

# **PHA3525– Uso Racional e Reúso de Água**

---

**Aula 8 – Geração de Efluentes na  
Indústria e Técnicas de  
Tratamento.**

# Geração de Efluentes

---

- Qualquer atividade que envolva a utilização de água tem potencial de geração de efluentes:
  - Processos de tratamento de água;
  - Processos industriais diversos e atividades auxiliares.
- Estes efluentes devem ser gerenciados de forma a não causarem problemas ao meio ambiente.

## Efluentes Gerados nos Processos de Tratamento de Água

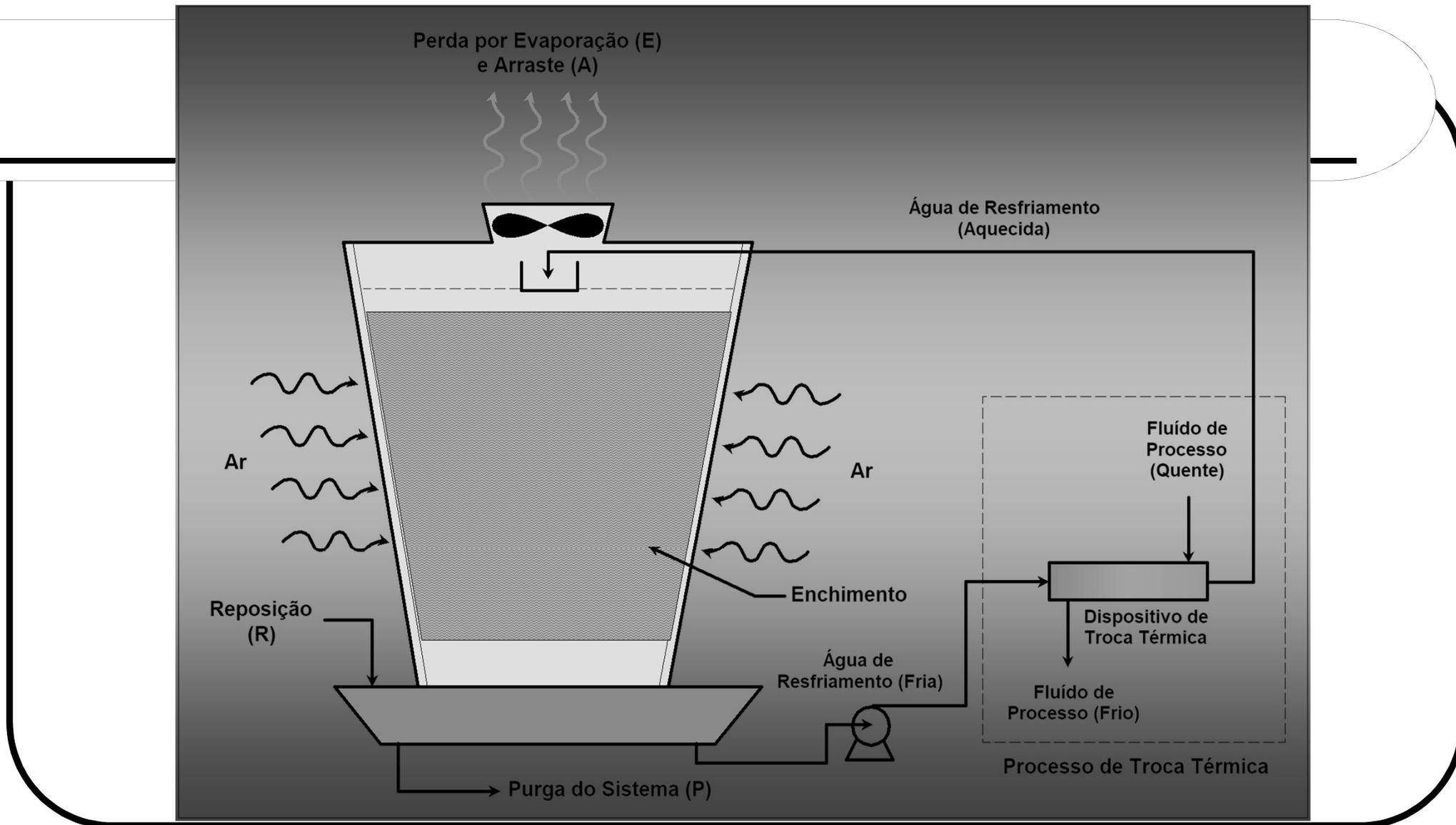
---

- Todo processo de tratamento de água gera efluentes:
  - Operações de contralavagem de filtros;
