

# **Tratamento de água em instalações industriais**

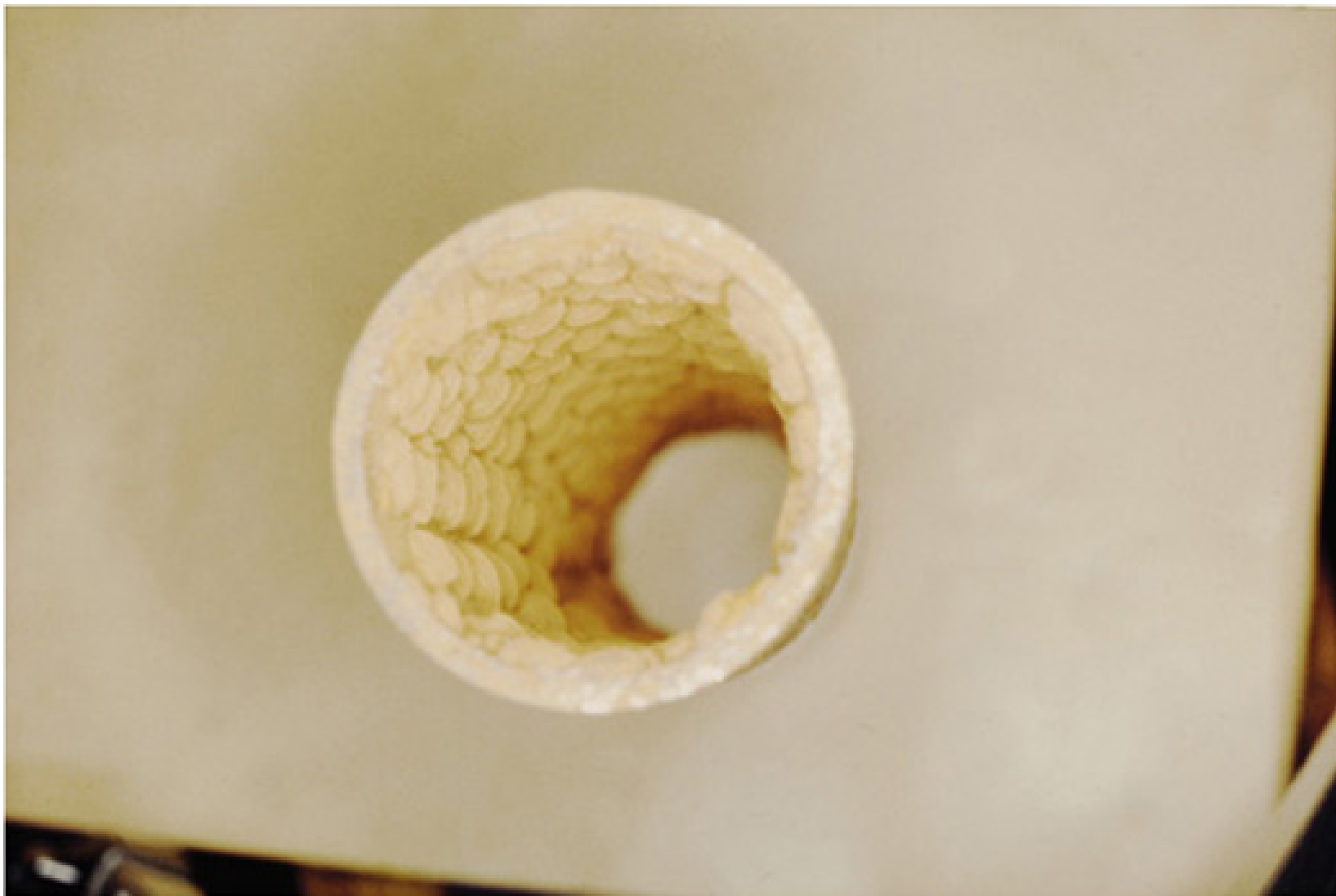
**Notas das aulas da disciplina  
de  
Instalações e Serviços Industriais**

# Importância do tratamento de água

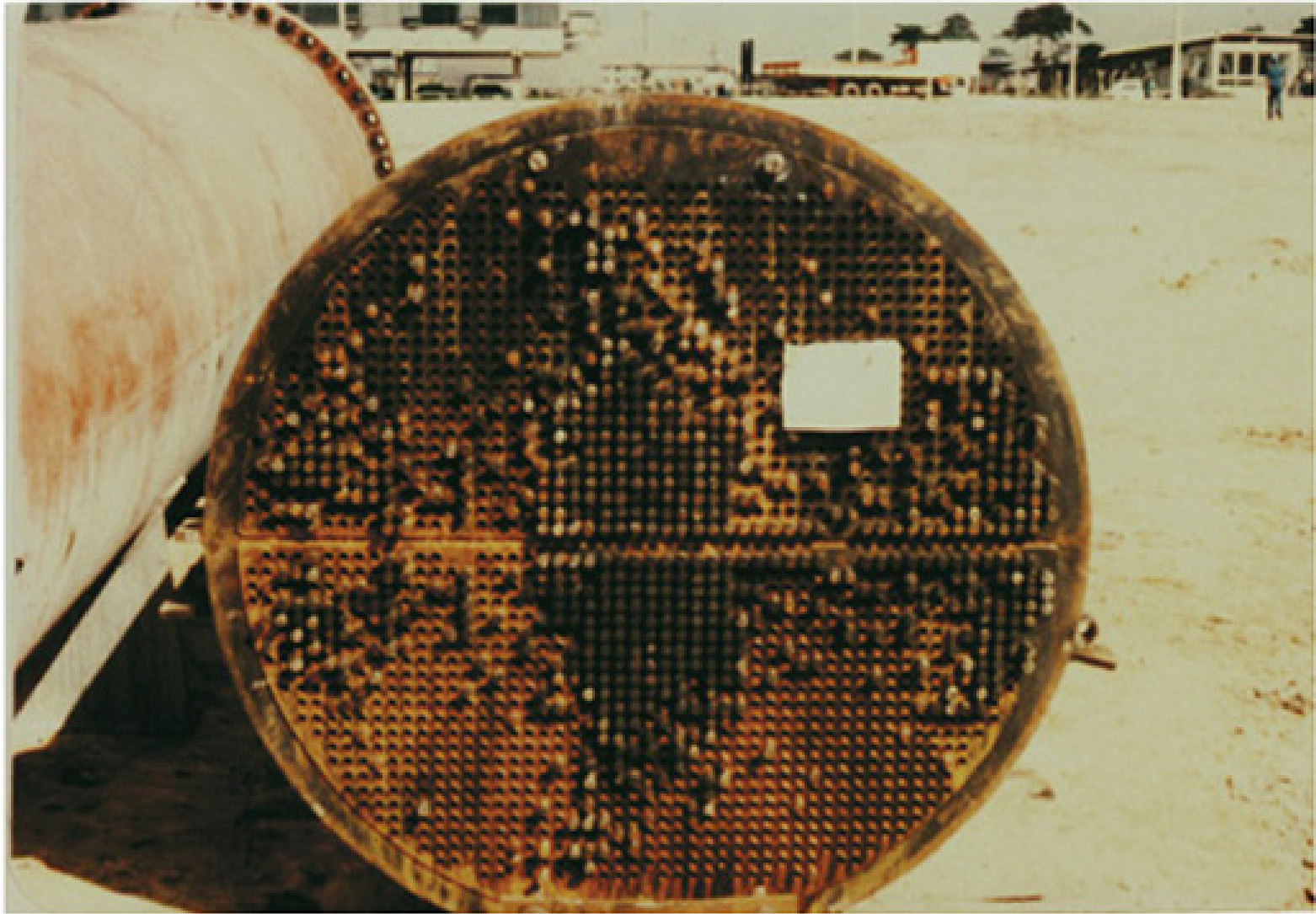
- Em geradores de calor
  - ↳ A análise estatística dos acidentes ocorridos com caldeiras permite afirmar que existem **duas vezes mais acidentes devido a problemas de corrosão interna do que a problemas de corrosão externa**
  - ↳ Nas centrais termoelétricas as **elevadas pressões e temperaturas do vapor favorecem a corrosão e a formação de incrustações**
  - ↳ Os sais que não formam incrustações concentram-se na caldeira proporcionalmente à taxa de evaporação. A **sobresaturação destes sais ao nível da água provoca a fermentação nas caldeiras**, i.e. formação de espuma na superfície livre e diminuição da câmara de vaporização



