

CONSELHO REGIONAL DE QUÍMICA - IV REGIÃO (SP)



Minicursos 2009

Tratamento químico de água de resfriamento

Ministrante: **Bel. em Química e Física José Otávio M Silva**

Diretor da Aquaplan Tecnologia

Contatos: aquaplan@aquaplan.com.br

Apoio



Ribeirão Preto, 19 de setembro de 2009



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

PRINCÍPIOS BÁSICOS DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

José Otávio Silva

Diretor da Aquaplan Tecnologia



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

José Otávio Mariano Silva

- **Extensa experiência nas áreas de Tratamento de Águas Industriais e Especialidades Químicas**
- **Químico pela Universidade Mackenzie**
- **Físico pela Universidade de São Paulo**





MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Vinculações



Conselho Regional de Química 4ª Região

Amcham - Câmara Americana de Comércio



ABEQ - Associação Brasileira de Engenharia
Química



ABC - Associação Brasileira de Cosmetologia



CTI - Cooling Technology Institute, Houston, USA



ACS - American Chemical Society, Washington,
DC, USA



SBF - Sociedade Brasileira de Física



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

José Otavio Mariano Silva

Autor ou co-autor de numerosos trabalhos técnicos apresentados e publicados no Brasil e no exterior sobre tratamento de águas industriais:

Petrobrás

ABRACO - Associação Brasileira de Corrosão

IWC - International Water Conference

NACE - National Association of Corrosion Engineers

CTI - Cooling Technology Institute

ABC - Associação Brasileira de Cosmetologia.



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

ÁGUA: sua importância


- Um dos 4 elementos da antiguidade: água, ar, terra e fogo.
- Não há vida sem água: uma pessoa saudável pode viver até 30 dias sem comida, mas morrerá em uma semana sem água.
- Consumo mundial: 2.270 km³ / ano
- Reservas estipuladas pela ONU: mínimo de 2.000 metros cúbicos / ano / pessoa;



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

ÁGUA: escassez ou abundância ?

- Planeta **ÁGUA**: 75% da superfície terrestre são cobertos por água  1.4 bilhão de km³.
- Porém apenas 3% são água doce!
- Desta pequena porção, 2% estão congelados em geleiras, calotas polares e neves eternas;
- Conclusão: apenas <1% do total é água doce disponível!



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

ÁGUA: escassez ou abundância ?

- Se toda a água do mundo coubesse em um balde, a água doce corresponderia a apenas uma colher de sopa!
- 26 países, abrigando 250 milhões de pessoas, já foram oficialmente declarados pela ONU como áreas de escassez crônica de água.





MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Usos da água na indústria

Matéria prima (água de processo)

Geração de vapor (água de caldeiras)

Resfriamento

Uso doméstico (potável e sanitário)

Conseqüência  efluentes (águas residuárias)



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

A água como meio ideal de transmissão de calor

- 66 anomalias
- Baixo custo
- Alto calor específico
- Abundância
- Segurança



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Resfriamento - Requisitos

Especificações: não há definições internacionalmente válidas; são especificadas segundo as necessidades de processo, usuário ou empresa tratadora de água

Alguns parâmetros contudo, são geralmente aceitos:

- **Baixo teor de sais de dureza**
- **Mínima quantidade de sílica**
- **Mínima quantidade de ferro, cobre e manganês**
- **Ausência de sólidos suspensos**
- **Mínimo teor de matéria orgânica (DBO e DQO)**



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

CALOR X TEMPERATURA

- **Calor:** É uma forma de energia em trânsito. Está sempre se transferindo de um corpo com maior temperatura para um corpo de menor temperatura. O calor não pode ser armazenado.
- **Temperatura:** É uma medida da energia de vibração das moléculas que compõem um certo corpo. Quanto maior é a vibração das moléculas, maior será a temperatura. É a diferença de temperatura que promove a transferência de calor.



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Analogia

Fluxo	Força Motriz	Observações
Calor	Diferença de potencial térmico (Temperatura)	Quanto maior a diferença de temperatura, maior é o fluxo de calor.
Corrente Elétrica	Diferença de potencial elétrico (Voltagem)	Quanto maior é a diferença de voltagem, maior será a intensidade da corrente elétrica.
Fluido (líquido ou gás)	Diferença de potencial gravitacional (altura) ou de pressão	Quanto maior é a diferença de altura e/ou de pressão entre dois pontos do fluido, maior será a vazão do mesmo.



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

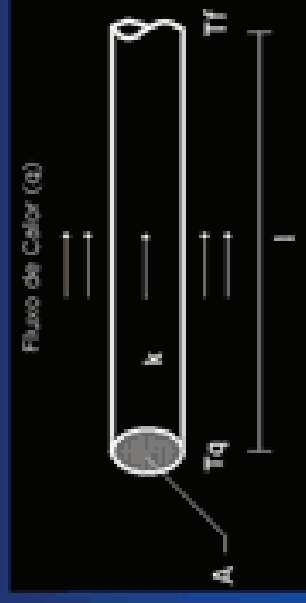
TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Mecanismos de Transferência de Calor

- Condução
- Convecção
- Radiação

Condução

- Calor flui pelo contato direto, molécula a molécula
- Nas caldeiras, ocorre condução de calor pelo metal
- Lei de Fourier:
 - $T_q > T_f$
 - k = Condutividade térmica ($W/h.m2.°C$)
 - T = Temperatura
 - A = Área



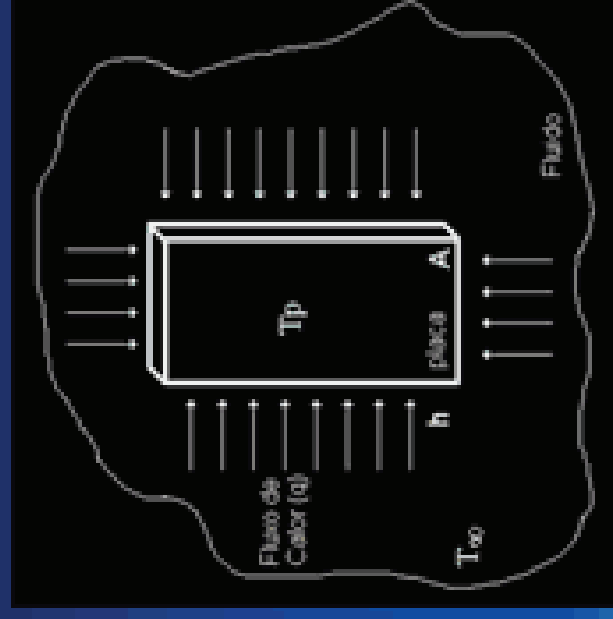
$$q = k \cdot A \cdot \frac{(T_q - T_f)}{l}$$

Convecção

- Envolve corpos fluidos (líquidos e gases)
- Indica movimento - natural ou forçada
- Lei do Resfriamento de Newton

$$T_{\infty} > T_p$$

h = Coeficiente de transferência de calor por convecção ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)



$$q = h \cdot A \cdot (T_{\infty} - T_p)$$

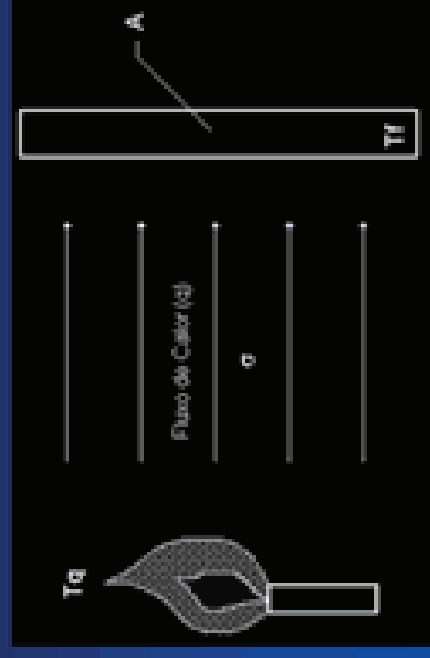


MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Radiação

- Predominante em temperaturas elevadas
- Transferência por ondas eletromagnéticas
- Sol
- Na caldeira, a radiação ocorre na fornalha (60 a 80% do calor transferido)



$$q = \sigma \cdot \varepsilon \cdot A \cdot (T_q^4 - T_f^4)$$

- Lei de Radiação

ε = Emissividade

σ = Cte. Stefan-

Boltzman (5,669.10-8

W/m².K⁴)



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Equipamentos: torres de resfriamento, chillers, tubulações e trocadores de calor

- **Construção:** aço carbono, cobre, latão, aço galvanizado, aços inoxidáveis
- **Baixo preço**
- **Facilidade de construção e manutenção**
- **Bom condutor de calor**



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Torres de resfriamento: principais tipos

Circulação de ar induzida

Circulação de ar forçada

Hiperbólicas (ou circulação natural)



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

**Torres de
resfriamento:
principais tipos**

**Circulação de
ar induzida**



Fonte: Marley Corp.



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

**Torres de
resfriamento:
principais tipos**

**Circulação de
ar forçada**



Fonte: Marley Corp.

Conselho Regional de Química IV Região (SP) – Apoio: Caixa Econômica Federal



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Torres de resfriamento: principais tipos

Hiperbólicas (circulação natural)



Fonte: Marley Corp.

