

# CALDEIRAS

TM-364 – MÁQUINAS TÉRMICAS I

Prof. Strobel, Dr. Eng.

# DEFINIÇÃO

NR-13: *“Caldeiras a vapor são equipamentos destinados a produzir e acumular vapor sob pressão superior à atmosférica, utilizando qualquer fonte de energia, excetuando-se os refeedores e equipamentos similares utilizados em unidades de processo.”*

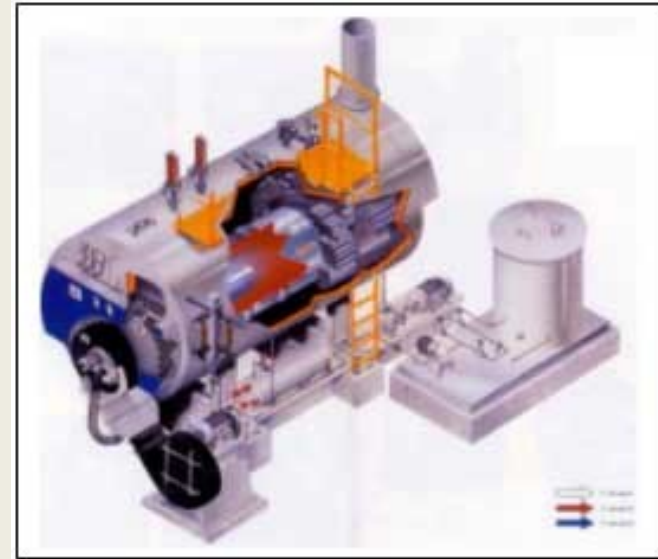
# Tipo de Caldeiras

**Flamotubular:** Os produtos de combustão circulam pelo interior dos tubos, que ficam imersos na água a ser vaporizada.

**Aquatubulares:** A água a ser vaporizada circula pelos tubos, e os produtos de combustão pelo exterior deles.

# Caldeiras Flamotubulares

Baixo rendimento térmico;  
Maior espaço ocupado;  
Ideal para pequenas  
instalações;  
Simples construção.



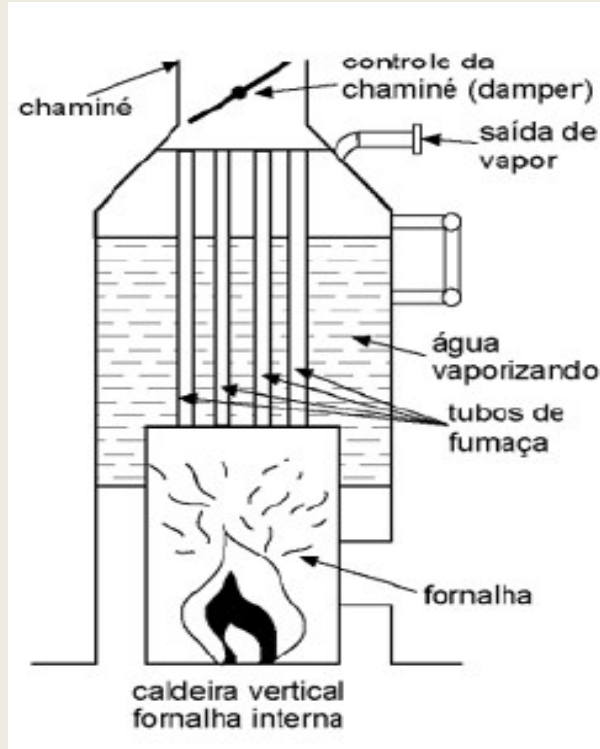
# Caldeiras Flamotubulares

## *Verticais:*

Os tubos são colocados verticalmente num corpo cilíndrico fechado nas extremidades por placas, chamadas espelhos ;

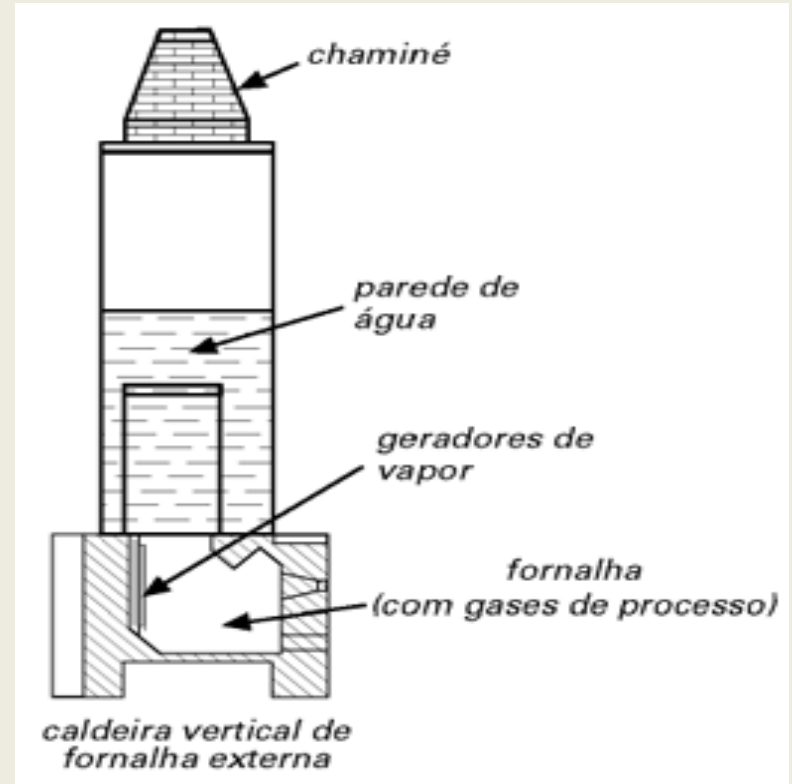
A fornalha interna fica no corpo cilíndrico logo abaixo do espelho inferior.

Os gases de combustão sobem através dos tubos, aquecendo e vaporizando a água que está em volta deles.



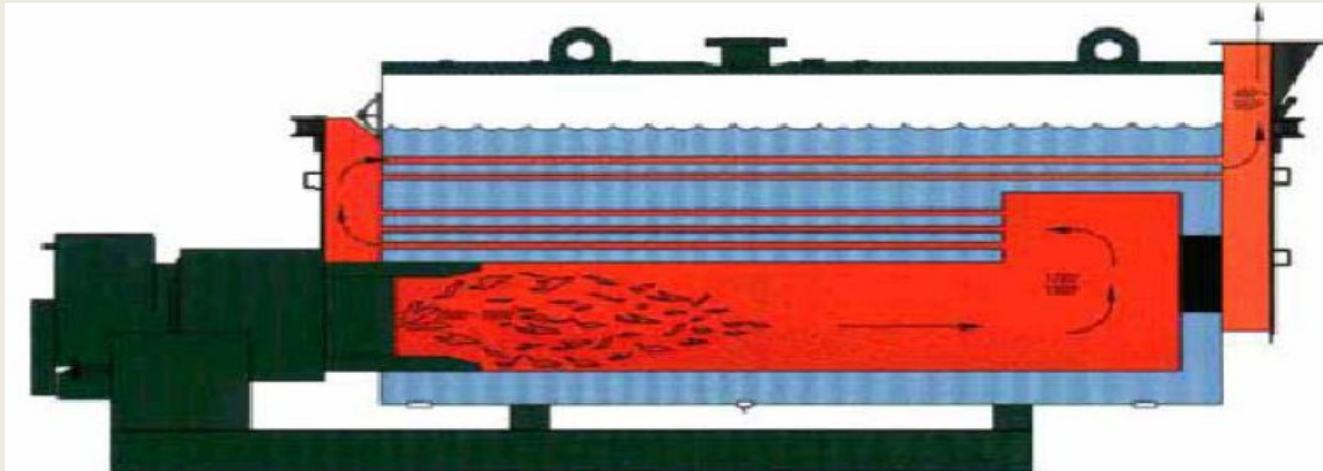
# Caldeiras Flamotubulares

**Verticais:** As fornalhas externas são utilizadas principalmente no aproveitamento da queima de combustíveis de baixo poder calorífico, tais como: serragem, palha, casca de café e de amendoim e óleo combustível.