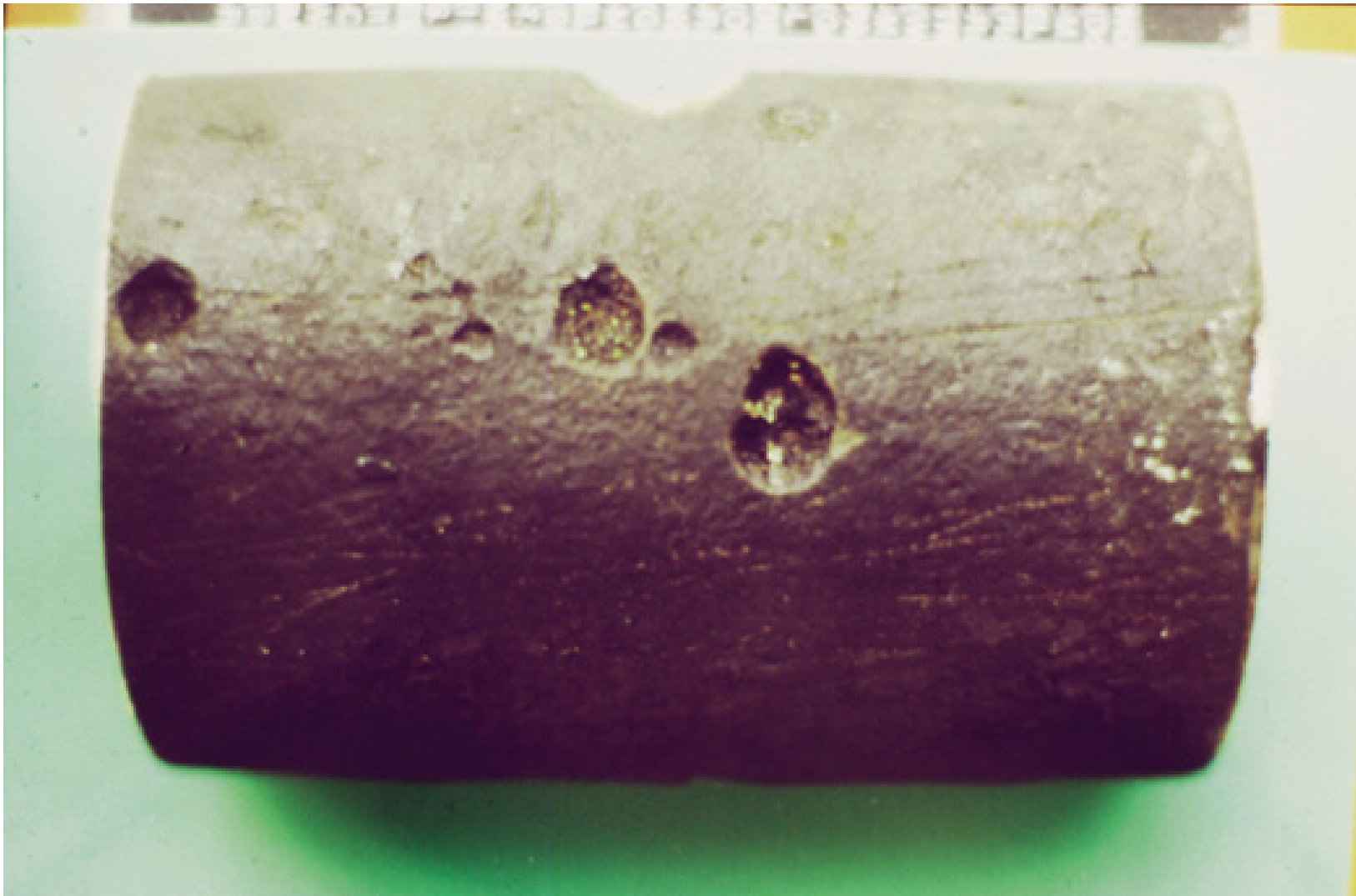
Crostras de carbonato de cálcio em tubo de sistema de geração de vapor.



Tubérculos de óxidos de ferro em tubo de condução de água potável.



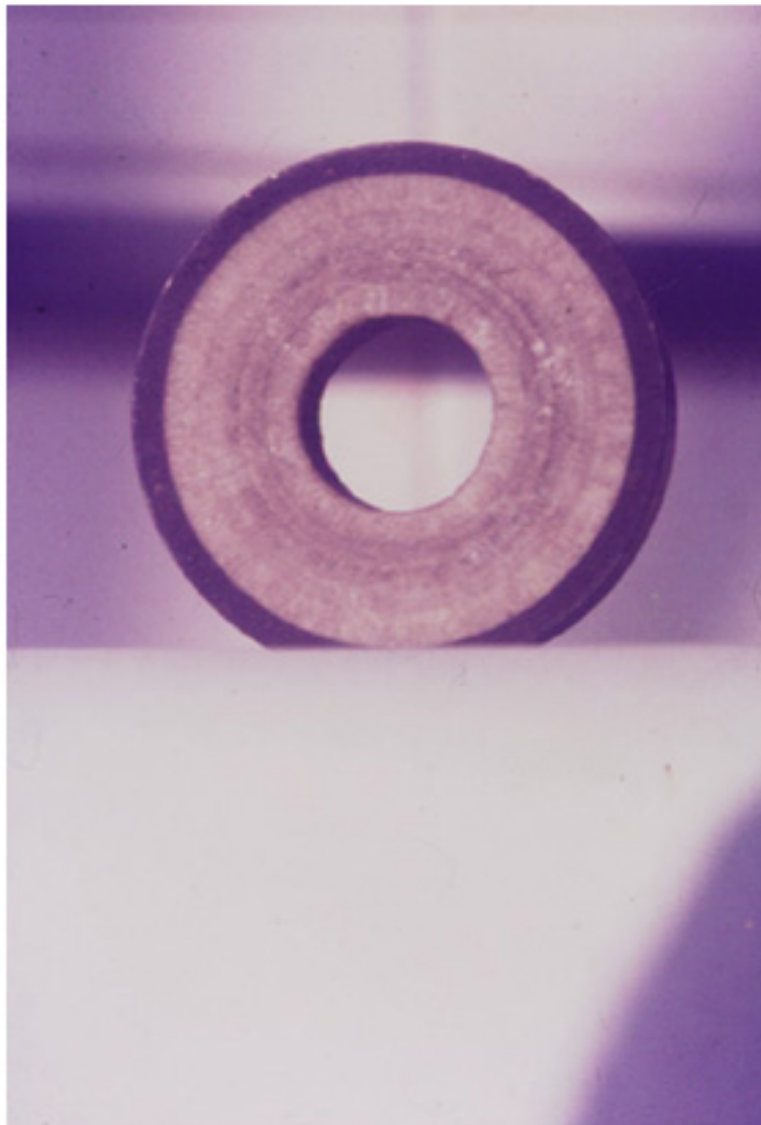
Feixe de tubos de trocador com grande número de tubos plugados.



Corrosão alveolar.



Esfoliação em tubo de aço-carbono.



Tubo com incrustação de carbonato de cálcio.

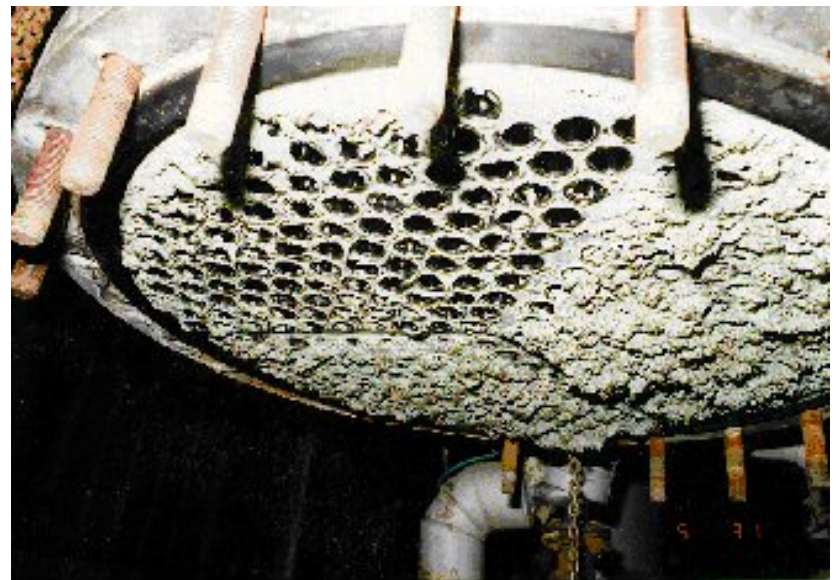
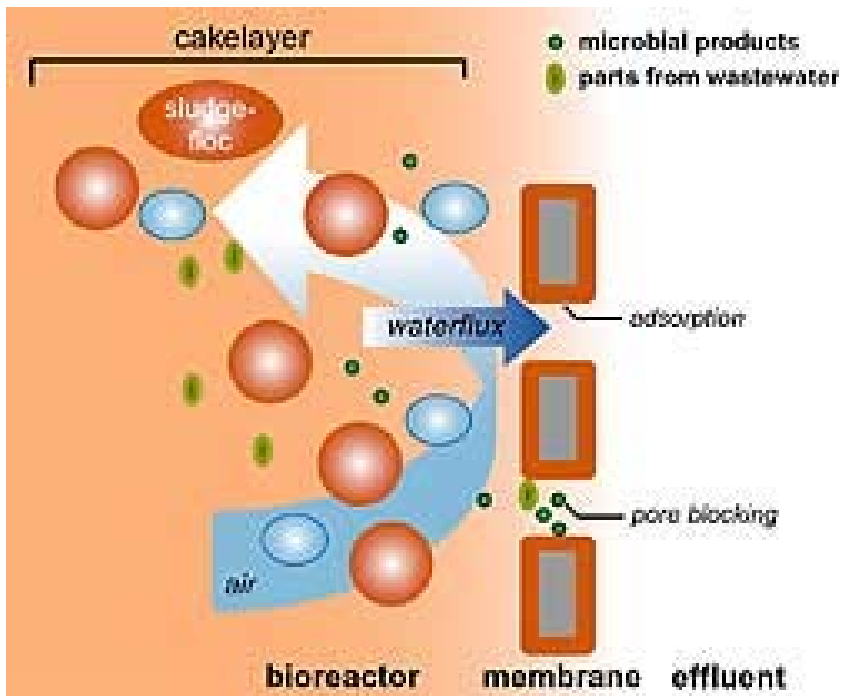


# Importância do tratamento de água

- Torres de arrefecimento e ar condicionado

- ↳ Evitar o “fouling”