Conselho Regional de Química IV Região (SP) – Apoio: Caixa Econômica Federal



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

**Torres de resfriamento:
materiais de construção**

Madeira

Concreto

Aço galvanizado

FRP (plástico reforçado ou fiberglass)



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Torres de resfriamento: Legionelose

Deteção inicial: 1976 – Hotel Bellevue- Stratford, Philadelphia, EUA (34)

Surtos importantes:

- **Holanda, 1999 (32)**
- **Espanha, 2001 (6)**
- **Inglatera, 2002 (28)**
- **Pas-de-Calais, França, 2004 (18)**
- **(X) número de mortos**



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Chillers: funcionamento e aplicações



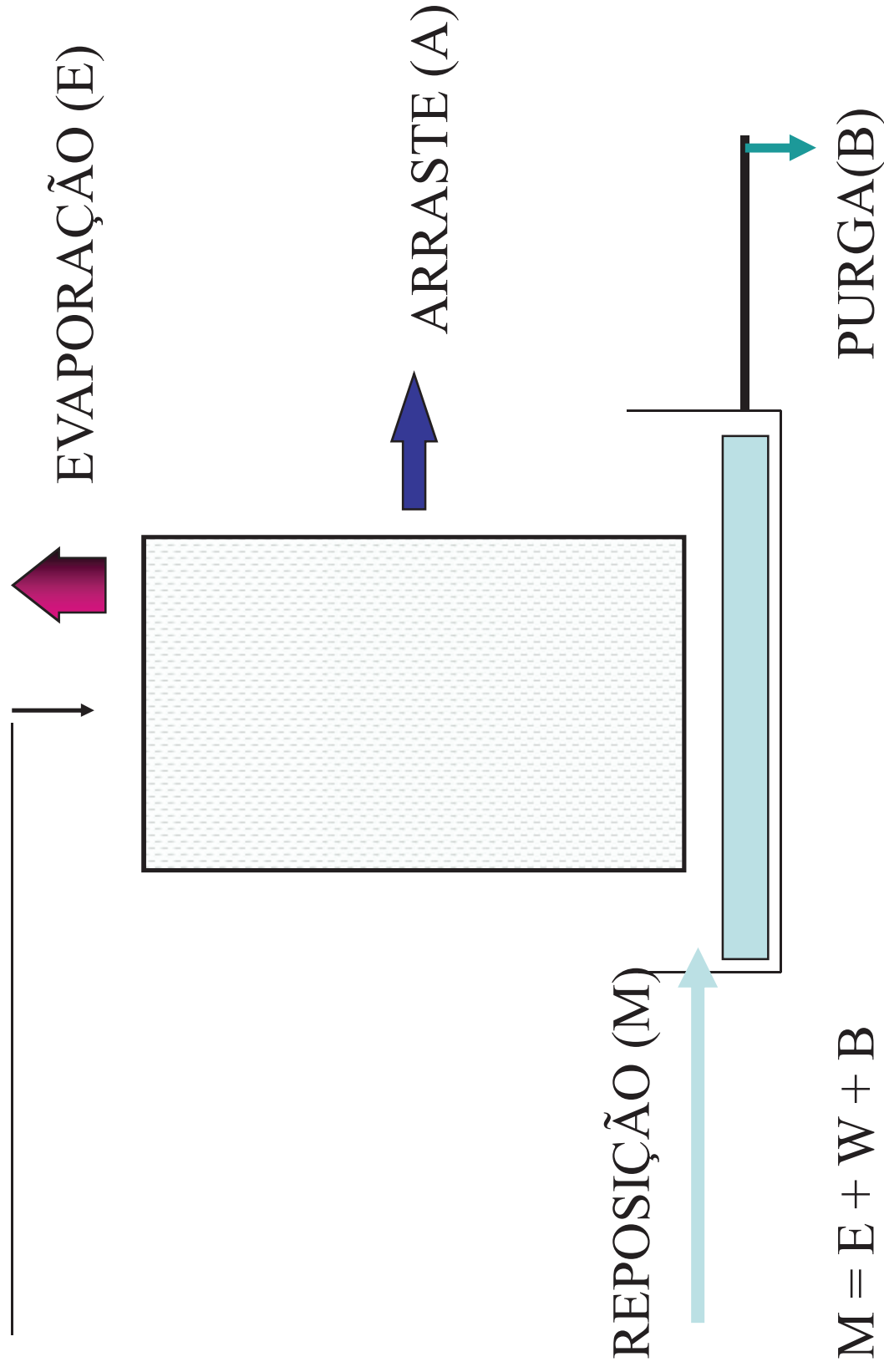
Fonte: York

Conselho Regional de Química IV Região (SP) – Apoio: Caixa Econômica Federal



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO





MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Sistemas abertos

- Quando há evaporação, a energia é usada para expelir o vapor
- Esta perda de energia resulta em resfriamento da água
- Evapora-se água pura (gases também podem sair)
- Os sólidos dissolvidos permanecem na água



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

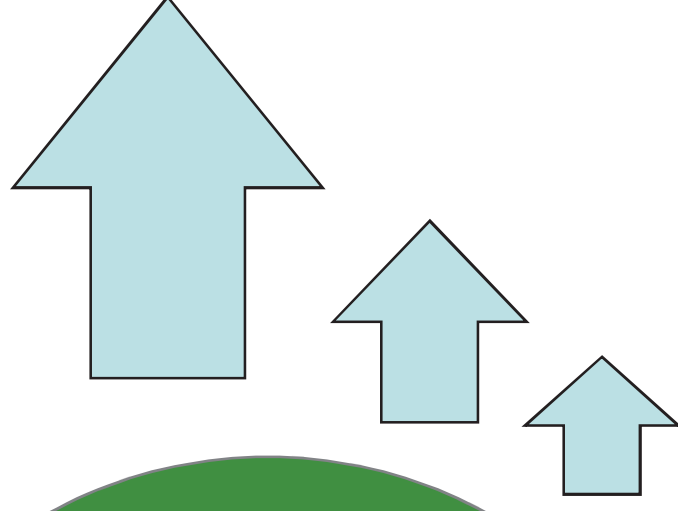
Água de resfriamento

A gotícula d'água
se resfria por:

EVAPORAÇÃO

RADIAÇÃO

CONVECÇÃO





MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Equações úteis

$Q = \text{vazão m}^3/\text{hora}$

$E = Q \times \text{delta } T(^{\circ}\text{C}) / 560$

$A = 2\% \text{ de } Q \text{ (tiragem forçada)}$

$A = 0.6\% \text{ de } Q \text{ (tiragem natural)}$

$B = E / (C - 1) - A$

$M = E + B + A$



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

**Causas da formação de depósitos e
incrustações em sistemas de resfriamento**





MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Composição da crosta terrestre

Óxidos	Porcentagem
SiO ₂	59.71
Al ₂ O ₃	15.41
CaO	4.90
MgO	4.36
Na ₂ O	3.55
FeO	3.52
K ₂ O	2.80
Fe ₂ O ₃	2.63
H ₂ O	1.52
TiO ₂	0.60
P ₂ O ₅	0.22
Total	99.22



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Contaminantes da água

Inorgânicos

carbonatos
bicarbonatos
Sulfatos
Cloretos
Nitratos
Cálcio
Magnésio
Ferro
Cobre
Manganês
Sílica
Fluoretos

Orgânicos

Ácidos húmicos
Taninos
Gases dissolvidos
Oxigênio
Cloro
Gás carbônico
Óxidos de enxofre (SOx)
Óxidos de nitrogênio (NOx)



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Material suspenso

- Poeira
- Contaminantes, como óleo
- Biológico, como algas, fungos e bactérias





MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Objetivos do tratamento de água

- Minimizar incrustações
- Minimizar corrosão
- Minimizar depósitos
- Minimizar bio-depositos
- Maximizar segurança
- Maximizar eficiencia
- Não poluente

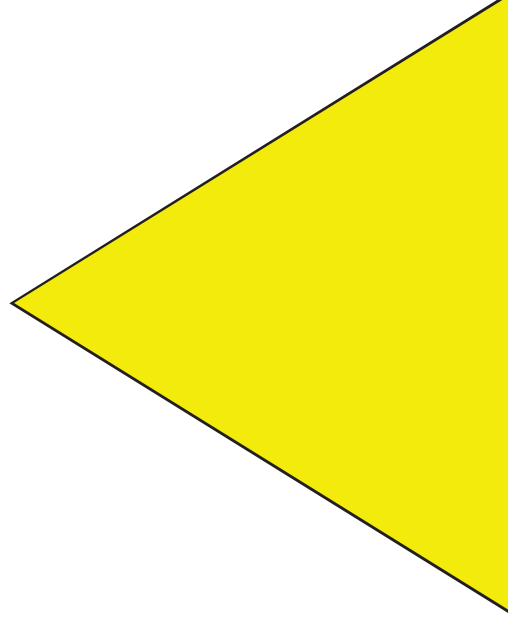


MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Trinômio do tratamento de água de resfriamento

corrosão



incrustações

Microbiologia



Causas da formação de incrustações em sistemas de resfriamento

- Solubilidade dos sais
- Carbonato de cálcio reage com água saturada com gás carbônico, formando bicarbonato de cálcio.
- $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$
- $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \xrightarrow{\text{calor}} \text{CaCO}_3 \text{ precipitado} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$
- A redução na solubilidade e subsequente precipitação de sólidos é conseqüência de se buscar os níveis mais estáveis de energia dentro do sistema químico, do mesmo modo que a corrosão é conseqüência de o metal sempre tender em direção a sua condição de mais baixa energia. As incrustações e lamas podem portanto ocorrer devido a reações químicas que levam a compostos menos solúveis.



