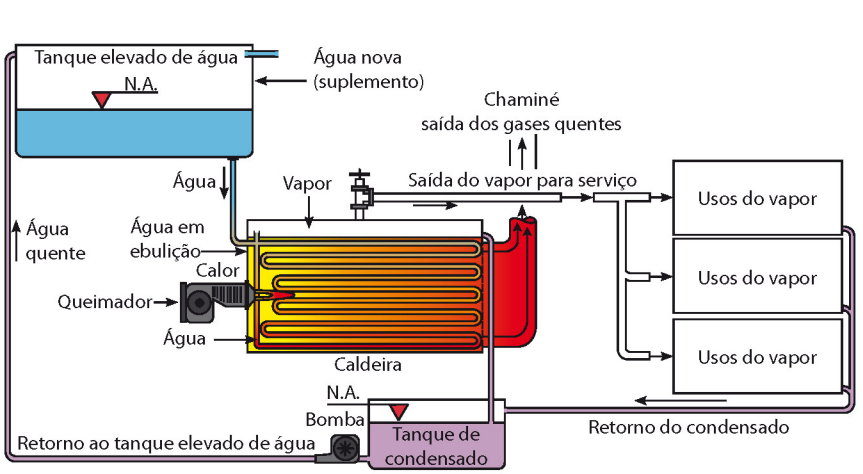


Esquema básico de uma instalação a vapor

OPERAÇÃO DE CALDEIRAS

Gerenciamento, controle e manutenção

MANOEL HENRIQUE CAMPOS BOTELHO
HERCULES MARCELLO BIFANO

Blucher

SINTESP

operação de caldeiras

GERENCIAMENTO, CONTROLE E MANUTENÇÃO

Blucher

Manoel Henrique Campos Botelho
Hercules Marcello Bifano

operação de caldeiras

GERENCIAMENTO, CONTROLE E MANUTENÇÃO

Operação de caldeiras – gerenciamento, controle e manutenção
© 2011 Manoel Henrique Campos Botelho
Hercules Marcello Bifano

1ª edição - 2011
Editora Edgard Blücher Ltda.

Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar
04531-012 - São Paulo - SP - Brasil
Tel 55 11 3078-5366
editora@blucher.com.br
www.blucher.com.br

Segundo Novo Acordo Ortográfico, conforme 5. ed. do *Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa*, Academia Brasileira de Letras, março de 2009.

É proibida a reprodução total ou parcial por quaisquer meios, sem autorização escrita da Editora

Todos os direitos reservados a Editora Edgard Blücher Ltda.

FICHA CATALOGRÁFICA

Botelho, Manoel Henrique Campos
Operação de caldeiras – gerenciamento, controle e manutenção / Manuel Henrique Campos Botelho, Hercules Marcello Bifano. - - São Paulo: Blucher, 2011.

ISBN 978-85-212-0588-3

1. Caldeiras a vapor 2. Caldeiras a vapor - Manutenção 3. Caldeiras a vapor - Medidas de segurança 4. Norma Regulamentadora NR-13 5. Operação de caldeiras - Manuais I. Bifano, Hercules Marcello. II. Título.

11-00742 CDD-697.507

Índice para catálogo sistemático:
1. Caldeiras a vapor: Operação e manutenção: Manuais 697.507

Sobre os autores

MANOEL HENRIQUE CAMPOS BOTELHO

É autor de vários livros sobre a construção civil. Tem-se destacado como especialista em comunicação tecnológica.

Formou-se em 1965 como engenheiro civil na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. É autor da coleção *Concreto Armado, Eu Te Amo*.

Escreveu este texto a partir de sua ação na gerência das unidades de dois hospitais com um total de quatro caldeiras.

HERCULES MARCELLO BIFANO

É engenheiro industrial mecânico de produção, formado pela Faculdade de Engenharia Industrial – FEI, São Paulo, SP, em 1976. Com especialização em engenharia Econômica e Administração Industrial pela Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, em 1981. Atuou como engenheiro e consultor na operação e reparos de caldeiras marítimas principais, caldeiras auxiliares e caldeiras industriais.

Este livro é dirigido principalmente para caldeiras de aquecimento (caldeira de vapor saturado) e aquecidas por queima de combustível.

Apresentação

Este é um livro ABC para operadores de caldeira, ou seja, um livro simples e de primeira leitura, um livro que procura estimular o leitor a estudar e se desenvolver. *É um livro para operadores de caldeiras de aquecimento* e para aqueles que querem entrar no mundo do vapor.

Para os que querem ser operadores de caldeiras, o caminho é fixado na Norma Regulamentadora NR 13, do Ministério do Trabalho. É necessário fazer um curso sobre o assunto. Este livro tem o objetivo simples de auxiliar esses alunos e os interessados pelo mundo do vapor.

Este livro só existe pelo fato de um dos autores ter feito parte da equipe de operação e manutenção de uma entidade que cuida de dois hospitais estaduais, onde existem, em cada um deles, duas caldeiras fogotubulares alimentadas com GLP.

