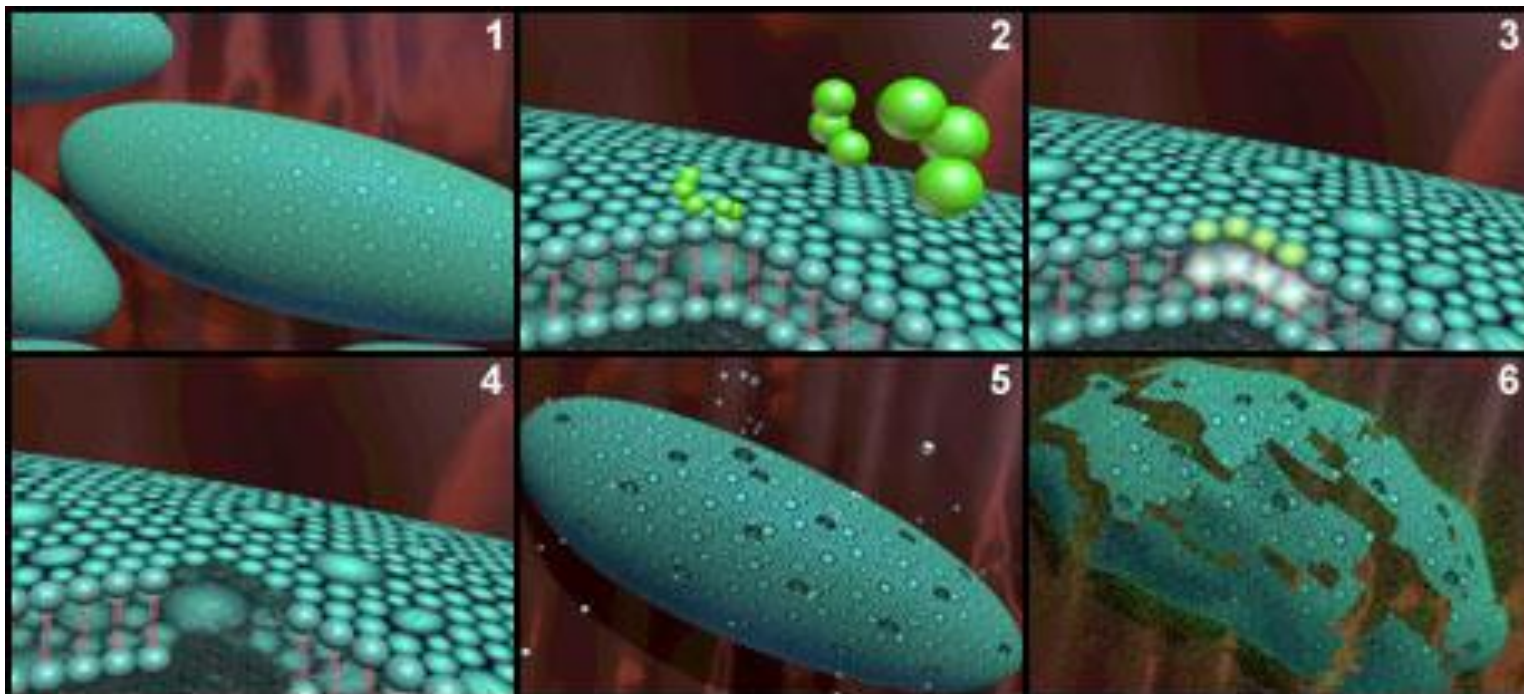
Exigência de tempo de contato pequeno

Altamente corrosivo e tóxico

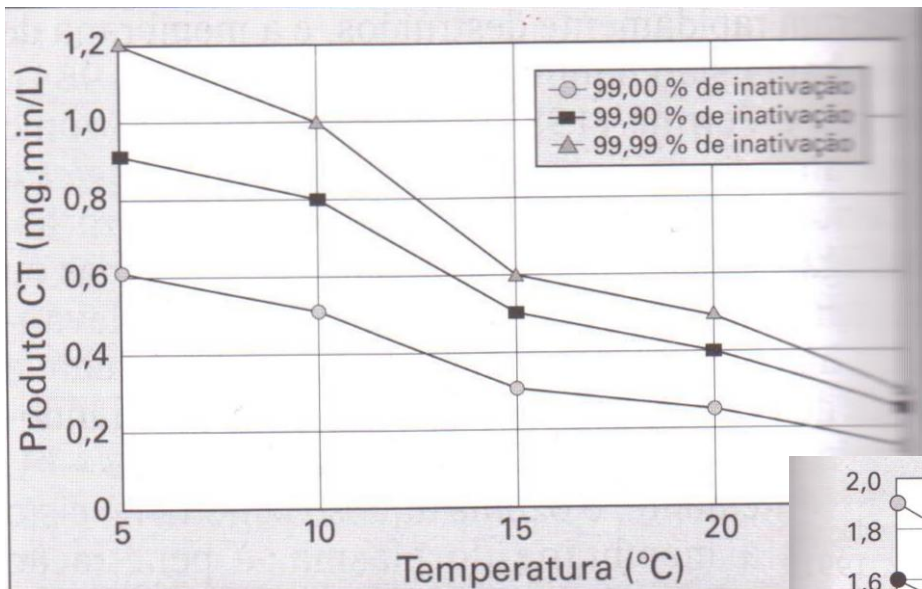
Pouco solúvel na água → 12x menos que o cloro