# Caldeiras Flamotubulares

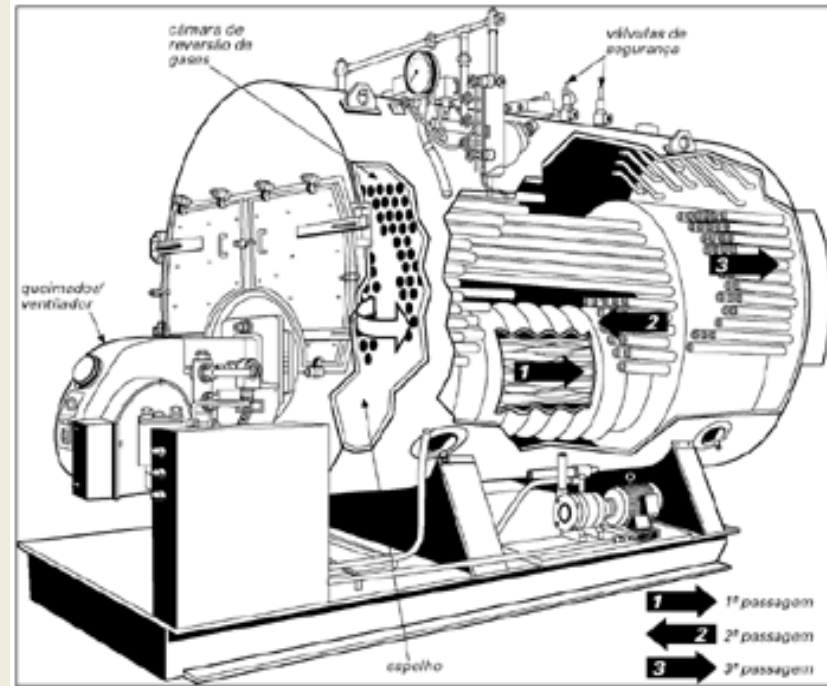
***Horizontais:*** Abrangem vários modelos, desde as caldeiras Cornuália e Lancaster, de grande volume de água, até as modernas unidades compactas.



# Caldeiras Flamotubulares

**Horizontais:** As principais caldeiras horizontais apresentam tubulões internos nos quais ocorre a combustão e através dos quais passam os gases quentes. Podem ter de 1 a 4 tubulões por fornalha.

**Tipos: Cornuália; Lancaster; Multitubular; Locomóvel; Escocesa.**



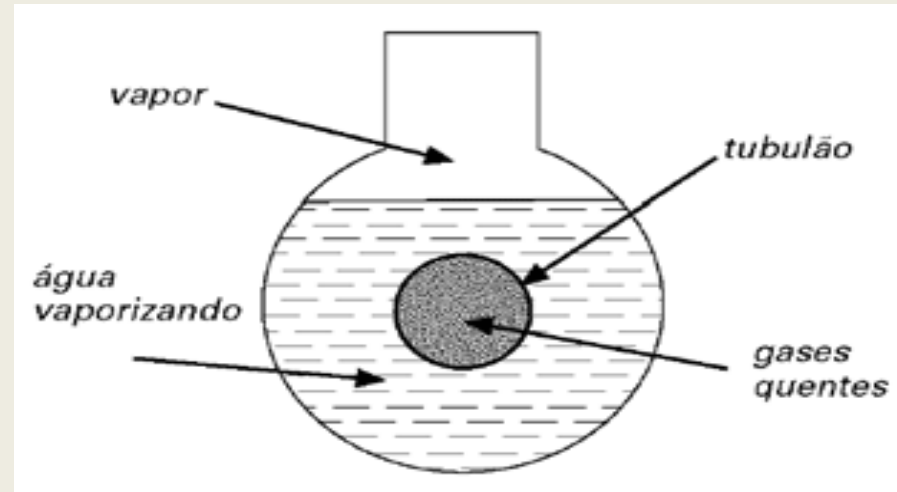


# Caldeiras Flamotubulares

**Cornuália:** é constituída de um tubulão horizontal ligando a fornalha ao local de saída de gases;

Funcionamento simples;

Rendimento Baixo;

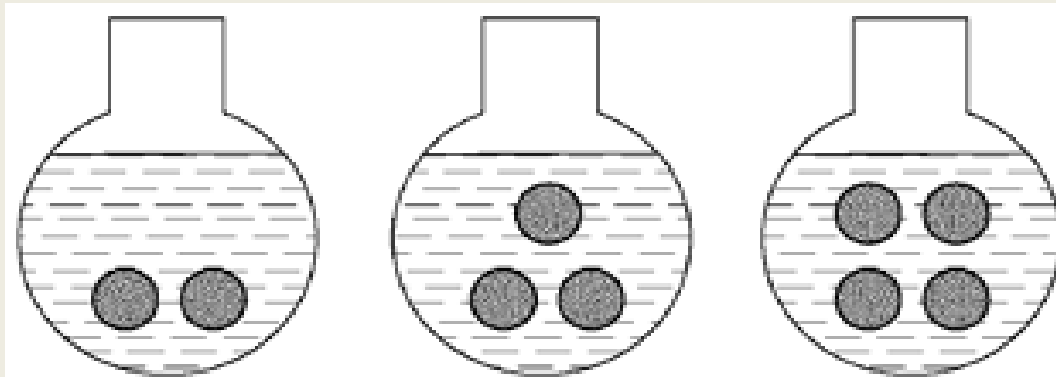


# Caldeiras Flamotubulares

**Lancaster:** A caldeira Lancaster é de construção idêntica à anterior, porém tecnicamente mais evoluída;

É constituída de dois a quatro tubulões internos;

Algumas delas apresentam tubos de fogo e de retorno.

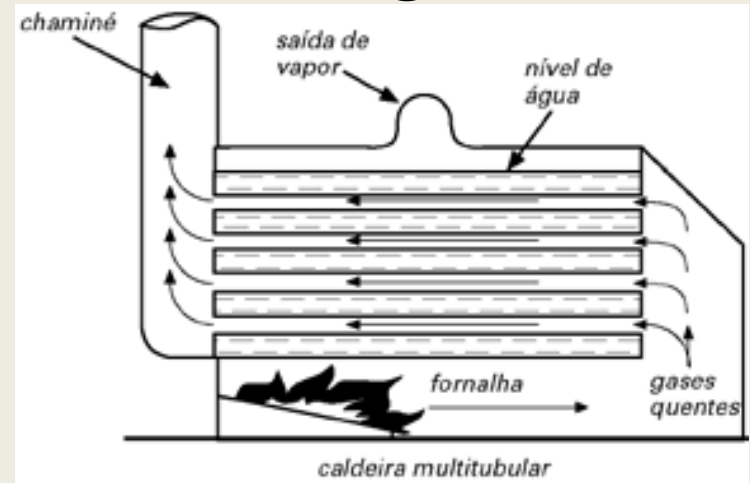


# Caldeiras Flamotubulares

**Multitubular:** a queima de combustível é efetuada em uma fornalha externa;

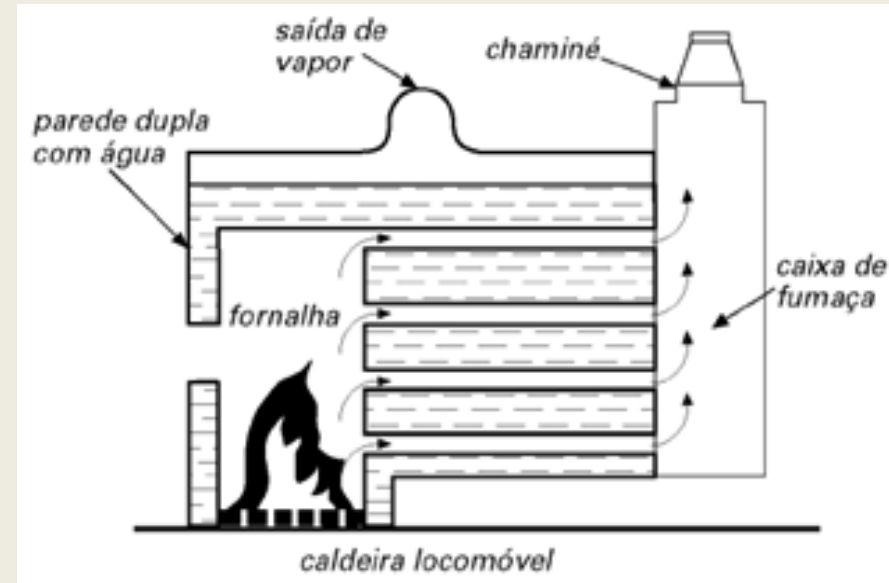
Os gases quentes passam pelos tubos de fogo;

Queima de qualquer tipo de Combustível.



