

Módulo 10

Desinfecção

(NOTAS DE AULA)

AUTOR: MARCO ANTONIO PENALVA REALI

**DISCIPLINA: SHS-0346 – OPERAÇÕES UNITÁRIAS E PROCESSOS NA ENGENHARIA
AMBIENTAL**

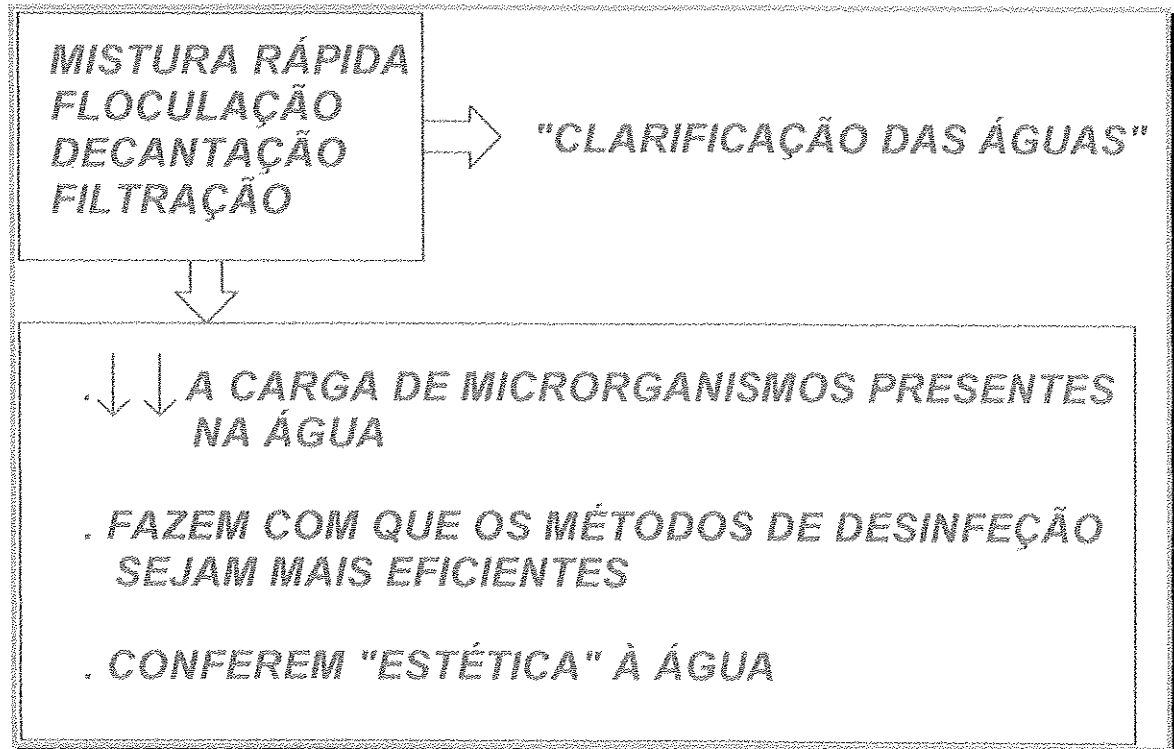
**DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS - EESC
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP**

SÃO CARLOS - Junho/2007

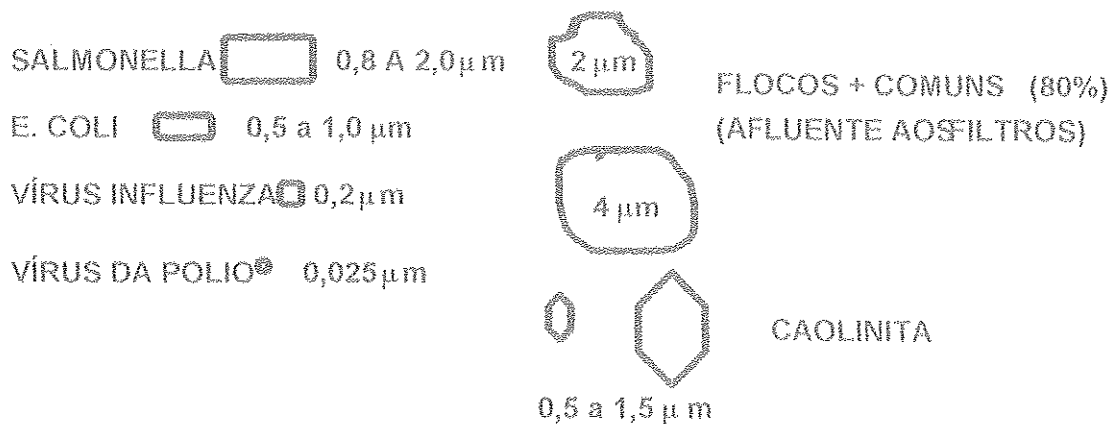
DESINFECÇÃO DE ÁGUAS

Notas de Aula (Slides)

Autor: Prof. Marco A. P. Reali (2005)



TAMANHO DE PARTÍCULAS COLOIDAIS



Portanto, os microrganismos se comportam também como PARTÍCULAS COLOIDAIS ==> sofrem os mesmos processos de remoção durante a clarificação das águas.

a) REMOÇÃO DE MICRORGANISMOS POR COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO/SEDIMENTAÇÃO ou FLOTAÇÃO

↑↑ REMOÇÃO DE BACTÉRIAS => até > 99,0% quando se tem boas condições de remoção de turbidez

VÍRUS: partículas de argila adsorvem os vírus bastante rapidamente. A "INATIVAÇÃO" dos mesmos se dá em 2 etapas:

1a. ==> formação de complexo íons de Al + vírus

2a. ==> aglutinação e sedimentação ou flotação do floco

Os íons de Al produzem remoção de até 98% nos vírus, mesmo em conc. ↓↓↓

* CUIDADO: Inativação pelas argilas é reversível ==> cuidados com lodos sedimentados.

b) REMOÇÃO DE Microrganismos POR FILTRAÇÃO

. Filtração em areia fina (0,28 mm) SEM coagulante ==> Remoção de vírus ≈ 20% apenas (mesmo com taxas baixas 60 A 120 m³/m² dia)

. Filtração com coagulantes em leitos comuns e com taxas elevadas (340 m/dia) ==> Remoção de até 98%: É importante aplicar-se coagulante.

↑ Turbidez efluente de filtro ==> ↑ de vírus no efluente

DESINFECÇÃO DAS ÁGUAS CLARIFICADAS

Principais agentes desinfectantes:

- Físicos: calor, luz, ultra-violeta, ultra-som
- Químicos
 - a) Subst. Oxidantes:
 - . halogenios: cloro, Br, I
 - . ozônio (O₃)
 - . KMnO₄
 - . H₂O₂
 - b) Íons Metálicos: Prata e cobre
 - c) Compostos Alcalinos e ácidos
Ex.: abrandamento por cal/soda

REQUISITOS PARA UM BOM DESINFECTANTE

- Devem destruir em Δt razoável os agentes patogênicos da H₂O.
- Sem cheiro e gosto nas dosagens usuais e possuir ↓↓↓ toxicidade para o homem.
- Deve ser disponível a custo razoável e oferecer segurança e facilidade no transporte + armazenamento + manuseio
- Determinação de sua concentração ==> fácil e automática
- Deve produzir residuais resistentes na água (BARREIRA SANITÁRIA)