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Ciclos de Concentração

- O número de vezes que os sólidos aumentam no sistema chama-se ciclo de concentração (CC).
- CC é controlado por
 - Para aumentar o CC – reduza a purga
 - Para reduzir o CC – aumente a purga

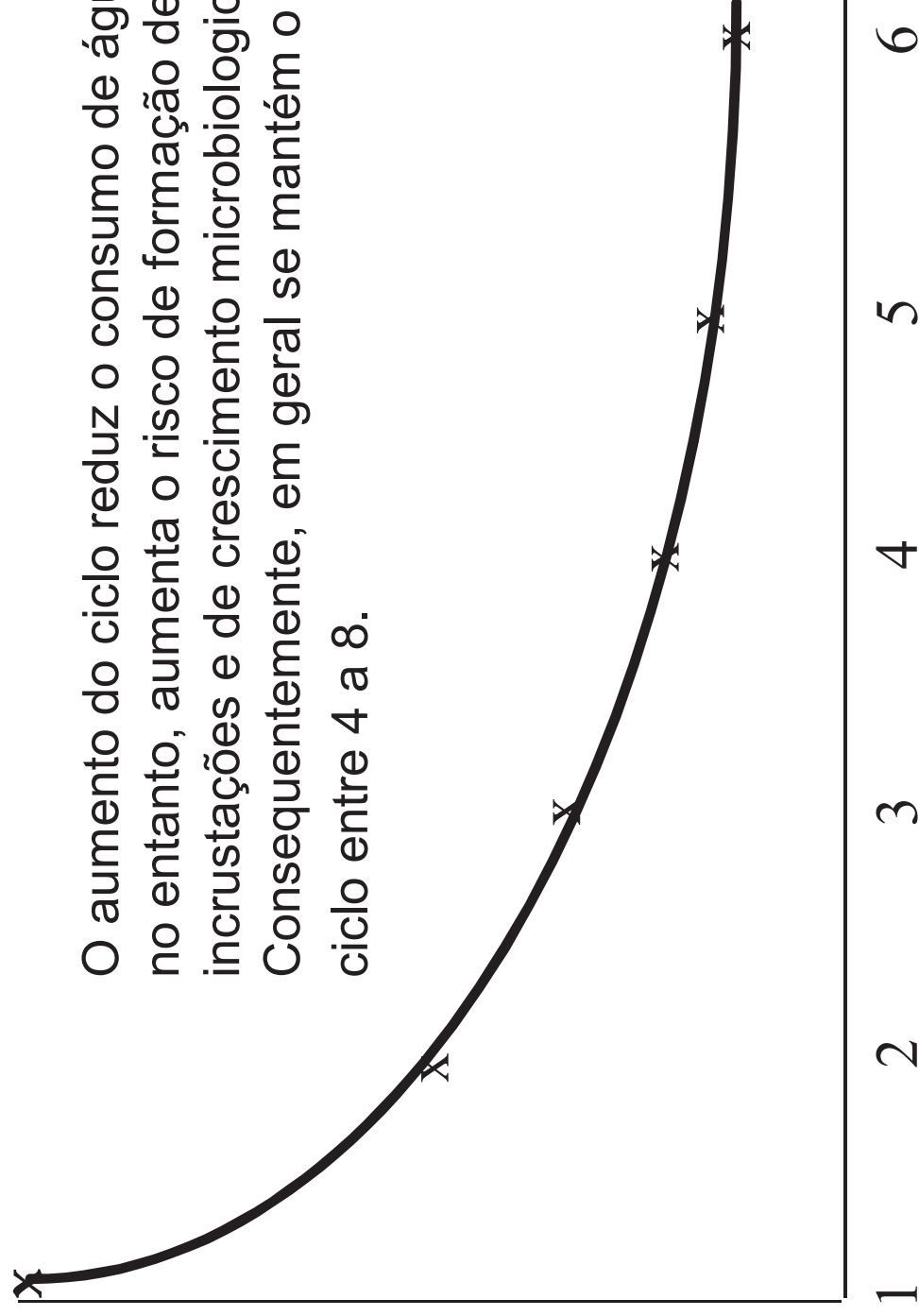


MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

O aumento do ciclo reduz o consumo de água; no entanto, aumenta o risco de formação de incrustações e de crescimento microbiológico. Conseqüentemente, em geral se mantém o ciclo entre 4 a 8.

Consumo de água



Ciclo de Concentração



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Controle da purga

- Efeitos da purga:
 - Purga demasiada:
 - Baixo ciclo de concentração
 - Perda de água
 - Perda de produtos químicos
 - Purga insuficiente:
 - Alto ciclo de concentração
 - Risco de incrustações /depósitos
 - Aumento de nutrientes no sistema
 - Risco de biodepósitos



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Depósitos ou incrustações: definição e causas

- Aderente e permanente
- Contaminantes de processo
- Presentes na água: areia, barro, limo e algas
- Formados pela concentração de sais dissolvidos na água: carbonatos, sulfatos, fosfatos, sílica, cálcio, magnésio, ferro
- Formados por produtos de corrosão: óxidos de ferro, sais de zinco (white rust)



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Depósitos ou incrustações

- Reduzem troca térmica
- Facilitam a corrosão sob depósitos
- Aumentam o fator de rugosidade e a perda de carga em tubulações e trocadores de calor



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Depósitos ou incrustações em sistemas de resfriamento

Redução da troca térmica

As perdas médias de calor, em função da espessura das incrustações, são tabuladas a seguir:

<u>ESPESURA</u>	<u>% DE PERDA DE CALOR</u>
0,50 mm.....	4%
0,75 mm.....	7%
1,00 mm.....	9%
1,25 mm.....	10%
1,50 mm.....	13%
2,20 mm.....	15%
2,70 mm.....	16%



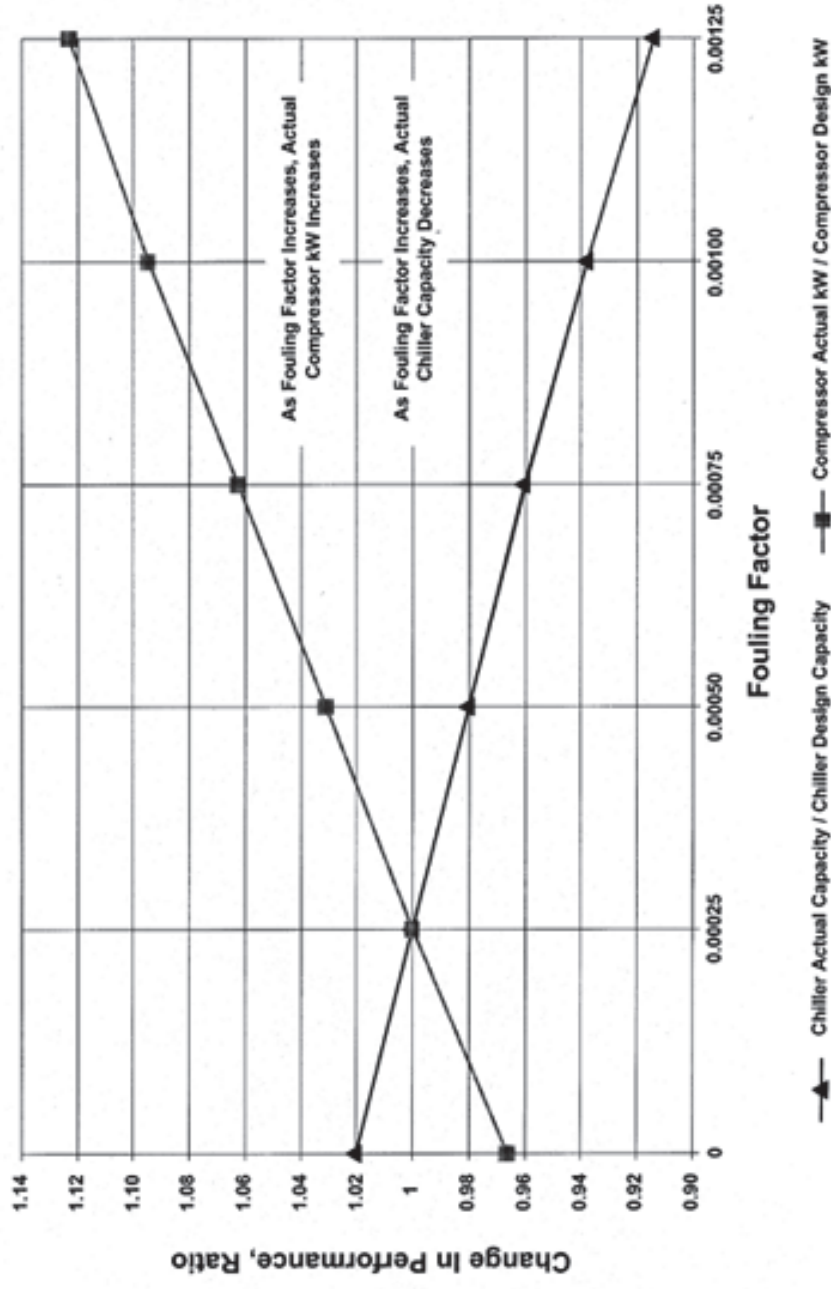
MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Depósitos: influencia no consumo de energia

From: ASHRAE 2000 Systems and Equipment Handbook, Section 35.8

Effect Of Fouling Factor On Chiller Capacity & Energy Usage





MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Formação de incrustações

- Resulta em perda da eficiência de troca térmica
 - Aumento dos custos operacionais
 - Risco de corrosão sob depósitos
 - Aumento dos custos de manutenção
- Riscos associados a bactérias
 - Implicações sanitárias (*Legionella*)



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Obstruções

- Perda de eficiência na troca térmica
 - Aumento de custos operacionais
- Corrosão sob depósito
 - Aumento da necessidade de manutenção
- Aumento dos nutrientes microbianos
 - Consequências sanitárias
- Obstruções do sistema
 - Aumento de custo e de horas paradas