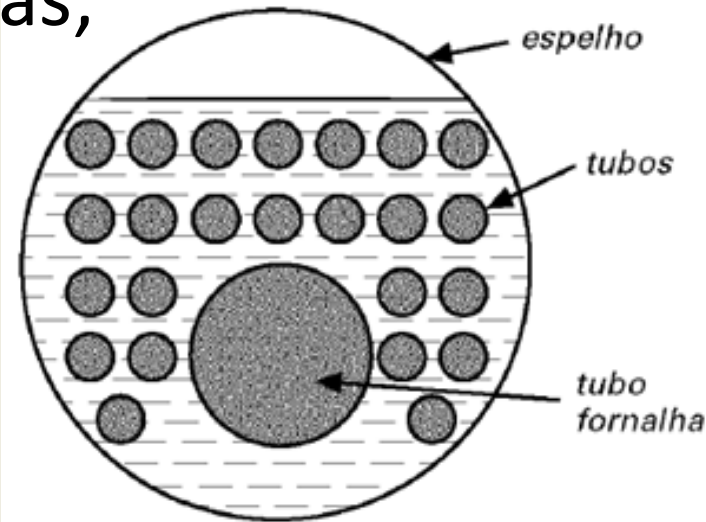
# Caldeiras Flamotubulares

**Locomóvel:** apresenta uma dupla parede em chapa na fornalha, pela qual a água circula;  
Fácil transferência de Local;  
Utilizada em Serrarias e em Campos de Petróleo.

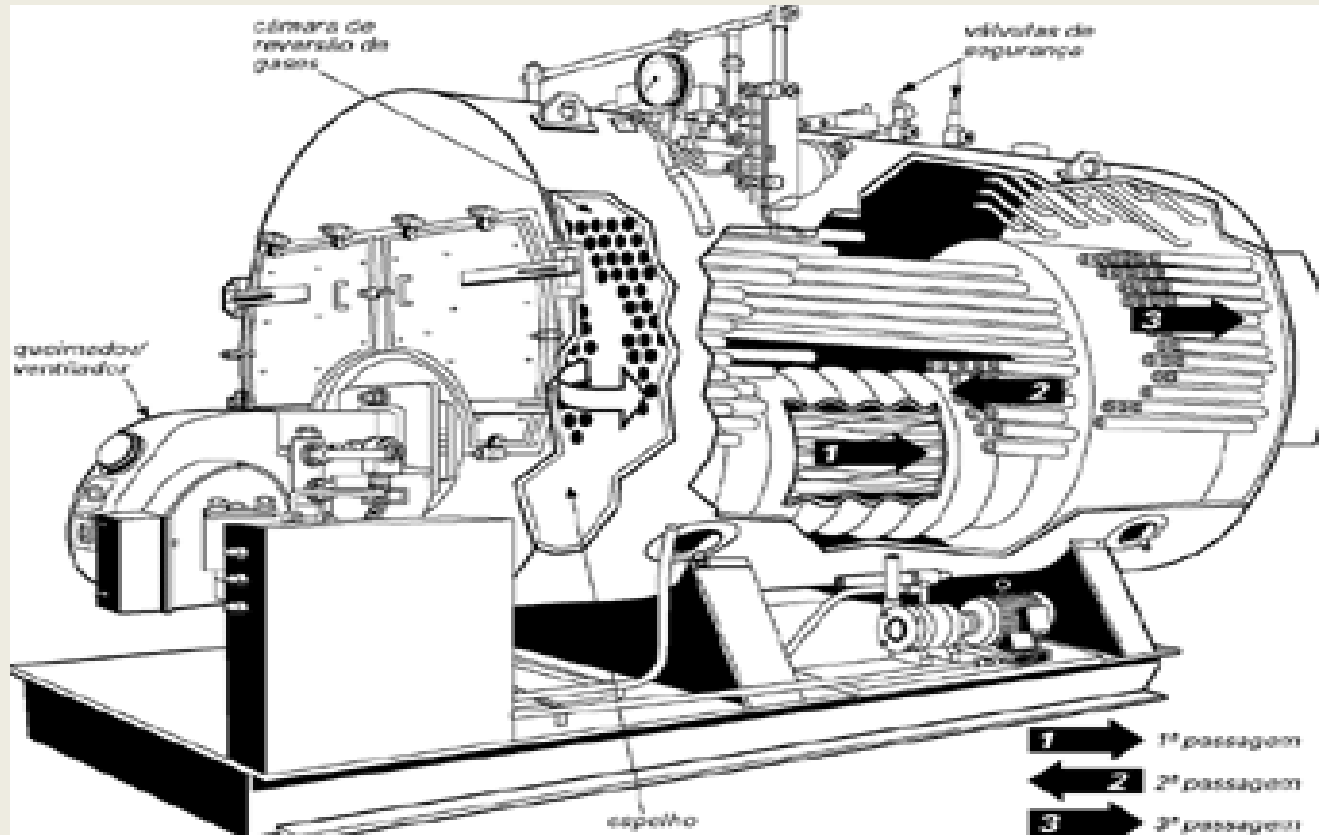


# Caldeiras Flamotubulares

**Escocesa:** o modelo de caldeira industrial mais difundido no mundo; É destinada à queima de óleo ou gás; Criada basicamente para uso marítimo.

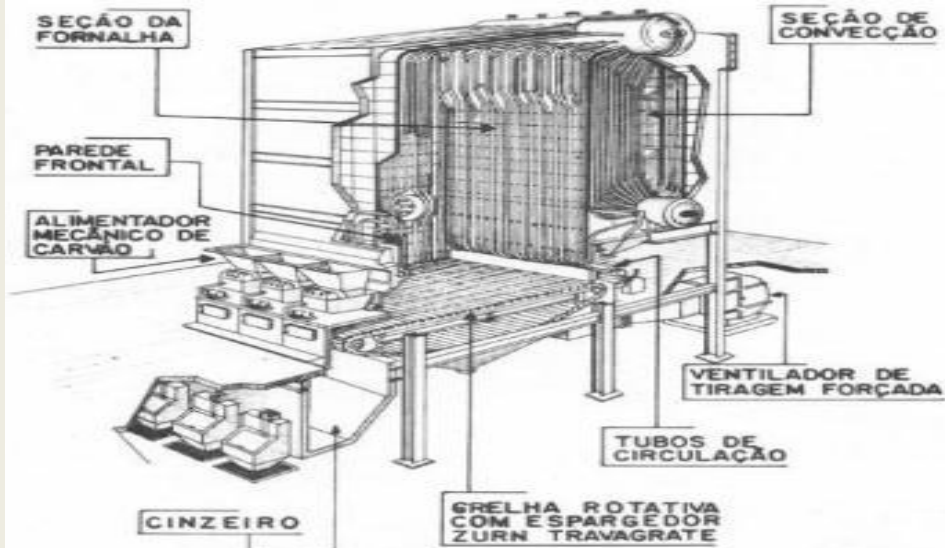


# Caldeiras Flamotubulares



# CALDEIRA AQUATUBULAR

Maior Rendimento;  
Maior produção de Vapor;  
Maior Superfície de Aquecimento.