VELOCIDADE DE DESINFECÇÃO

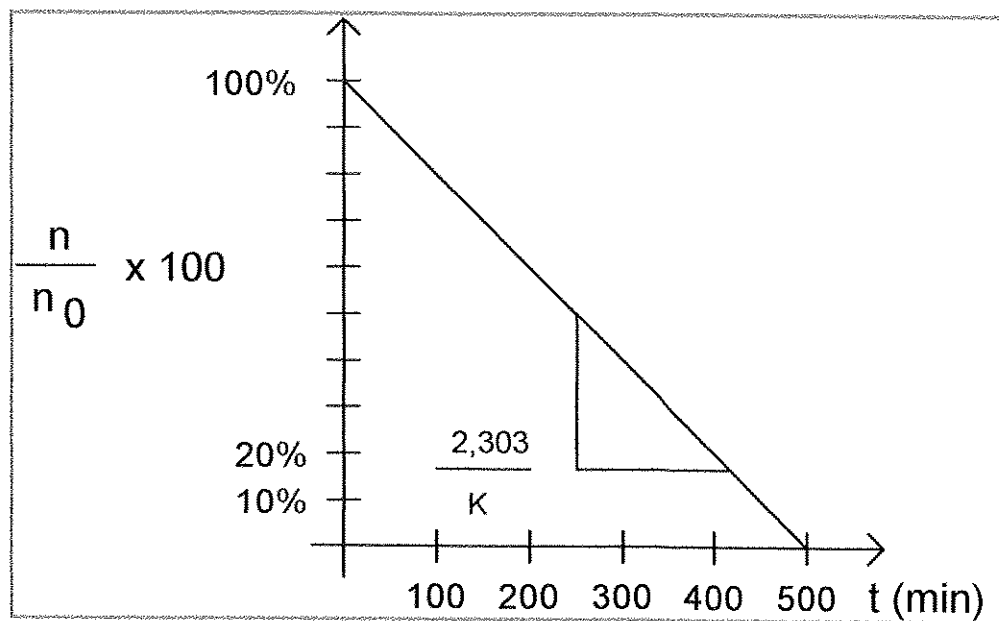
Desinfecção se processa progressivamente com o tempo, com maior ou menor velocidade, e se considera encerrada quando 100% (99,99%) dos M.O. QUE SE QUEIRA ELIMINAR estejam mortos.

$$\text{Lei de Chick} \Rightarrow -\frac{dn}{dt} = K n$$

$$\text{ou integrando-se} \Rightarrow t = \frac{2,303}{K} \log \frac{n_0}{n}$$

K:cte. de desinfecção

Ex.:



É interessante para se calcular K para um dado processo de desinfeção, conhecendo-se $\frac{n}{n_0}$ para determinar valores de t .

FATORES QUE INFLUEM NA DESINFECÇÃO

- RELAÇÃO "CONCENTRAÇÃO - TEMPO"

$$t = \frac{K}{C^n}$$

K = constante de desinfecção (depende do M.O.E. do desinf.)

C = concentração de desinfectante (mg/l)

n = coeficiente de efic. bactericida do desinfectante

- TEMPERATURA

↑ T ==. ↑ efic. de desinfecção ==> portanto ↑ K

$$K_t = K_{20^\circ C} (1 + \theta)^{T-20}$$

0,6 a 0,08

- pH ==> Bactérias são mais susceptíveis ao pH
pH ↑↑↑ ou pH ↓↓↓ são fatais

pH ≈ 7 ==> ideal para os M.O.

Ex.: . vírus morrem em horas p/ pH < 4,0

pH > 11,0

. bactérias E.Coli c/ pH12 ==> morrem em 8 h.

- * A atividade dos desinfectantes químicos também dependem do pH

Tipo e número de microrganismos:

no. de M.O ==> não ageram a desinf., MAS O TIPO SIM!

DESINFECÇÃO PELO CLORO

É o processo mais vantajoso até o presente momento:

- É eficiente
- É barato
- Fácil de aplicar
- Deixa efeito residual
- Fácil medição (concentração)

GÁS CLORO:

- Solubilidade na $H_2O \Rightarrow f(T)$ ($30^\circ C \approx 5.700 \text{ mg/l}$)
- Gás verde (nas CNTP)
- 2,5 vezes mais pesado que o ar \Rightarrow (deposita-se nas paredes baixas das edificações)
- Produzido para eletrólise do NaCl
- Engarrafado na forma líquida (\uparrow pressão)

OUTRAS FORMAS \Rightarrow Hipoclorito de Ca \leftarrow pó
Hipoclorito de Na \leftarrow líquido



Possuem a mesma eficiência bactericida que o gás, porém o gás \downarrow o pH e os outros \uparrow o pH.

ETAs pequenas \Rightarrow Hipoclorito
ETAs médias e grandes \Rightarrow gás cloro

MATERIAL	Cloro Disponível %
Cl_2 (cloro)	100
Cal Clorada	35-37
$\text{Ca}(\text{OCl})_2$ (Hipoclorito de Cálcio)	99,2
$\text{Ca}(\text{OCl})_2$ (Preparação Comercial)	70-74
NaOCl (Hipoclorito de Sódio)	95,2
NaOCl (Comercial)	12-15
Água de Lavadeira	3-5
ClO_2 (Dióxido de Cloro)	263,0
NH_2Cl (Monocloramina)	137,9
NHCl_2 (Diocloramina)	165,0
NCl_3 (Tricloramina)	176,7
$\text{HOOC}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{NCl}_2$ (Halazone)	52,4

REAÇÕES DO CLORO NA ÁGUA

É bastante complexa e não totalmente conhecida ainda

- Cloro + Água ==>
- . Reage c/ a H₂O (Hidrólise)
 - . Combina-se c/ a amônia e c/ a mat. org. presente
 - . Combina-se c/ outros subst. químicas.



“Formação de diversos produtos” ==> alguns desinfetantes outros não

REAÇÕES DO CLORO NA ÁGUA

Reação	Hidrólise	Oxidação/Redução	
Reage com	H ₂ O	Namociacal	mat.orgânica Fe, Mn, SO ₂ ⁻ , H ₂ S etc
Produz	HOCl e OCl ⁻	NH ₂ Cl - NHCl ₂ NCL ₃	Cloretos, Hcl, NO ₂ etc
Denomina-se	“Cloro Livre”	“Cloro combinado”	“DEMANDA”

REAÇÕES DE HIDRÓLISE

(Hidrólise) $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HOCl} + \text{H}^+ + \text{Cl}^-$ (Instantânea)

(Dissociação) $\text{HOCl} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OCl}^-$

ácido hipocloroso ↓↓ bactericida
(↑↑ bactericida)

∴ ↓ pH ==> ↑ HOCl ==> maior ação bactericida

REAÇÕES DO CLORO C/ O NITROGÊNIO AMONIAICAL



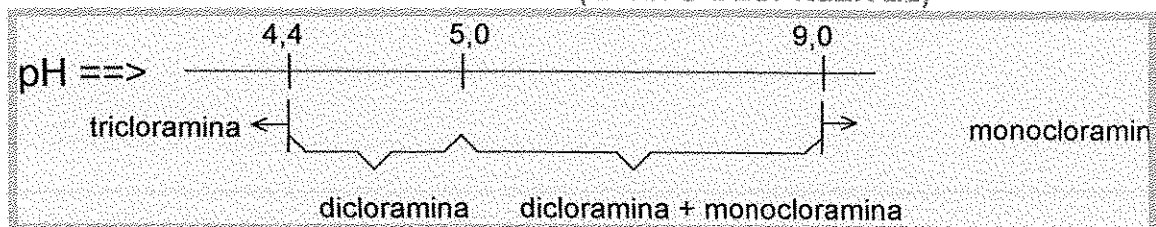
MONO CLORAMINA (RAZOÁVEL
EFEITO BACTERICIDA)