Agradeço aos colegas, Sr. Maurivan e aos outros colegas, pelos ensinamentos práticos que recolhi ao acompanhar o trabalho de operação e manutenção dessas caldeiras.

Foram valiosas as conversas filosóficas sobre vapor com o Eng. Sérgio dos Santos Braga e com o Eng. Emilio Paulo Siniscalchi. Ambos leram uma minuta do trabalho e fizeram contribuições. O Eng. Hercules Marcello Bifano atuou como orientador e consultor do texto.

Um dos autores:

Eng. Manoel Henrique Campos Botelho, fevereiro 2011.
Contatos com o autor : manoelbotelho@terra.com.br
Caixa Postal 12.966 04009-970 São Paulo – SP

Para contato com os autores, ver item 42, p. 205.

Nota – Face a acordo com o "Sintesp – Sindicato dos Técnicos de Segurança do Trabalho do Estado de São Paulo"este manual foi analisado pelo corpo técnico desse sindicato, que recomenda a leitura desse manual por profissionais de segurança do trabalho.

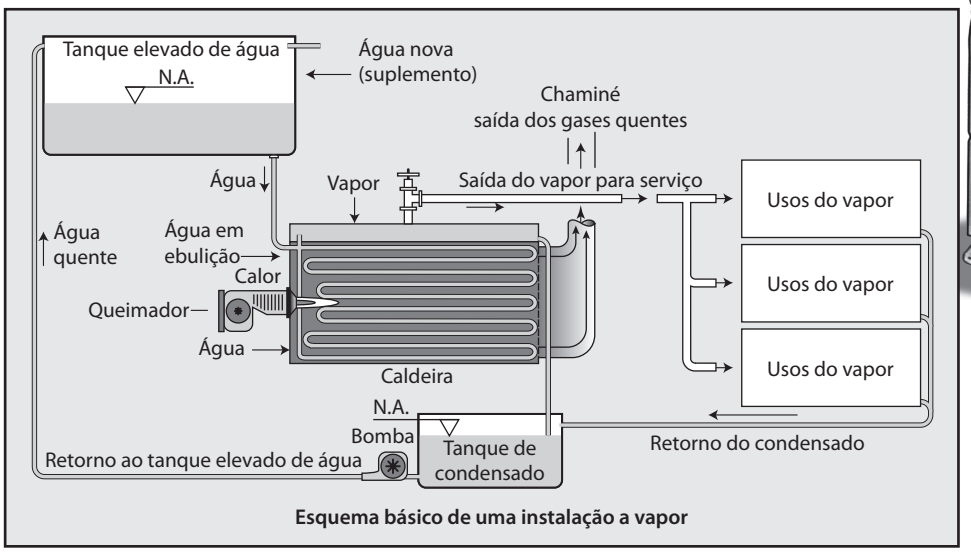
Notas

1. Nunca é demais alertar: Sr. operador de caldeira, quando cuidar de sua caldeira, leve sempre em consideração o Manual de Operação e Manutenção do fabricante e a Norma Regulamentadora NR 13, do Ministério do Trabalho. O manual do fabricante é a bíblia da caldeira. Só o fabricante pode dar aspectos específicos de sua caldeira.

2. Na preparação deste livro não existiu preocupação estilística. Ao contrário, achamos que preocupação com o estilo pode prejudicar o único objetivo do livro, que é de agrupar informações e formar o profissional iniciante no mundo das caldeiras. Assim, por clareza e ênfase, repetem-se informações. Desde que a didática seja atendida, nenhuma preocupação de estilo literário formal interessa aos autores.

3. Caldeiras de referência. Para poder dar exemplos práticos e numéricos, utilizaremos como caldeiras de referência o conjunto de caldeiras de um grande hotel de veraneio localizado em uma estância turística do sul de Minas Gerais, e que tem como características:
   - duas caldeiras iguais, fogotubulares(*), horizontais, cada uma com produção de cerca de 800 kg/h de vapor;
   - aquecimento por queima de gás GLP;
   - são totalmente automáticas;
   - pressão de trabalho igual a 8 kgf/cm^2;
   - o operador é Seu Chiquinho, operador veterano de muitas caldeiras.

O esquema funcional é o que se segue:



Esquema básico de uma instalação a vapor

Nota – Não se fala de caldeira sem se falar do operador de caldeira, que é o Seu Chiquinho, hoje com sessenta anos, profissional veterano de muitas caldeiras.

(*) Ao consultar este livro e a literatura técnica, considerar os termos sinônimos: casa das caldeiras = sala das caldeiras; caldeira aquatubular = caldeira acquatubular = caldeira aguatubular; caldeira fogotubular = caldeira flamotubular = caldeira framatubular.