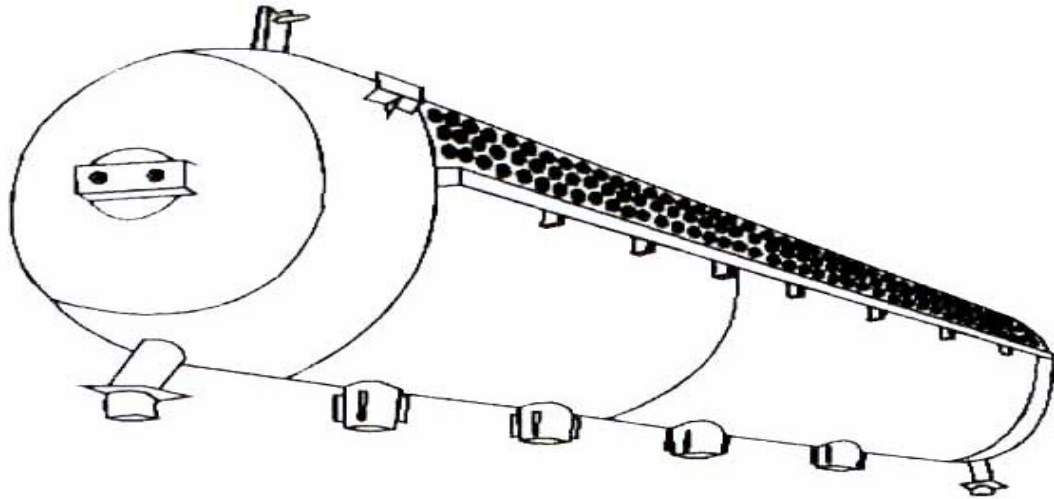
# TUBULÃO DE ÁGUA INFERIOR

É o elemento de ligação dos tubos para possibilitar a circulação de água na caldeira, tem por função de acumular lama formada pela reação dos produtos químicos com a água da caldeira.

A água que sai deste elemento é encaminhada para tratamento.



- Tubulão de água inferior

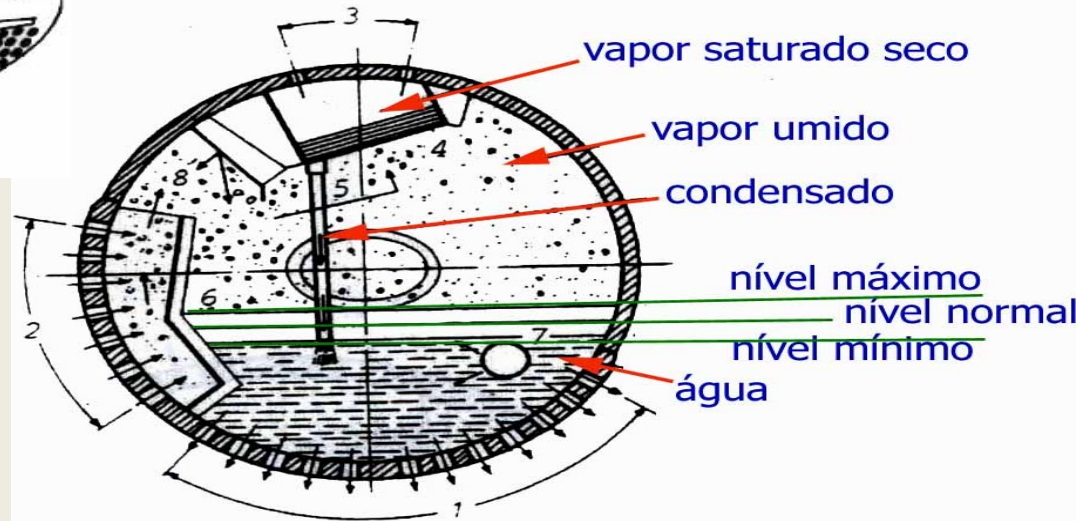
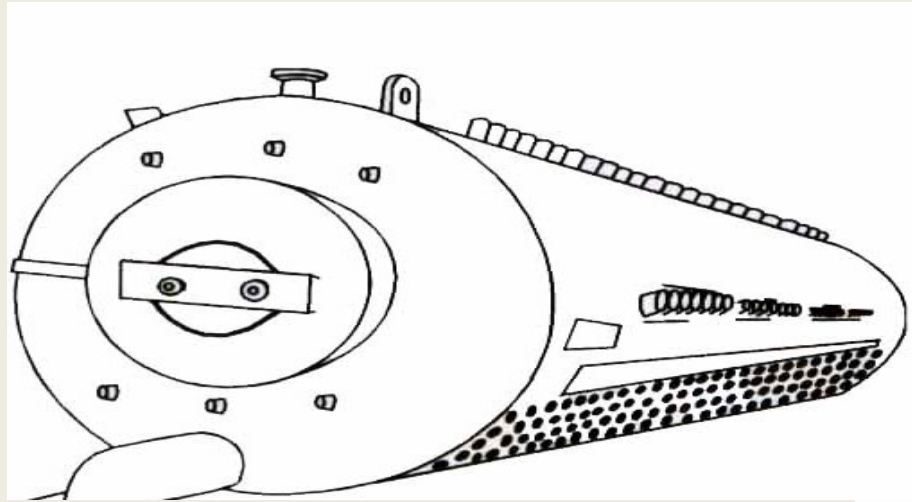


# Tubulão de água superior

É um corpo cilíndrico contendo em seu interior água e vapor formado pela troca térmica entre os gases da combustão e a água em circulação na caldeira. **Sua principal função é separar a água do vapor (ambos saturados).**

Estes tubos contém conexões para visores de nível, válvulas de segurança, instrumentos de indicação e controle, além de tubos de ligação com superaquecedor de vapor.

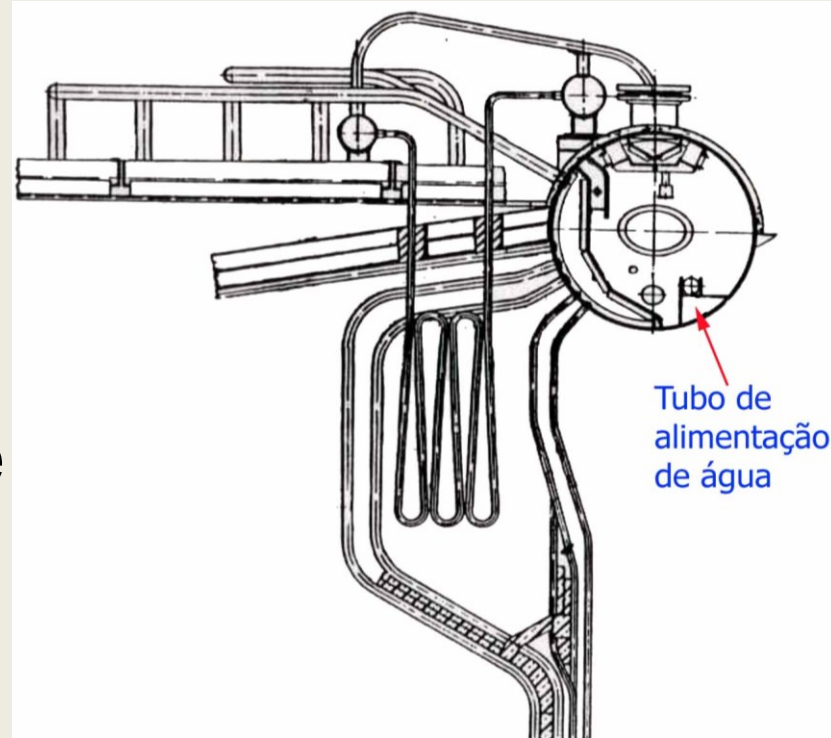
# Tubulão de água superior



# Tubos de alimentação de água

São distribuídos no tubulão superior através de furos dispostos em toda a extensão do tubulão.

Estes tubos são geralmente posicionados  $45^\circ$  para baixo e direcionados na parte traseira do costado do tubulação.

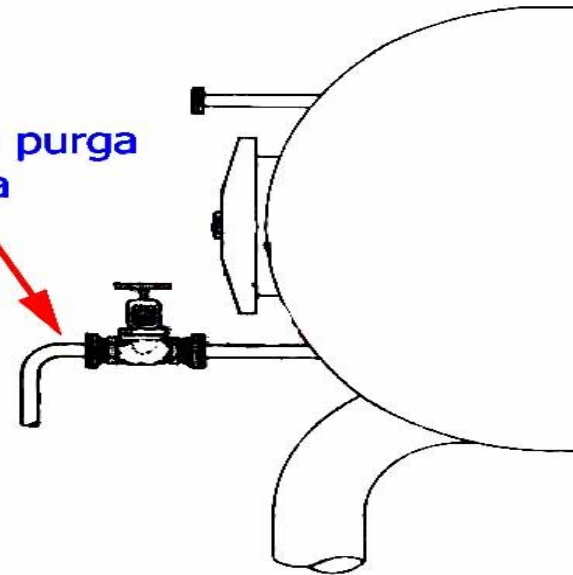


# Tubos de purga contínua

Localiza-se abaixo do nível de água aproximadamente, com furos em toda a extensão.