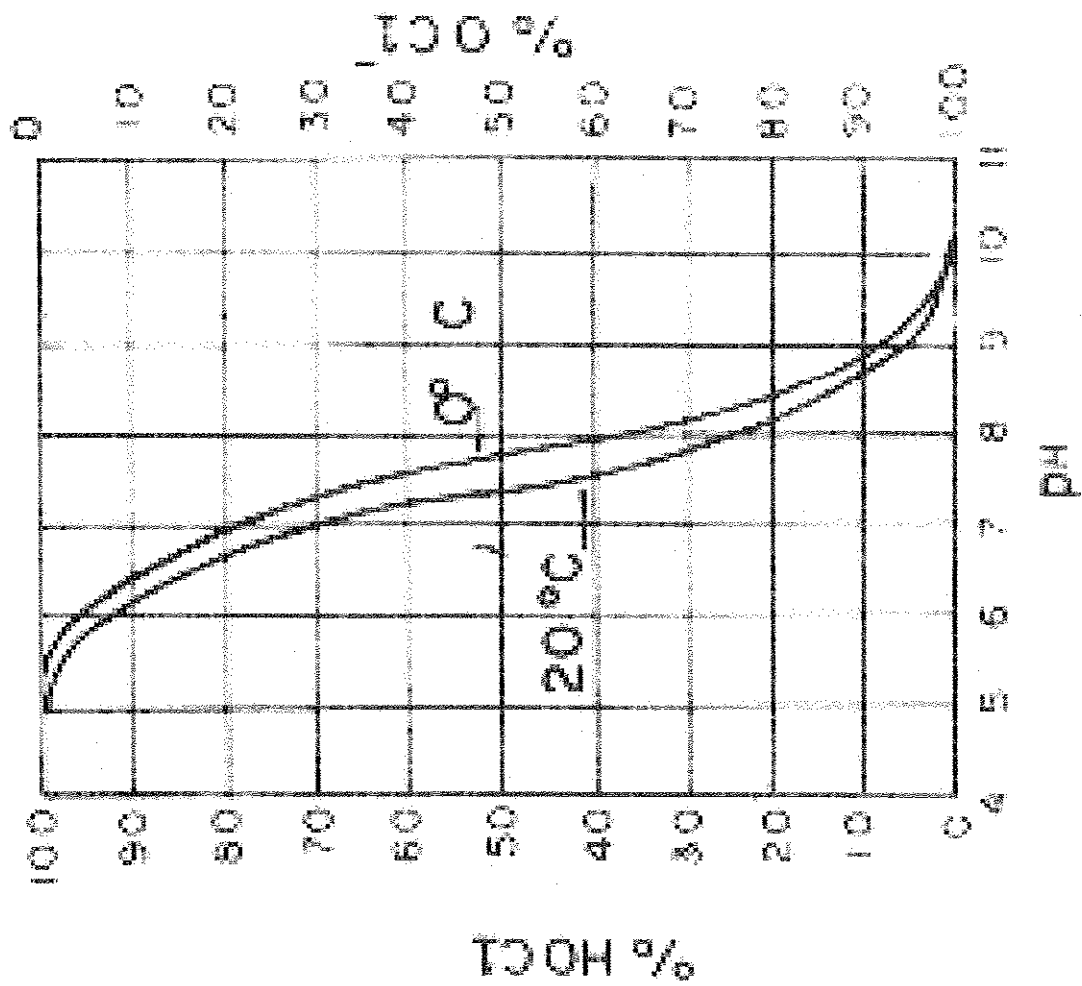
DICLORAMINA (BOM
EFEITO BACTERICIDA)



TRICLORAMINA
(EFEITO DESPREZÍVEL)



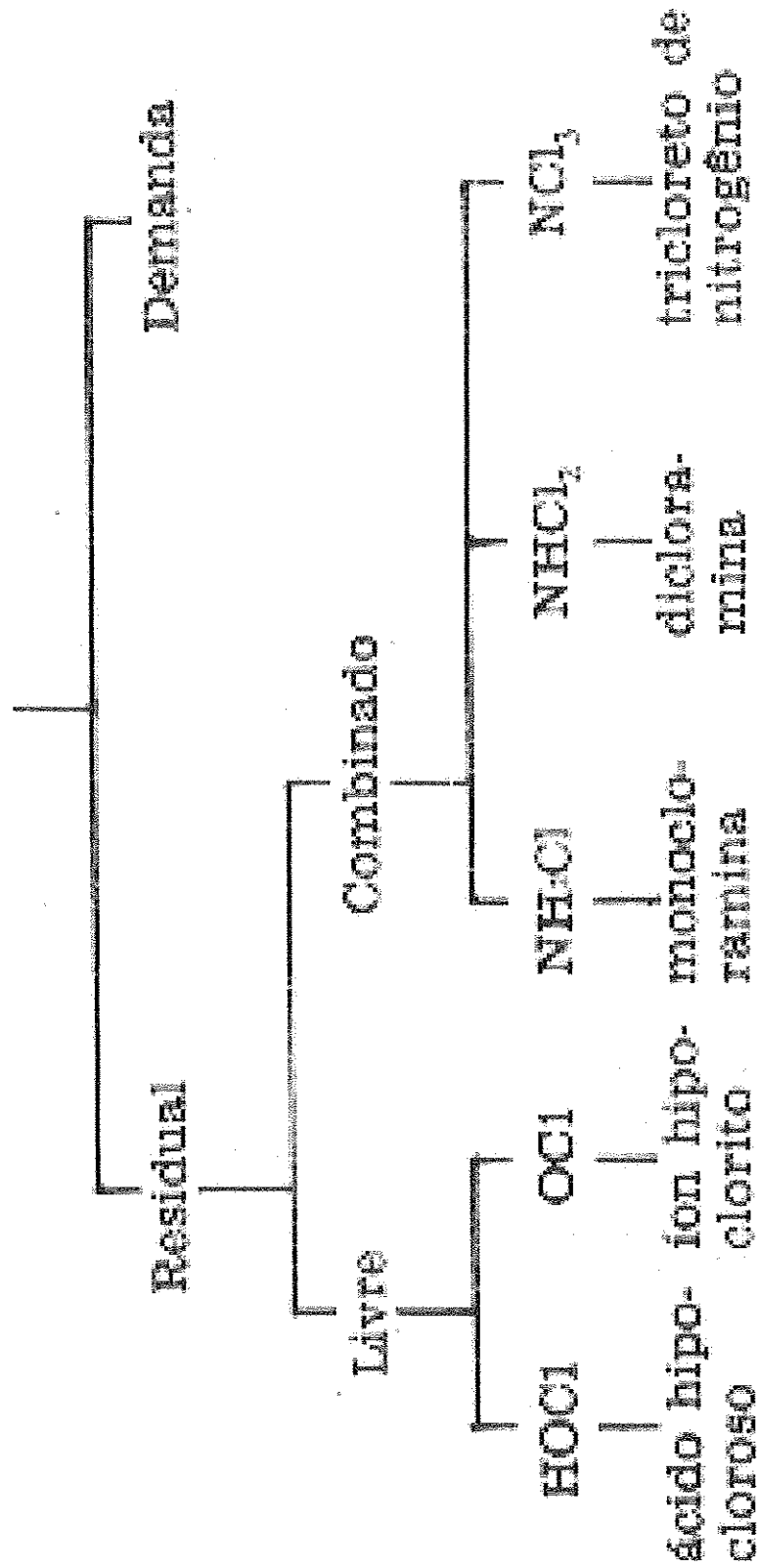
- As mono e dicloraminas tem poder bactericida menor que o HOCl, mas são muito + estáveis ==> efeito mais durável na água



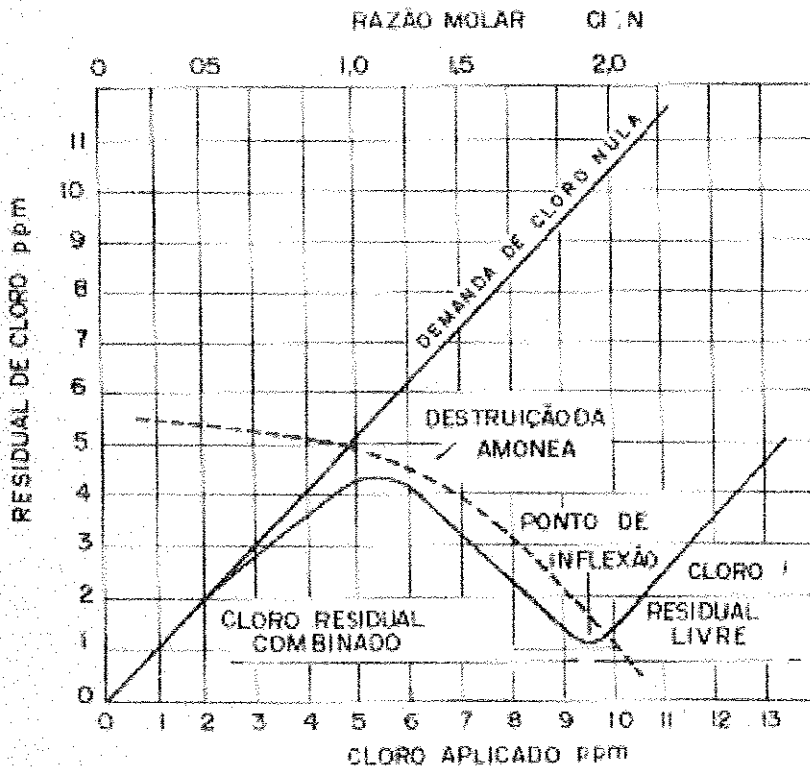
Distribuição do HOCl e OCl⁻ na água para vários valores de pH e temperatura