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

ANÁLISE DE AGUAS TÍPICA



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Análise da água	Resultado
pH	7.7 UpA
Cor	3.00 Pt-Co
Turbidez	9.00 NTU
Sólidos suspensos	5 mg/l
Cloretos como Cl-	44 mg/l
Alcalinidade como CaCO ₃	144 mg/l
Ferro total como Fe	0,311 mg/l
Manganês (Total) como Mn	0,65 mg/l
Nitratos como N	4.0 mg/l
Dureza total como CaCO ₃	207 mg/l
Sulfatos como SO ₄	62.3 mg/l
Sílica – reativa como SiO ₂	6.9 mg/l
Sulfetos como S	0.015 mg/l
Dióxido de carbono - livre	2.50 mg/l
Sólidos dissolvidos totais a 180 °C	347 mg/l
Oxigênio dissolvido (medido em campo)	10.7 mg/l
Coliformes totais	<10/100ml NMP
E. Coli	<10/100ml NMP
Streptococcus fecais	<1 /100ml NMP



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Dureza

- A dureza é causada por sais de cálcio e magnésio dissolvidos na água
- Todos os sais de dureza são menos solúveis em água quente que em água fria (apresentam solubilidade inversa)
- Sais de dureza diferentes têm solubilidades diferentes
- A dureza é habitualmente expressa como carbonato de cálcio



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Formação de incrustações

INCRUSTAÇÃO - COMO CONTROLAR:

- PRÉ-TRATAMENTO
- PRODUTOS QUÍMICOS
- CICLO DE CONCENTRAÇÃO



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Prevenção de depósitos em sistemas de resfriamento

- Remoção dos possíveis contaminantes:
- Filtração
- Abrandamento: remoção dos sais de cálcio e magnésio (dureza)
- Deionização ou desmineralização
- Osmose reversa
- Remoção de ferro e manganês (cloração, greensand e outros oxidantes)



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Filtração

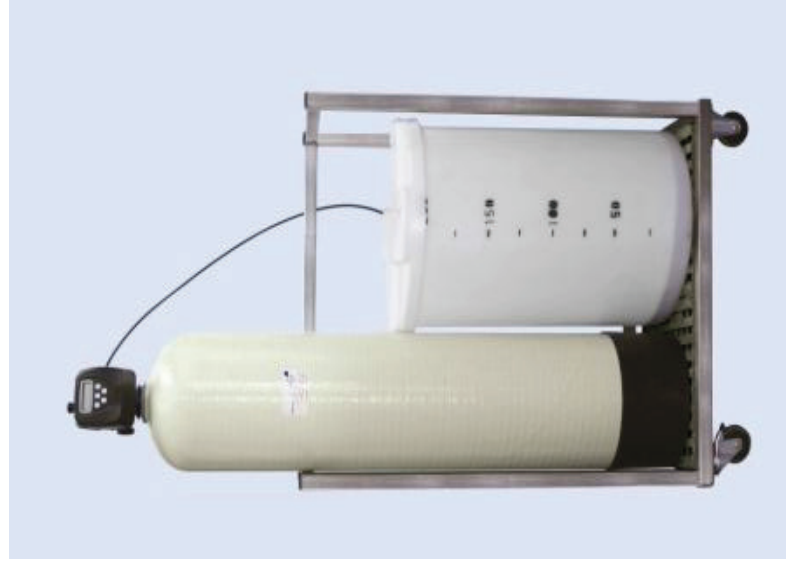
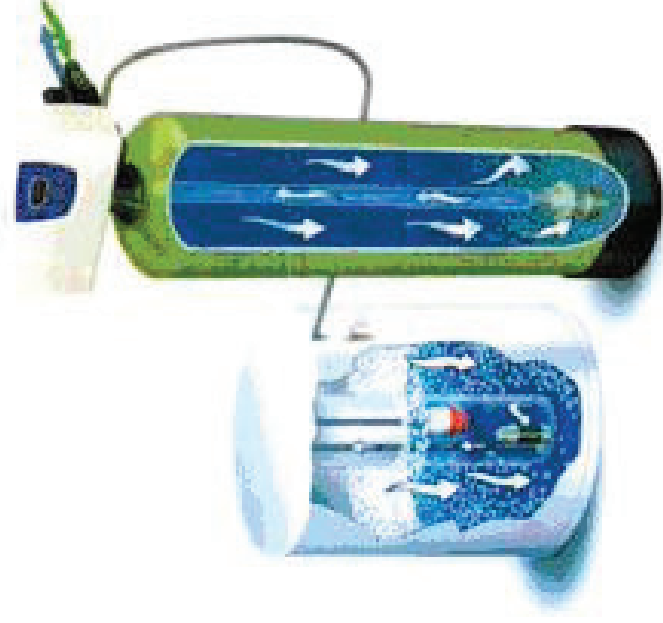




MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Abrandamento: remoção dos sais de cálcio e magnésio (dureza)

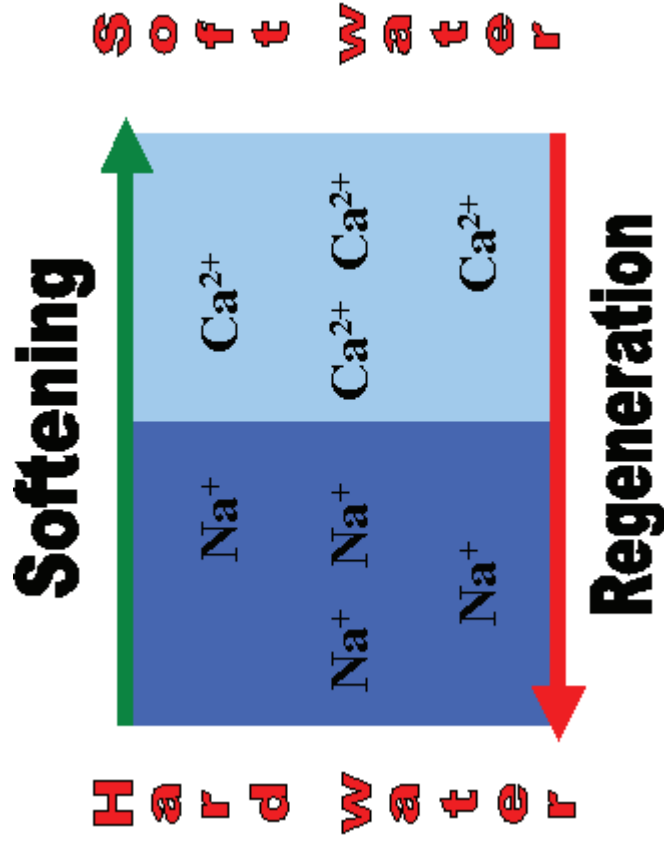




MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Ablandamento: como funciona

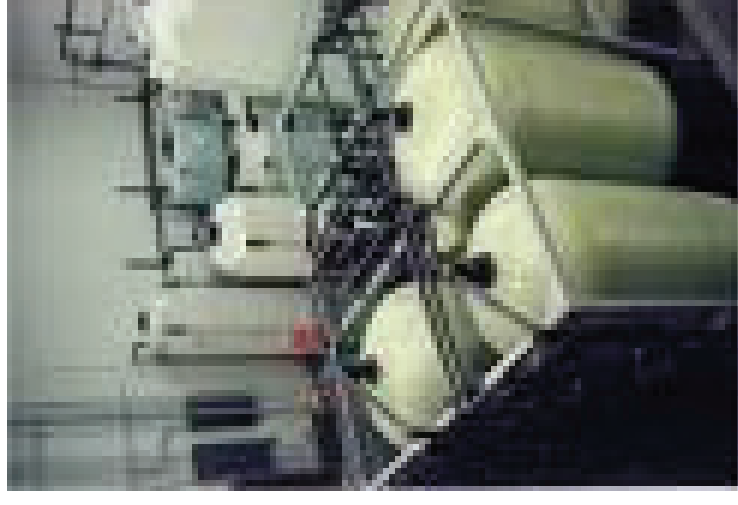




MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Deionização ou desmineralização

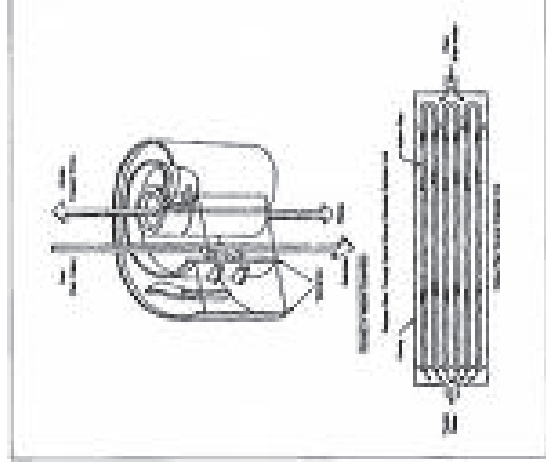
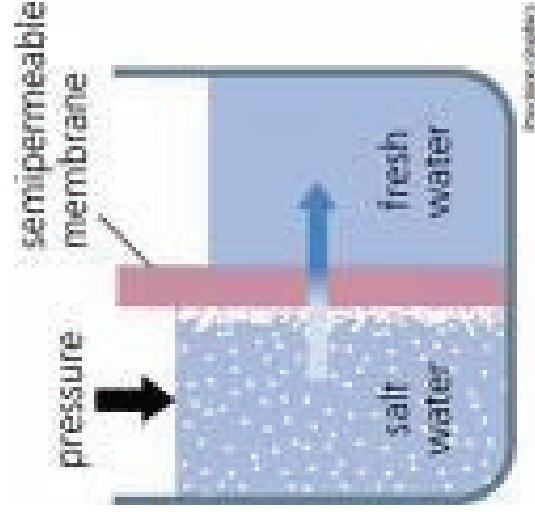




MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Osmose reversa





MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Depósitos não-biológicos

Tratados pela adição de dispersantes

A dosagem de dispersantes distorce os cristais, impedindo que assumam formas geométricas definidas, e, conseqüentemente, os aglomerados formados são irregulares e instáveis, não dando origem a incrustações de remoção difícil, como mostra a foto no. 2.