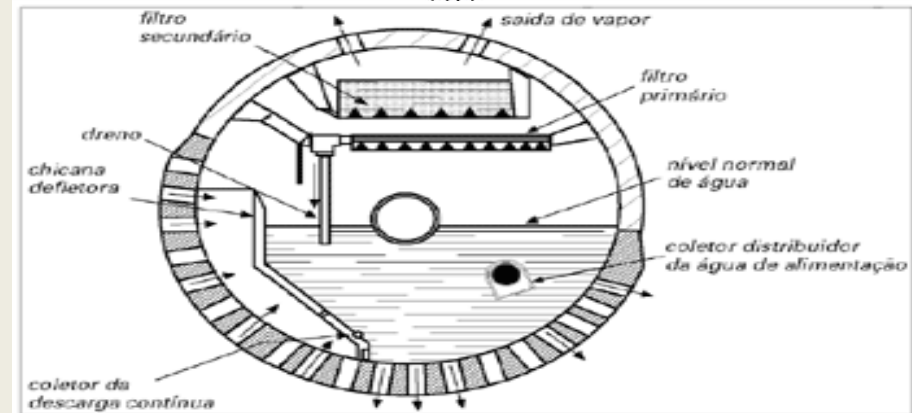
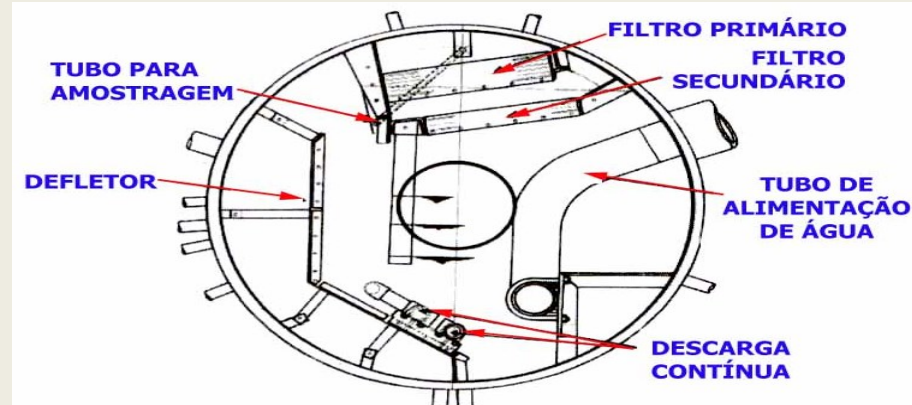
É deste tubo que se faz coleta de água para análise de sólidos, fosfatos, dispersantes, pH, sulfito, alcalinidade, sílica, a qual é feito o controle químico da água da caldeira.

Tubo de purga contínua



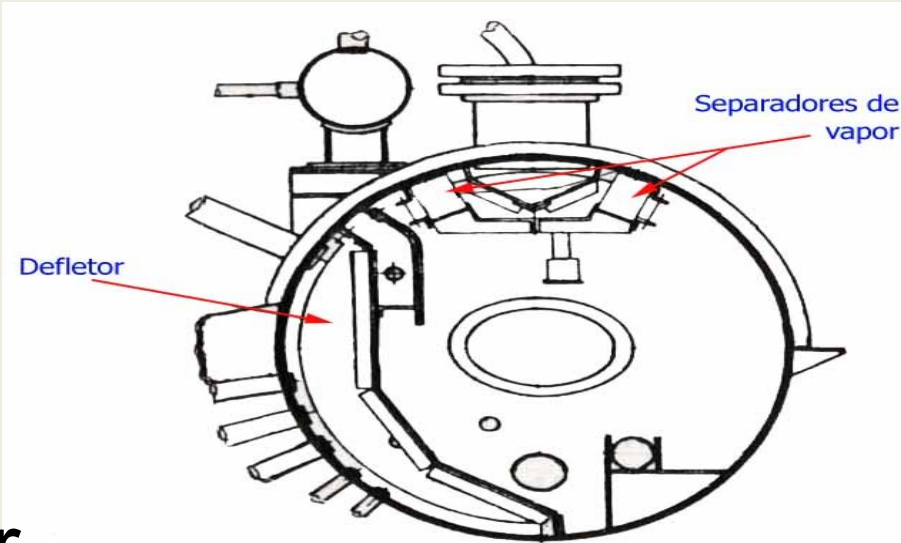
# Defletor

É constituído de chapas, colocados no costado frontal do tubulão de vapor, formando uma câmara para receber o vapor dos tubos geradores.



# Separadores de vapor

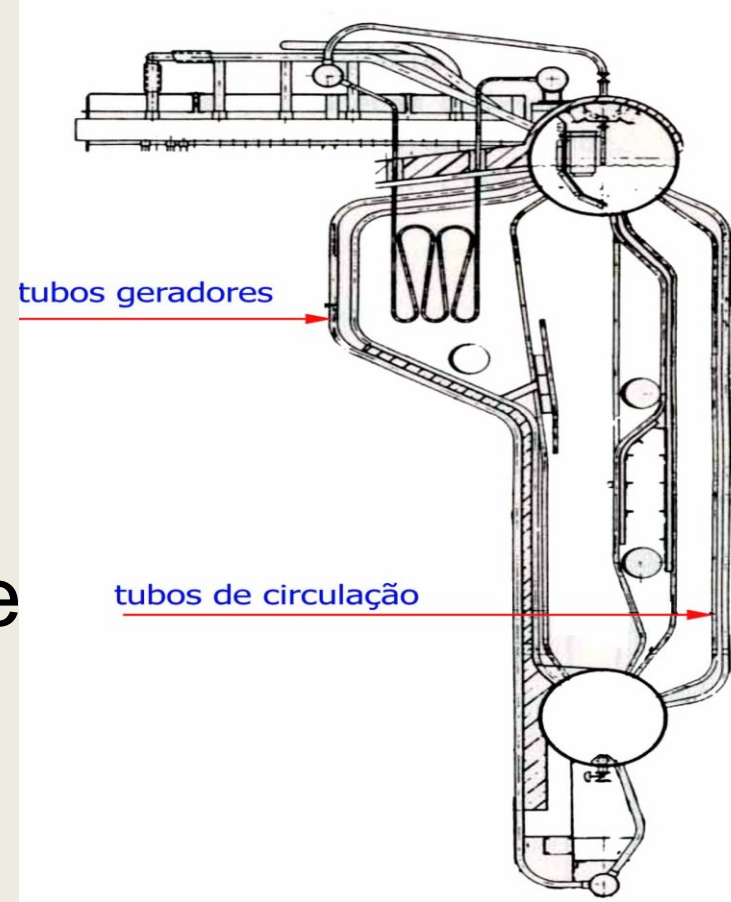
Consiste em chicanas e filtros que destinam-se a reter água do vapor, de maneira que esse entre “seco” no superaquecedor.





# Tubos de circulação

São tubos traseiros do feixe tubular que conduzem a água do tubulão de vapor para o tubulão de água, chamadas de tubos descendentes.