ESQUEMATICAMENTE

CLORO (Cl₂)



CLORAÇÃO AO "BREAK-POINT"



APLICAÇÃO DO CLORO

$$C = \frac{k}{t} \cdot \frac{1}{N}$$

$$N = 0,86 \text{ (experimental)}$$

k = depende do microrganismo indicador
(coliformes ==> k = função do pH e T)

ver Fig. 10.29 pg. 71 do Arboleda

t = tempo de contato

$$* T = 25^\circ C \quad \text{pH: } 7 \implies k = 4,5$$

$$\text{pH: } 6 \implies k = 0,8$$

C ==> Concentração de cloro livre (CCI livre)

C_{final} ==> C_{CCI livre} + C_{consumido até break-point}

MÉTODOS DA CLORAÇÃO

A - CLORAÇÃO MARGINAL

- * Muito utilizada mas pouco recomendada
- * Consiste em adicionar suficiente quantidade de cloro para se obter residual de 0,1 a 0,5 mg/l (não se distinguindo se o residual é de cloro livre ou de cloro combinado, sendo suas propriedades bactericidas bastante diferentes)
- * Não se leva em conta a relação quantidade/tempo para o composto formado.
- * Salvo se a água possuir muito pouco nitrogênio total ($< 0,05 \text{ mg/l}$) \Rightarrow cloro aplicado estará na forma combinada (que obrigaria aumentar-se a dosagem para um mesmo tempo)

B - CLORAMINAÇÃO

Consiste em se aumentar o nitrogênio natural da água adicionando-se amoníaco de forma a manter para cada parte de cloro ao menos 0,25 partes de amoníaco. Desta forma todo cloro se converte em monocloramina.

VANTAGENS:

- residual mais estável na rede, principalmente nas “pontas de rede”.
- previne formação de sabores desagradáveis na água (por ex.: clorofenol) pois adicionando-se amoníaco logo antes do cloro, os mesmos reage rapidamente evitando a reação com outros compostos.
- monocloramina é insípida ==> permite altas dosagens.

DESVANTAGENS:

- lentidão de atuação (menor poder de oxidação) exigindo ou maiores tempos e maiores dosagens.

C. CLORACÃO AO "BREAK-POINT" OU CLORACÃO COM "CLORO LIVRE" (HOCl E OCl⁻)

- * É o método mais aconselhável do ponto de vista sanitário por proporcionar residual estável que exerce ação desinfetante por longo período e garante a destruição de patogênicos em menor tempo.
- * Geralmente destrói sabor e odor pois oxida a matéria orgânica)
- * Consiste na adição de tanto cloro quanto seja necessário para oxidar todo o NH₃ presente na água e deixar um residual de HOCl, de OCl⁻ ou de uma combinação de ambos de acordo com o pH da água.
- * Águas muito contaminadas podem requerer altas dosagens e mesmo assim não se obtém residual de cloro livre mas sim uma mistura de "cloro livre + combinado" que pode ter sabor desagradável.

***Na desinfecção é muito importante a relação entre a concentração e o tempo de contato disponível. O serviço de Saúde Pública dos Estados Unidos (1946) fixou os seguintes valores para cloro livre e cloro combinado:**

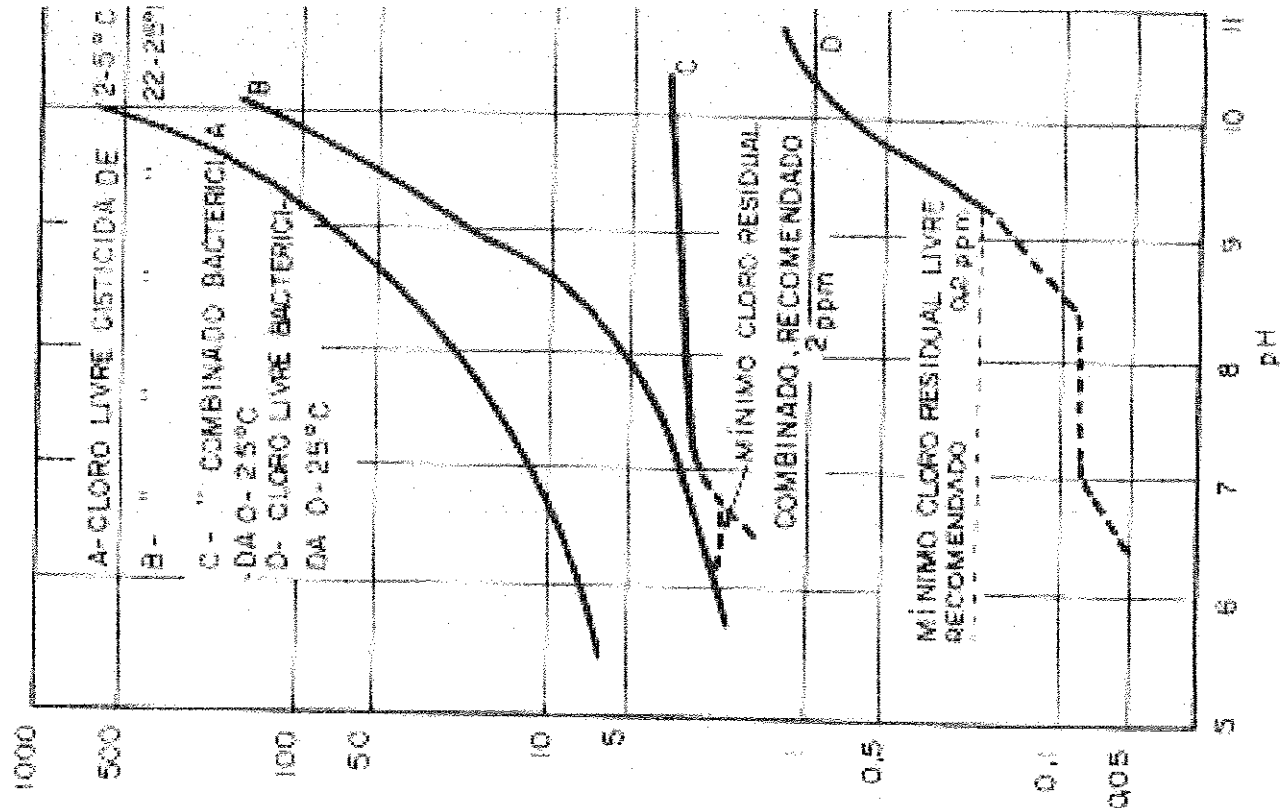
Residual mínimo de "Cloro Livre" (mg/l) para destruição de 100% de E. Coli em função do pH + temperatura e tempo

pH	2° C a 5° C			20° C a 25° C		
	10 min	20 min	60 min	10 min	20 min	60 min
7,0	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04
8,5	0,14	0,07	0,05	0,07	0,07	0,05
9,8	0,72	0,04	0,50	0,30	0,06	0,06
10,7	> 1,0	> 1,0	0,30	0,40	0,30	0,30