→ mais solúvel que oxigênio

---



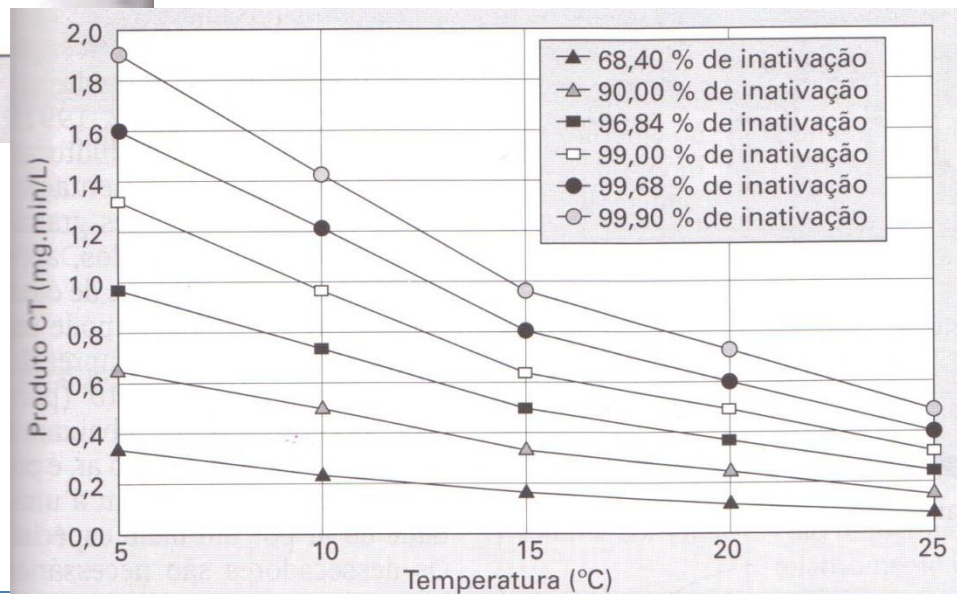
Fonte: <http://www.snatural.com.br/Tratamento-Agua-Ozonio.html>



Valores de CT para inativação de cistos de *Giardia* com ozônio (pH 6 a 9)

Fonte: Nuvolari, 2003

Valores de CT para inativação de vírus com ozônio (pH 6 a 9)





# Subprodutos da desinfecção com ozônio

---

Subprodutos da desinfecção com ozônio de águas contendo material orgânico

Formaldeído	Glioxal	Isoforona
Acetaldeído	Acroleína	Hexanal
Propionaldeído	Benzaldeído	Acetofenona
Furfrol	Ionona	Antraquinona
Acetilacetona	n-valelaldeído	Hidroquinona
Carvone	Isopropilmetilcetona	Ácido oxálico

Alguns são conhecidos como potencialmente carcinogênicos, mutagênicos, genotóxicos ou teratogênicos.

# Ozonização – Vantagens e Desvantagens

---

## Vantagens:

- Mais efetivo na destruição de vírus e bactérias que o cloro
- Utiliza curto tempo de contato (10 a 30 min)
- Não resulta em recrescimento de bactérias, exceto aquelas protegidas pelo material particulado
- Não é afetado pelo amônio ou pH afluyente
- É gerado *in situ*, com fácil armazenamento e manuseio

## Desvantagens:

- Baixas doses podem não tornar inativos alguns vírus, esporos e cistos
  - Tecnologia mais complexa que a desinfecção com cloro ou UV
  - O<sub>3</sub> muito reativo e corrosivo
  - O<sub>3</sub> é extremamente irritante e possivelmente tóxico
  - O custo do tratamento pode ser relativamente alto
-

