

PHD5749 – USO RACIONAL E REÚSO DE ÁGUA

Aula 7 – Geração de Efluentes na Indústria
e Técnicas de Tratamento.

Geração de Efluentes

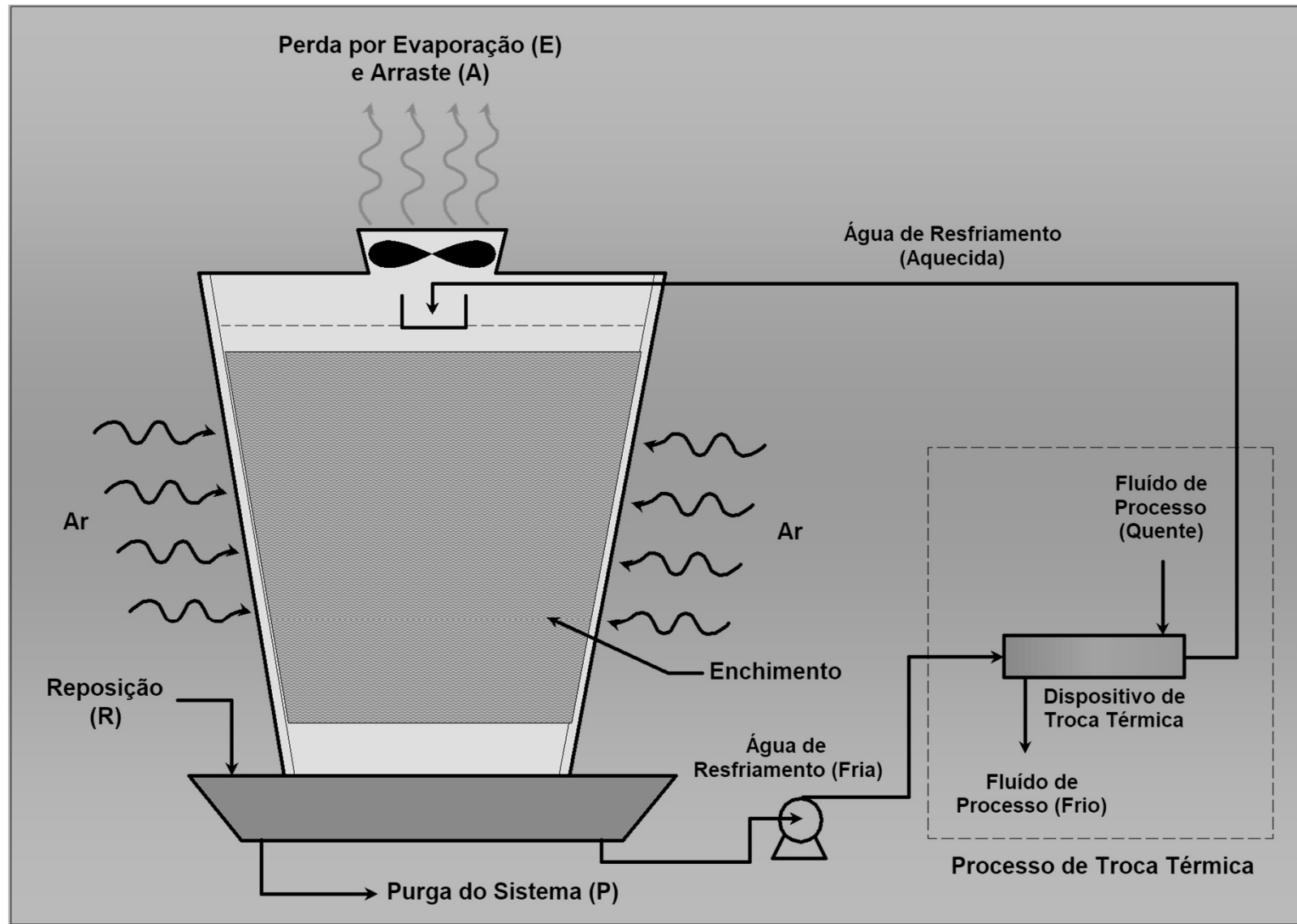
- Qualquer atividade que envolva a utilização de água tem potencial de geração de efluentes:
 - *Processos de tratamento de água;*
 - *Processos industriais diversos e atividades auxiliares.*
- Estes efluentes devem ser gerenciados de forma a não causarem problemas ao meio ambiente.