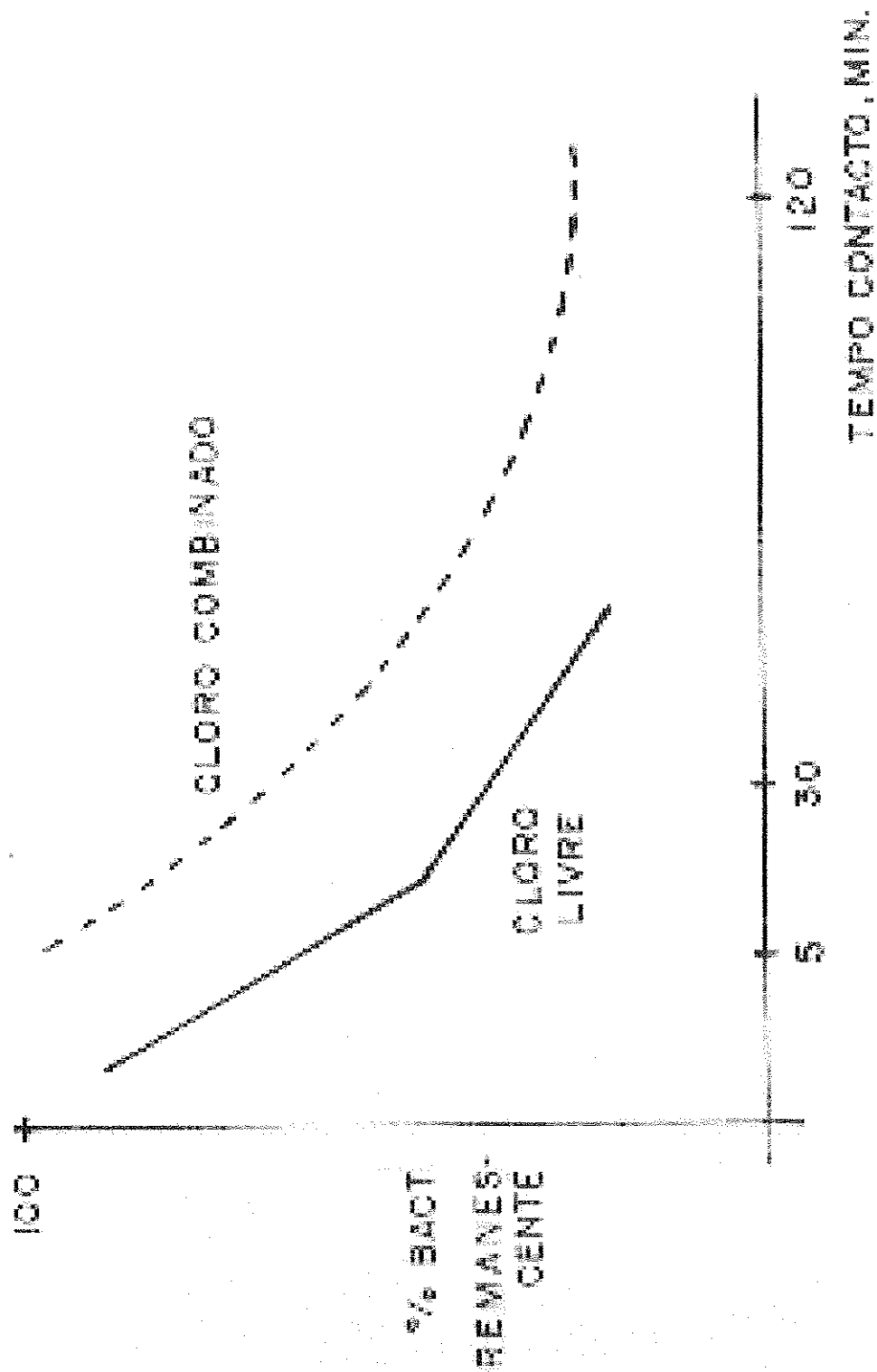
Residual mínimo de "Cloro Combinado" (mg/l) p/ destruição de 100% de E. Coli.

pH	2° C a 5° C			20° C a 25° C		
	10 min	20 min	60 min	10 min	20 min	60 min
6,5	---	---	---	1,5	0,9	0,3
7,0	1,8	1,2	0,9	1,8	1,2	0,6
7,8	---	---	---	> 1,8	1,5	0,9
8,5	1,8	1,8	1,8	> 1,8	1,8	1,2
9,5	> 1,8	> 1,8	1,8	1,8	1,8	1,5
10,5	---	---	---	> 1,8	> 1,8	1,8

RESIDUAL MÍNIMO APOS 30 min. CONTATO, ppm



Residual mínimo de cloro livre e combinado para destruição de bactérias e cistos



Eficiência da desinfecção de uma água contendo E. coli com cloro livre e combinado. Dose = 1 mg/L

EXEMPLO

Deseja-se clorar o efluente de uma E.T.A.. O tempo de contato é de 60 min. O conteúdo de nitrogênio amoniacal é de 0,2 mg/l e o pH 8,0 (temp.: 22°C).

Qual a dosagem para destruição de coliformes.

Sabe-se que o "break-point" ocorre para uma relação Cl : N = 8,5 : 1,0

Cloração
CLORO LIVRE

$$C = \frac{k^{1/n}}{A} = \frac{12,0}{60} = 0,158 \text{ mg/l de cloro livre}$$

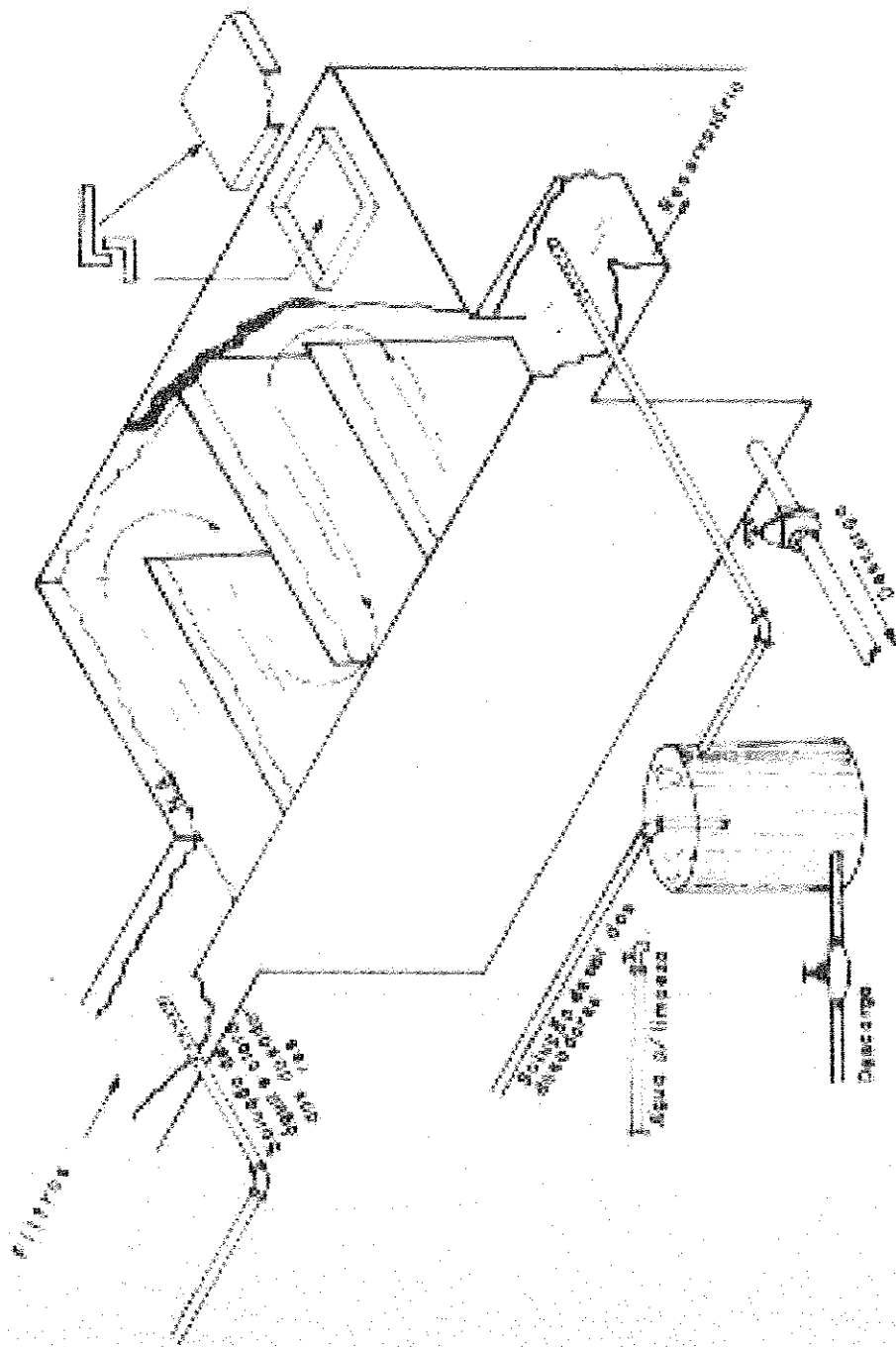
K ==> tirado da figura 10.29 (pH = 8,5 e T = 22°C)