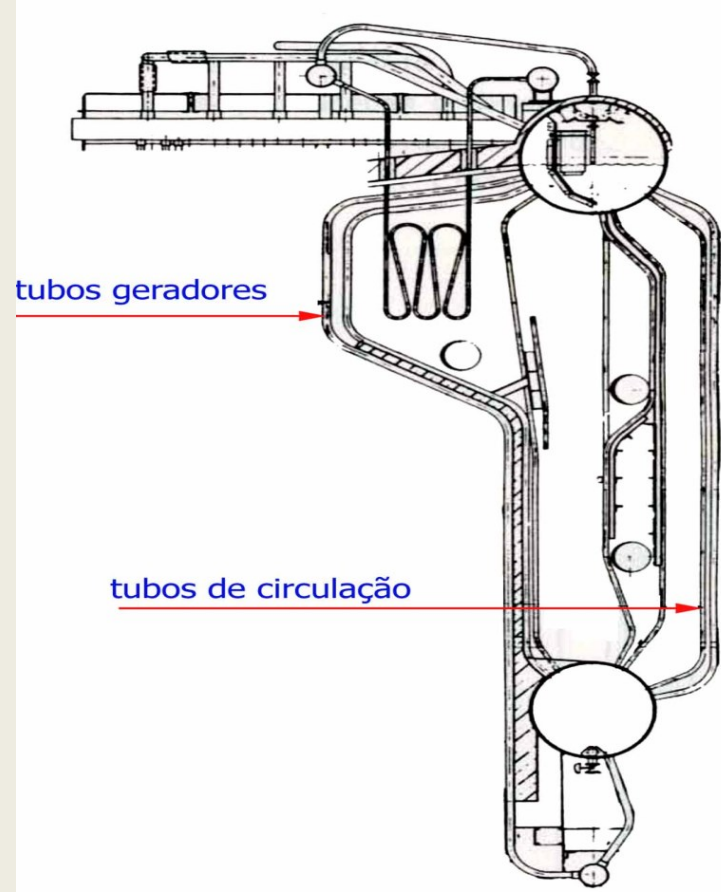




# Tubos geradores

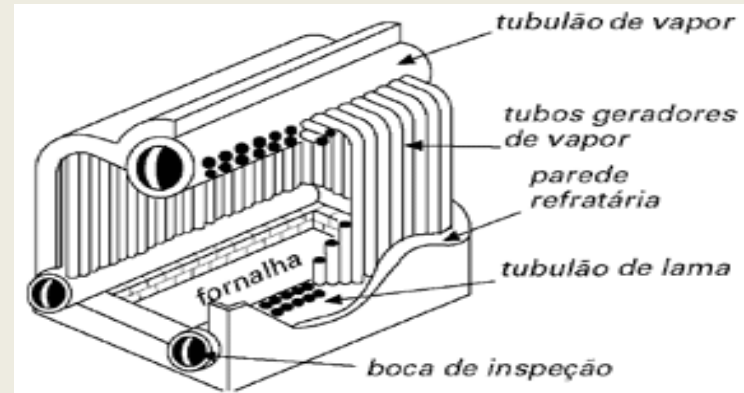
São tubos dianteiros do feixe tubular ascendentes e descendentes, que conduzem a mistura água e vapor saturado para o tubulão de vapor.

Estes tubos são que recebem maior quantidade de calor da fornalha e a caldeira propriamente dita.



# Parede d'água – Tubulação da Caldeira

O resfriamento da fornalha é feito através do fluxo de água que circula pelos tubos que formam as paredes. A água do tubulão superior desce para o tubulão inferior, sendo os resíduos sólidos da evaporação conduzidos por gravidade para o tubulão inferior e qualquer vapor gerado sobe para o tubulão superior.



# Parede d'água – Tubulação da Caldeira

A parede d'água pode ser frontal, traseiro ou lateral.

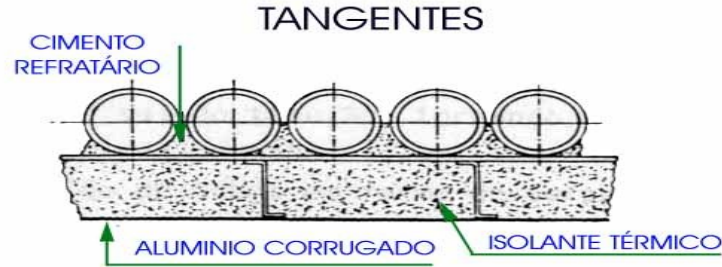
Quanto à construção, podem ser:

Aletados ou membranados;

Tangentes;

Espaçados.

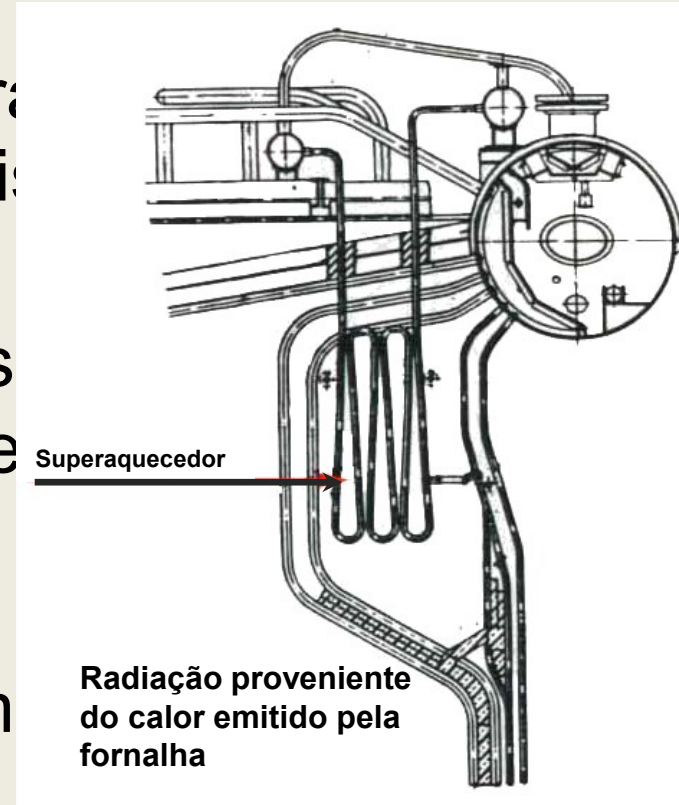
# Parede d'água – Tubulação da Caldeira



# Superaquecedor

É destinado a aumentar a temperatura do vapor saturado, tornando este mais seco sem aumentar sua pressão.

É constituído de tubos lisos/aletados resistentes a altas temperaturas, que aproveitam os gases de combustão para dar o devido aquecimento ao vapor saturado, transformando-o em vapor superaquecido.



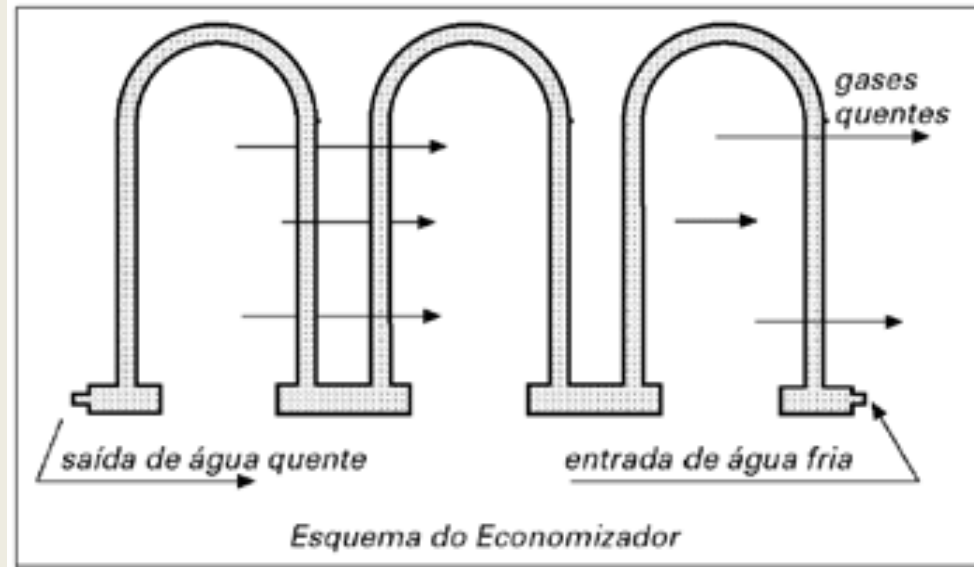
# Economizador

O economizador tem a finalidade de aquecer a água de alimentação da caldeira.

Normalmente está localizado na parte alta da caldeira entre o tambor de vapor e os tubos geradores de vapor, e os gases são obrigados a circular através dele, antes de saírem pela chaminé.

# Economizador

Existem vários tipos de economizadores e na sua construção podem ser empregados tubos de aço maleável ou tubos de aço fundido com aletas.