- inorgânico: *depósitos de óxidos de ferro, lama de fosfato de cálcio, poeira atmosférica ou incrustações com carbonato de cálcio, sulfato de cálcio, etc.*
    - orgânico: *provocado por materiais de peso molecular elevado, proveniente da descarga de fluidos de processo, de composição química variada*
    - biológico: *atribuído a algas, fungos e bactérias sésseis, capazes de formar limo, material gelatinoso que adere às superfícies metálicas*



# Tipos de impurezas na água bruta

- Gases dissolvidos
  - ↳ À exceção da água proveniente de poços muito profundos, as águas naturais contêm **oxigênio, azoto, dióxido de carbono e amoníaco** em solução
- Compostos minerais, cuja natureza e proporção dependem da natureza dos solos atravessados
  - ↳ Os principais compostos são: os **carbonatos**, sulfatos e cloretos **de cálcio, magnésio** e sódio, a **sílica** coloidal ou combinada com bases alcalino-terrosas
- Substâncias orgânicas solúveis provenientes da decomposição de matérias vegetais, esgotos e águas residuais industriais e domésticas
- Partículas minerais ou orgânicas em suspensão

# Tipos de água bruta e composição

- Consoante dissolve ou arrasta os sais, água pode tornar-se **água ácida, alcalina, dura, turva, férrica**, etc., podendo conter:
  - ↳ gases dissolvidos
  - ↳ sais que originam dureza
  - ↳ sais que não originam dureza
  - ↳ matéria em suspensão, sílica e colóides
  - ↳ sais de ferro

# Gases dissolvidos

- À temperatura ambiente o teor de O<sub>2</sub> na água é de cerca de 9 a 10 mg/l (9 a 10 p.p.m.)
  - O O<sub>2</sub> pode provocar corrosão
- O azoto atmosférico é também solúvel na água, encontrando-se na proporção de 2:1 relativamente ao O<sub>2</sub>
- O CO<sub>2</sub> dissolvido na água forma ácido carbónico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), o qual tem o poder de dissolver o carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>), que a passa a solução sob a forma de hidrogeno-carbonato de cálcio (Ca(CO<sub>3</sub>H)<sub>2</sub>)
$$\text{Ca(HCO}_3)_2 + \text{Q} = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$$

(solúvel)                      (insolúvel)
- O amoníaco é proveniente da decomposição de matéria orgânica azotada. A sua presença na água confere a esta uma reacção ligeiramente alcalina

# Sais que originam dureza

- Dos sais dissolvidos na água que originam dureza, os mais importantes são os de **cálcio e magnésio**, sendo
- **Dureza:** *característica da água que exprime a concentração total de iões de cálcio e magnésio*
- Dureza temporária (DT) ou alcalina: quando pode ser removida por ebulição. É devida aos hidrogenocarbonatos
$$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \quad \text{---}\rangle \quad \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$$
$$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 \quad \text{----}\rangle \quad \text{MgCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$$
- Dureza permanente (DP) ou não alcalina: quando não é reduzida ou eliminada com a ebulição. Devida a todos os outros sais de cálcio, magnésio, nomeadamente sulfatos, cloretos ou nitratos.
- Dureza total: *corresponde a DT + DP, ou seja ao conjunto de sais de cálcio e magnésio*

# Sais que não originam dureza

- Sais de outros elementos (cloretos, carbonatos, hidrogenocarbonatos, sulfatos) **que não o cálcio ou o magnésio**
- Estes sais mantêm-se em solução durante o funcionamento normal da caldeira, apenas **umentando a salinidade**, até que a sua concentração aumente de tal modo que comecem a depositar-se

# Matéria em suspensão

- De acordo com o local onde é captada, a água pode conter matéria orgânica e inorgânica em suspensão.
  - ↳ Exemplo: argila, lodo e soluções coloidais
- As **águas subterrâneas profundas** geralmente não apresentam matéria em suspensão, devido à acção filtrante do terreno, por onde esta se escoia. Estas águas apresentam no entanto **teores de sílica elevados** adquiridos no trajecto entre a superfície e os lençóis freáticos.
  - ↳ A presença de  $\text{SiO}_2$ , a partir de determinadas concentrações dá origem a um depósito muito duro e de difícil remoção



# Sais de ferro

- Só se encontram nas **águas subterrâneas profundas**, em concentrações próximas dos 10 mg/l (10 p.p.m.), quase sempre na forma de hidrogenocarbonato ferroso
  - ↳ Quando são extraídas estas águas são límpidas mas, por exposição a atmosfera, absorvem oxigénio, precipitando sob a forma de óxido de ferro, dando origem a água um aspecto turvo

# Tipo de acidentes provocados pela água nas caldeiras

- **Incrustações:** *depósitos de matéria sólida na superfície interior da caldeira ou dos tubos de circulação*
  - ↳ Os principais consequências que lhe são atribuídas são:
    - Perda de rendimento e eficácia da caldeira
    - Sobreaquecimento dos tubos =» Dilatações exageradas, cuja consequência são:
      - empenos
      - diminuição da estanquicidade
      - problemas estruturais
- **Fermentação:** *formação de espuma na superfície livre de vaporização, cujo as consequências são:*
  - ↳ Arrastamento da espuma de vapor para as linhas de distribuição
  - ↳ Diminuição da taxa de vaporização na superfície livre

# Tipo de acidentes provocados pela água nas caldeiras

- Corrosão: oxidação do ferro por contacto com a água vai depender essencialmente das impurezas presentes:
  - ↳ sais dissolvidos: cloretos de sódio (NaCl), sais hidrolisáveis, bicarbonato de cálcio
  - ↳ gases dissolvidos: oxigénio (O<sub>2</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), gás carbónico, gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S), óxidos de enxofre (SO<sub>2</sub> e SO<sub>3</sub>)
- As consequências da corrosão são:
  - ↳ Perda de eficiência, proveniente da diminuição da transferência de calor, em resultado dos depósitos ou produtos de corrosão
  - ↳ Aumento das perdas de carga, devido aos depósitos de tubérculos de óxidos de ferro

# Tratamentos prévios

- Objectivos:
  - ↳ Remoção das matérias orgânicas ou inorgânicas em suspensão
  - ↳ Reduzir ou eliminar a dureza, ou seja o teor de sais de cálcio e de magnésio existentes na água
  - ↳ Reduzir ou eliminar o teor de silicatos em solução
  - ↳ Reduzir ou eliminar a salinidade que não provoca dureza
  - ↳ Eliminar os gases dissolvidos, especialmente o oxigénio e o dióxido de carbono
  - ↳ Conferir a água uma alcalinidade que lhe permita evitar a corrosão interna

# Processos de tratamento da água

## Tratamentos prévios

- Remoção das matérias orgânicas e inorgânicas em suspensão
  - ↳ Decantação, com ou sem adição de agentes aglomerantes e floculantes
  - ↳ Filtração: filtros de areia e filtros de carvão
- Redução da dureza
  - ↳ Precipitação química
  - ↳ Permuta iônica
  - ↳ Processos mistos
- Remoção de sais , ácidos e sílica : desmineralização
- Remoção da sílica: desmineralização ou precipitação química
- Remoção dos gases dissolvidos: degasificação:
  - ↳ eliminação do  $O_2$ ,  $CO_2$  e  $N_2$

# Decantação

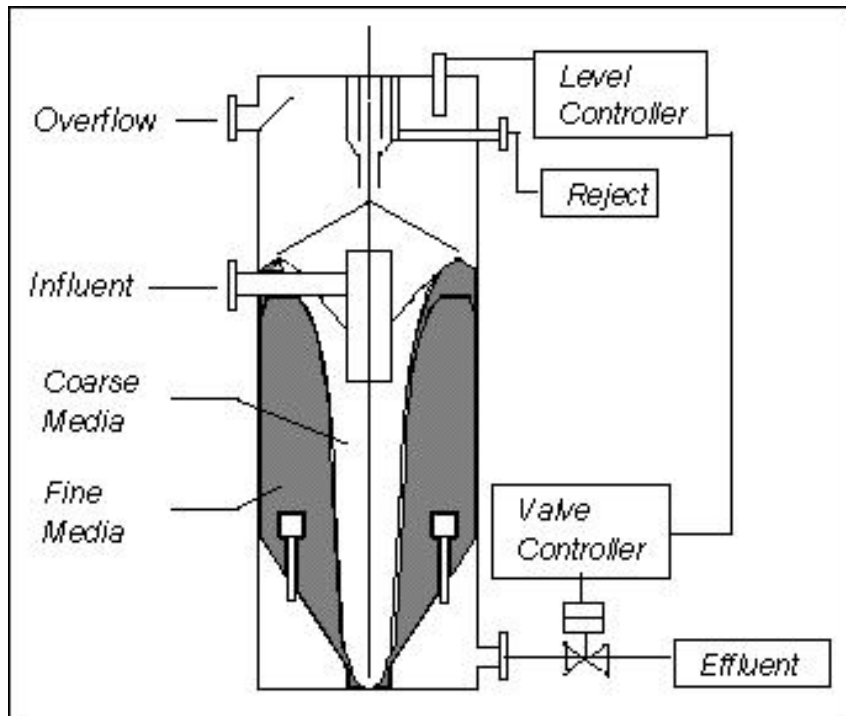
- Objectivos: *promover a deposição no fundo de tanques (i.e. sedimentação) das partículas de maior dimensão que se encontram em suspensão na água*
  - ↳ Enquanto para partículas mais pesadas ou grandes o processo pode demorar horas, para partículas mais pequenas ou finas poderão ser necessários dias ou semanas
  - ↳ Para promover a aglomeração das partículas, tornando-as mais pesadas
    - Através de:
      - Descarga eléctrica --» *diminuir o potencial electrostático de repulsão entre partículas com igual tipo de carga*
      - Coagulantes --» *diminuir o potencial repulsivo*