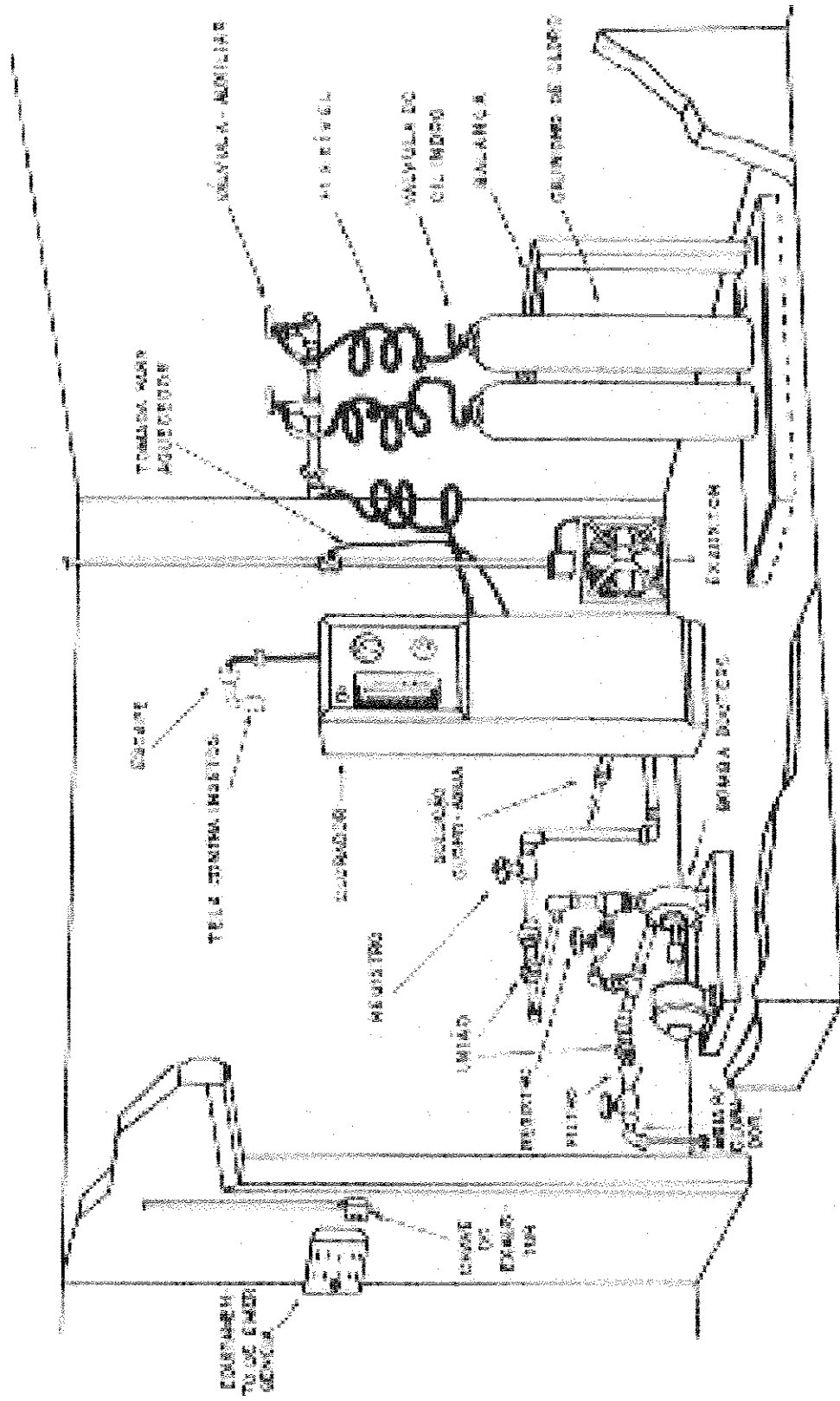
Para atingir "break-point": $8,5 \times 0,2 \text{ (NH}_3\text{)} = 1,7 \text{ mg/l de cloro}$

Portanto para se obter 0,158 mg/l de cloro livre, deverá ser dosado aproximadamente: $1,7 + 0,158 = 1,9 \text{ mg/l}$

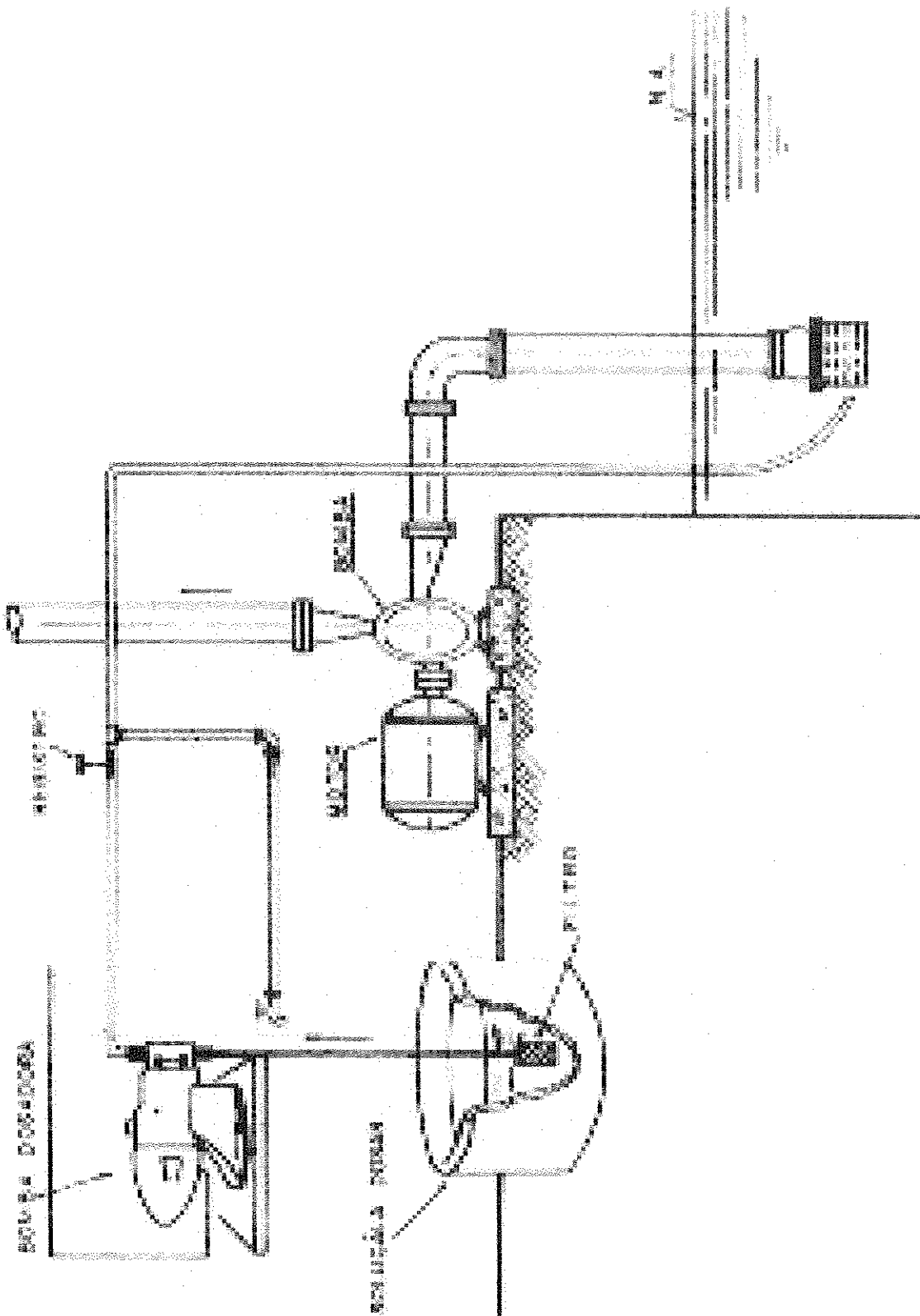
Como o cloro livre diminui com o tempo, poderia-se dosar 2,2 mg/l ou observar-se os residuais na rede.