  - Regeneração dos leitos de resina de troca iônica;
  - Concentrados dos processos de separação por membranas;
  - Limpeza química das membranas e demais componentes dos sistemas de tratamento;
  - Atividades de manutenção em geral, onde ocorrem operações de lavagem.

## Geração de Efluentes em Sistemas de Refrigeração Semiabertos

---

- O principal efluente do sistema de refrigeração refere-se à purga do sistema;
- Esta purga visa manter sob controle a composição da água de resfriamento;
- A purga é necessária devido à evaporação de uma parcela de água que circula no sistema.



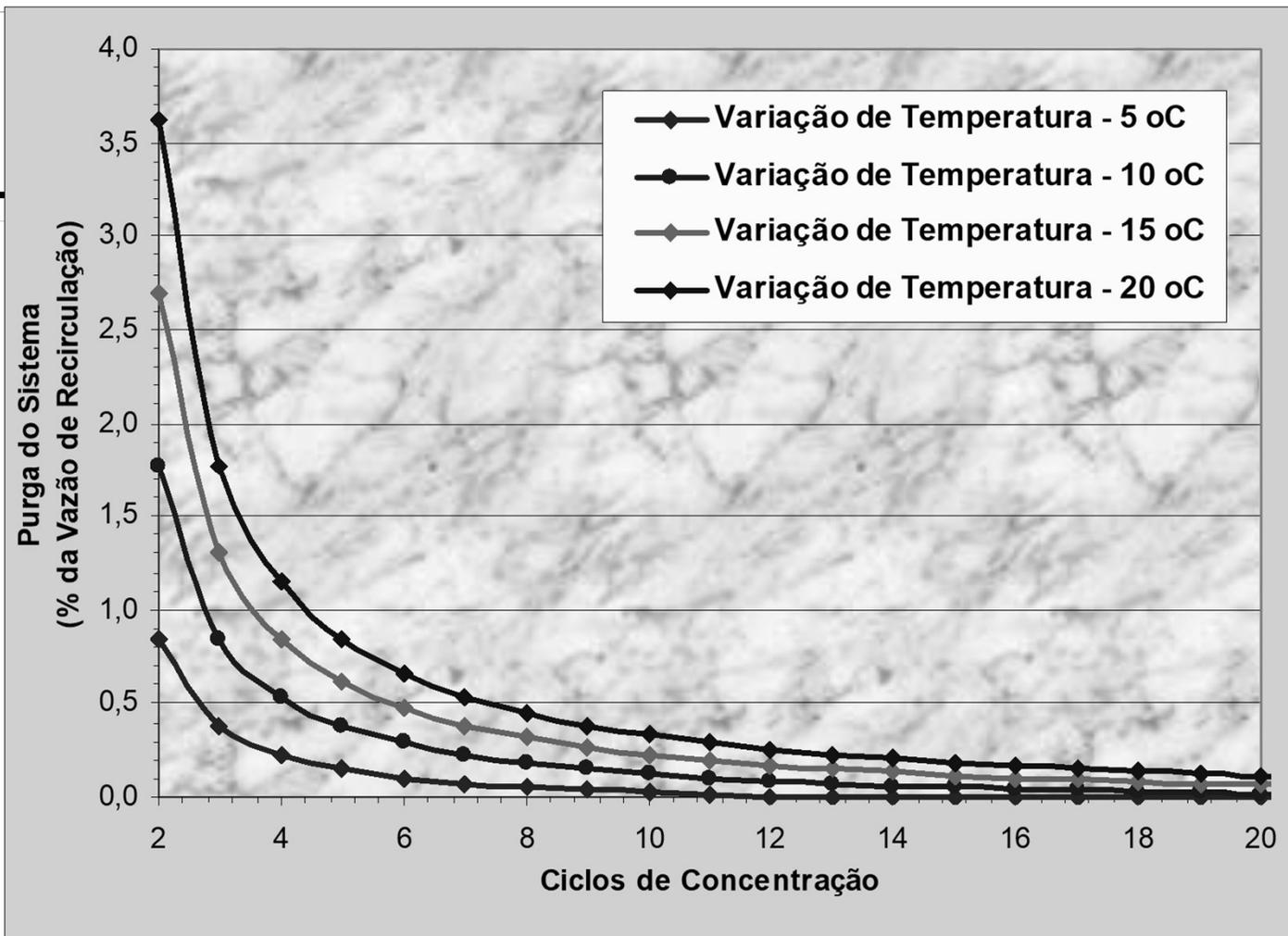
**Representação de um Sistema de Resfriamento Semi-aberto**