Conteúdo

1	A importância do calor e as funções das caldeiras – as linhas de vapor – normas sobre caldeiras	13
2	Sistemas de geração de vapor	23
3	Explicando calor, temperatura e pressão	29
4	Acompanhando a passagem da água do estado líquido para o estado gasoso (vapor)	37
5	O misterioso vapor. Vamos entendê-lo	41
6	Entendendo, com mais detalhes, o funcionamento de uma caldeira. Tabela de vapor saturado (Flieger–Mollier). O mistério das três caldeiras	45
7	Tipos de caldeiras	49
8	Caldeiras elétricas	55
9	Os queimadores e os combustíveis mais comuns	59
10	Detalhando as linhas e os sistemas de vapor	65
11	Outros detalhes de linhas de vapor e linhas de condensado de retorno	71
12	Os importantes purgadores	79
13	Tanques auxiliares	83
14	O vapor reevaporado (*flash*)	85
15	Sensores	87
16	Comandos de uma caldeira	89
17	Cuidados especiais de um operador de caldeira	93
18	A casa da caldeira	95
19	A água para a caldeira e seu tratamento	99
20	Atenção: a caldeira vai partir	107
21	Quando existe um excesso de solicitação de vapor ou baixa demanda de vapor	111

22 Quando a caldeira não parte 115
23 Tipos e funções das válvulas e outros materiais e equipamentos..... 117
24 Situações de alarmes e desligamentos 125
25 Rotinas horárias, diárias, mensais, semestrais e anuais da operação de caldeiras 127
26 Tipos de manutenção de uma caldeira 131
27 Materiais de construção das caldeiras e linhas de vapor 133
28 Válvulas de segurança – exemplo de cálculo simplificado 137
29 Formando o futuro operador de caldeira 141
30 Explicando tim-tim por tim-tim o catálogo técnico comercial de um fabricante de caldeiras..... 147
31 Tipos de bombas para vapor 151
32 Relatórios sobre o estado de caldeiras e os seus sistemas de vapor 153
33 Caldeira desativada – cuidados de manutenção..... 157
34 Relatórios de operação..... 159
35 Casos de acidentes usando caldeiras – Excesso de pressão, erro na partida, danos por corrosão à estrutura de aço da caldeira e outros 161
36 Notas técnicas sobre caldeiras e sobre o uso do calor 165
37 Teste para a seleção de um operador de caldeira 171
38 Leis, normas e a NR 13 na íntegra 173
39 Onde estudar mais 199
40 Conversão de unidades térmicas 201
41 Índice de assuntos..... 203
42 Contato com os autores 205

A importância do calor e as funções das caldeiras – as linhas de vapor – normas sobre caldeiras

O uso do calor (não necessariamente o fogo) acompanha a história do homem até hoje.

Usa-se o calor em muitas funções, tais como:

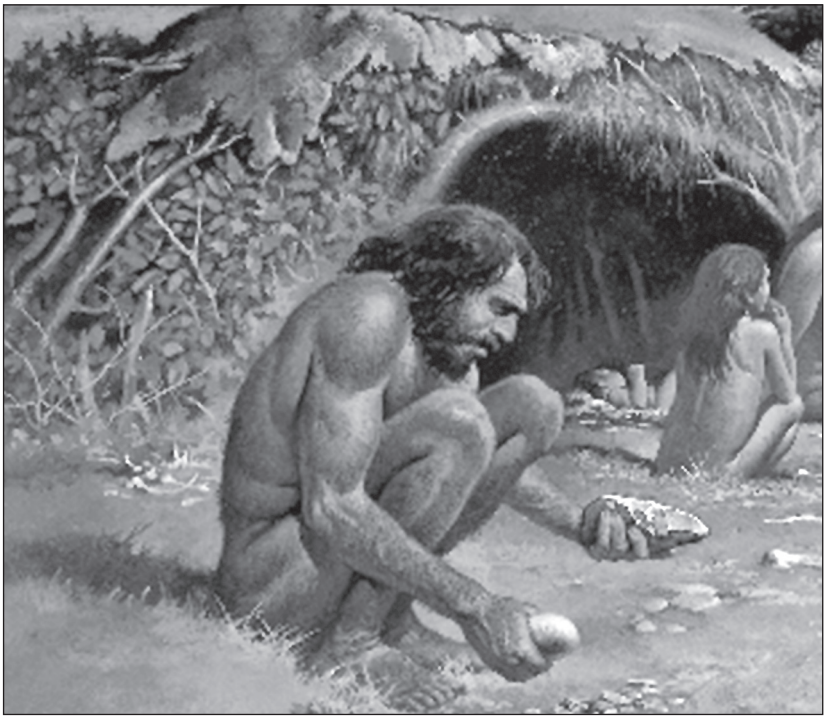
item A) em temperaturas de 0° a 200 °C:

Funções:

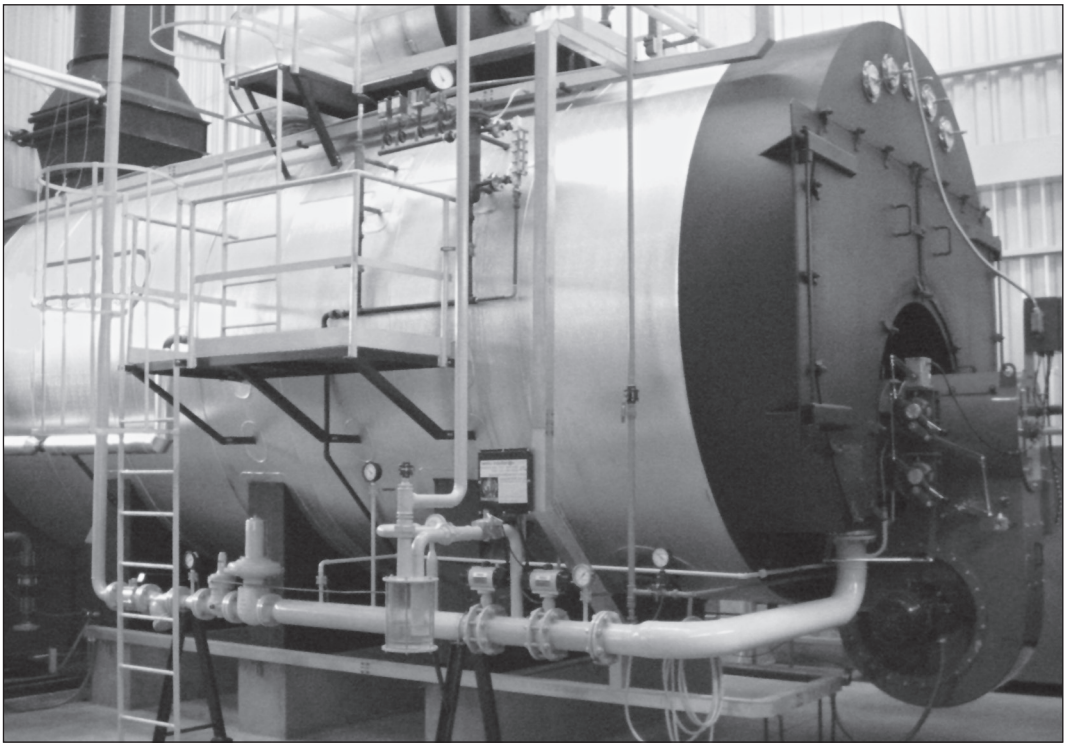
- aquecer a água para a higiene pessoal;
- cocção (cozimento) de alimentos;
- em regiões frias, para calefação doméstica (aquecimento do ambiente interno da casa);
- em autoclaves, fazendo-se esterilização de instrumentos ou produtos em geral;
- em autoclaves, na recauchutagem de pneus aplicando sob pressão e alta temperatura nova banda de borracha à carcaça de um pneu velho;
- em processos industriais, os mais variados.

item B) em mais altas temperaturas maiores que 200 °C:

- em máquinas a vapor, quando a função do vapor é movimentar eixos, como, por exemplo, nas velhas locomotivas ou navios a vapor;
- soldas de materiais, fabricando-se, assim, peças;
- fornos específicos;
- fundições.



O início do fogo



Caldeira de vapor saturado

Vamos nos limitar ao estudo do uso do calor nos casos do item A (temperaturas de 0° a 200 °C), **o chamado calor de aquecimento**. O estudo do vapor produzido em caldeiras especiais para acionamento de eixos (um dos casos do item B) está fora do nosso escopo, embora aqui e ali façamos citações.

Mostram os estudos e a prática que, quando necessitamos do calor em vários pontos, a melhor solução econômica e operacional é aquecer a água, transformando-a em vapor e, depois, enviá-la para os vários pontos de consumos. Para essa transformação da água como líquido para vapor, o equipamento a ser usado chama-se caldeira.

Reprisemos: chama-se caldeira o equipamento que ferve a água gerando o vapor num ambiente fechado (com pressão, portanto) e envia esse vapor (temperatura por volta de 150 °C) por linhas de tubulações de vapor para os vários pontos de consumo.

Todos nós temos um tipo de caldeira em casa: a panela de pressão.

A caldeira compõe-se de água que entra num vaso de pressão e o enche até um certo nível. Utiliza-se um combustível (gás, lenha e outros) que, com sua queima, libera calor que começa a esquentar a água, transformando-a em vapor e, dessa forma, este, tendendo a expandir, cria pressão dentro do vaso. A partir de linhas de vapor (tubos de aço, na sua maioria), os vários pontos de uso são alimentados com o calor transportado pelo vapor.

Nessa situação, nos usos gerais:

- o vapor transporta a energia térmica do combustível em forma de calor para vários locais onde o calor é desejado;
- o vapor pode até movimentar eixos (velhas locomotivas ou navios a vapor e modernos usos industriais em geral).