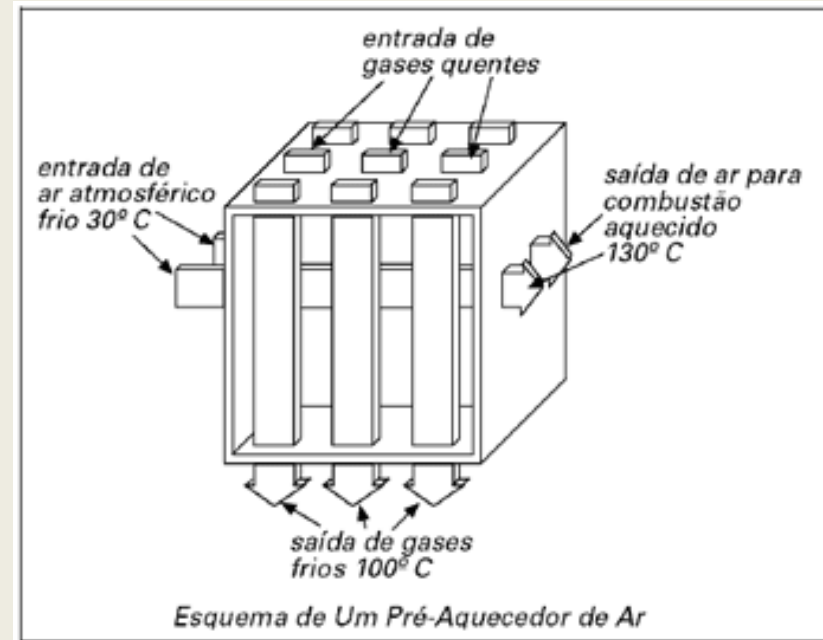
# Pré-aquecedor de ar

O pré-aquecedor de ar é um equipamento (trocador de calor) que eleva a temperatura do ar antes que este entre na fornalha. O calor é cedido pelos gases residuais quentes ou pelo vapor da própria caldeira.



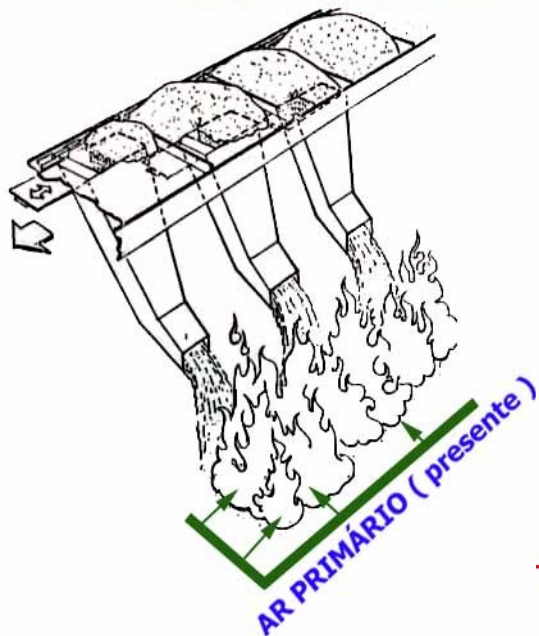
# Pré-aquecedor de ar

A instalação desses equipamentos oferece a vantagem de melhorar a eficiência da caldeira pelo aumento da temperatura de equilíbrio na câmara de combustão.

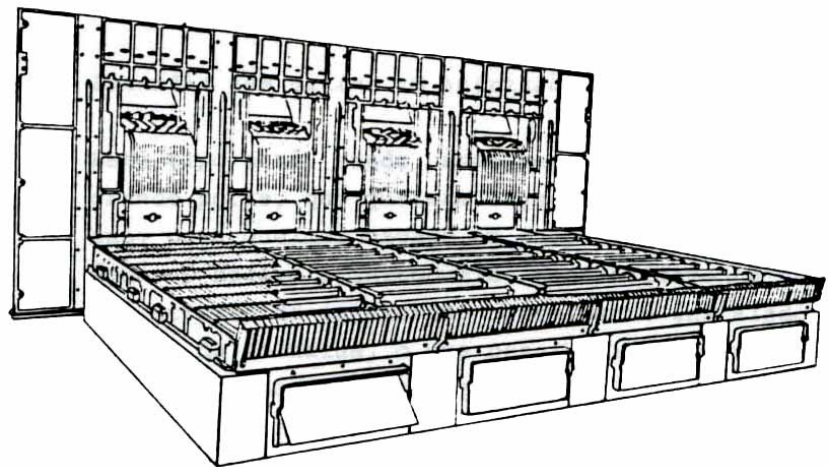
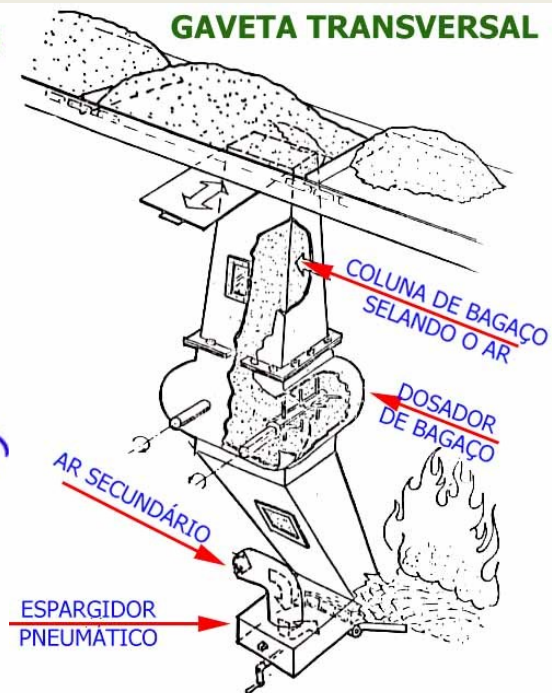


# Alimentação de bagaço

GAVETAS LONGITUDINAIS



GAVETA TRANSVERSAL



Grelhas basculantes

# Queimadores

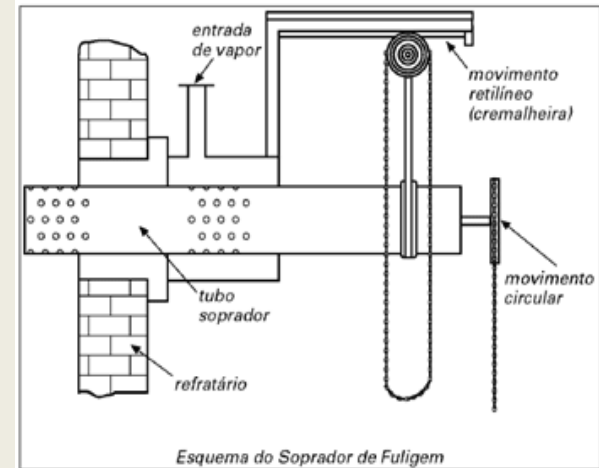
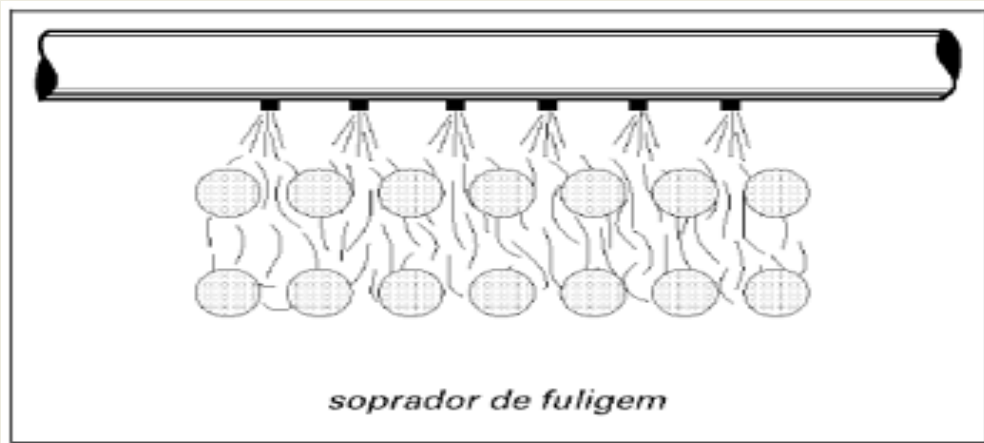
Os queimadores são peças destinadas a promover, de forma adequada e eficiente, a queima dos combustíveis em suspensão.



# Equipamentos auxiliares

- **Sopradores de Fuligem (ramonadores)**

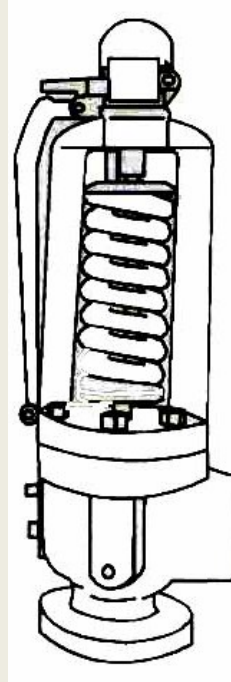
Os sopradores de fuligem permitem uma distribuição rotativa de um jato de vapor no interior da caldeira e tem por finalidade, fazer a remoção da fuligem e depósitos formados na superfície externa da zona de convecção das caldeiras.