# Relações Importantes no Sistema de Resfriamento

$$P + A = \frac{E}{N - 1}$$

$$N = \frac{0,173 * \Delta t}{P + 0,08} + 1$$

- P = purga do sistema, em % da vazão de circulação
- A = Arraste, em % da vazão de circulação
- E = Evaporação, em % da vazão de circulação
- N = Ciclos de concentração, em % da vazão de circulação



**Varição da purga do sistema de resfriamento em função dos ciclos de concentração**

# Geração de Efluentes em Sistemas de Refrigeração Semiabertos

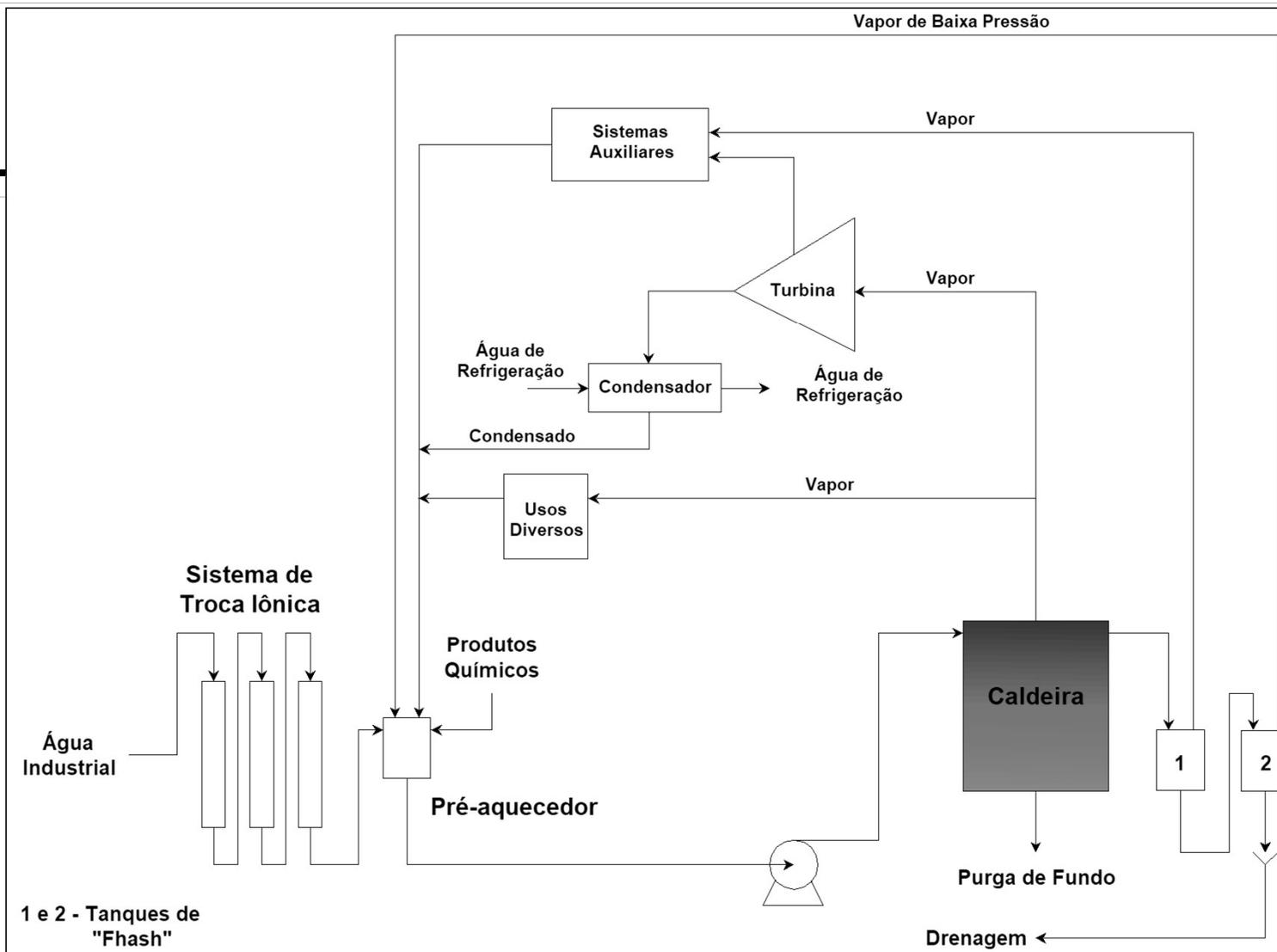
---

- Principais contaminantes dos efluentes gerados nos sistemas de resfriamento:
  - Compostos inicialmente presentes na água de reposição, cuja concentração é proporcional ao ciclo de concentrações;
  - Produtos químicos utilizados para o controle de qualidade da água.

# Efluentes Gerados em Sistemas de Produção de Vapor

---

- No caso do sistema de geração de vapor, os efluentes gerados referem-se:
  - Drenagem das linhas de vapor;
  - Purga para manter a concentração de sais no interior da caldeira;
  - Efluentes originados na limpeza química do sistema.



**Representação esquemática de um sistema para produção de vapor**

# Efluentes Gerados nas Demais Atividades Industriais

---

- Todas atividades nas quais a água é utilizada geram efluentes;
- A vazão e composição desses efluentes depende:
  - Ramo de atividade da indústria;
  - Capacidade de produção;
  - Tecnologias utilizadas;
  - Capacitação dos profissionais.
- A obtenção desses dados deve ser feito por meio de avaliações de campo.

# Neutralização

---

- Ajuste do pH do efluente para um valor aceitável 5 a 9;
- Tem por objetivo reduzir a reatividade e corrosividade do efluente;
- Utiliza-se um ácido ou um álcali;
- É uma operação intermediária ou complementar ao tratamento;

# Filtração

- É utilizado para separação de substâncias insolúveis presentes em uma corrente líquida;
  - Os sistemas de filtração disponíveis são:
    - Filtros cartucho → Baixa concentração de sólidos (<0,01%) e baixa vazão;
    - Filtros com meio granular → Baixa concentração de sólidos e vazão elevada;
    - Filtros à vácuo
    - Filtros prensa
    - Prensas desaguadoras
- } Concentração de sólidos elevada (> 0,5%)