Os combustíveis usados nas fornalhas (queimadores) de caldeiras podem ser os mais variados, entre os quais:

- lenha, cavacos de madeira, bagaço de cana, casca de coco;
- carvão;
- gás GLP (gás liquefeito de petróleo);
- BPF (óleo de Baixo Ponto de Fusão, rico em enxofre, sua queima é um verdadeiro problema ambiental, um pobre resíduo da indústria petroquímica);
- gás natural;
- óleo combustível e diesel;
- usa-se também a eletricidade para aquecimento da água nas caldeiras.

A caldeira tem seu corpo principal construído com chapas de aço e usa camadas de lã de vidro (algo como 50 mm [2"] de espessura) como isolamento térmico do ambiente quente do seu interior. Os tubos de vapor também são revestidos contra a perda de vapor.

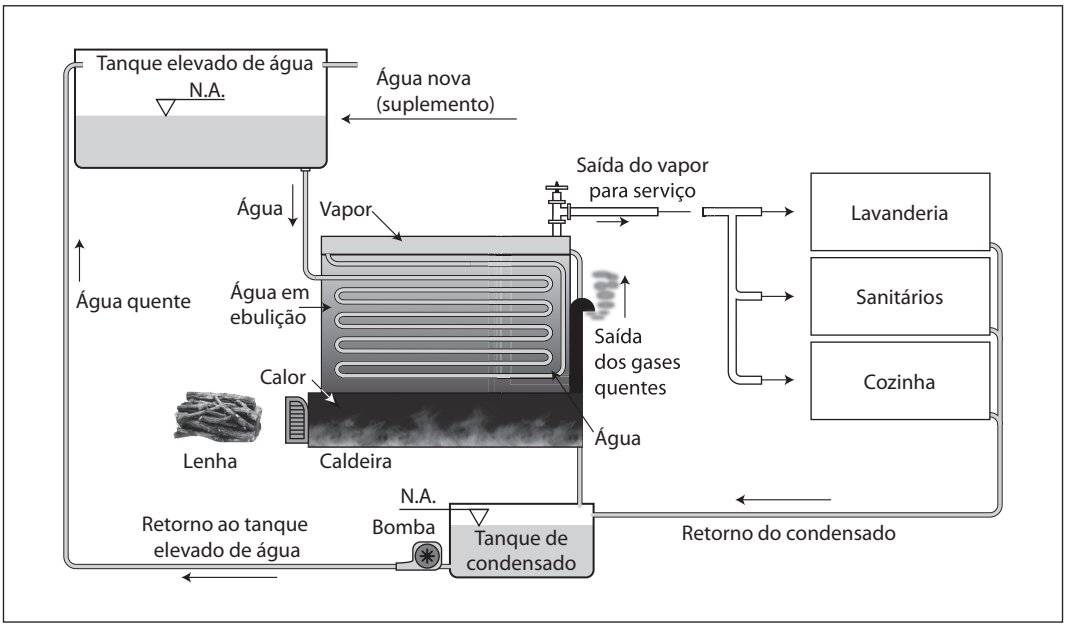
Exemplos de uso do vapor estão expostos a seguir.

Caso 1

Um hotel precisa de vapor para:

- esquentar água para os banheiros;
- fazer a cocção dos alimentos;
- eventualmente para auxílio na lavagem de roupas usadas pelos hóspedes.

Usa-se para isso uma caldeira acionada, por exemplo, à queima de lenha.



Caldeira a lenha

O vapor vai, por uma linha, direto para a cozinha, alimentando serpentinas por onde passa o calor e estas, imersas em tanques com água, fazem o cozimento do alimento que está nos panelões.

Como visto, inicialmente o vapor (temperatura na faixa de 150 °C) envolve os panelões da cozinha (sem contato físico com a água) aquecendo-os. Por outra linha, o vapor vai, via serpentina, a um tanque cheio de água, aquecendo essa água para a faixa próxima de 50 °C. Essa água quente é enviada para as torneiras de água quente da cozinha.

O vapor, depois de tanto ser usado, agora com menos calor, mas ainda quente (é uma água quente), chama-se *condensado* e é enviado para um tanque denominado tanque de condensado. O condensado nesse tanque retorna por bomba para a caldeira, pois, afinal de contas, o condensado é uma água limpa e quente e não deve ser jogada fora (desperdiçada).

Para água de aquecimento (água quente de uso humano – cerca de 50 °C), envia-se vapor para mistura com água fria em um tanque chamado de aquecedor (*boiler*) e a água resultante é enviada para consumo.

O circuito da caldeira é mantido funcionando permanentemente usando a queima do combustível. Como sempre há perdas de vapor na linha e consumo de água quente, periodicamente se adiciona (complementa) água no sistema, e, que será esquentada virando vapor.