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 Semiaberto

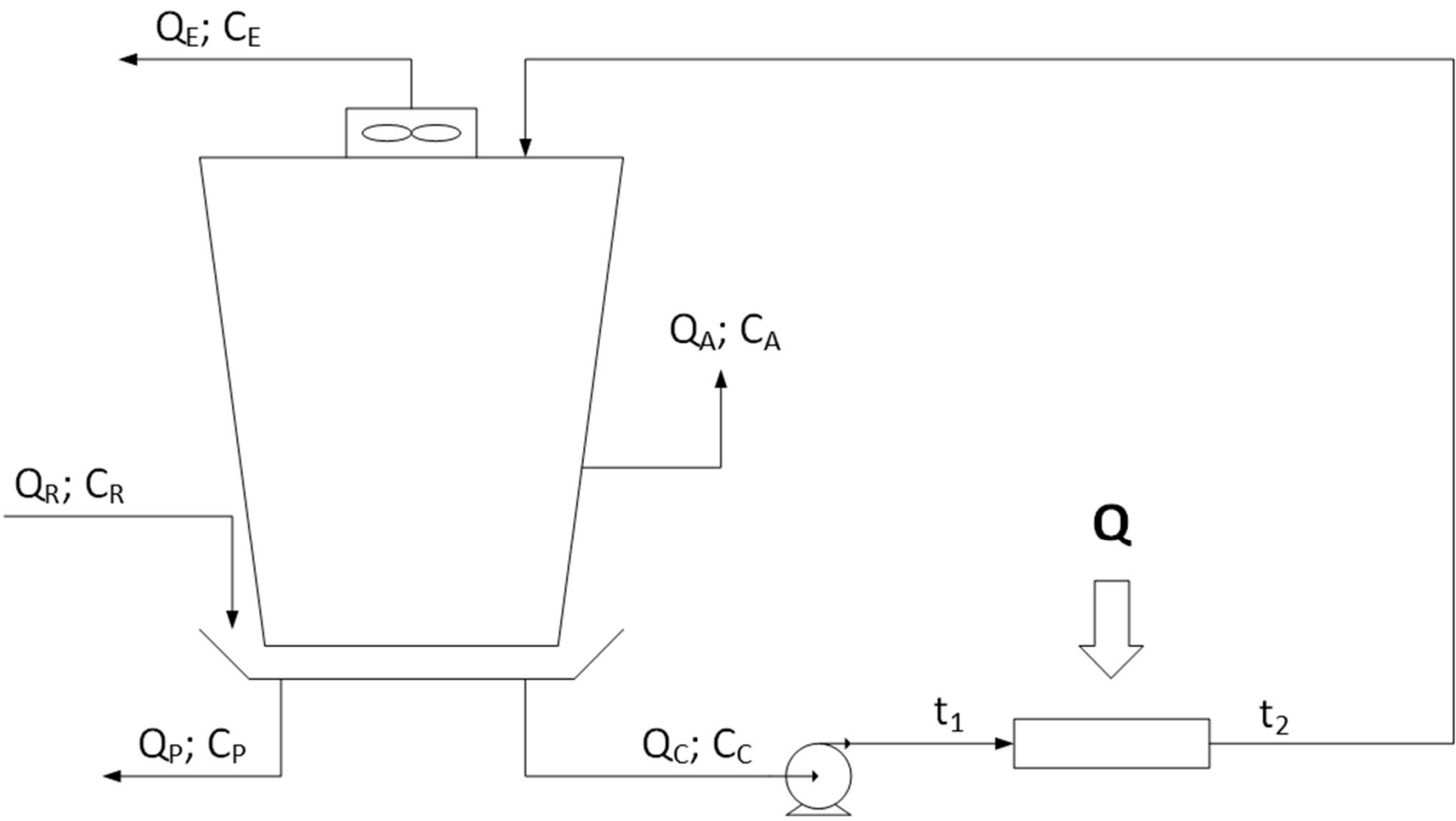
Relações Importantes no Sistema de Resfriamento

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

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

- 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.

Balanço de massa:



Balanco de massa para a água:

$$Q_R \cdot \rho_R = Q_A \cdot \rho_A + Q_P \cdot \rho_P + Q_E \cdot \rho_E$$

Admitindo-se que a massa específica não varia:

$$Q_R = Q_A + Q_P + Q_E$$

Balanco para contaminantes:

$$Q_R \cdot C_R = Q_A \cdot C_A + Q_P \cdot C_P + Q_E \cdot C_E$$

$$C_A = C_P = C_C$$

$$C_E = 0$$

$$Q_R \cdot C_R = Q_A \cdot C_C + Q_P \cdot C_C + Q_E \cdot 0$$

$$Q_R \cdot C_R = C_C (Q_P + Q_A)$$

Adotando-se o conceito de ciclo de concentraçao: $N = C_C / C_R$

$$Q_R = N(Q_P + Q_A)$$

Dividindo-se os dois lados da equação por QC e multiplicando-se por 100:

$$\%R = N(\%P + \%A)$$

Repetindo o procedimento para a equação de balanço de vazões:

$$\%R = \%A + \%P + \%E$$

Igualando-se as expressões:

$$N(\%P + \%A) = (\%P + \%A) + \%E$$

$$\%P = \frac{\%E}{(N - 1)} - \%A$$

Balço de Energia:

No trocador de calor:

$$Q = Q_C \cdot c(t_2 - t_1)$$

$$\Delta t = (t_2 - t_1)$$

c = capacidade calorífica da água à pressão constante (1 Mcal/ton)

$$Q = Q_C \cdot \Delta t$$

Na torre:

O calor absorvido pela água de circulação é perdido na torre pela evaporação de uma parcela de água:

$$Q = Q_E \cdot h_v$$

h_v = entalpia de vaporização da água (578 Mcal/ton)

Igualando-se as equações:

$$Q_C \cdot \Delta t = Q_E \cdot h_v$$

$$Q_C \cdot \Delta t = Q_E \cdot 578$$

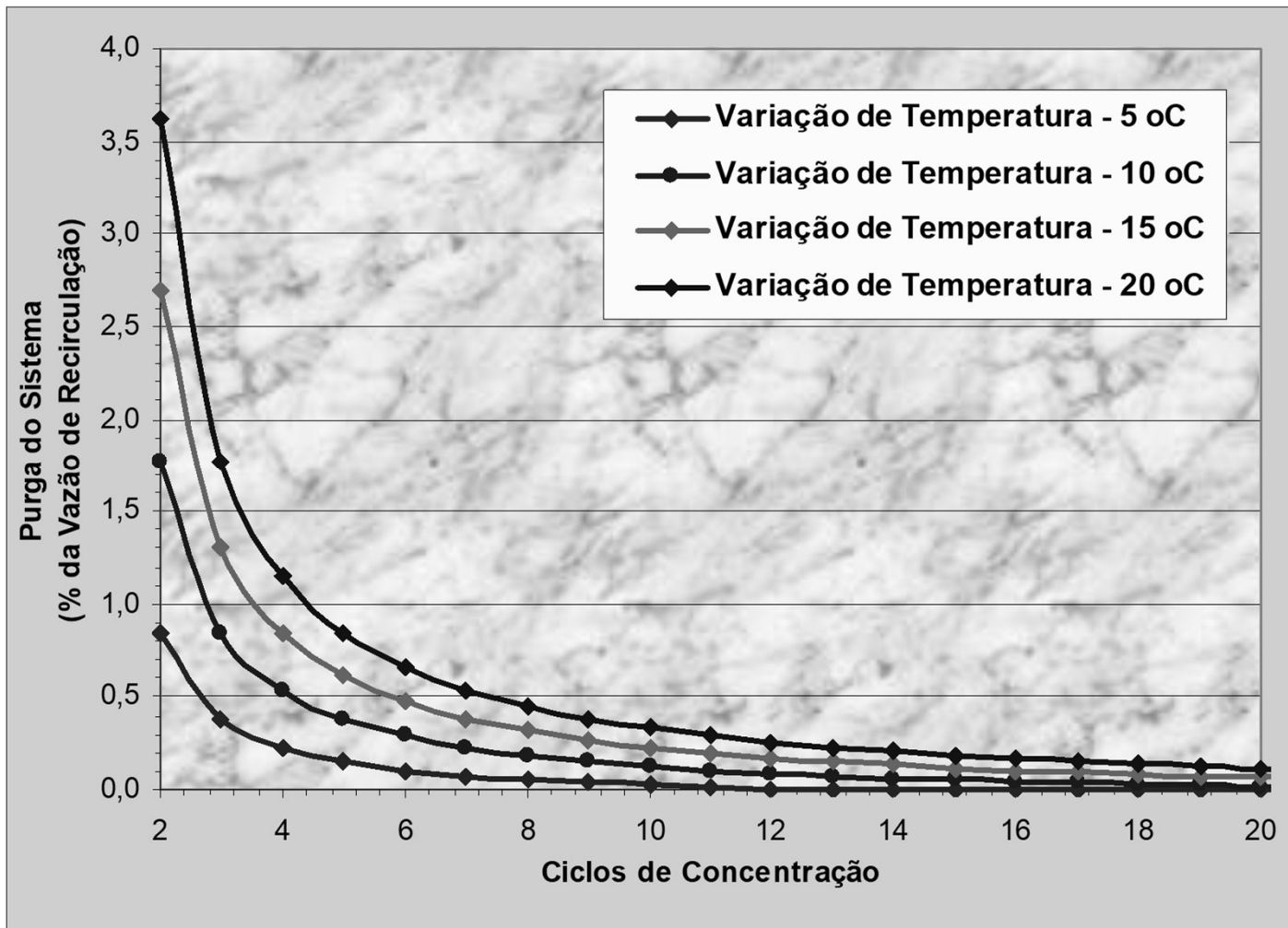
$$\frac{Q_E}{Q_C} = \frac{\Delta t}{578}$$