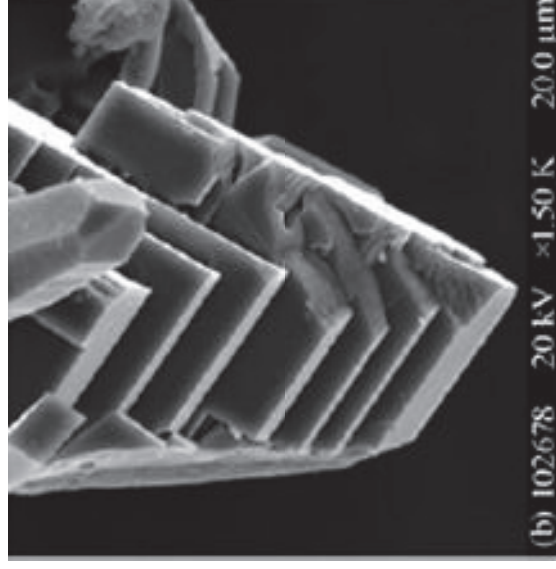


figura 1 (água sem adição de dispersantes)

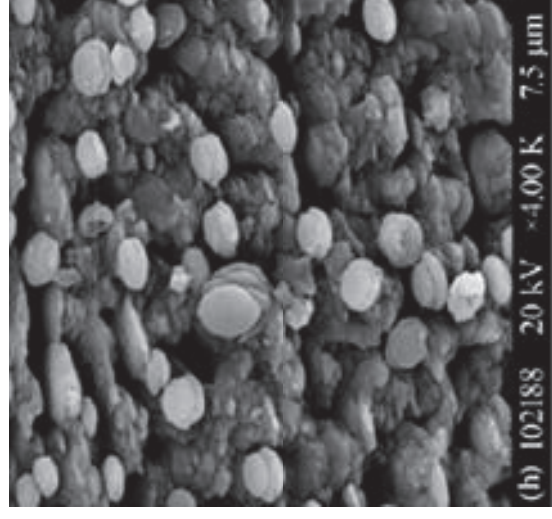
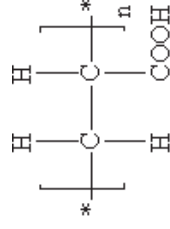


figura 2 (água com 0.5 ppm de dispersantes)

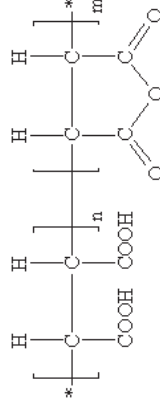


Prevenção de depósitos em sistemas de resfriamento

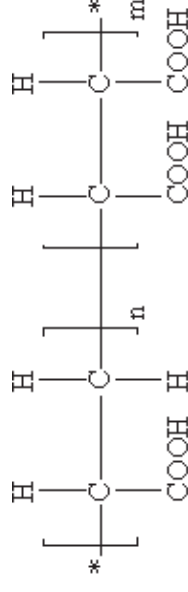
- Tratamento químico
- Reagentes não-estequiométricos



- Co-polímeros acrílico/maleico



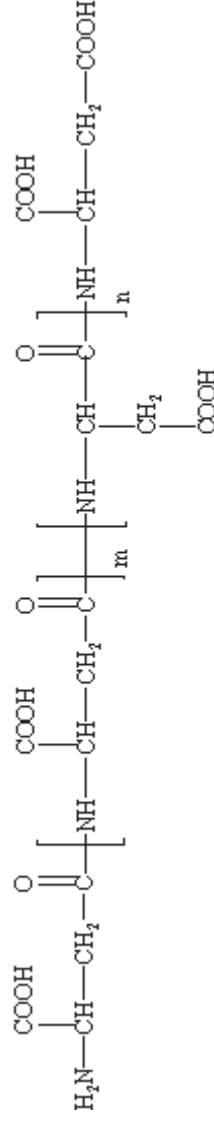
- Polimaleatos





Prevenção de depósitos em sistemas de resfriamento

- Tratamento químico
- Reagentes não-estequiométricos
- Derivados do ácido Poliepoxi-succínico (PESA)
- Tendência “verde”: sem fósforo, sem nitrogênio:
- Derivados do ácido poli-aspartico





MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Depósitos não-biológicos

- Poeira
- Ferrugem
- Contaminação de processo
 - Removíveis por dispersantes/purga/filtração
- Óleos e graxas
 - Dispersantes específicos



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

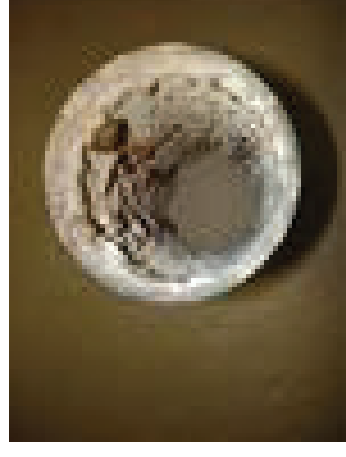
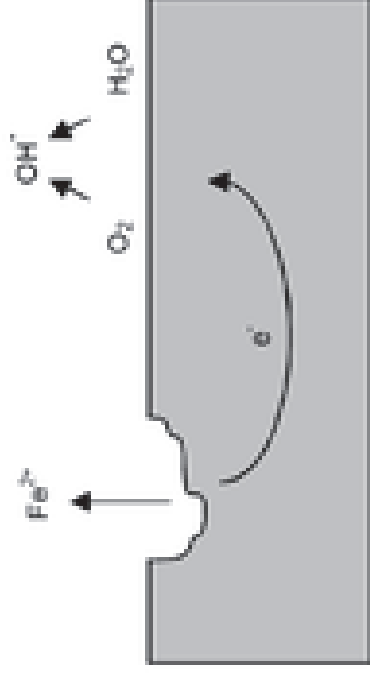
Corrosão

- Destruição de equipamento
- Aumento nos custos de manutenção
- Entupimentos
- Perda de eficiência devido ao aumento dos custos de bombeamento
- Perda de eficiência na troca térmica
- Aumento na oferta de nutrientes microbiológicos
- Nos EUA: 3.1% do PIB



Corrosão

- Os metais ocorrem na forma de minérios, exigindo grande quantidade de energia para sua conversão a metais.
- O aço se corrói buscando seu estado natural (baixa energia)
- A corrosão é um processo eletroquímico





MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Tipos de corrosão

- Generalizada ou uniforme
- Puntiforme ou pitting
- Galvanica
- Por stress
- Sob depósitos
- Microbiologica (MIC)
- Por impacto



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Corrosão generalizada (uniforme)

- Ocorre raramente
- Uniformemente distribuída por todo o metal





MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Corrosão puntiforme (*pitting*)

- É a mais frequente
- Insidiosa
- Pode ocorrer sem ser percebida



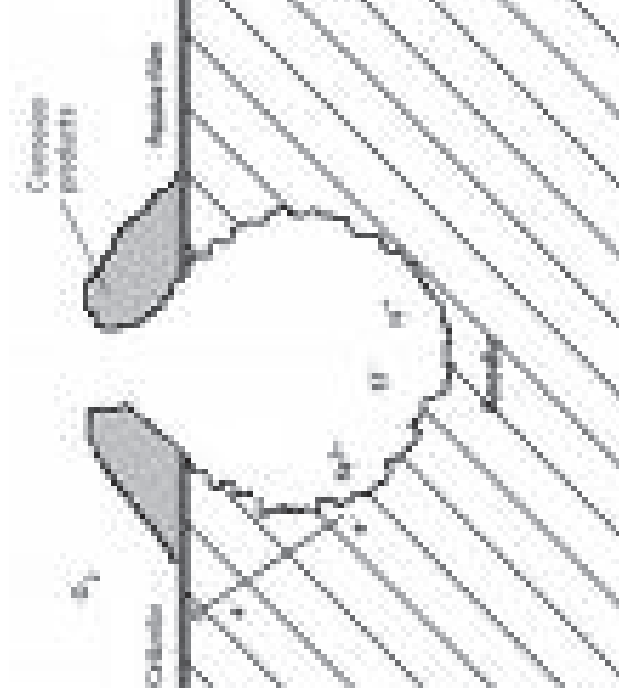


MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Corrosão puntiforme (*pitting*)