# C – Radiação Ultravioleta

---

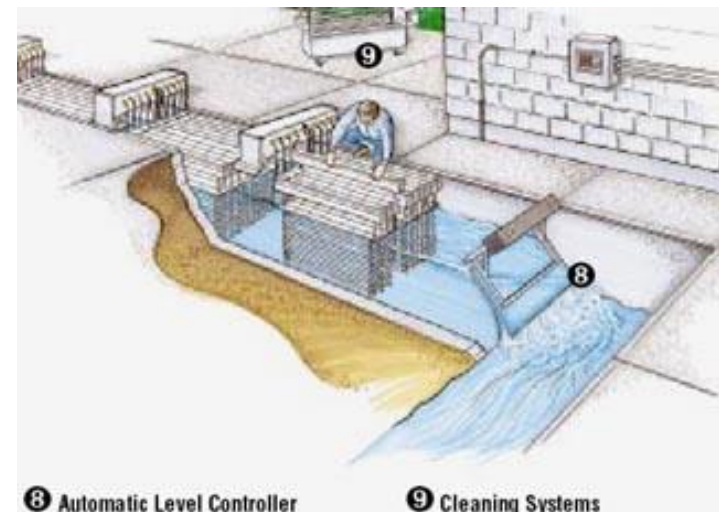
## Vantagens:

- Efetiva na inativação de vírus e esporos
- Não necessita de geração, manuseio, transporte ou estocagem de produtos químicos
- Não gera efeitos residuais prejudiciais
- Operação simples
- Tempo de contato muito curto (de 20 a 30s)
- Menor demanda de espaço do que os outros processos

## Desvantagens:

- Baixas dosagens não tornam alguns vírus, esporo e cistos inativos
- Os microrganismos podem se multiplicar por fotorreativação ou recuperação no escuro
- É mais caro do que a cloração e mais barato do que a cloração/decloração

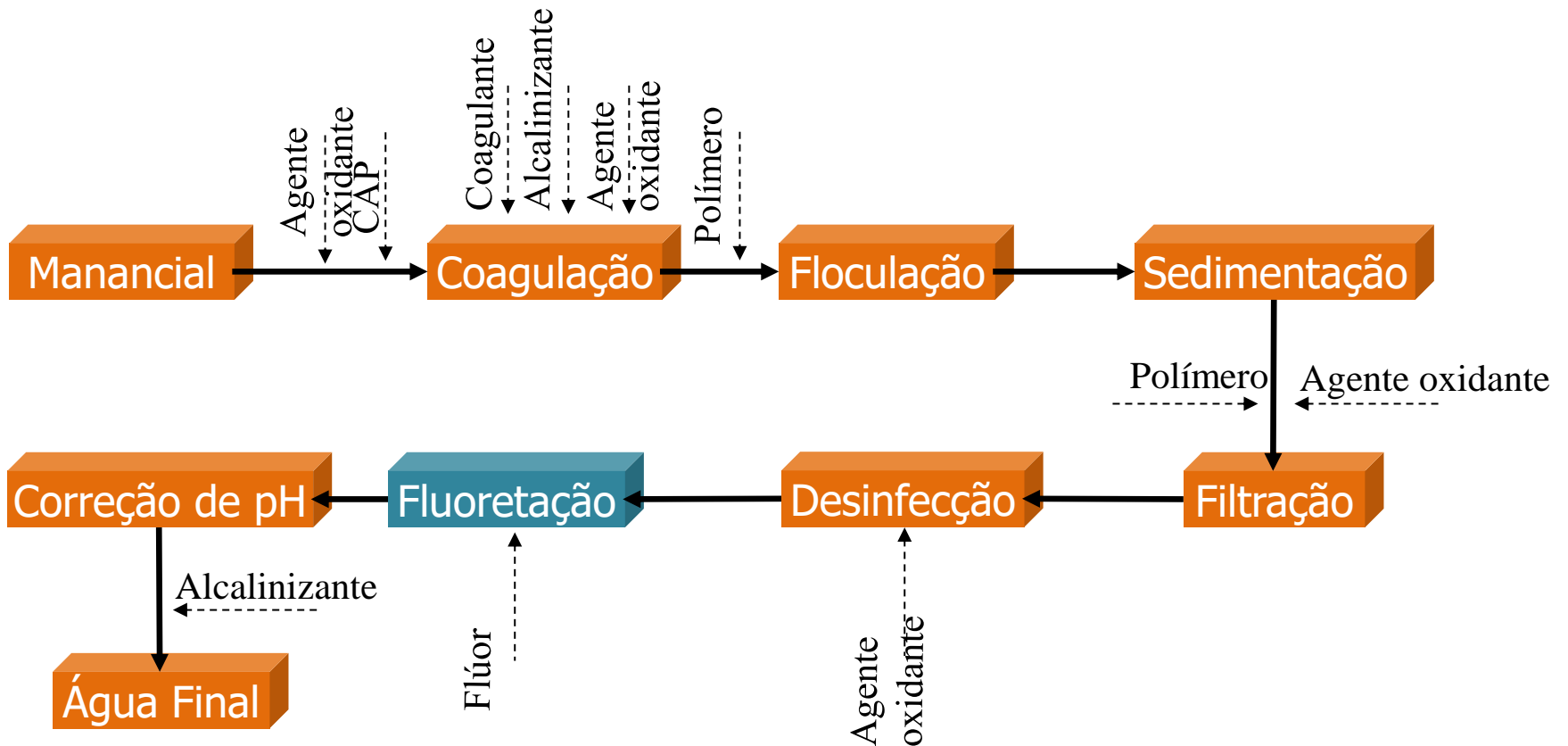
Lâmpadas: tubo de quartzo com um gás inerte, como argônio, e pequenas quantidades de mercúrio