Esquema mostrando os pontos de aplicação de cloro e cal de correção

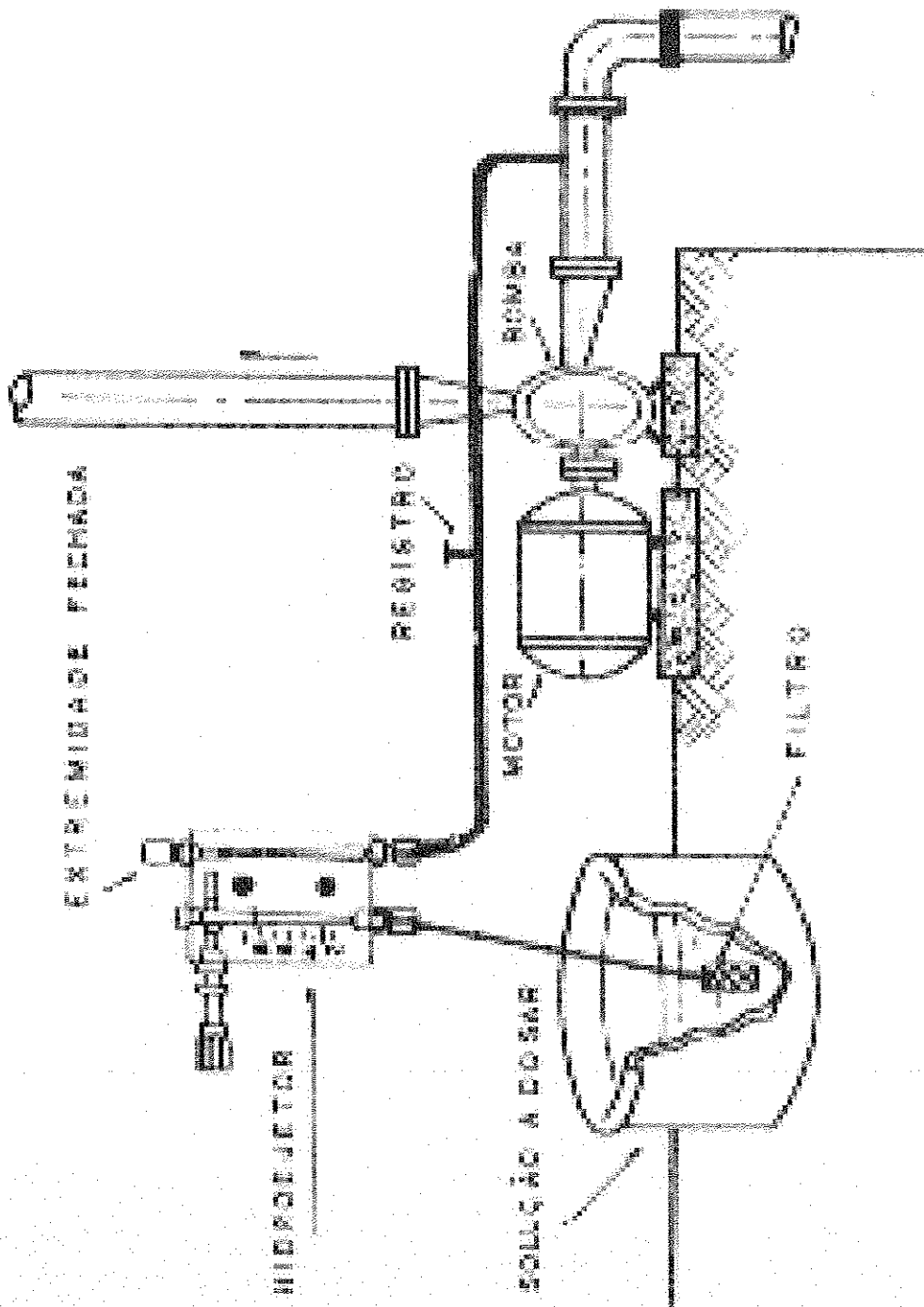




Modelo para pequenas ou médias instalações

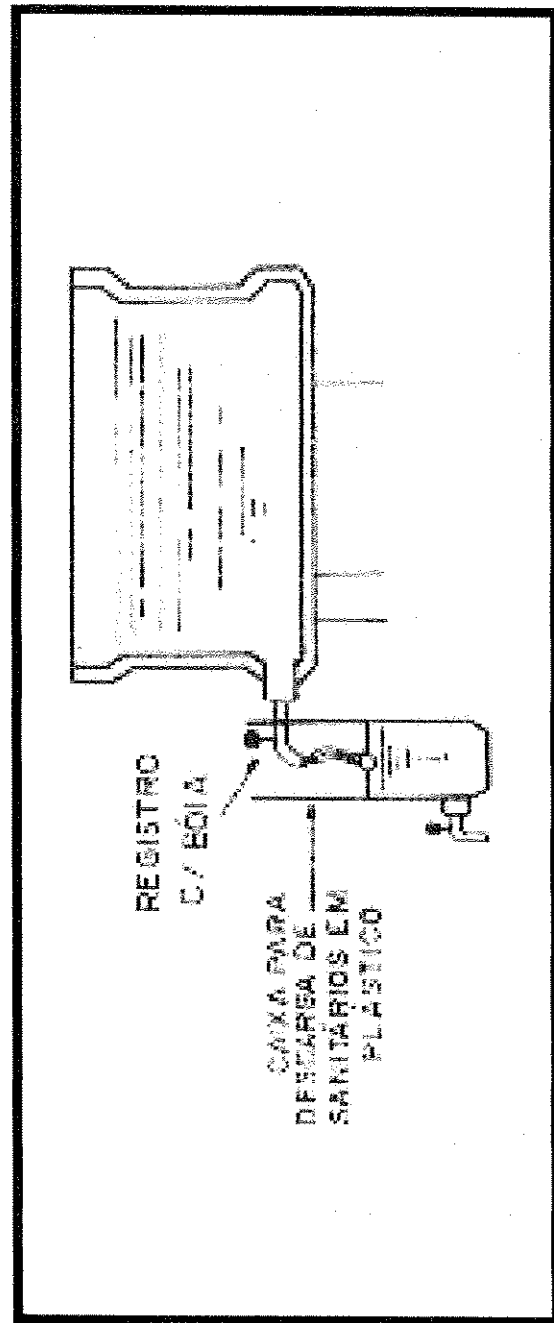
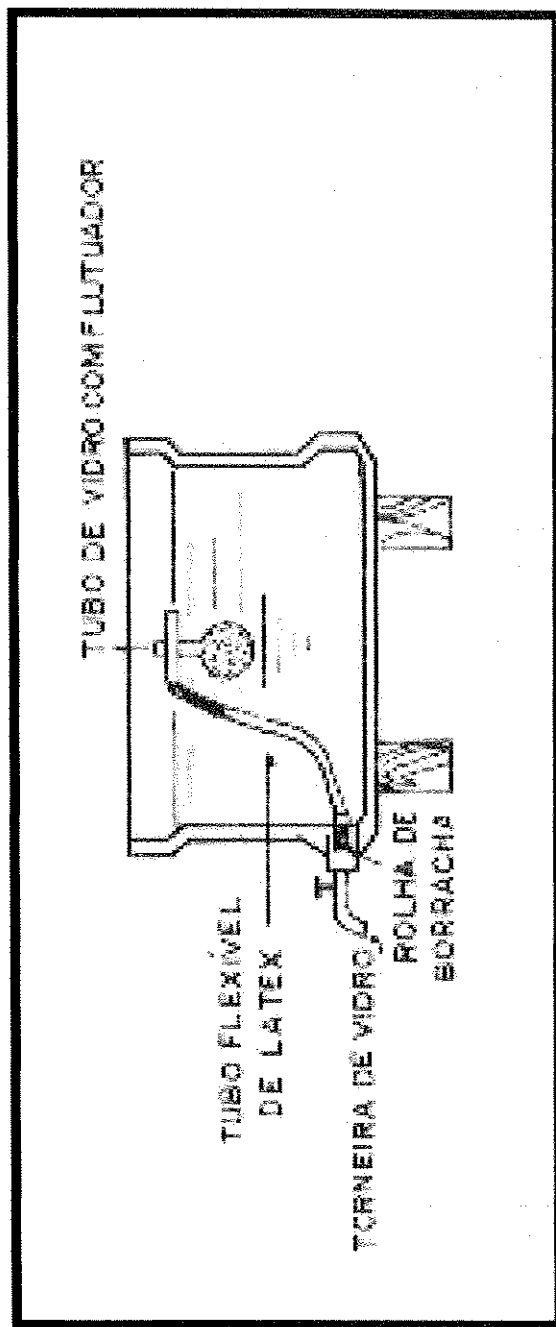