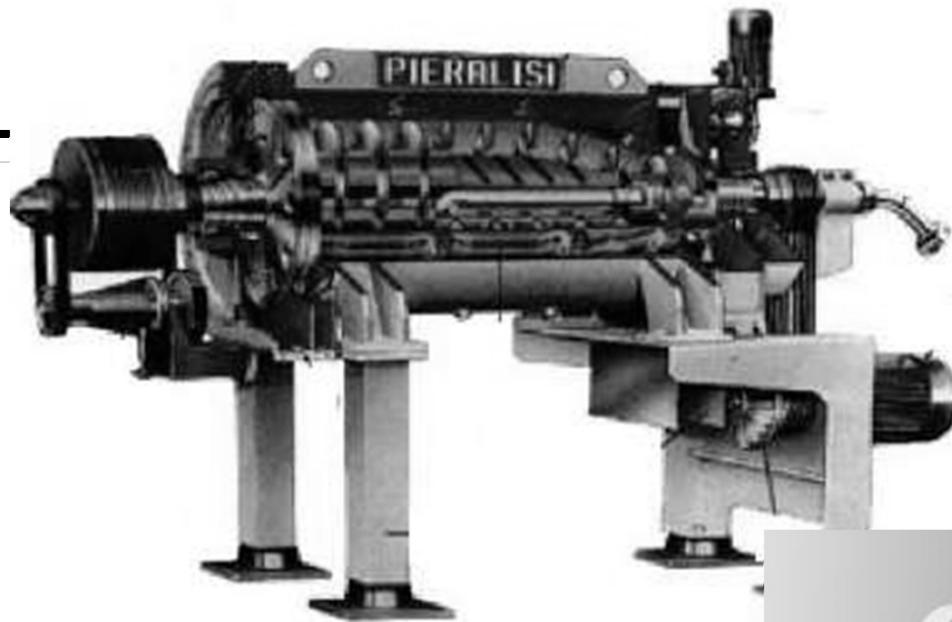


**Filtro Prensa**

# Centrifugação

---

- Utilizado para a separação dos componentes de uma mistura;
- Além da separação de sólidos também é possível separar líquidos de diferentes densidades;
- A separação resulta da força centrífuga criada pela rotação em alta velocidade;
- O material com maior densidade migra para a periferia do dispositivo;
- A concentração de sólidos deve ser superior a 0,5%.



**Representação de um  
Separador Centrífugo  
Contínuo**



# Precipitação Química

---

- Conversão de substância dissolvidas em insolúveis, por meio da alteração do equilíbrio químico;
  - Reação química entre substâncias em solução, formando um composto insolúvel.
  - Alterar o equilíbrio de solubilidade de forma a não mais favorecer a permanência dessa substância em solução;
  - Adição de compostos que irão reagir entre si formando um precipitado, o qual irá arrastar ou adsorver a substância a ser removida (co-precipitação).
  - Alteração da temperatura de uma solução saturada, ou próxima à saturação, no sentido de diminuir a solubilidade da substância presente.

## Processos usuais de precipitação química

Composto Químico Utilizado	Compostos Removidos	pH	Vantagens	Desvantagens
Hidróxido de Cálcio (Cal)	As; Cd; Cr(III); Cu; Fe; Mn; Ni; Pb e Zn. Eficiência de Remoção: - > 99,0 % para Cr; Cu; Pb e Fe; - 98,6 % para o Zn; e - 97,0 % para o Ni	9,4	- Comumente utilizado - Efetivo - Econômico - O lodo é desidratado facilmente.	- Gera um grande volume de lodo. - Interferência com agentes complexantes quando da estabilização da lama de hidróxidos. - Dosagem excessiva pode reduzir a qualidade de efluentes - A lama gerada não é adequada para a recuperação do metal.
Hidróxido de Sódio (Soda Caustica)	As; Cd; Cr(III); Cu; Fe; Mn; Ni; Pb; Zn e Ag. Eficiência de remoção: - > 99 % para o Cd; Cr; Pb; Ni; e Zn; - 98 % para o Cu; - 76% para a Ag	9 a 11	- Gera um menor volume de lodo - Apresenta uma excelente eficiência de neutralização. - O lodo é adequado para a recuperação de metais.	- Mais caro que o óxido de cálcio. - Necessita de equipamentos de grande porte para a separação dos sólidos, em função do material precipitado ser muito fino.