# Equipamentos auxiliares

- ***Válvulas de segurança***

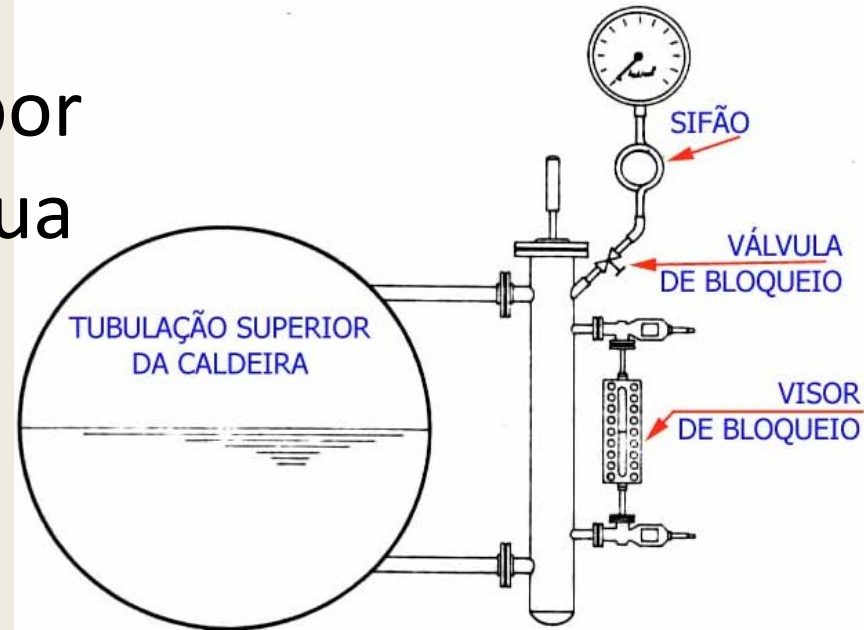
As válvulas de segurança e de alívio de pressão são dispositivos que protegem automaticamente os equipamentos de processo de um eventual excesso de pressão. Caldeiras e vasos de pressão obrigatoriamente necessitam desses dispositivos de segurança para sua proteção, em cumprimento à legislação através de normas como a NR-13 , e atendendo aos códigos nacionais e internacionais de projeto.



# Equipamentos auxiliares

- ***Indicadores de nível***

Os indicadores de nível tem por objetivo indicar o nível de água dentro do tubulão de evaporação. Em geral, são constituídos por um vidro tubular.



# Equipamentos auxiliares

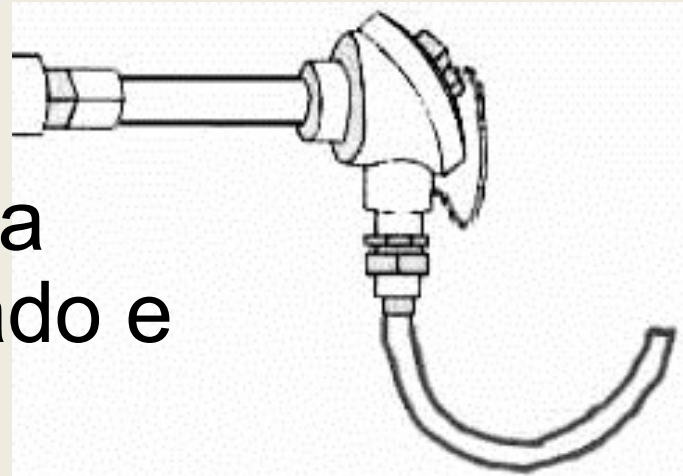
- ***Sistemas de controle de água de alimentação***

Os sistemas de controle de água de alimentação devem regular o abastecimento de água ao tubulão de evaporação para manter o nível entre limites desejáveis. Esse limites devem ser observados no indicador de nível. A quase totalidade das caldeiras são equipadas com sistemas automatizados, que proporcionam maior segurança, maiores rendimentos e menores gastos de manutenção.

# Equipamentos auxiliares

- ***Sensores de temperatura***

Os sensores fazem a medição da temperatura dos fluidos. São mais utilizados os PT-100. Medem a temperatura dos gases de combustão, do ar de entrada, da água de entrada, do vapor gerado e do combustível.





# Tratamento de água para caldeiras

A água para caldeiras deve receber tratamento que permita: remoção total ou parcial de sais de cálcio e magnésio, os quais produzem incrustações. O processo, designado por abrandamento da água pela cal soldada, consiste na injeção de soluções de  $\text{CaO}$  (cal) e  $\text{NaCO}_3$  (carbonato de sódio) para precipitar o carbonato de cálcio e formar hidróxido de magnésio floculado, de modo a serem removidos antes de a água ser bombeada para a caldeira. As principais grandezas de qualidade da água são: **Dureza total e PH.**

# Tratamento de água para caldeiras

- **Eliminação da dureza**
- **Precipitação com fosfatos**
- **Tratamento com quelatos**
- **Controle do pH e da alcalinidade**
- **Eliminação do oxigênio dissolvido**
- **Controle do teor de cloretos e sólidos totais**

# Tratamento de água para caldeiras

- **Clarificação:** O processo consiste na previa floculação, decantação e filtração da água com vistas a reduzir a presença de sólidos em suspensão.
- **Abrandamento:** Consiste na remoção total ou parcial dos sais de cálcio e magnésio presentes na água, ou seja, consiste na redução de sua dureza.

# Tratamento de água para caldeiras

- **Desmineralização ou troca iônica**

- **Desgazeificação**

São empregados equipamentos especiais que aquecem a água e desta forma, são eliminados os gases dissolvidos. Pode ser utilizado vapor direto para o aquecimento da água a ser desgazeificada.

# Tratamento de água para caldeiras

- **Remoção de sílica**

Como já foi abordado, a sílica produz uma incrustação muito dura e muito perigosa. Os tratamentos normalmente empregados no interior da caldeira não eliminam a sílica. Os métodos mais usados para essa finalidade são a troca e tratamento com óxido de magnésio calcinado.

# Tratamento de água para caldeiras

- **Métodos internos**

Os tratamentos internos se baseiam na eliminação da dureza, ao controle do pH e da sua alcalinidade, na eliminação do oxigênio dissolvido e no controle dos cloretos e do teor total de sólidos.

# Manutenção das Caldeiras

Todo tratamento para obter bons resultados depende de um controle eficiente e sistemático, quer dos parâmetros químicos e físicos, como de certas operações e procedimentos.

- **Controle químico**
  - **Limpeza química das caldeiras**
- **Proteção de caldeiras contra corrosões**

# Oxidação

Um dos principais responsáveis pela deterioração das caldeiras é a corrosão, que age como fator de redução da espessura das superfícies submetidas à pressão. A

corrosão não é sentida pelos instrumentos de operação da caldeira, ou seja, os pressostatos e as válvulas de segurança não detectam sua evolução por que não é acompanhada por elevação de pressão.



# Oxidação

## Corrosão interna

- Oxidação generalizada do ferro
  - Corrosão galvânica
- Corrosão por aeração diferencial
  - Corrosão salina
  - Fragilidade cáustica
- Corrosão por gases dissolvidos

# Oxidação

## Corrosão externa

Esse tipo de corrosão acontece nas superfícies expostas aos gases de combustão e é função do combustível utilizado e das temperaturas. Nas caldeiras aquatubulares, as superfícies de aquecimento mais quente são aquelas do superaquecedor, podendo ocorrer corrosão tanto nas caldeiras que queimam o óleo como carvão.

# NORMAS REGULAMENTADORAS

- **NR 4** - Serviços especializados em engenharia de segurança e em medicina do trabalho (SESMT).
- **NR 5** - Comissão Interna de Prevenção de Acidentes
- **NR 6** - Equipamento de Proteção Individual – EPI
- **NR 10** - Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade
- **NR 13 - Caldeiras e Vasos de Pressão**
- **NR-15** - Atividades e Operações Insalubres
- **NR 17** - Ergonomia
- **NR 23** - Proteção Contra Incêndios
- **NR 26** - Sinalização de Segurança