Multiplicando-se os dois lados por 100 e fazendo o cálculo:

$$\%E = 0,173 \cdot \Delta t$$

Substituindo na equação da purga:

$$\%P = \frac{0,173 \cdot \Delta t}{(N - 1)} - \%A$$



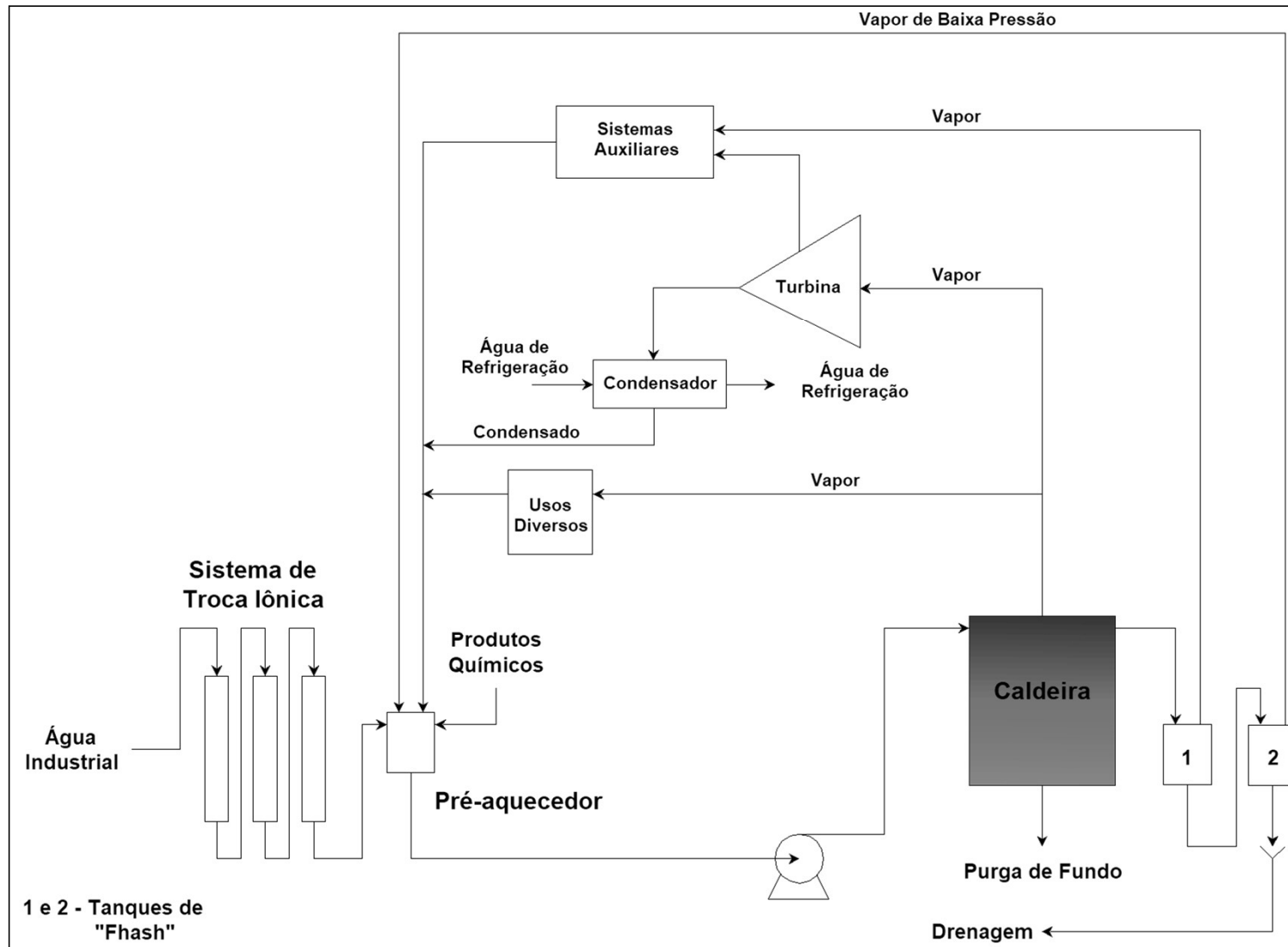
Variação da purga do sistema de resfriamento em função dos ciclos de concentração