## Processos usuais de precipitação química

Composto Químico Utilizado	Compostos Removidos	pH	Vantagens	Desvantagens
Óxido ou Hidróxido de Magnésio	As; Cd; Cr(III); Cu; Fe; Mn; Ni; Pb e Zn.	8 a 9	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Efetivo para o tratamento de efluentes com baixa concentração de metais (<math>\leq 50\text{mg/l}</math>).</li> <li>- Pequeno volume de lodo;</li> <li>- Fácil desidratação do lodo.</li> <li>- Mais eficiente quando realizado em bateladas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reagente de custo bastante elevado.</li> <li>- Deve-se utilizar uma quantidade de três a quatro vezes superior à estequiométrica, para elevar o pH para valores entre 8 e 9.</li> </ul>
Sulfetos solúveis. (Sulfeto de Sódio)	As; Cd; Cr(III); Fe; Mn; Pb; e Zn. Eficiência de remoção: <ul style="list-style-type: none"> <li>- 82% para o Pb;</li> <li>- 88% para o Cr;</li> <li>- 93% para o Zn;</li> <li>- 95% para o Cd;</li> <li>- 98% para o Cu e Ni;</li> </ul>	9	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A solubilidade dos sulfetos metálicos é menor que a dos hidróxidos.</li> <li>- Os cromados não requerem a etapa de redução:</li> <li>- Não é afetado pela maioria dos agentes quelantes.