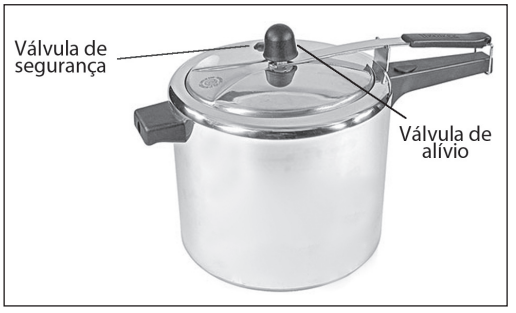
Nota – Hospitais, hotéis e outros usuários costumam ter, por segurança, no mínimo duas caldeiras que trabalham alternativamente.

Caso 2 – Panela de pressão

Na panela de pressão não há consumo contínuo de água, pois toda ela, a menos de perda pela válvula de alívio, se transforma em vapor, que é usado aumentando a temperatura interna da panela. Com o aumento da pressão e aumento da temperatura, a cocção (cozimento) se acelera. Essa é a vantagem da panela de pressão. Com a transformação do líquido dentro da panela (todo uso de panela tem que ter água ou líquido rico em água), a água vira vapor e aumenta enormemente a pressão dentro da panela. O aumento da pressão acelera o cozimento.

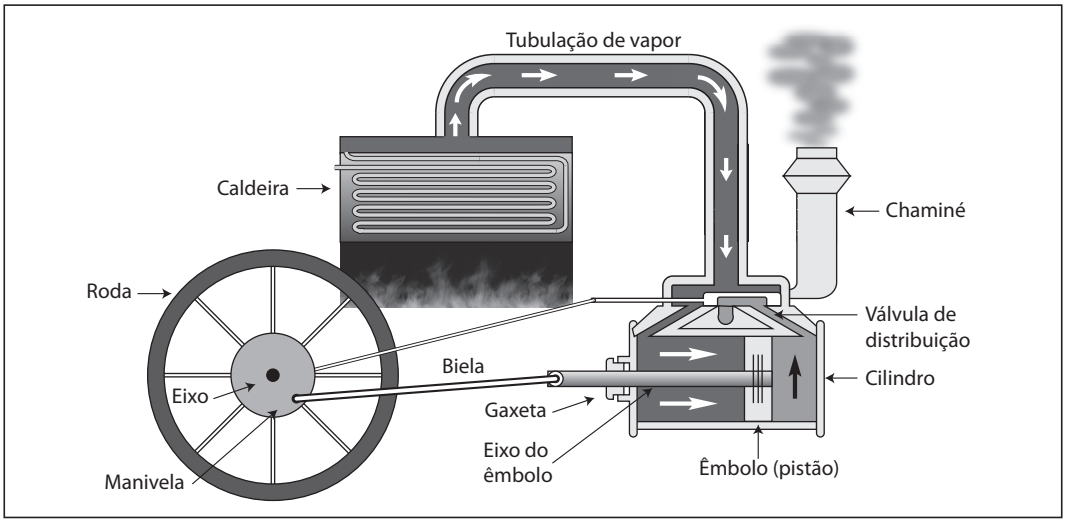
O cozimento do feijão (cereal) com água leva quatro horas (duzentos e quarenta minutos) em panela comum (sem pressão) e leva cerca de vinte minutos para o mesmo cozimento em panela de pressão.

A temperatura de ebulição da água numa panela de pressão e face à essa pressão é da ordem de 110 °C.



Panela de pressão

Caso 3 – Máquina a vapor



Esquema básico de uma máquina a vapor com sistema biela-manivela

A água vira vapor e todo o vapor é expelido (expulso) para a atmosfera, e na sua expulsão gira um eixo motor da locomotiva.

Nas velhas locomotivas a vapor, pela garbosa chaminé, saíam:

- o vapor usado para acionar eixos motores;
- os gases queimados da combustão.