<http://www.princeton-indiana.com/wastewater/pages/post-treatment/uv-disinfection.html>

# 10.11 - Fluoretação

## Tratamento convencional



Fonte: EPUSP

---

## **Portaria 635/Bsb, de 26/12/75 (DO 30/01/76)**

Aprova normas e padrões sobre fluoretação da água tendo em vista a Lei n°. 6050/74

- Concentração recomendada de íon fluoreto:

$$G=22,2/E$$

- onde  $E=10,3+0,725 T$
- sendo T a média de temperaturas máximas diárias durante um período mínimo de 1 ano (recomendado 5 anos) em °C.
- Limites recomendados em função da média das temperaturas máximas diárias do ar
- Métodos de análise de determinação
- Tipos e precisão dos equipamentos tolerados para dosagem

**Íon fluoreto: VMP 1,5 mg/L (Portaria MS 2914/11)**

<b>TEMPERATURA MÉDIA ANUAL DAS MÁXIMAS DIÁRIAS (°C)</b>	<b>LIMITES RECOMENDADOS DE FLUORETO (mg/l)</b>		
	<b>INFERIOR</b>	<b>ÓTIMO</b>	<b>SUPERIOR</b>
10 - 12,1	0,9	1,2	1,7
12,2 - 14,6	0,8	1,1	1,5
14,7 - 17,7	0,8	1,0	1,3
17,8 - 21,4	0,7	0,9	1,2
21,5 - 26,3	0,7	0,8	1,0
26,4 - 32,5	0,6	0,7	0,8

Fonte: EPUSP

<b>Compostos ⇒ Características ↓</b>	<b>Fluossilicato de Sódio (Na<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>)</b>	<b>Fluoreto de Sódio (NaF)</b>	<b>Fluoreto de Cálcio (CaF<sub>2</sub>)</b>	<b>Ácido Fluossilícico H<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub></b>
Forma	pó	pó	pó	líquido
Peso Molecular (g)	188,05	42,00	78,08	144,08
% Pureza (comercial)	98,5	90-98	85-98	22-30
% Fluoreto (composto 100% puro)	60,7	45,25	48,8	79,02
Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	881-1153	1041-1442	1618	1,25(Kg/L)
Solubilidade a 25°C (g/100gH <sub>2</sub> O)	0,762	4,05	0,0016	infinita
pH solução saturada	3,5	7,6	6,7	1,2 (sol. 1%)

Fonte: EPUSP



# Exercício

---

- Vazão:  $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$
- Profundidade da lâmina líquida =  $3,5 \text{ m}$
- Concentração de flúor na água bruta:  $0,1 \text{ mg/L}$
- Concentração de flúor na água final:  $0,9 \text{ mg/L}$

Fonte: EPUSP

# Solução:

---

Dimensionamento: Sistema de fluoretação

$$Massa = Q.(C_{AF} - C_{AB}).\Delta t$$

$$Massa_{mínima} = \frac{86.400 \text{ m}^3 / \text{dia} \cdot 0,8 \text{ g} / \text{m}^3}{1.000 \text{ g} / \text{kg}} = 69,12 \text{ kg} / \text{dia}$$

Massa de ácido fluossilícico :

Mol  $\text{H}_2\text{SiF}_6 = 144,1 \text{ g}$

Massa de F por mol de  $\text{H}_2\text{SiF}_6 = 114$

$$Massa = \frac{69,12 \cdot 144,1}{114} = 87,37 \text{ kg} / \text{dia}$$

## Sistema de reservação

---

Admitido: sistema de reservação com autonomia de 20 dias.