- Mecanismo





MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Corrosão galvânica

- Decorre da junção de dois metais de eletronegatividade diferente



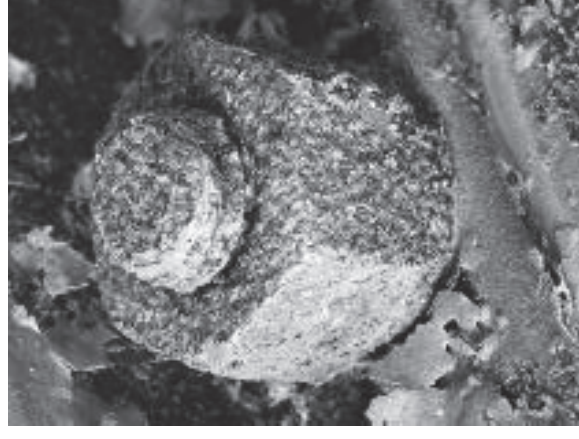
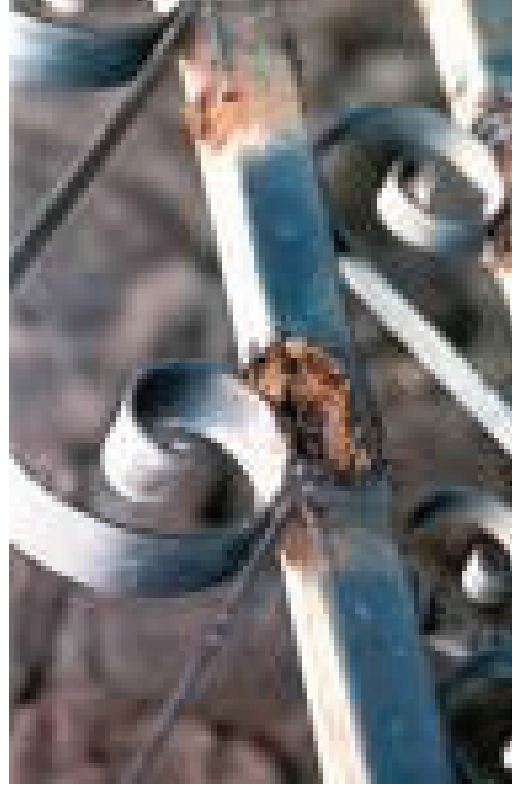


MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Corrosão por stress

- Causada por tensões não-aliviadas



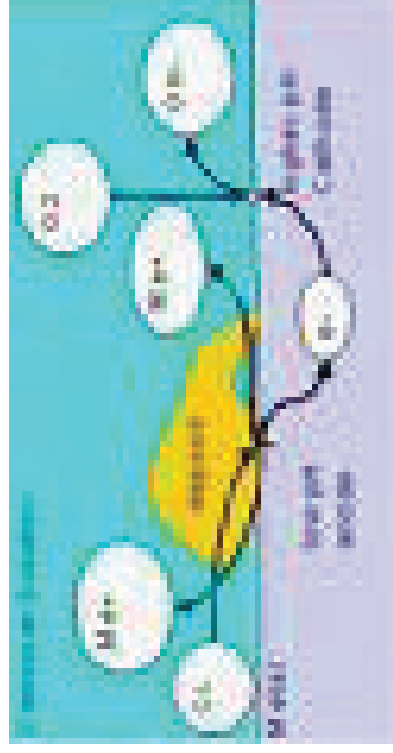
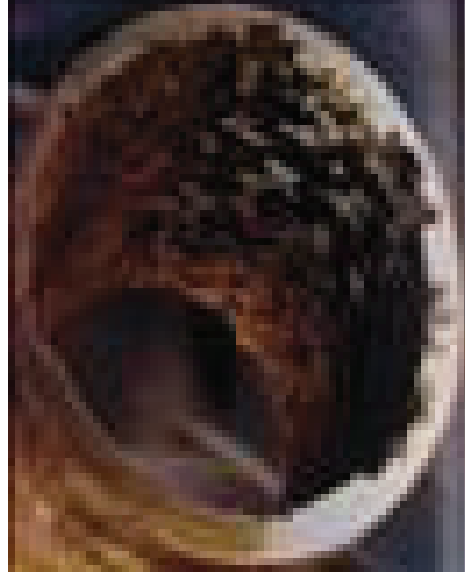


MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Corrosão sob depósitos

- Causada por aeração diferencial





MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Corrosão microbiológica (MIC)



- Destruição de equipamento



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Corrosão por impacto

- Metais moles, como cobre e estanho





MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Controle da corrosão

- Inibidores de corrosão
- Controle do pH



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Controle da corrosão

- Inibidores anódicos:
- Cromatos: ambientalmente inaceitável
- molibdatos
- Silicatos
- ortofosfatos



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Controle da corrosão

- Inibidores catódicos
- Polifosfatos
- Fosfonatos
- Fosfonatos/zinco



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Controle da corrosão

- Sistemas fechados
- Nitritos
- Boratos



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Controle da corrosão

- **Água potável**
- Essencial que seja grau alimentício
- Orto/polifosfatos
- Silicatos



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Controle da corrosão

- Cobre e suas ligas: latões e bronzes
- Azóis aromáticos

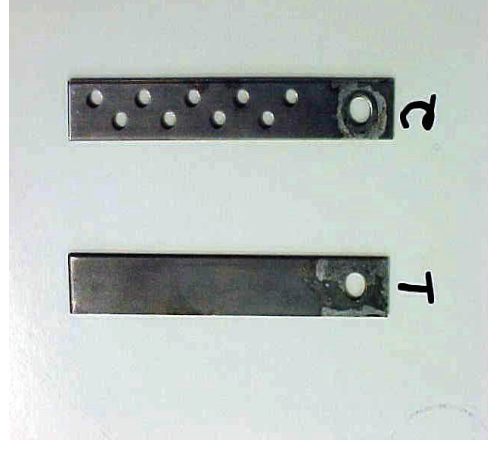


MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Monitoramento da corrosão

- Corpos de prova (padrão ASTM)
- Árvore de corpos de prova





MINICURSOS CRQ-IV - 2009

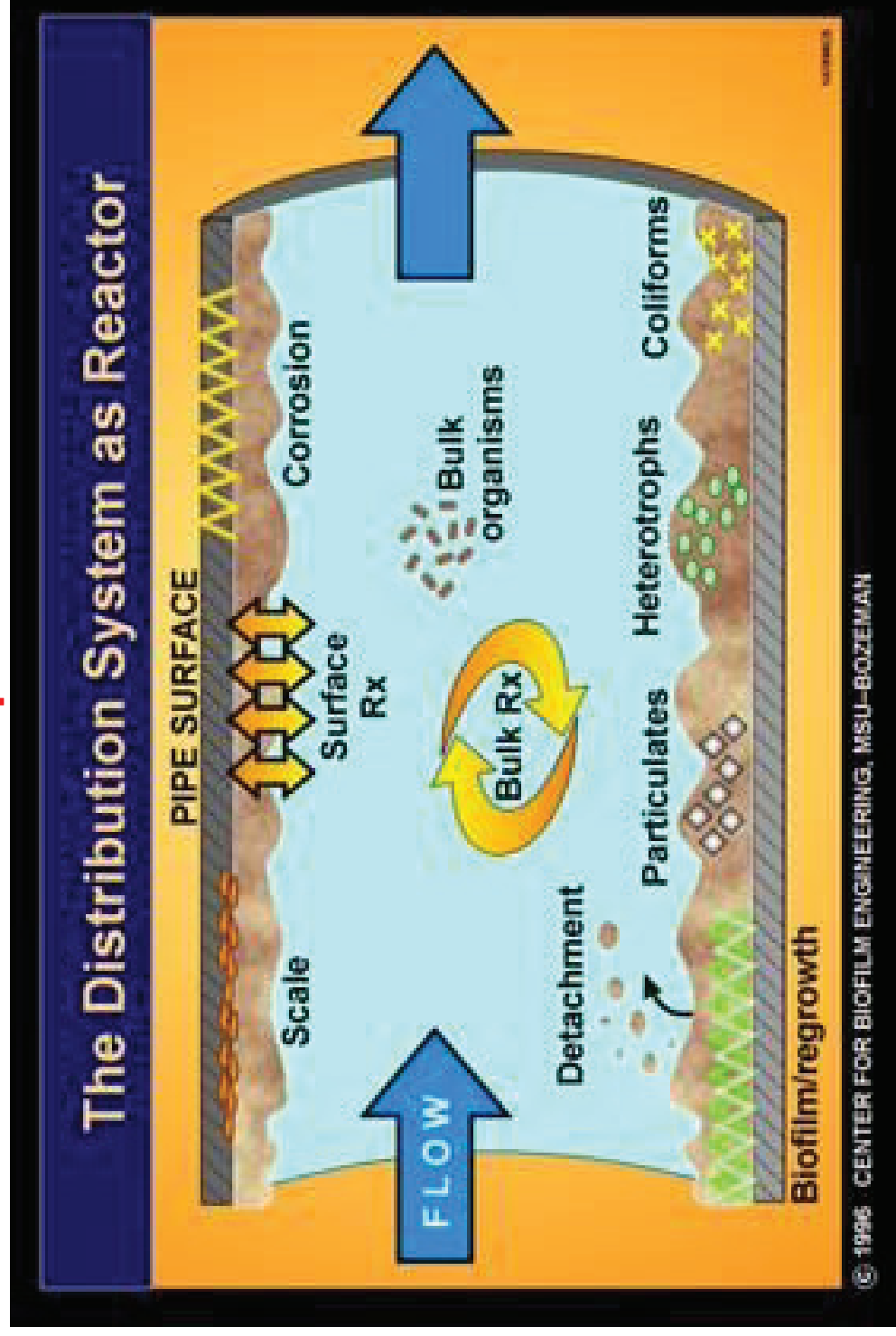
TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Monitoramento da corrosão :

- Resistência de polarização linear - corrosômetros (Corrater®)



Biodepósitos





MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

O que causa os biodepósitos?