# Filtração

- Objectivo: *reduzir os sólidos em suspensão para níveis de ppb*
  - ↳ A eficiência dos filtros, faz com que em situações em que a água não seja demasiado turva, a adição de uma pequena percentagem de coagulantes dispensa a decantação
- Tipo de Filtros:
  - ↳ Leito de areia:  $0,3 < dp < 0,8$  mm
  - ↳ Duplo leito de areia:
    - Leito de areia grossa e fina ou de areia e carvão (normalmente antracite)
      - Taxa de filtração entre 2 e 6 l/s por m<sup>2</sup>
  - ↳ Magnético: magnetização de um leito de esferas metálicas
  - ↳ Pré-revestido: deposição de uma fina película filtrante
  - ↳ Ultrafiltro: malha entre 3 a 10  $\mu$ m
- Princípio de funcionamento
  - ↳ gravidade
  - ↳ pressão: 345 a 689 kPa



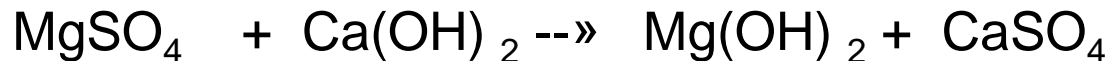
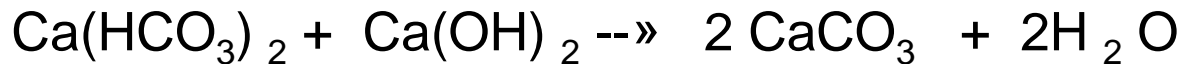


# Precipitação química

- Princípio: **conversão dos sais de cálcio e magnésio nas formas mais insolúveis** de carbonato de cálcio e hidróxido de magnésio, as quais são removidas por filtração ou decantação

- Reagentes mais usados:

↳ cal apagada :  $\text{Ca}(\text{OH})_2$



↳ cal viva:  $\text{CaO}$

↳ carbonato de sódio:  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

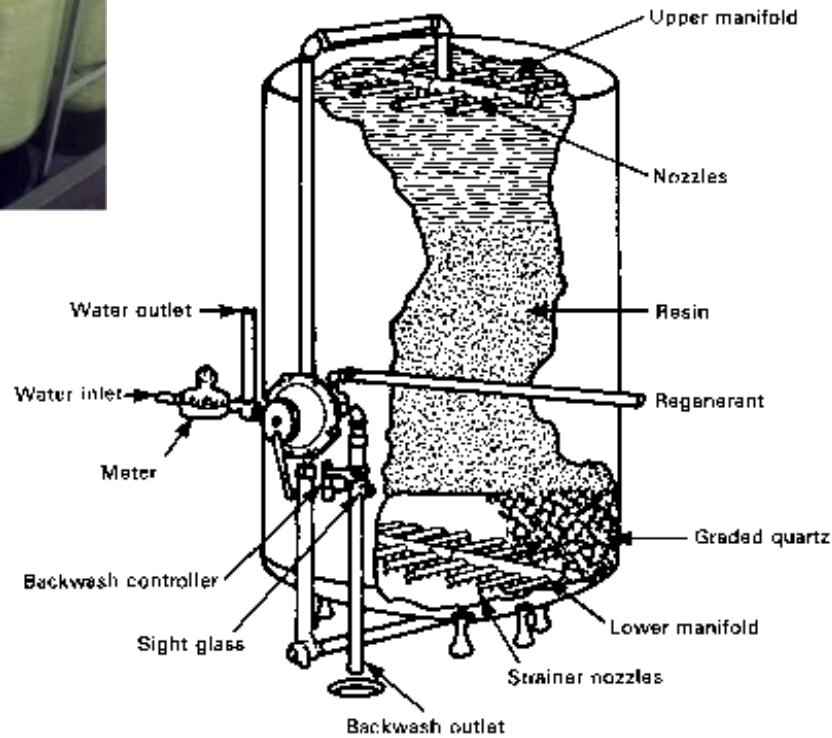
↳ aluminato de sódio:  $\text{NaAlO}_2$

↳ hidróxido de sódio

↳ fosfato trissódico

# Permuta de iões

- Objectivo: *Trocar iões com os sais que se encontram dissolvidos na água, usando para o efeito produtos insolúveis, normalmente resinas com um diâmetro entre 0,5 e 1 mm*
  - ↳ A água possuindo sais de cálcio e magnésio, ao passar através de um leito de resinas, troca os iões de Ca e Mg por iões de Na, de modo que o efluente fica praticamente isento de sais que originam dureza
  - ↳ Quando os permutadores de iões (que podem ser resinas) estão saturadas, o processo é invertido sendo os iões de cálcio e magnésio removidos com a lavagem com uma solução saturada de cloreto de sódio
  - ↳ Desvantagens:
    - O permutador exige que a água a tratar não tenha partículas em suspensão
    - Quando usado isoladamente não reduz a alcalinidade



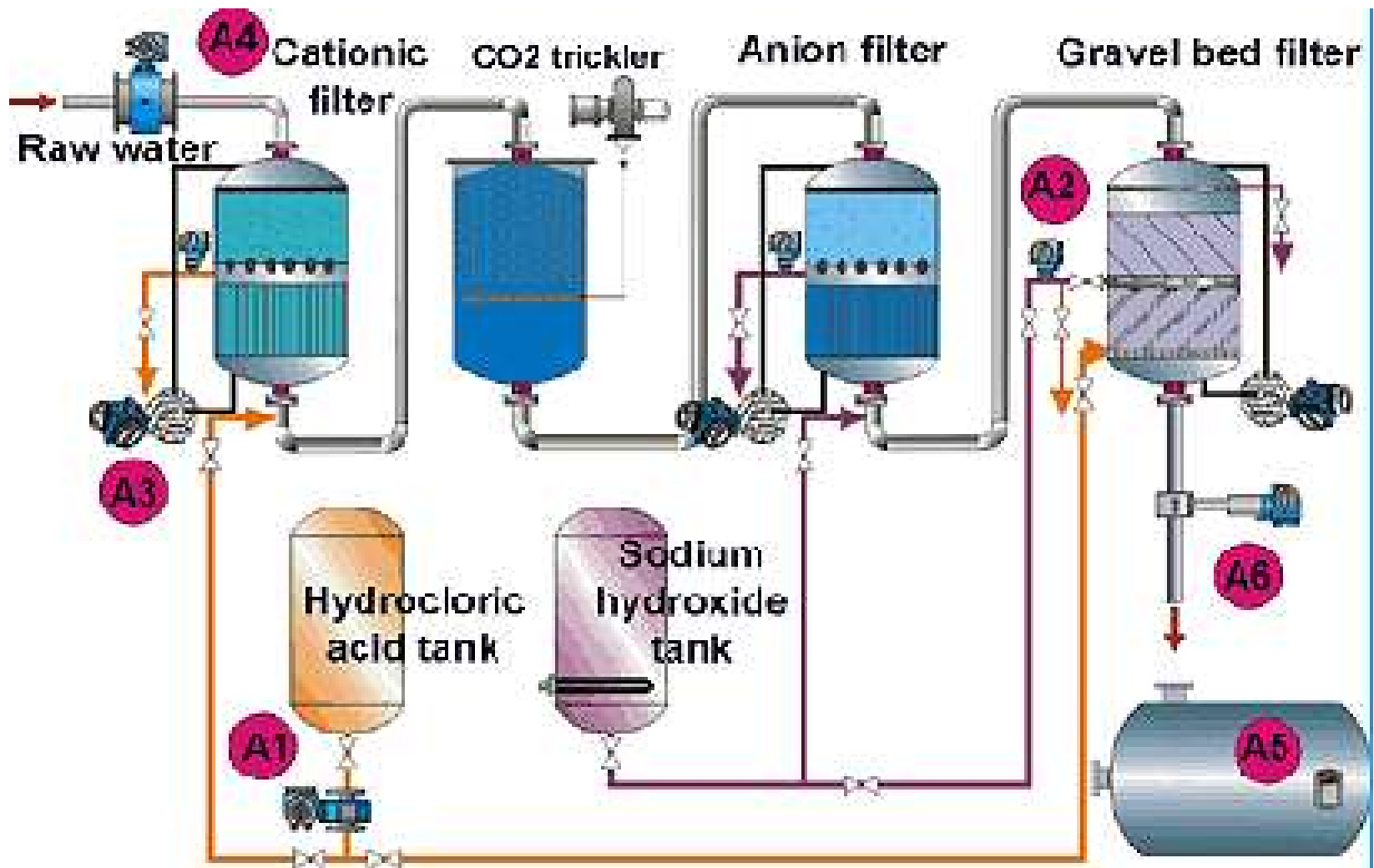
# Processo misto

- Tratamento em duas fases:
  - ↳ precipitação química
  - ↳ permutador iónico
- O resultado final é:
  - ↳ a eliminação quase completa da dureza, atingindo-se valores que não excedem por norma 2 mg/l de  $\text{CaCO}_3$

# Desmineralização

- Objectivo: *remover o sal dissolvido e os minerais sólidos, os quais em solução tendem a ionizar*
- Solução mais comum
  - ↳ Permuta iónica, PI, (quando o teor em partículas é baixo)
    - 1ª Fase: Passagem da **água através de um PI de hidrogenião, H<sup>+</sup>**
      - Os iões de Ca e Mg vão ser substituídos por H<sup>+</sup>, dando origem a um **efluente contendo ácidos** fortemente ionizados, como o sulfúrico, o clorídrico e o nítrico e ácidos fracamente ionizados como o carbónico e o silicílico
    - 2ª Fase: O efluente da 1ª fase é obrigado a **passar por um PI de aniões, OH<sup>-</sup>**, que removerá os ácidos do efluente
- Custo: *A desmineralização elimina todos os sais contidos na água, no entanto o seu custo é comparável ao da destilação, sendo cerca de 10 vezes superior ao tratamento com cal correspondente à precipitação química*