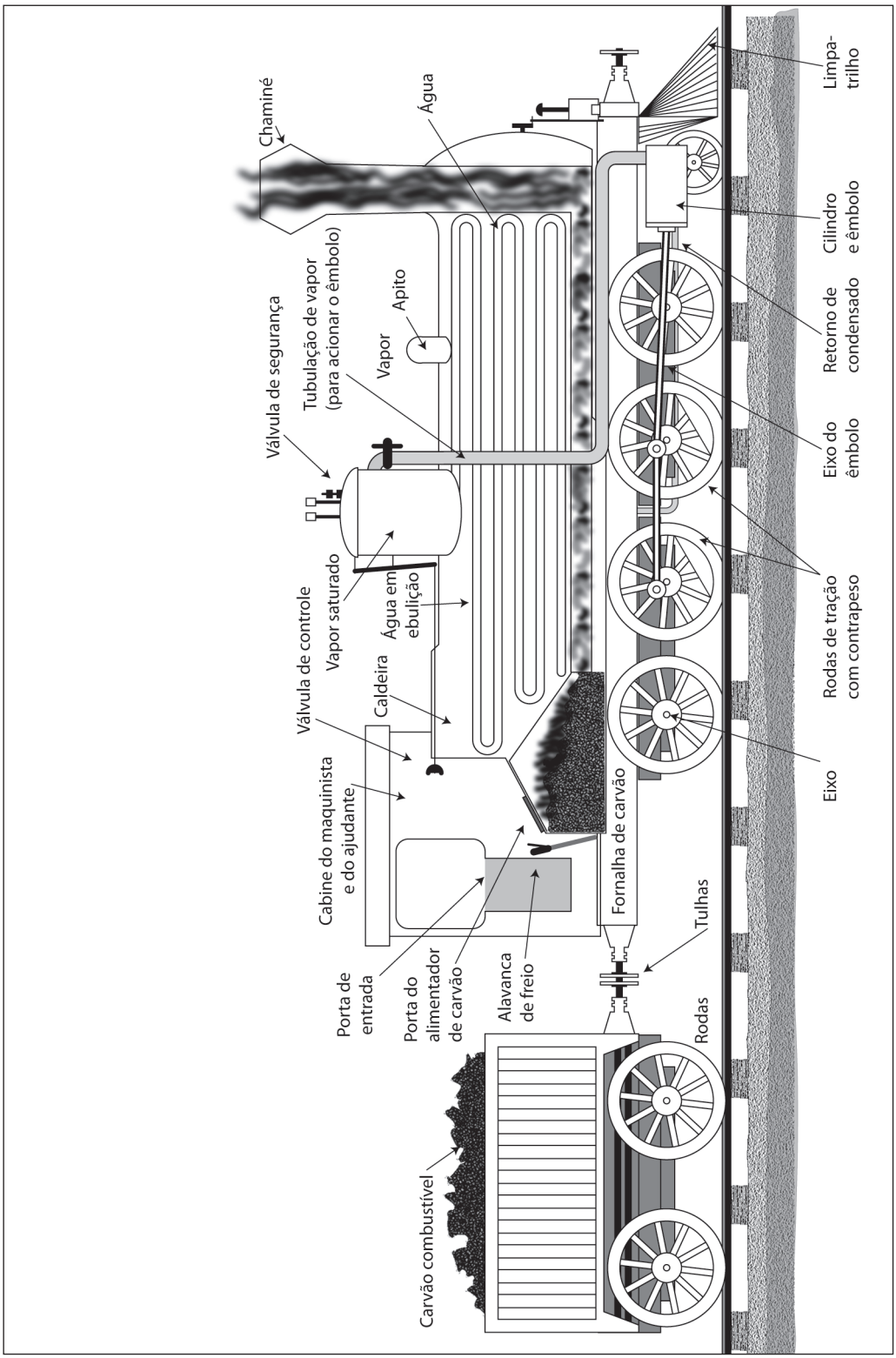
Havia um local específico para a saída de um vapor especial: era o vapor que acionava o inconfundível apito da locomotiva (vapor do apito).

Locomotiva a vapor, vulgo "Maria Fumaça"

Normas e disposições sobre caldeiras

NR 13	Norma do Ministério do Trabalho e Emprego (regras de operação e segurança)
NBR 12177-1 1999	Caldeiras estacionárias a vapor – Inspeção de segurança – Parte 1 – Caldeiras flamotubulares
NBR 12177-2 1999	Caldeiras estacionárias a vapor. Inspeção de segurança – Parte 2 – Caldeiras aquatubulares
NBR 13203	Inspeção de segurança de caldeiras estacionárias elétricas

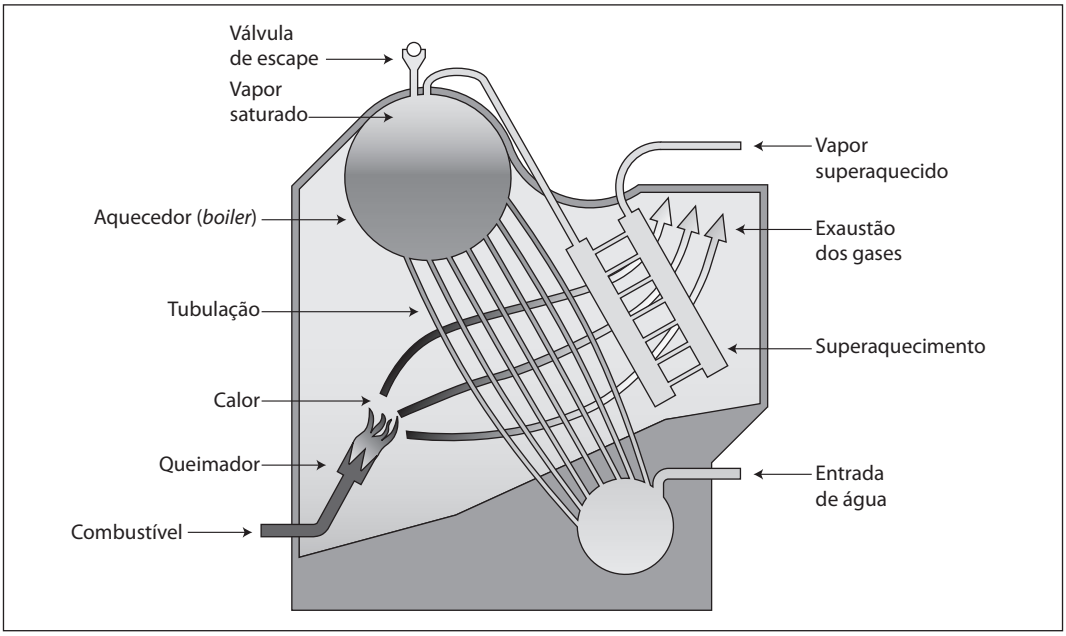
Decisões do Confea – Conselho Federal de engenharia e arquitetura