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;*
 - *Purgá 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

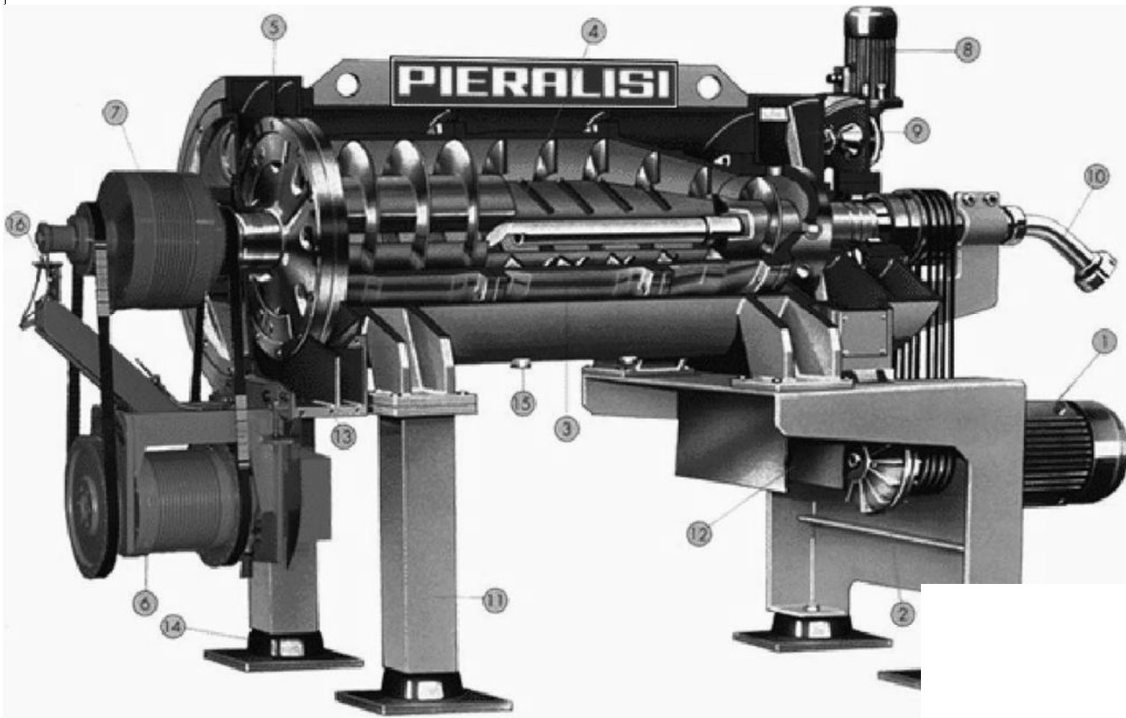
- É utilizado para separação de substâncias insolúveis presentes em uma corrente líquida;
 - Os sistemas de filtração disponíveis são:
 - *Filtros cartucho* → *Baixa concentração de sólidos (<0,01%) e baixa vazão;*
 - *Filtros com meio granular* → *Baixa concentração de sólidos e vazão elevada;*
 - *Filtros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