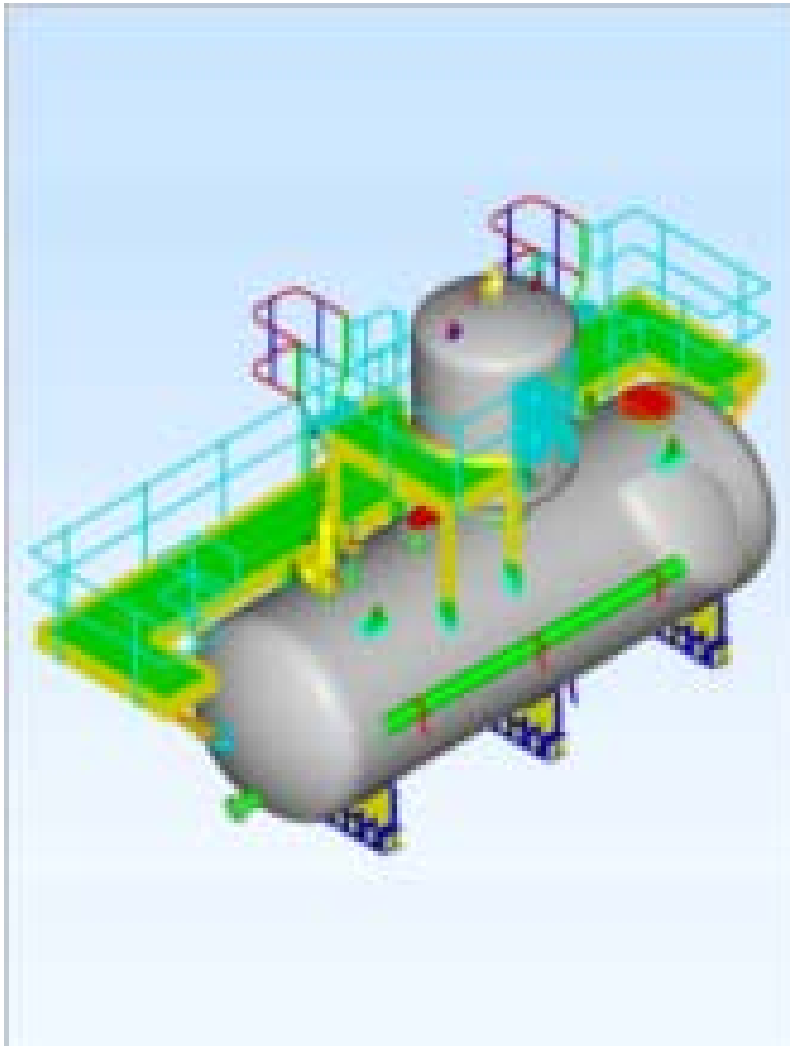


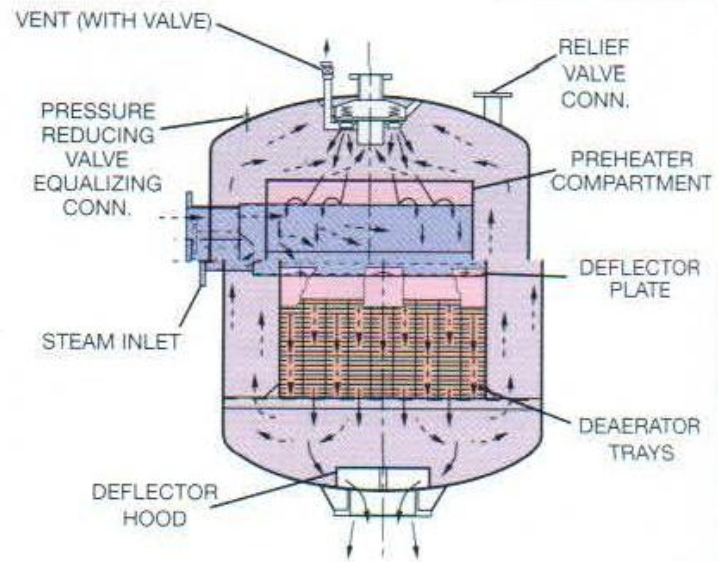
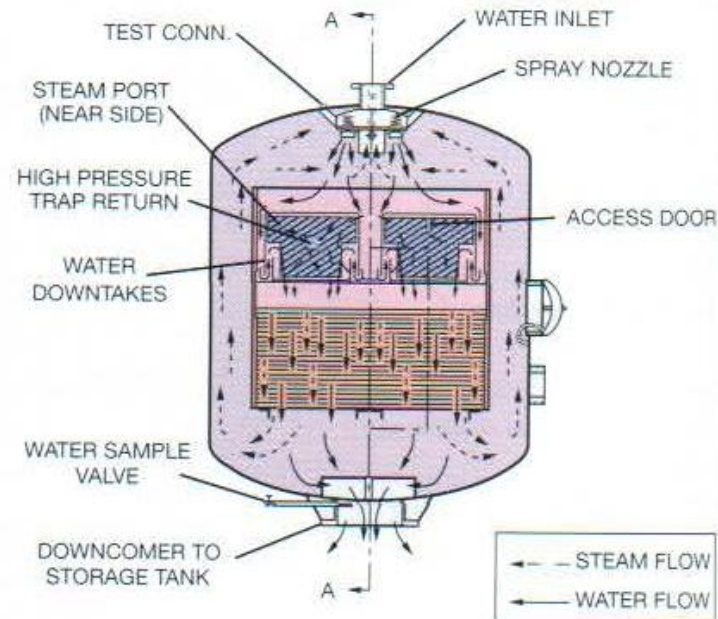
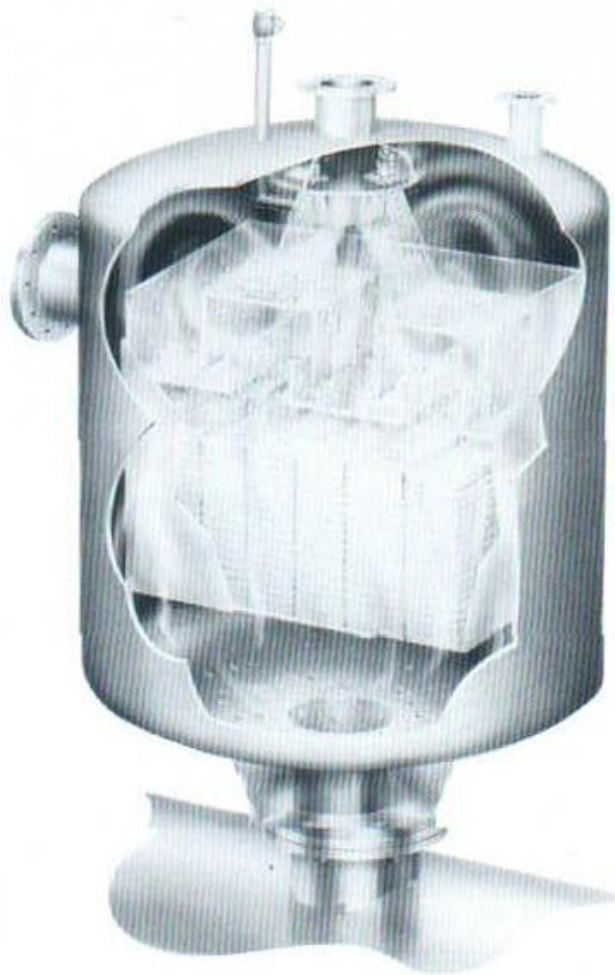
# Remoção da sílica