- **FUNGOS**
- **ALGAS**
- **BACTÉRIAS**



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Biodepósitos

- Como controlar:
 - Filtração
 - Controle do ciclo de concentração (purga)
 - Dispersantes
 - Biocidas



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Microbiologia em sistemas de resfriamento industriais

- **Microorganismos problemáticos**
- **A formação de biodepósitos**
- **Biocidas usados em tratamento de água**
- **Monitoramento e controle**



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Fungos

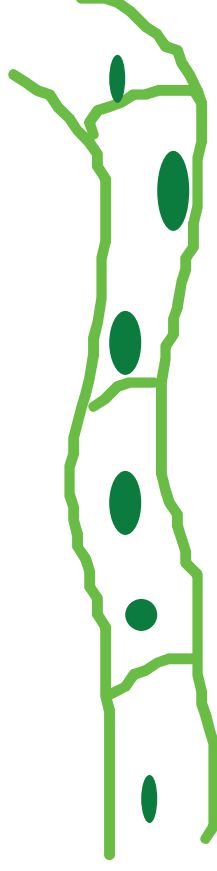
- **A maioria dos fungos é filamentosa, embora leveduras e alguns fungos aquáticos sejam unicelulares.**
- **Fungos formam estruturas sólidas que podem alcançar tamanho considerável**
- **Fungos estão associados à deterioração da madeira de torres de resfriamento**
- **Existem em temperaturas entre 5 a 38 °C, e pH entre 2 e 9, com um ótimo de 5 a 6.**

Algas

- São classificadas como plantas, já que dependem de fotossíntese
- Variam em tamanho desde organismos unicelulares microscópicos até plantas de 50 m de comprimento.



Unicelulares



Multicelulares



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Algas

- Algas não podem sobreviver na ausência de ar, água e luz solar
- Algas utilizam CO_2 e água, usando a luz solar como fonte de energia para assimilar alimentos
- Podem produzir grandes quantidades de polissacarídeos (biofilme)
- Obstruem telas de filtros, reduzem a vazão e aceleram a corrosão
- Constituem-se em excelente fonte de alimentos
- Podem existir entre 5 e 65 °C, e pH de 4 a 9



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Bactérias

- Universalmente distribuídas na natureza
- Enorme variedade de micro-organismos
- Multiplicam-se por divisão celular
- Formadoras de limo (biofilme)
- *Pseudomonas*: (utilizam contaminantes hidrocarbonetos)
- *Dessulfovibrio*: Bactérias do enxofre – bactérias anaeróbias, sulfato redutoras
- Bactérias do ciclo do nitrogênio



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Bactérias

- Crescimento bacteriano em enchimento de torre de resfriamento





MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Fatores que contribuem ao crescimento microbiano

- Taxa de contaminantes na reposição ou no ar
- Disponibilidade de nutrientes
- pH
- Temperatura
- Luz solar
- Disponibilidade de oxigênio/gás carbônico
- Velocidade da água



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

O processo de biodeposição

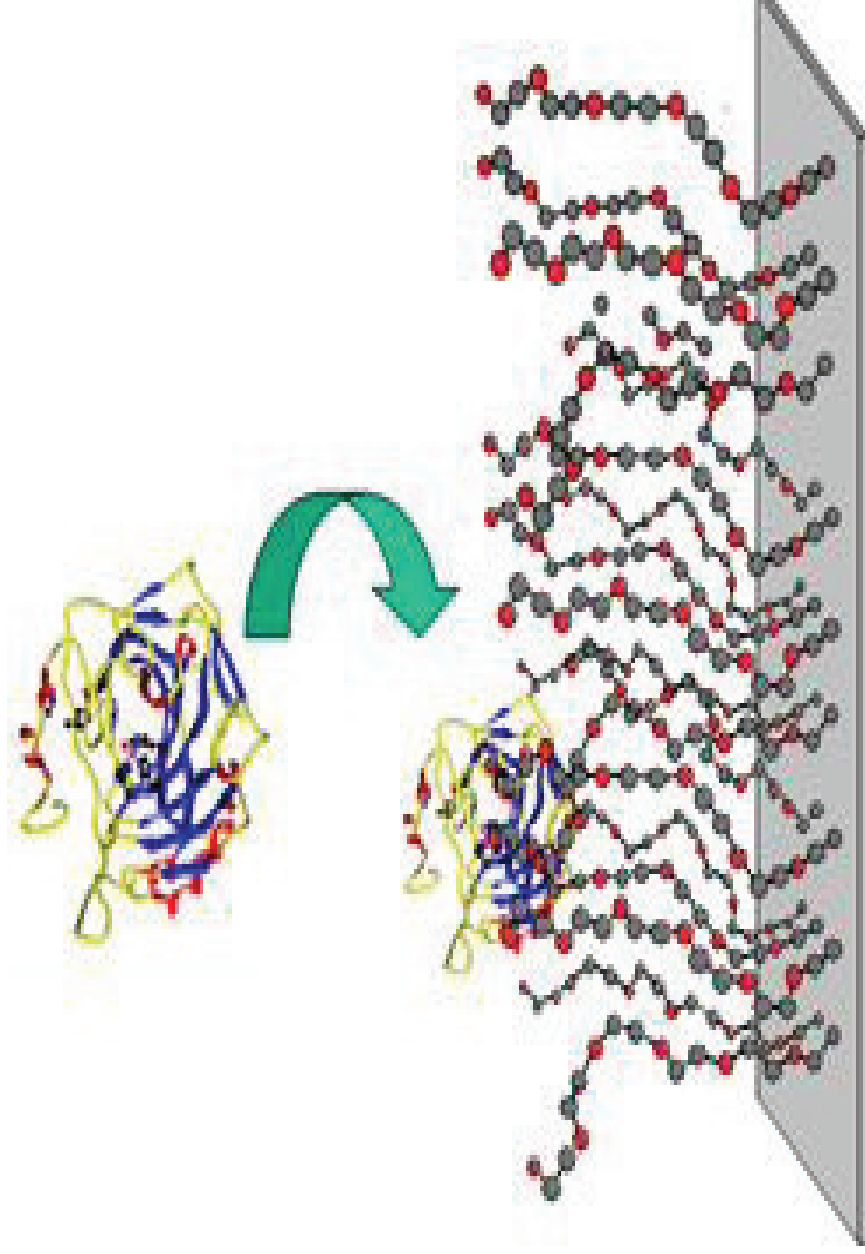
- **Bactérias preferem colonizar superfícies**
 - Permitem a produção de biofilme, que serve para proteger e capturar fontes de alimentos
- **Bactérias Planctônicas**
 - Nadam livremente na água
- **Bactérias sésseis**
 - Aderentes a superfícies



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

O processo de biodeposição





MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Efeitos dos biodepósitos

- Obstrução de: enchimento da torre, tubulação de distribuição, trocadores de calor
- Redução na eficiência da troca térmica
- Perdas de produção
- Corrosão sob depósitos
- Inativação/interferência com inibidores

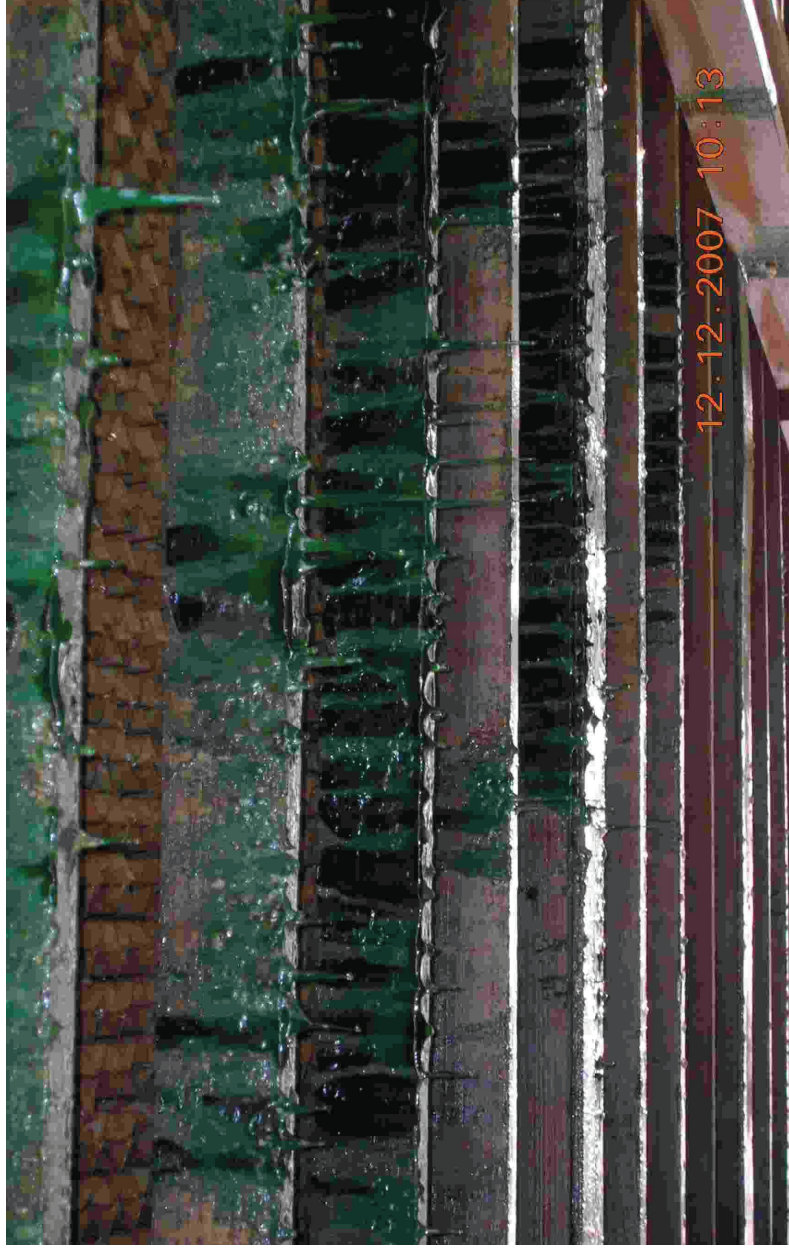


MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Efeitos dos biodepósitos

- Crescimento de algas em torre de resfriamento





MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Efeitos dos biodepósitos

- Crescimento microbiano em tubulações





MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Biocidas para o tratamento de água