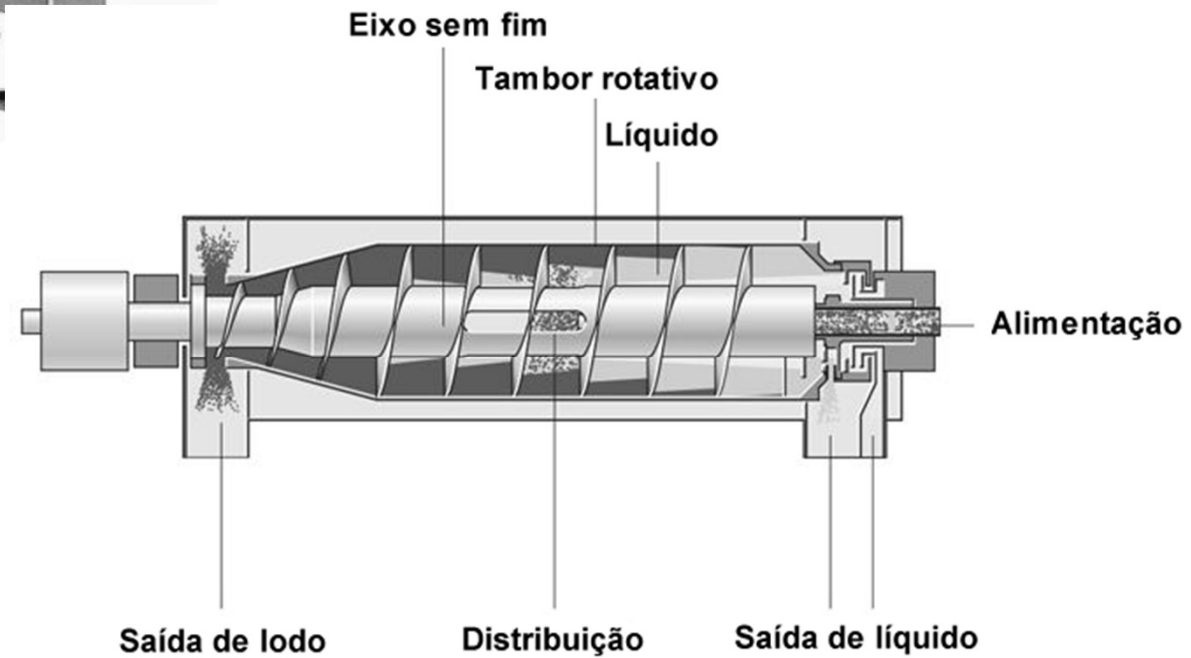
Filtro Prensa

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

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

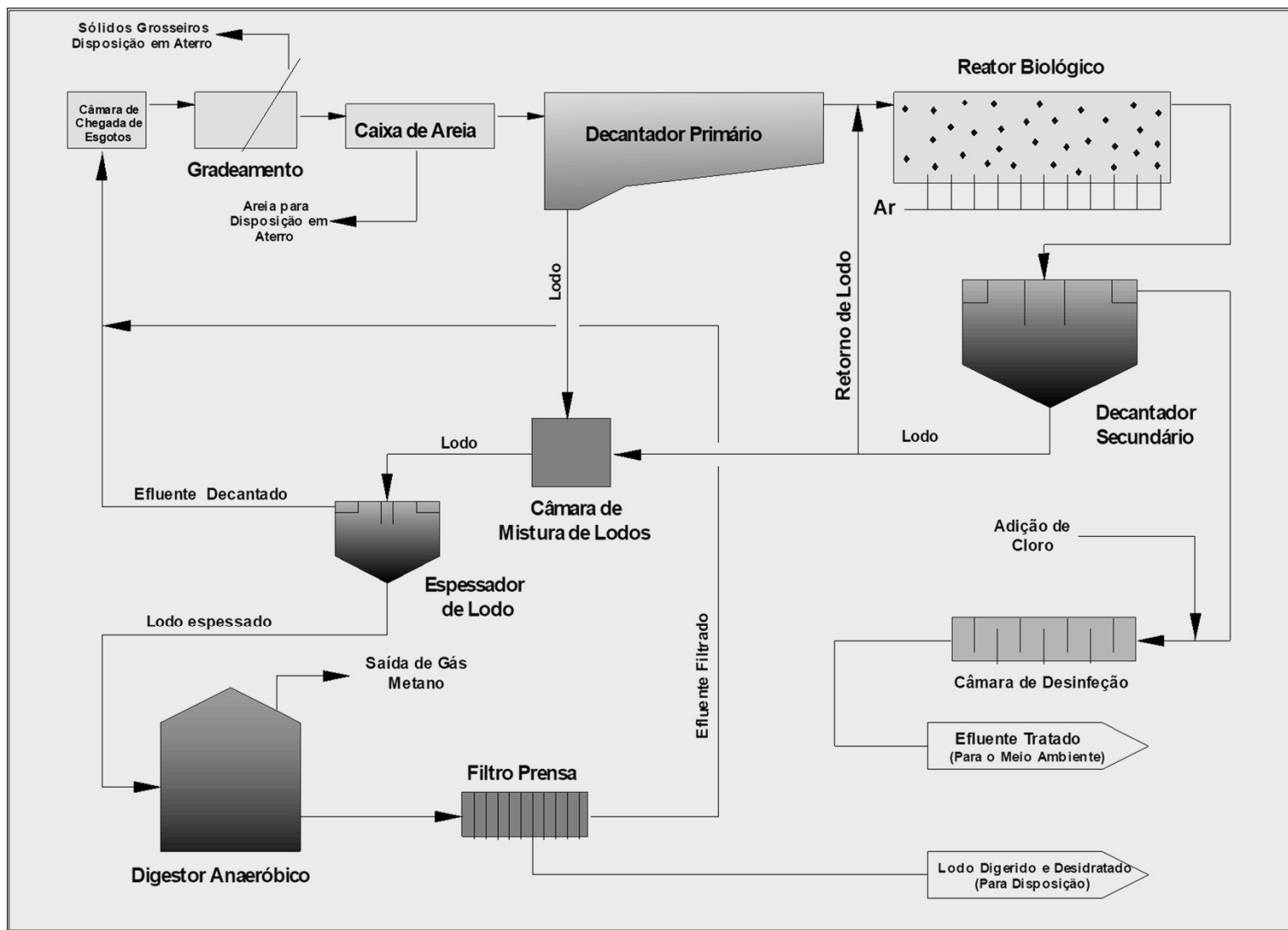
Oxidante	Reação Parcial	Potencial de Oxidação Eo (Volts).
Flúor	$F_2 + 2 H^+ + 2 e^- \Rightarrow 2 HF (aq)$	3,060
Ozônio	$O_3 + 2 H^+ + 2 e^- \Rightarrow O_2 + H_2O$	2,070
Peróxido de Hidrogênio	$H_2O_2 + 2 H^+ + 2 e^- \Rightarrow 2 H_2O$	1,770
Permanganato	$MnO_4^- + 4 H^+ + 2 e^- \Rightarrow MnO_2 + 2 H_2O$	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	Cianeto; Odores; Chumbo;
Permanganato	Fenol; Pesticidas {Diquat/Paraquat;} Compostos orgânicos contendo enxofre; Formaldeído; Manganês.
Peróxido de Hidrogênio	Fenol; Cianeto; Compostos contendo enxofre; Chumbo