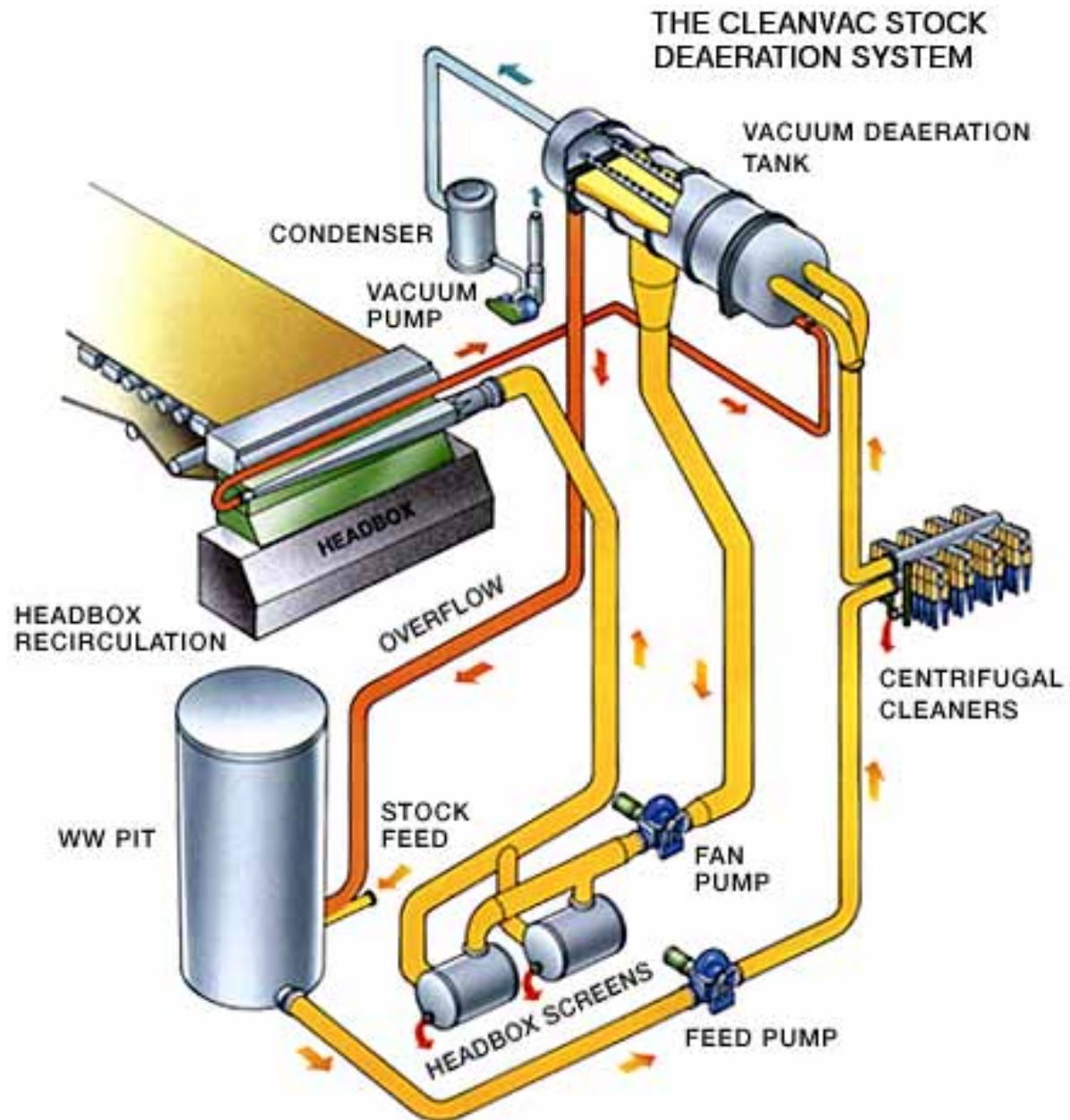
- Só se torna necessária quando o seu teor esta acima de 25 a 30 ml/l, ou quando as caldeiras operam a pressões superiores a 50 bar
- Processos de remoção da sílica:
  - ↳ Desmineralização (quando esta é total)
  - ↳ Precipitação química, usando:
    - magnésia
    - alumínio
    - cal

# Desgasificação

- Objectivo: *Remover o  $O_2$ ,  $N_2$  e  $CO_2$  dissolvidos na água*
  - ↳  $O_2$  --» corrosão
  - ↳  $N_2$  --» inerte
  - ↳  $CO_2$  --» corrosão + diminuição do PH
- Desgasificação térmica:
  - ↳ Utilização de vapor saturado em contracorrente à água
- Desgasificação química:
  - ↳ Sulfito de sódio ( $O_2$  --»)
  - ↳ Hidrazina ( $O_2$  --»)
  - ↳ Taninos ( $O_2$  --»)
  - ↳ Hidróxido de sulfato ou fosfato de amónio ( $CO_2$  --»)





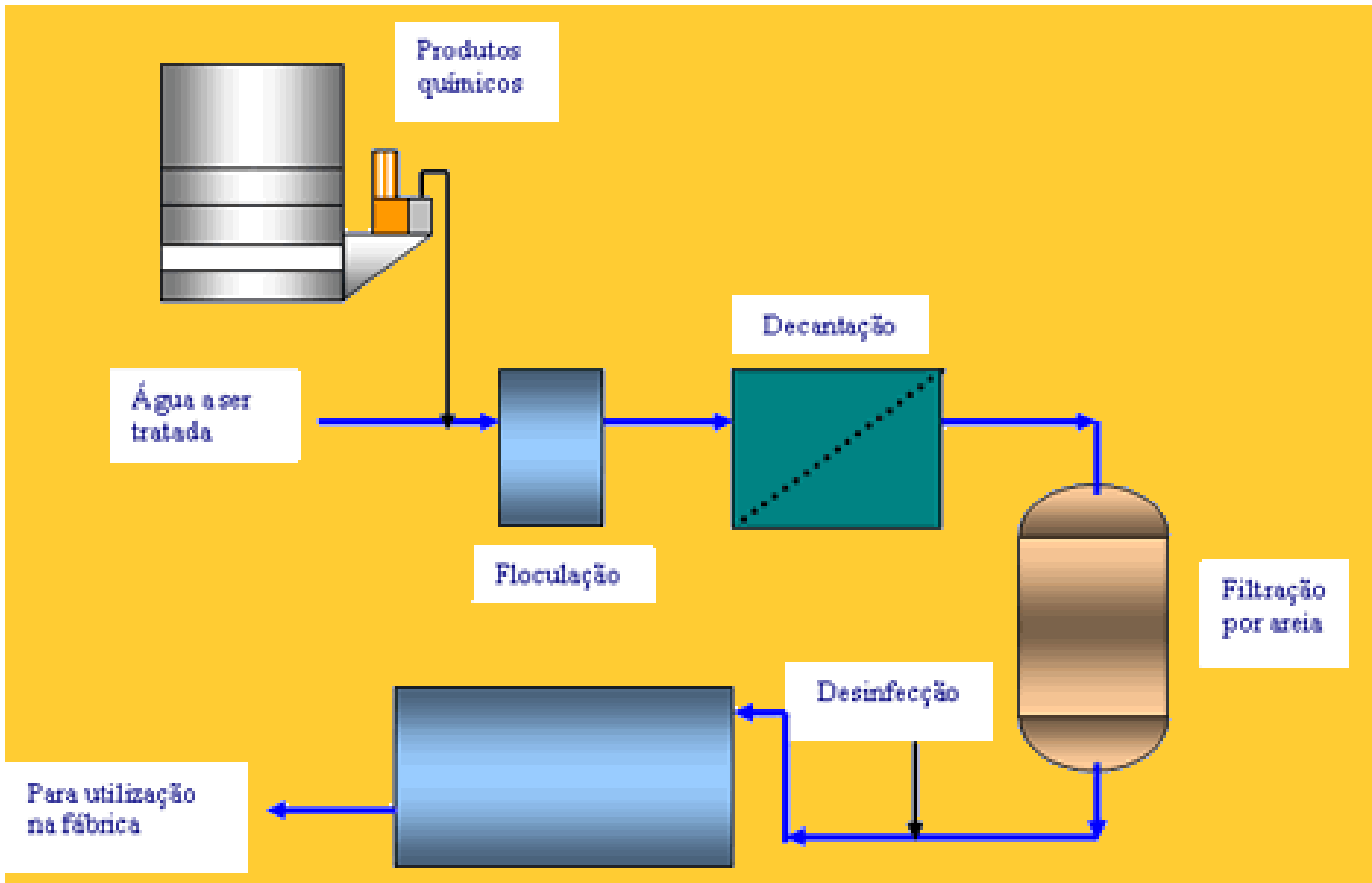


# Casos excepcionais

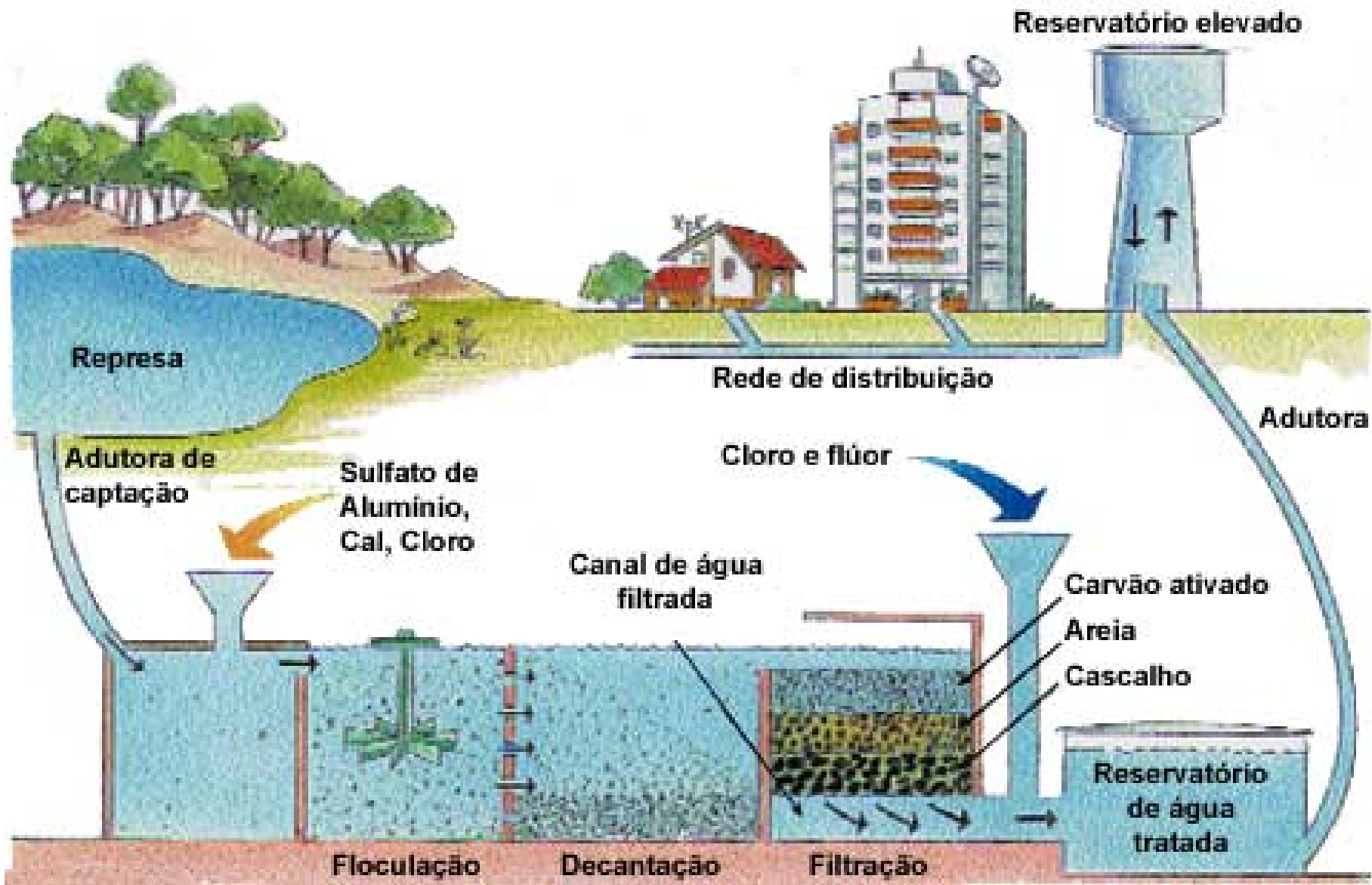
- Quando o teor de sólidos em suspensão é muito elevado
  - ↳ desmineralização parcial + polimento através de filtros pré-revestido e ultrafiltros
- Quando a água é salobra, ou as exigências são maiores (ex: hospitais), são necessárias técnicas especiais:
  - ↳ Processo de membrana
    - Electrodialise: *aplicação de um campo eléctrico faz mover as impurezas associadas aos iões positivos num sentido contrário aos iões negativos*
    - Osmose inversa: *através do uso de uma membrana permeável e a aplicação de pressão de um dos lados é promovida a separação entre duas soluções de diferentes concentrações*
  - ↳ Processos evaporativos:
    - Destilação: uso de calor para vaporização da água