- **Biocidas oxidantes**
 - Capazes de oxidar matéria orgânica, por ex. grupos proteicos

- **Biocidas não-oxidantes**

Prejudicam o metabolismo celular normal através de um destes mecanismos:

- Alterando a permeabilidade da parede celular
- Destruindo grupos proteicos
- Precipitando proteínas
- Bloqueando reações enzimáticas metabólicas



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Biocidas oxidantes

- Hipoclorito de sódio
- Ácido hipobromoso
- Dióxido de cloro
- Ozônio
- Peróxido de hidrogênio



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Biocidas oxidantes

- Ação rápida
- Baixo custo
- Tolerantes à contaminação
 - p.ex. bromo, dióxido de cloro
- Baixo impacto ambiental
 - p.ex. bromo, ozônio, peróxido, dióxido de cloro
- Ineficientes contra SRB's
- Baixa toxicidade residual
- Contagens próximas dos padrões de água potável



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Dióxido de cloro

- Geração “in situ”
- Ação rápida
- Baixo custo
- Tolerantes à contaminação
- Baixo impacto ambiental
- **Nenhuma** toxicidade residual (não leva à formação de trihalometanos e cloraminas)
- Contagens próximas dos padrões de água potável





MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Biocidas não-oxidantes

- Escolha de biocida alternativo prevenindo a formação de espécies resistentes
- Eficazes contra SRB's
- Protegem o sistema muito tempo após a dosagem
- Contêm biodispersantes
- Possibilidade de altas dosagens
- Alguns têm baixíssimo impacto ambiental (DBNPA ou THPS)



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Biodispersantes

- Promovem a penetração do biocida no limo microbiano
- Dispersam o biofilme e as bactérias mortas na massa de água para remoção pela purga
- Reduzem a habilidade das bactérias de se aderirem às superfícies dos sistema.
- Melhoram o desempenho tanto dos biocidas não oxidantes e em particular, dos oxidantes

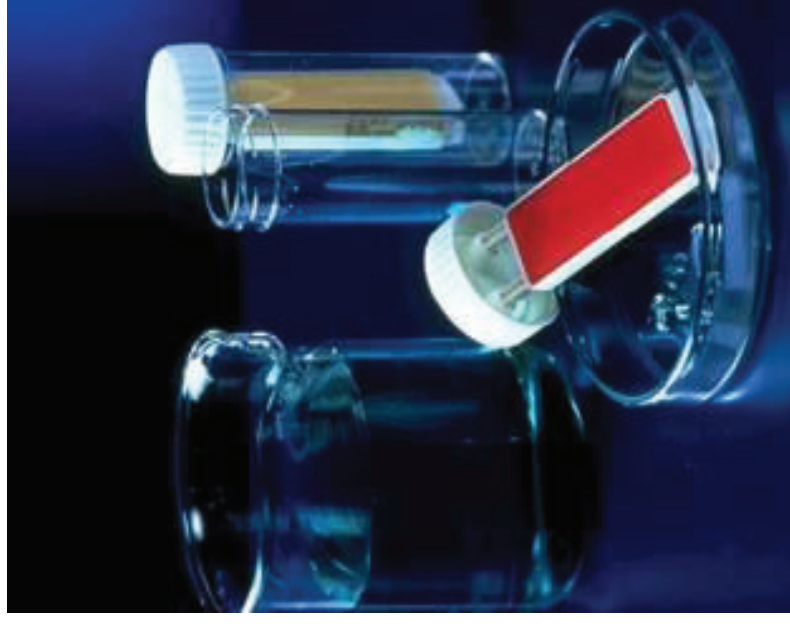


MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Monitoramento do crescimento microbiológico

- Dip slides ou laminocultivo:





MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Monitoramento do crescimento microbiológico

- Cultivo em placas de Petri

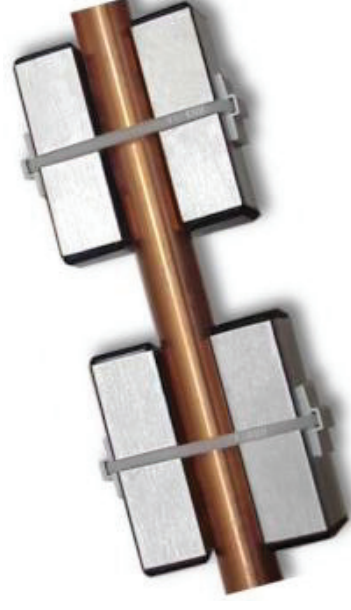




MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Sistema não-químicos de tratamento



- Magnéticos
- Catalíticos





MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Métodos físicos

Ultra Violeta e Ultra Filtração

- Eficientes apenas no ponto de uso
- Não eliminam organismos sésseis
- Não oferecem proteção em áreas isoladas do sistema (áreas estáticas)
- Aceitáveis ambientalmente.



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO



DEPARTMENT OF THE ARMY
U.S. Army Center for Public Works
7701 Telegraph Road
Alexandria, VA 22315-3862
Public Works Technical Bulletin 2 February 1998
No. 420-49-05
FACILITIES ENGINEERING
Utilities
INDUSTRIAL WATER TREATMENT PROCEDURES

Use of Nonchemical Devices. Many nonchemical devices sold for industrial water treatment are purported to solve all water related problems including scale, corrosion, slime, and odor. They are said to achieve remarkable results through natural forces (such as magnetism, electricity or radiation) either unknown to engineers or not disclosed. Often it is stated that the nonchemical devices require little or no attention and no chemicals. Generally, they have not proven effective. Therefore, the use of these nonchemical treatment devices on Army systems either regularly or on a test evaluation basis, **is prohibited.**

Tradução:

Uso de dispositivos não químicos: Muitos dispositivos não químicos vendidos para o tratamento de água industrial são alegados como capazes de resolver todos os problemas relacionados à água, incluindo incrustações, corrosão, limo e cheiro. Diz-se deles que alcançam resultados notáveis através de forças naturais (tais como magnetismo, eletricidade ou radiação) ou desconhecidas pelos engenheiros ou não reveladas. Frequentemente se afirma que os dispositivos não químicos exigem pouca ou nenhuma atenção e nenhum produto químico. Em geral, eles não têm se demonstrado efetivos. Conseqüentemente, o uso destes dispositivos de tratamento não químicos em sistemas do Exército, seja em forma de teste ou em base regular, **é proibido.**

Fonte: Public Works Technical Bulletin 2 February 1998
No. 420-49-05
FACILITIES ENGINEERING
Utilities
INDUSTRIAL WATER TREATMENT PROCEDURES

Uso de dispositivos não químicos: Muitos dispositivos não químicos vendidos para o tratamento de água industrial são alegados como capazes de resolver todos os problemas relacionados à água, incluindo incrustações, corrosão, limo e cheiro. Diz-se deles que alcançam resultados notáveis através de forças naturais (tais como magnetismo, eletricidade ou radiação) ou **desconhecidas pelos engenheiros ou não reveladas.** Frequentemente se afirma que os dispositivos não químicos exigem pouca ou nenhuma atenção e nenhum produto químico. Em geral, eles não têm se demonstrado efetivos. Conseqüentemente, o uso destes dispositivos de tratamento não químicos em sistemas do Exército, seja em forma de teste ou em base regular, **é proibido.**



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Qual é, na sua opinião, o fator mais determinante no tratamento de águas de resfriamento? O custo ou a segurança?



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

A conservação dos recursos naturais, da água em particular, é uma prioridade nas empresas que buscam sustentabilidade. Como o tratamento adequado da água pode contribuir para alcançar este objetivo?



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Que tipo de corrosão você considera
mais prejudicial aos sistemas?

O que você faria para preveni-la?



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Que você entende por corrosão
microbiológica?

O que você faria para preveni-la?



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Você acha relevante o impacto ambiental do uso de água para resfriamento de sistemas industriais?
Porque?



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Se você tivesse que escolher um tratamento para uma água de resfriamento com cerca de 300 ppm de dureza de cálcio, qual seria?



MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Você acabou de assumir a área de utilidades de sua empresa e descobriu que os trocadores de calor de que você dispõe estão incrustados. O que fazer?

Automação

- Sistemas automáticos de dosagem: bombas de pistão, diafragma, venturi.
- Drenagem (purga) automática: temporizada, ou por condutividade.





MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Limpeza

Pré-operacional (*flushing*)



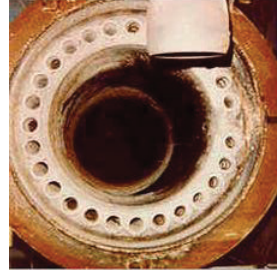
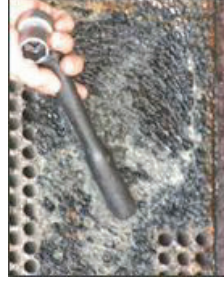
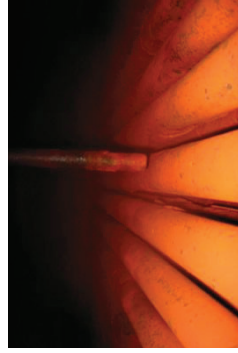


MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Limpeza

Limpeza química: ácida, alcalina, mecânica, de equipamentos em serviço, devido a tratamento inadequado ou inexistente;





MINICURSOS CRQ-IV - 2009

TRATAMENTO QUÍMICO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

Agradecimentos

Ao **CRQ 4**, pelo convite e organização, e sobretudo, pela idéia dos minicursos

Aos participantes

À Caixa Econômica Federal, pelo apoio