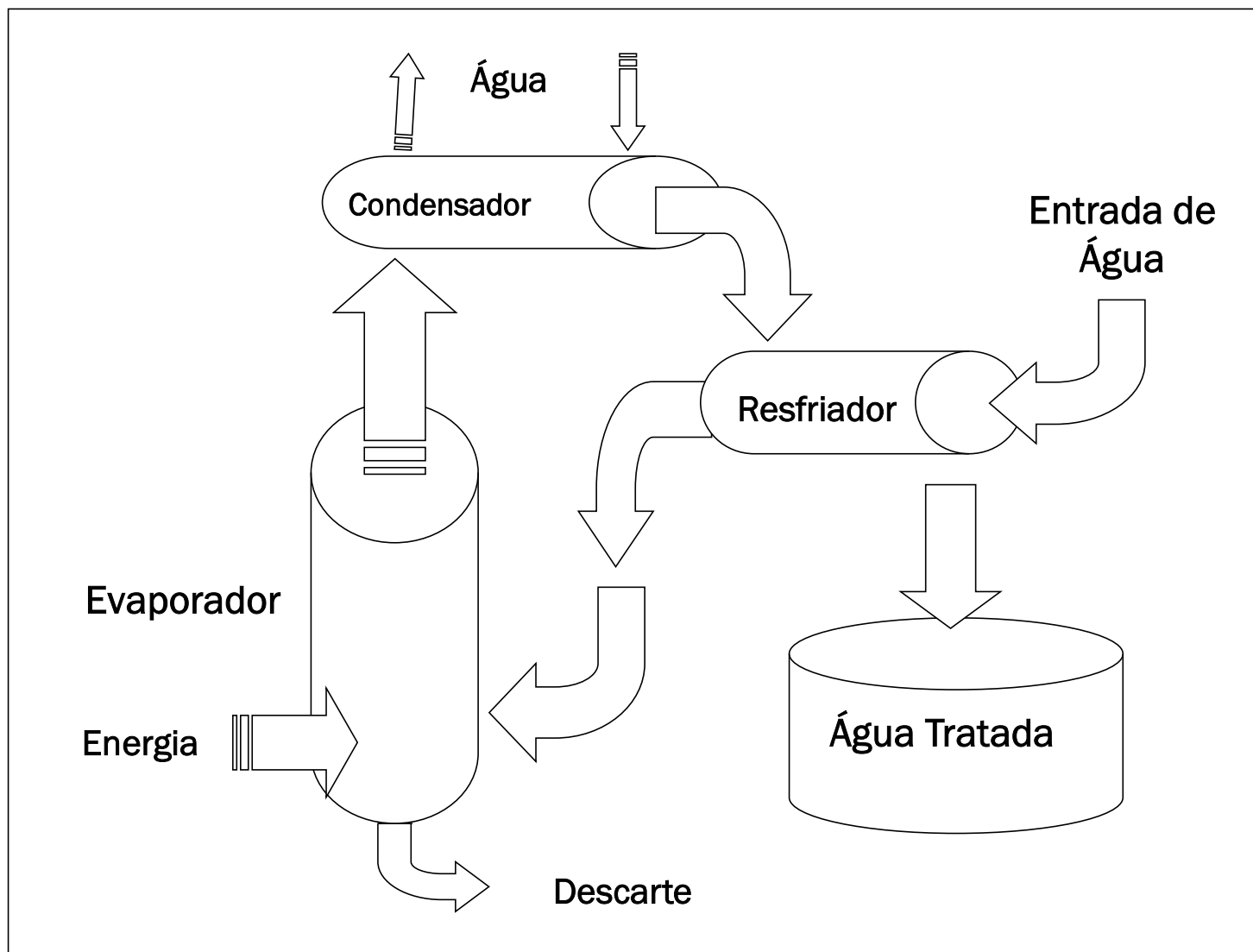
Representação esquemática do processo de tratamento de esgotos por lodos ativados