</li> <li>- Lodo adequado para a recuperação dos metais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pode ocorrer a geração de gás sulfídrico em condições ácidas.</li> <li>- O efluente tratado pode apresentar excesso de sulfeto após o tratamento.</li> <li>- A formação rápida de precipitado pode dificultar a precipitação.</li> </ul>

# Oxidação ou Redução Química

- Envolve a alteração do estado de oxidação de dois elementos químicos;



- Na reação, o estado de oxidação do cianeto é elevado de **-1** para **+1**, enquanto o do permanganato diminui de **-1** para **-2**;
- Têm por objetivo diminuir a toxicidade de uma determinada corrente líquida;
- Podem ser utilizados para compostos orgânicos, metais e alguns compostos inorgânicos.

## Principais agentes oxidantes utilizados para o tratamento de efluentes

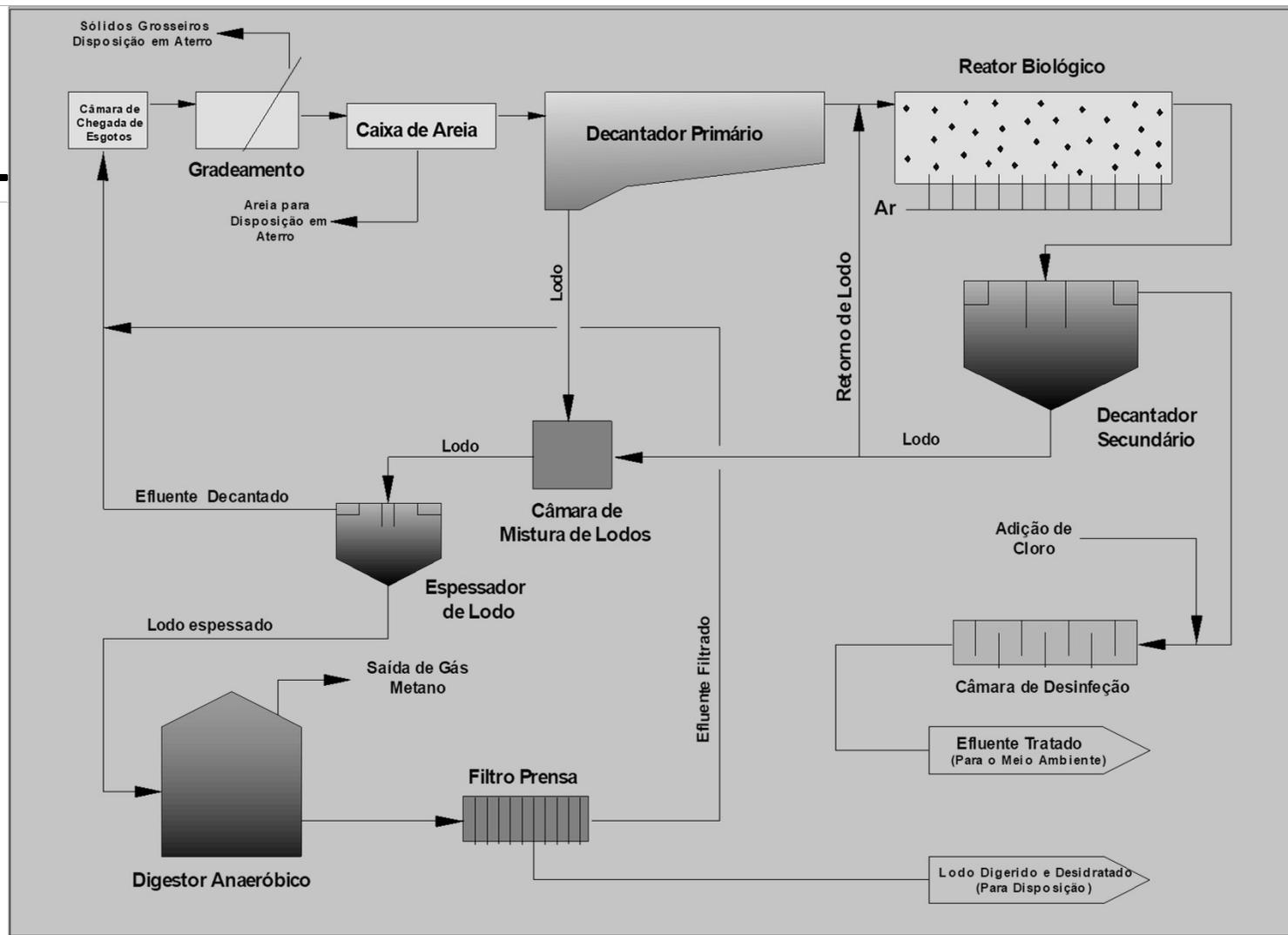
Oxidante	Reação Parcial	Potencial de Oxidação Eo (Volts).
Flúor	$F_2 + 2 H^+ + 2 e^- \Rightarrow 2 HF (aq)$	3,060
Ozônio	$O_3 + 2 H^+ + 2 e^- \Rightarrow O_2 + H_2O$	2,070
Peróxido de Hidrogênio	$H_2O_2 + 2 H^+ + 2 e^- \Rightarrow 2 H_2O$	1,770
Permanganato	$MnO_4^- + 4 H^+ + 2 e^- \Rightarrow MnO_2 + 2 H_2O$	1,695
Cloro	$Cl_2 + 2 e^- \Rightarrow 2 Cl^-$	1,359
Dicromato	$Cr_2O_7^{2-} + 14 H^+ + 6 e^- \Rightarrow 2 Cr_3^+ + 7 H_2O$	1,330