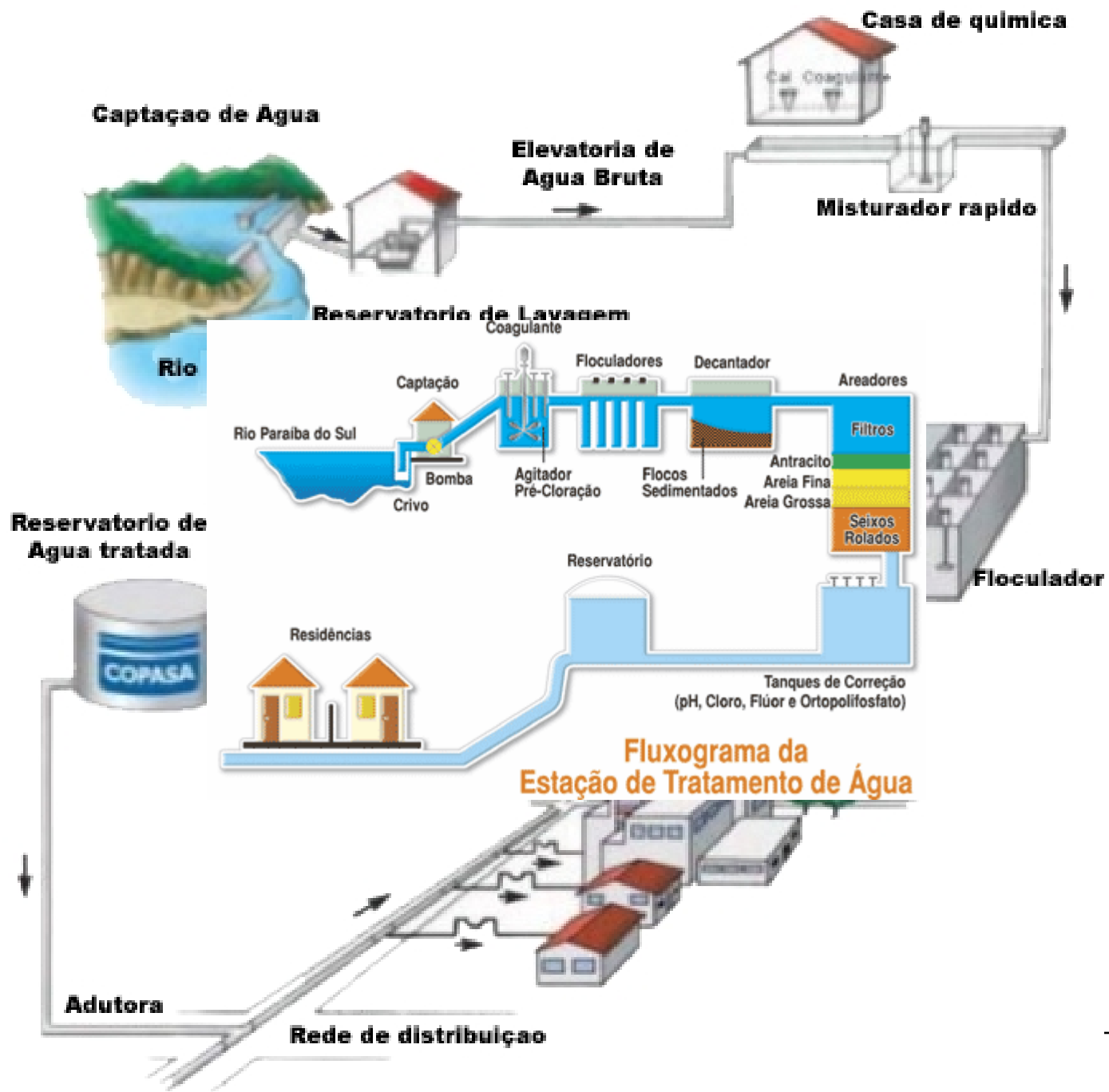
# Efeito de diferentes tratamentos

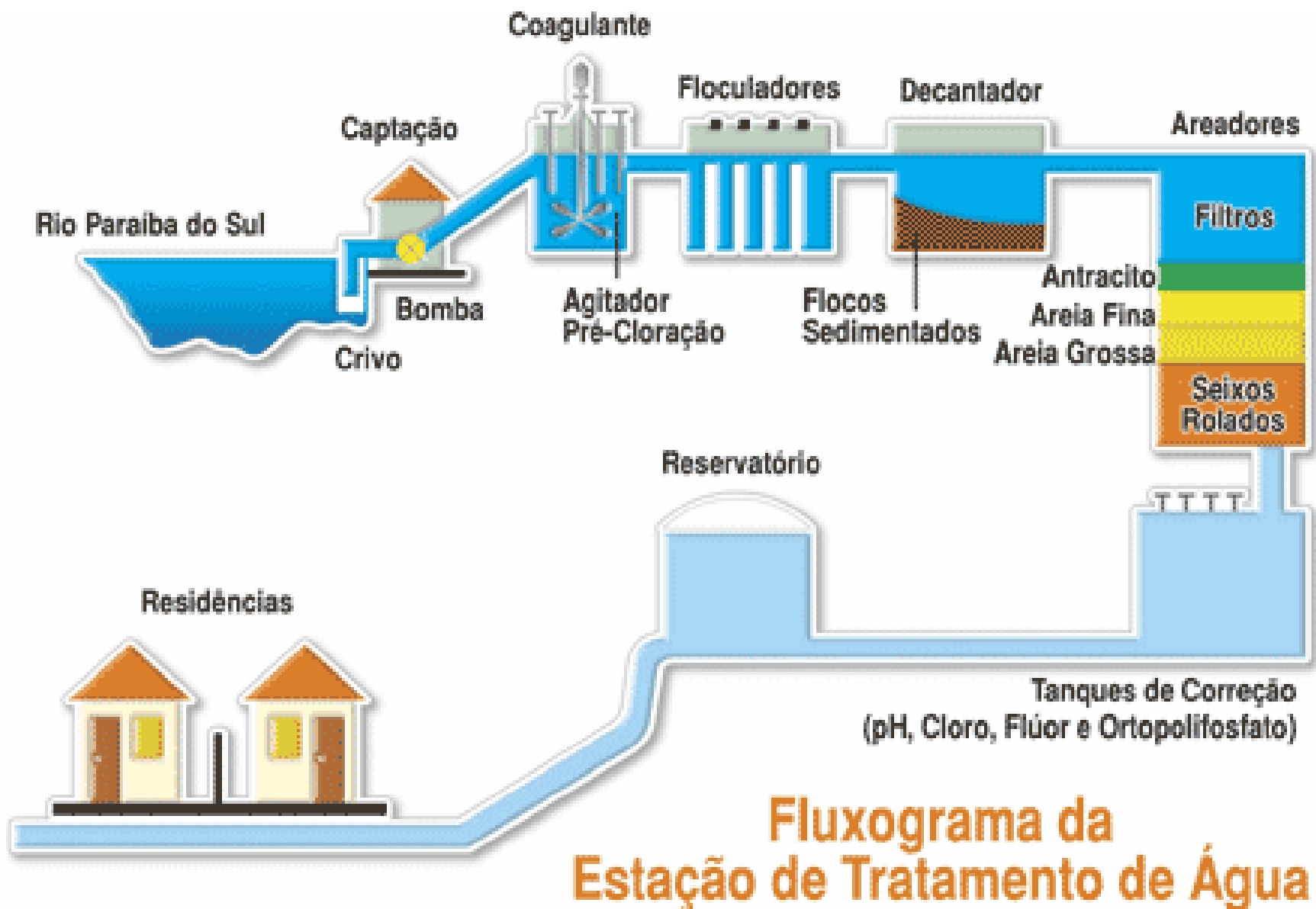
Caract	Unid.	Água Bruta	Cal		Permut. de Na+	Cal + Permut. de Na+	Desmin.
			Frio	Quente			
Dureza carbonatada CaCO <sub>3</sub>	mg/l meq/l	130 2,6	40 0,8	20 0,4			
Dureza não carbonatada CaCO <sub>3</sub>	mg/l meq/l	95 1,9	95 1,9	95 1,9			
Dureza total	mg/l meq/l	225 4,5	135 2,7	115 2,3	1 0,02	1 0,02	0 0
NaHCO <sub>3</sub>	mg/l meq/l	- -	- -	- -	218,4 2,6	67,2 0,8	0 0
Na <sup>+</sup> total	mg/l meq/l	- -	- -	- -	103,5 4,5	135 2,7	0 0
Salinid total em NaCl	mg/l meq/l	263,3 4,5	158 2,7	134,6 2,3	263,3 >4,5	158 >2,7	vestígios
Sílica SiO <sub>2</sub>	mg/l	6	4,5	4	6	6	<0,02
PH		7	>8,5	>8	>7	>7	>7