$$\text{Massa} = (87,37 \text{ kg/d}) \times 20 \text{ d} = 1747,4 \text{ kg}$$

Concentração da solução: 22,0% em peso como  $\text{H}_2\text{SiF}_6$

Massa específica da solução:  $1.260 \text{ kg/m}^3$

$$0,22 = \frac{M_{\text{produto}}}{M_{\text{solução}}} = \frac{1.747,4 \text{ kg}}{M_{\text{solução}}} \quad M_{\text{solução}} = 7.942,74 \text{ kg}$$

$$V_{\text{volume}} = \frac{M_{\text{solução}}}{\rho_{\text{solução}}} = \frac{7.942,74 \text{ kg}}{1.260 \text{ kg/m}^3} = 6,30 \text{ m}^3$$

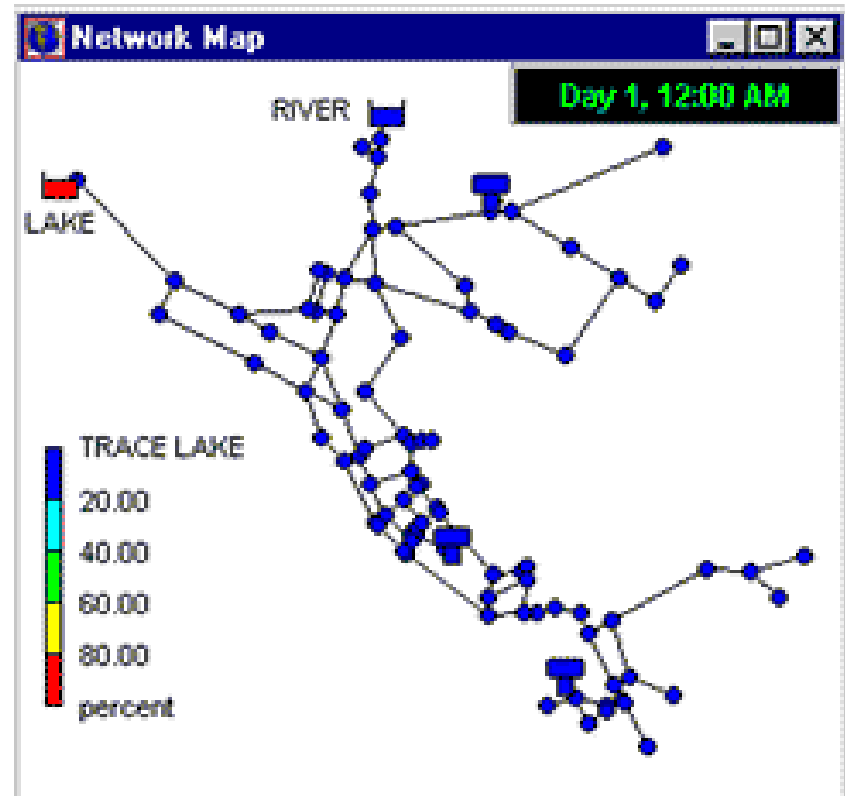
$$V_{\text{volume}} = 7,0 \text{ m}^3 \text{ (Adotado)}$$

# 10.12 - Modelos

Simulação de decaimento de cloro no sistema de distribuição de água.

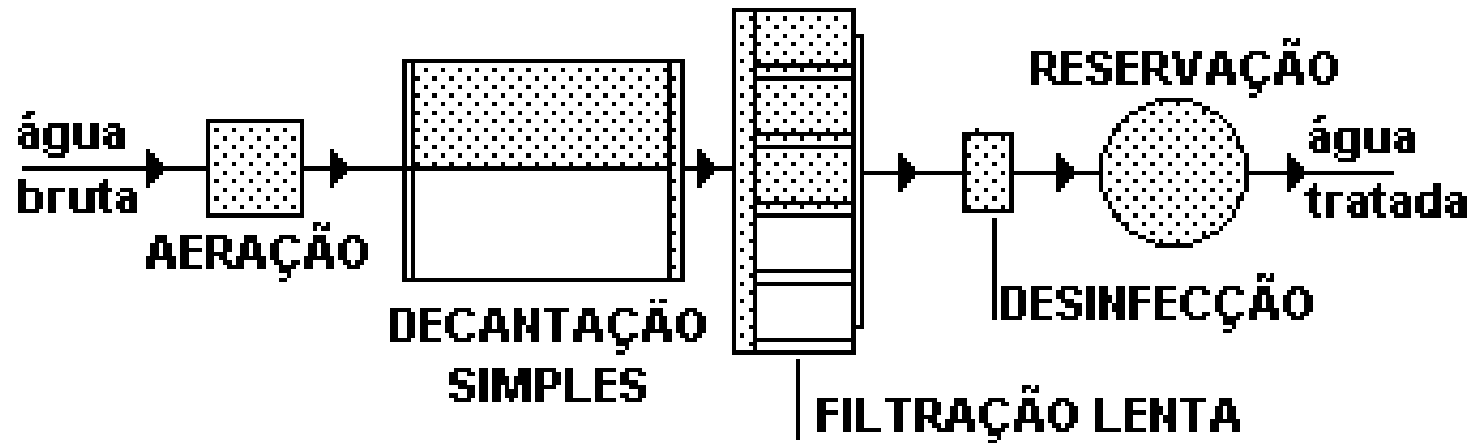
Exemplos:

- EPANET
- DYNAQ
- DWDS



# 10.13 – Considerações Finais

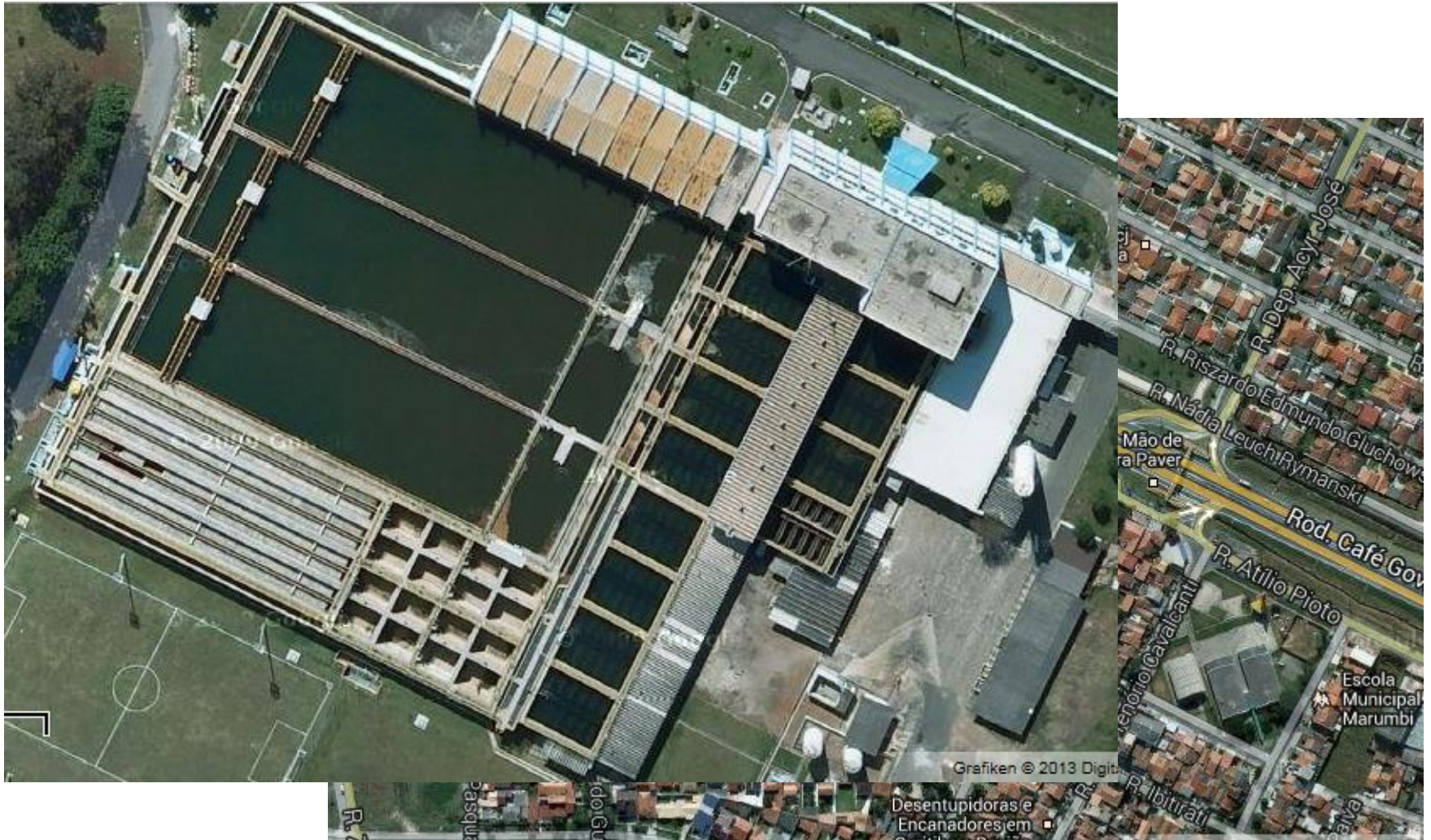
---





# ETA Iguaçu

Google Map



# TRATAMENTO CONVENCIONAL MANANCIAL – RESERVATÓRIO GUARAPIRANGA





# TRATAMENTO CONVENCIONAL

## ETA ALTO DA BOA VISTA

---



# TRATAMENTO CONVENCIONAL

## ETA GUARAÚ



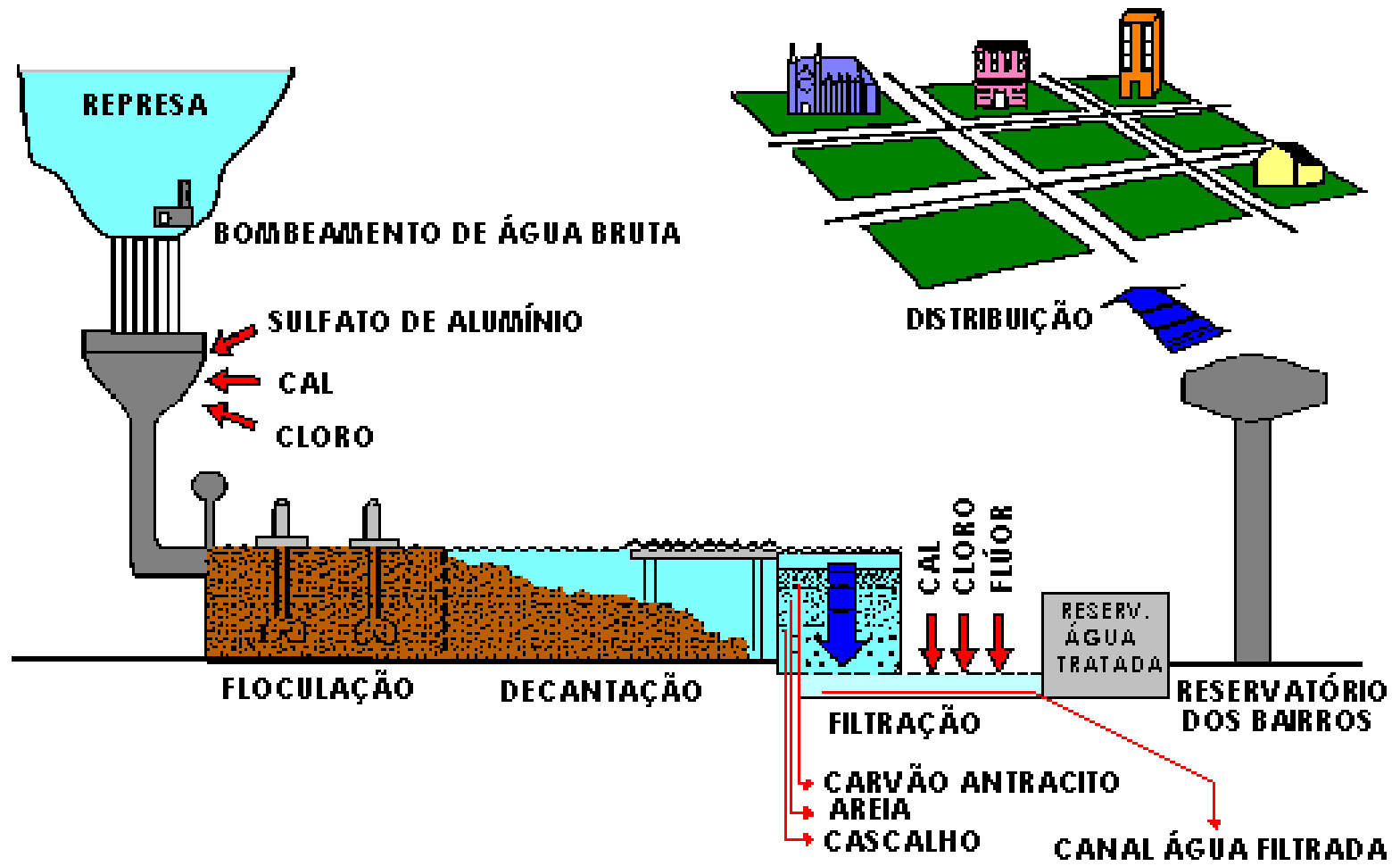