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.

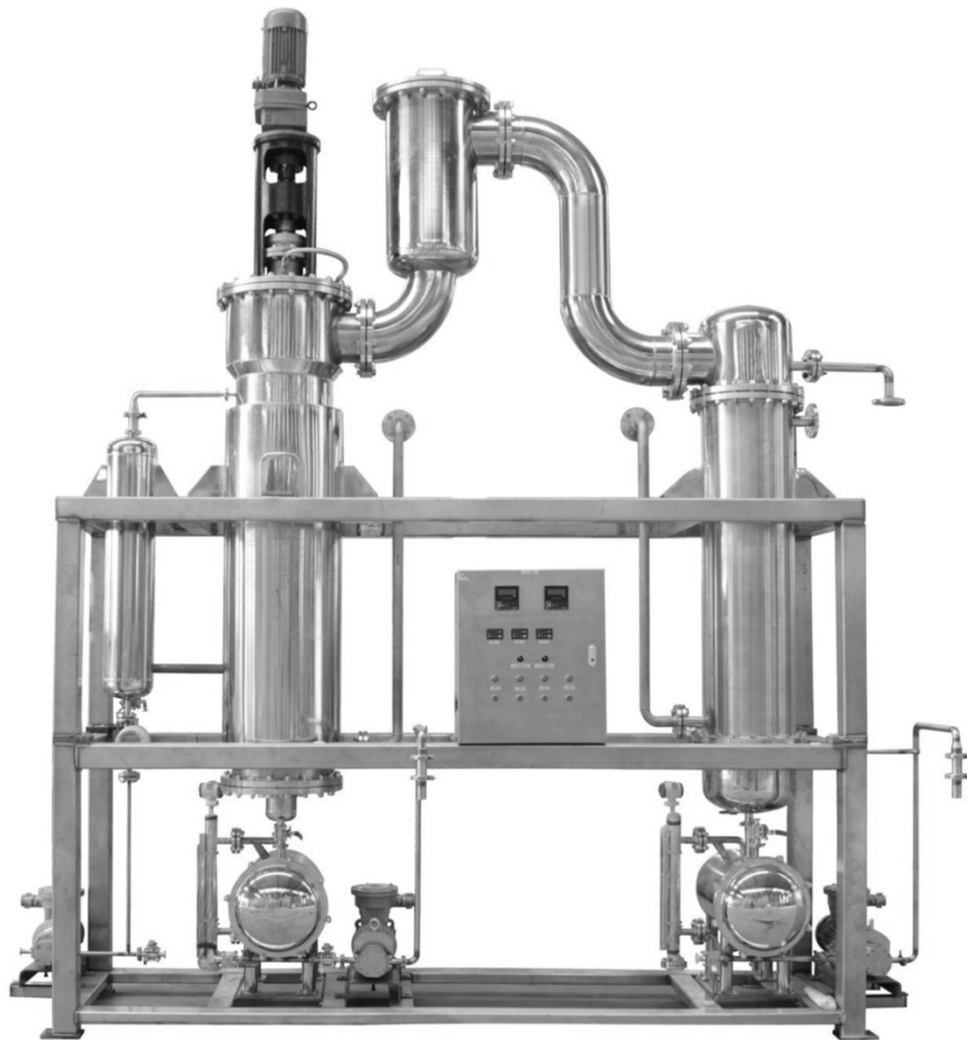
Processo de Separação Térmica

- 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

Evaporador de filme fino agitado



<https://www.youtube.com/watch?v=RS-2asFipNA>