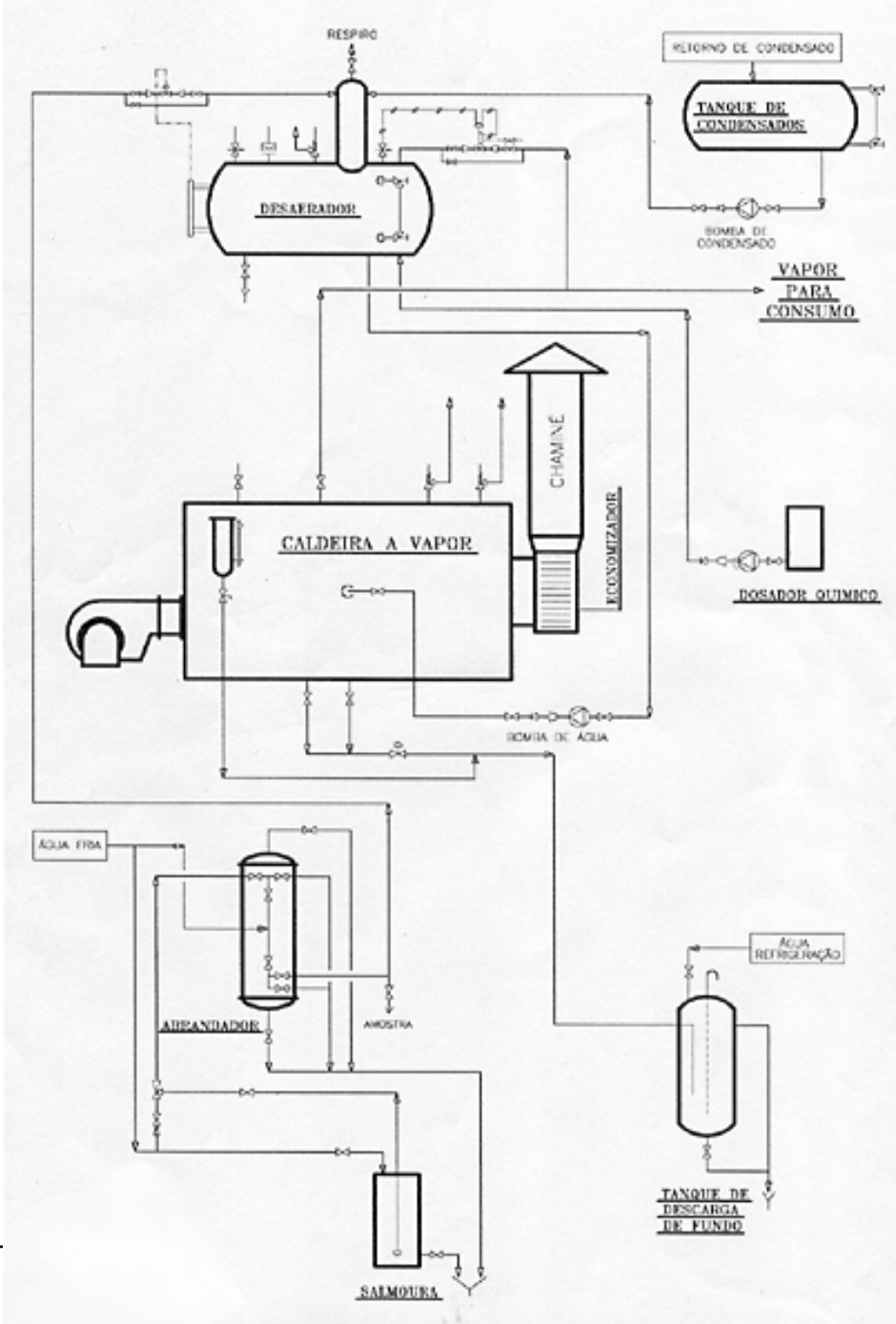




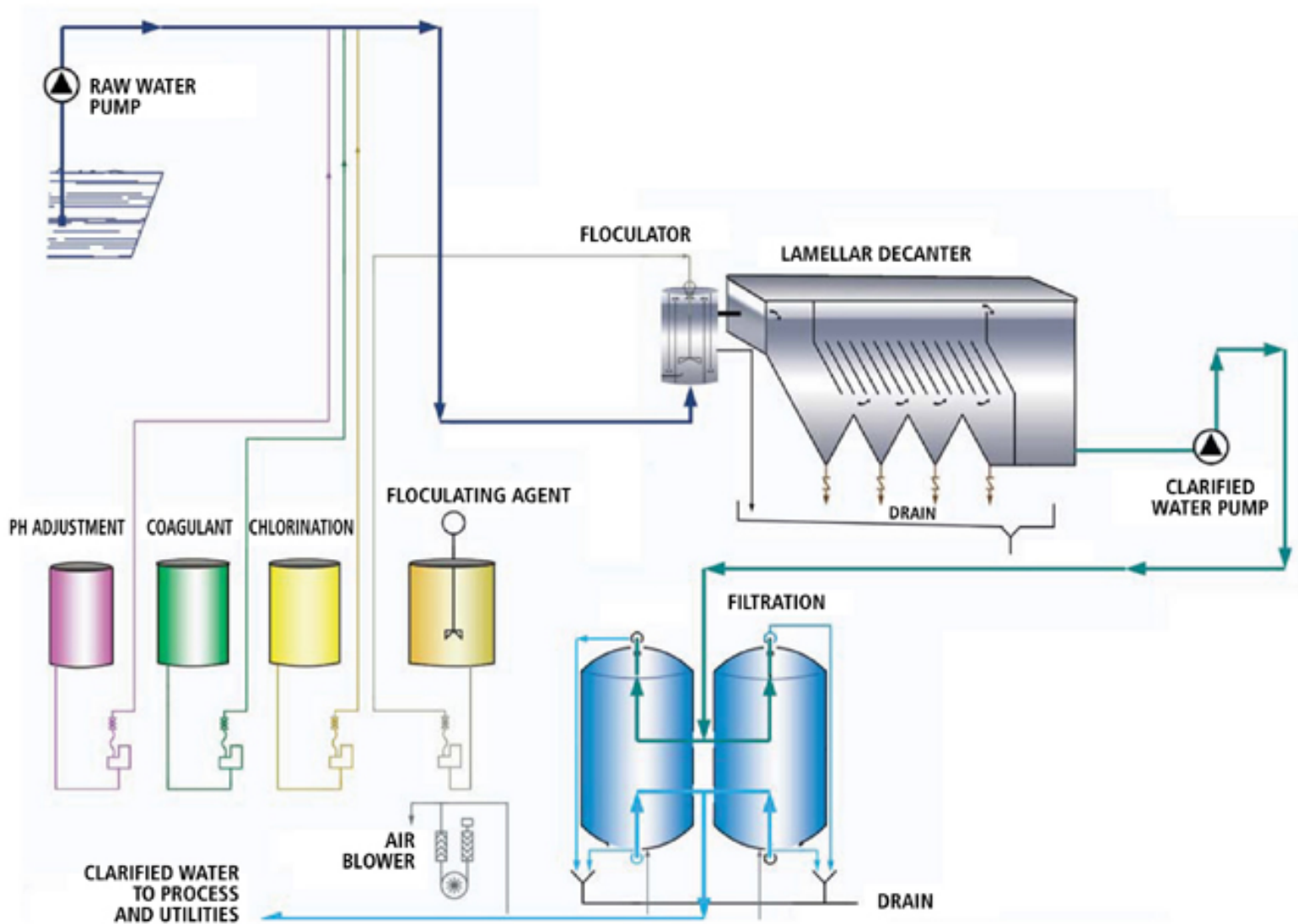








## PRE TREATMENT



# Links

- [http://www.inag.pt/inag2004/port/r\\_externas/ue/ag\\_res\\_urb/aguas\\_res\\_urb.html](http://www.inag.pt/inag2004/port/r_externas/ue/ag_res_urb/aguas_res_urb.html)
- [www.sweetwater.org/](http://www.sweetwater.org/)
- <http://ga.ewatertreatment.net/>
- <http://www.watertreatmentbooks.com/>
- <http://www.babcock-wanson.pt/hi/index.htm>
- [http://www.micropal.online.pt/Pro\\_Industriais.asp](http://www.micropal.online.pt/Pro_Industriais.asp)