# TRATAMENTO CONVENCIONAL

## ETA RIO GRANDE

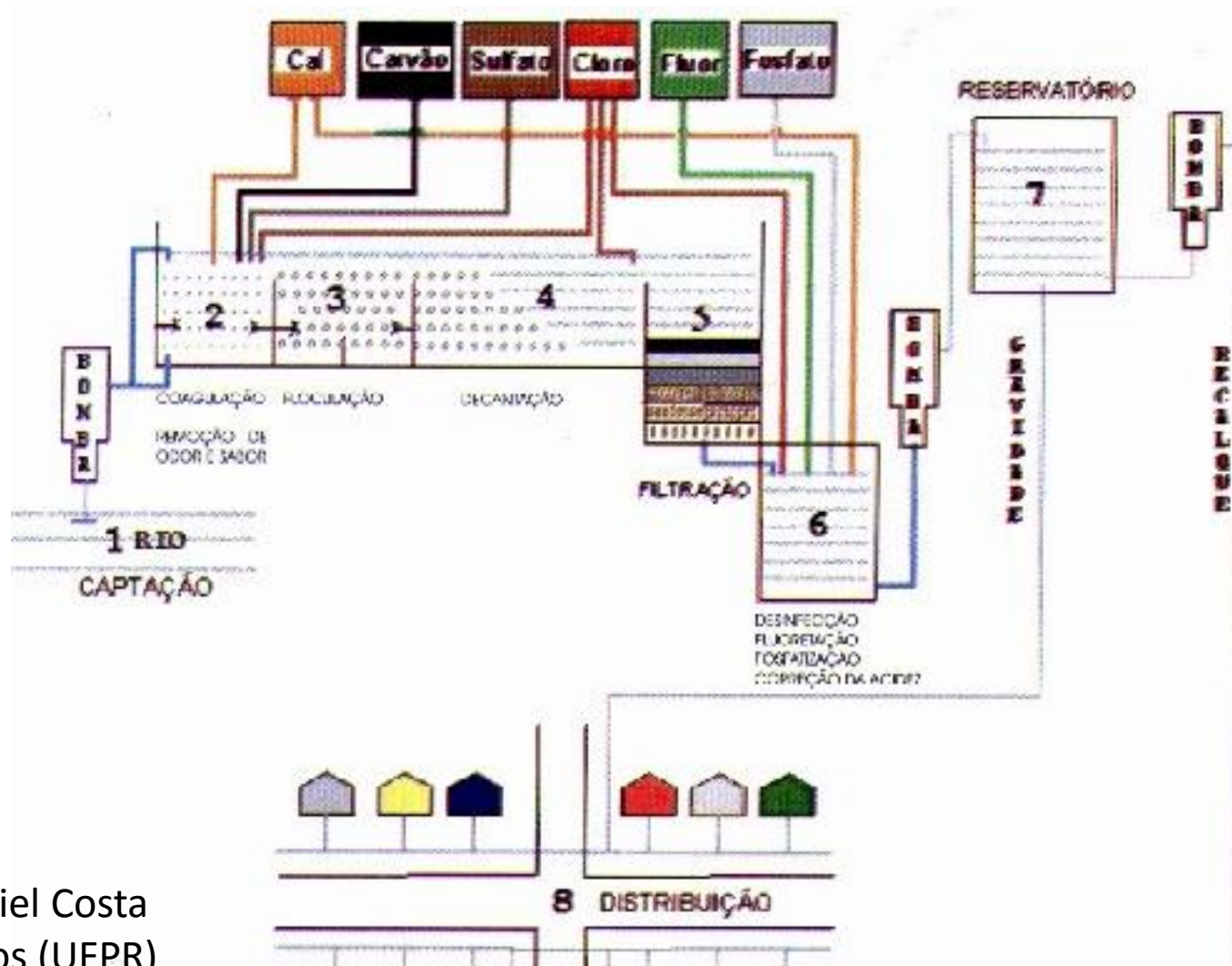
---



# Unidades de Tratamento da Água - Configuração



# Unidades de Tratamento da Água - Configuração



Prof. Daniel Costa dos Santos (UFPR)

---

## Tratamento Convencional:



## Filtração Direta:



## Filtração em Linha:



# Literatura

---

- Heller, L. & Pádua, V.L. 2010. Abastecimento de água para consumo humano. 2ª. Edição revista e atualizada. Belo Horizonte; Editora UFMG.
- Santos, Daniel Costa dos. UFPR.
- Metcalf & Eddy. 1991. Wastewater Engineering. Treatment, Disposal and Reuse. 3.Edition
- Nuvolari, Ariovaldo. 2003. Esgoto Sanitário; coleta, transporte, tratamento e reuso
- EPUSP – PHD2411