## Aplicação dos agentes de oxidação para o tratamento de efluentes

Oxidante	Contaminante
Ozônio	Sulfeto; Odores; Cianetos; Compostos orgânicos.
Ar	Sulfitos Sulfetos Íons ferrosos (muito lentamente)
Cloro gás	Sulfeto; Mercaptanas.
Cloro gás em meio alcalino	Cianeto (CN).
Dióxido de cloro	Cianeto; Pesticidas {Diquat e Paraquat.}
Hipoclorito de sódio	Cianeto Chumbo
Hipoclorito de cálcio	Cianeto

## Aplicação dos agentes de oxidação para o tratamento de efluentes

Oxidante	Contaminantes
Permanganato de potássio  Permanganato	Cianeto; Odores; Chumbo; Fenol; Pesticidas {Diquat/Paraquat;} Compostos orgânicos contendo enxofre; Formaldeído; Manganês.
Peróxido de Hidrogênio	Fenol; Cianeto; Compostos contendo enxofre; Chumbo



**Representação esquemática do processo de tratamento de esgotos por lodos ativados**

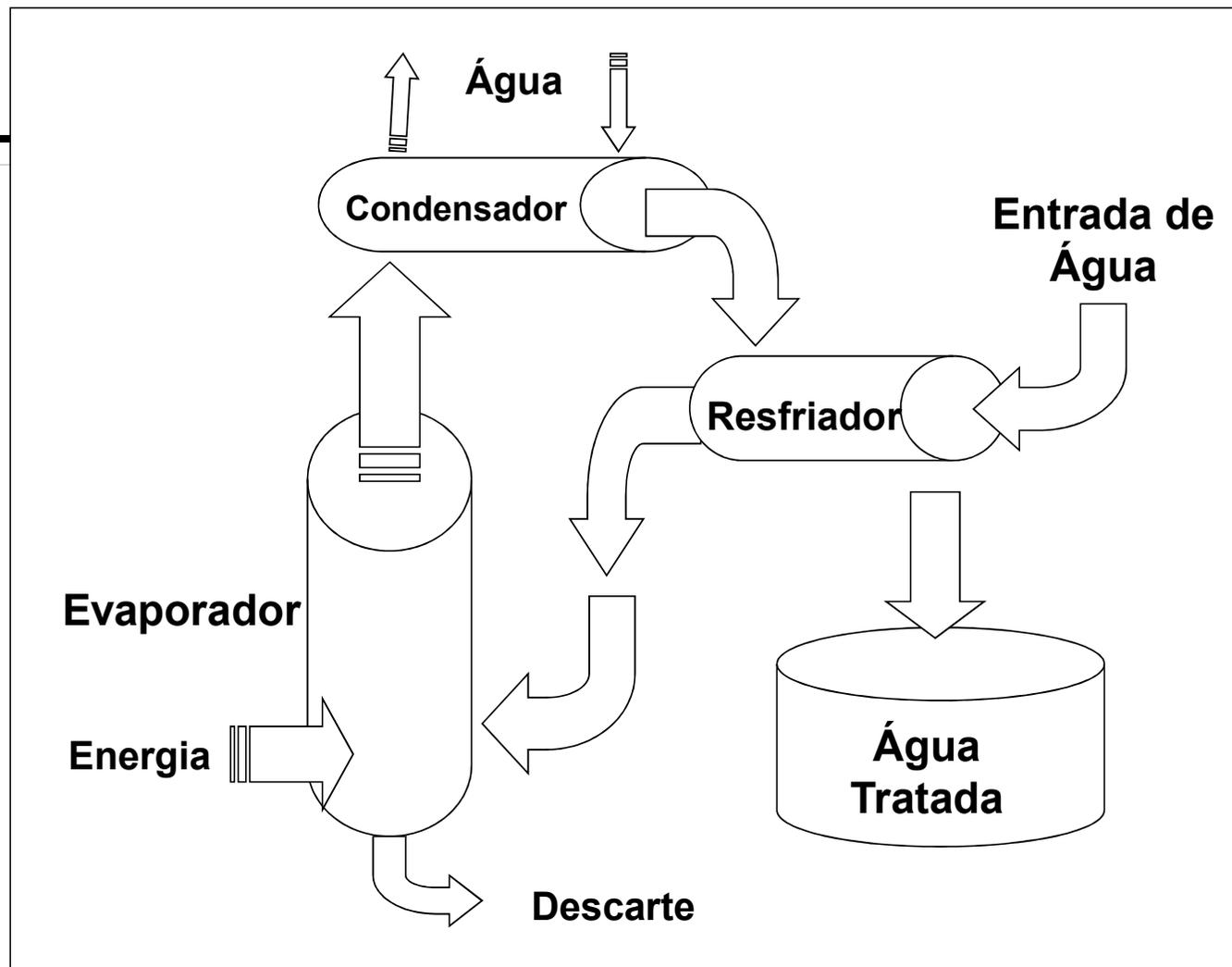
# Adsorção em Carvão Ativado

---

- Qualquer forma de carvão amorfo que tenha sido tratado para apresentar alta capacidade de adsorção;
- É um processo físico-químico, através do qual o composto que se deseja remover é mantido na superfície do carvão;
- Geralmente é utilizado para a remoção de compostos orgânicos;
- Após a saturação do carvão, este deve ser regenerado ou substituído.

# Processo de Separação Térmica

- Consiste na separação dos contaminantes da água por meio da utilização de energia térmica;
- Evaporação → Conversão da fase líquida, geralmente água em vapor para separação dos contaminantes solúveis ou em suspensão;
  - O fator de descontaminação pode variar de  $10^4$  a  $10^6$ ;
  - Alguns dispositivos são capazes de promover a cristalização dos sais presentes;
- Destilação → Separação de líquidos com diferentes pontos de ebulição;



**Representação Esquemática do Processo de Evaporação**