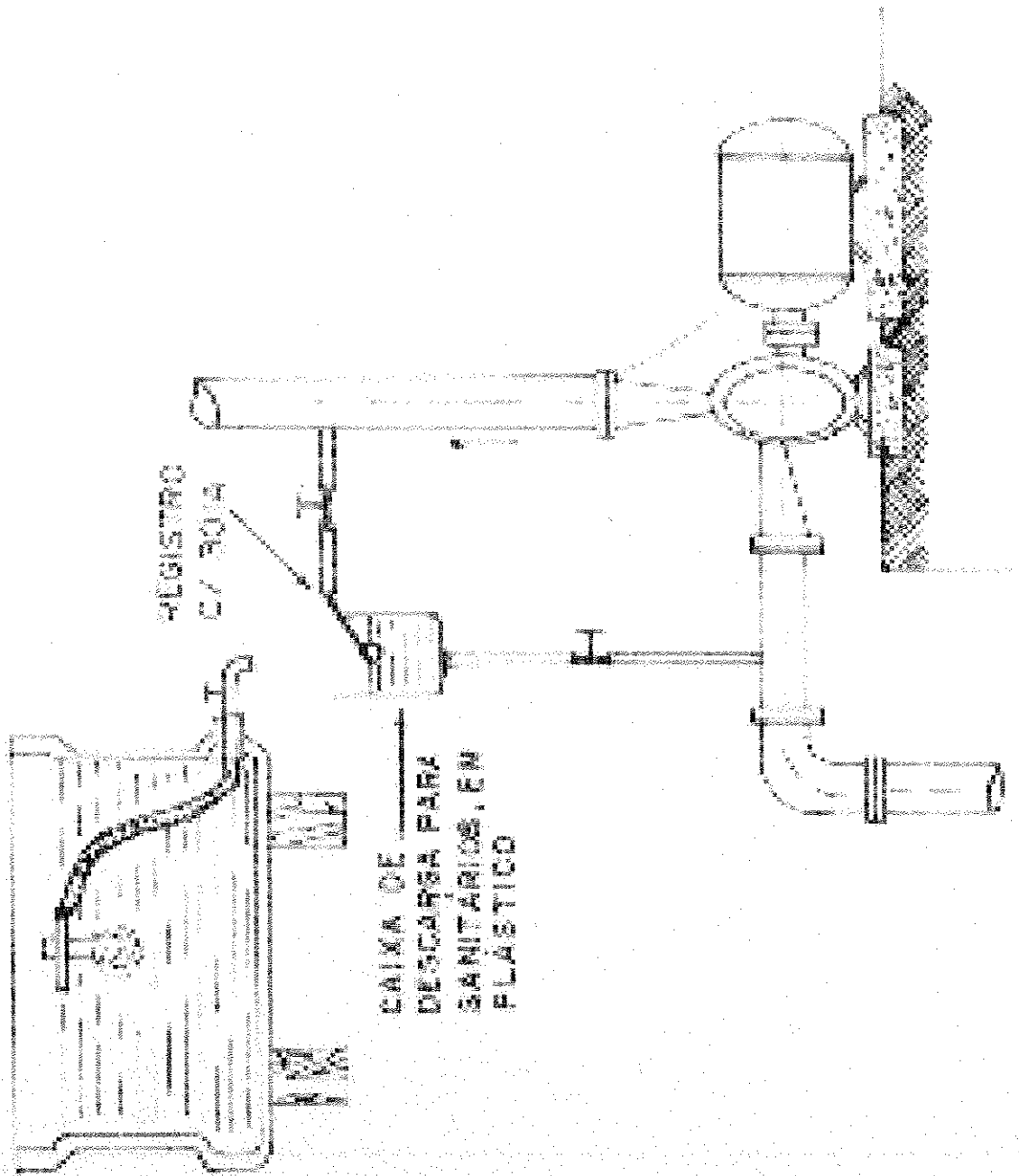
Esquema de montagem para pressões de recalque dentro dos valores especificados para as bombas dosadoras



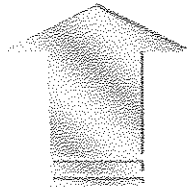
**Instalação do Hidrojetor para dosagem de até 5 L/h de
Solução Desinfetante**

Em situações de emergência poderão ser utilizados os seguintes dispositivos:

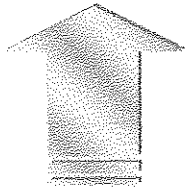




FLUORETAÇÃO DAS ÁGUAS



a) 1916 - Frederick McKay (U.S.A.): observou manchas nos dentes de seus clientes causadas por fluoretos



b) 1931 - Churchill: observou que nas regiões endêmicas o teor de fluoretos era maior que 2,0 mg/l

Chegou à conclusão que criança com fluorese apresentavam menor quantidade de cáries, e que para concentrações de fluoreto próximas a 1,0 mg/l a redução de cáries era máxima (da ordem de 60%) nas crianças.

No Brasil a 1a. cidade com água fluoretada: Baixo Guandú - E.S. (1953)

1974: Lei nº 6050 regulamentada pelo Decreto 76872: determinam a inclusão de planos relativos a fluoretação onde existam E.T.A.s

CONCENTRAÇÃO DESEJÁVEL (Serv. Saúde Pública - USA)

Média anual das temp. máximas	Limites recomendados p/ conc. de ion fluoreto (mg/l)		
	Inferior	Ótimo	Superior
1,0 a 12,1	0,9	1,2	1,7
12,2 a 14,6	0,8	1,1	1,5
14,7 a 17,7	0,8	1,0	1,3
17,8 a 21,4	0,7	0,9	1,2
21,5 a 26,3	0,7	0,8	1,0
26,4 a 32,5	0,6	0,7	0,8

*** Limite máximo tolerável (OMS): 1,5 mg/l**

Características dos compostos utilizados	Fluor silicato de sódio (Na_2SiF_6)	Ácido fluorsilícico (H_2SiF_6)	Fluoreto de Sódio (NaF)	Fluoreto de Cálcio (CaF_2)
Forma	pó	líquido	pó	pó
Peso molecular	188,05	144,08	42,00	78,08
Pureza comercial (%)	98,5	22 - 30	90 - 98	85 - 98
Ion Fluoreto (%)	---	---	---	---
Composto 100% puro	60,7	79,02	42,25	48,8
Densidade (kg/m^3)	881 - 1153	1,25 kg/l	1041 - 1442	1618
Solubilidade a 25°C ($\text{g}/100\text{H}_2\text{O}$)	0,762	infinita	4,05	0,0016
pH da solução saturada	3,5	1,2 (sol. 1%)	7,6	6,7