Desenho esquemático de uma locomotiva a vapor

Exemplos detalhados de uso de vapor

1. Aquecendo a água

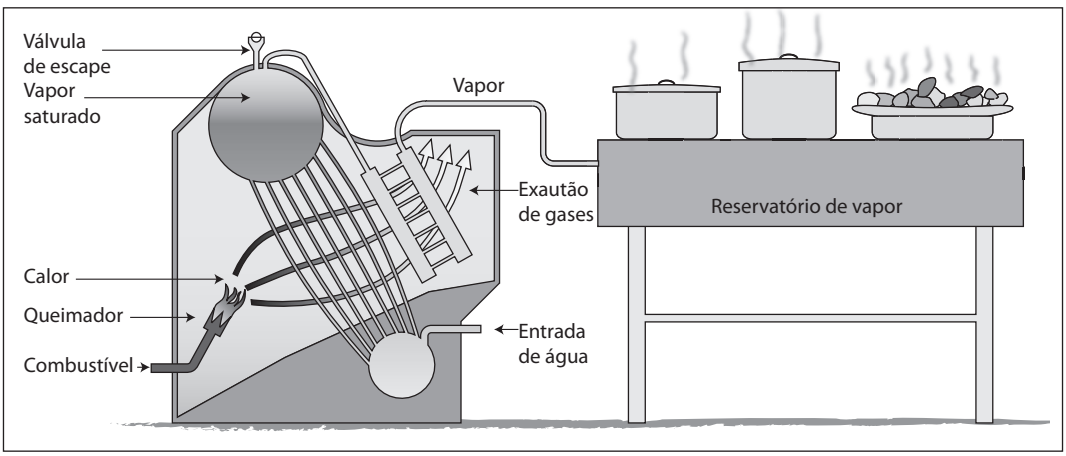


Caldeira de vapor superaquecido

A temperatura da água quente produzida depende da regulagem da quantidade de vapor que passa e da quantidade da água.

Vapor superaquecido é o vapor seco que passou pelo superaquecedor e está a mais de 200 °C.

2. Cozinhando em panelões



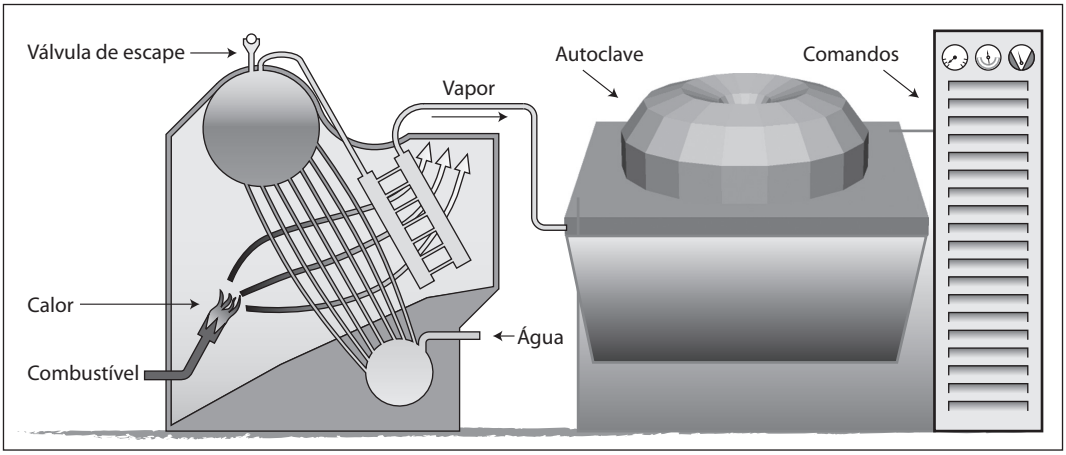
Caldeira de vapor de aquecimento de água

3. Recauchutagem de pneus usando o vapor

Etapas da recauchutagem

a) A superfície externa da carcaça velha do pneu é raspada e coloca-se nova camada de borracha sobre ela. A nova camada é colada na carcaça. Tudo vai para a autoclave, que é um tanque de aço onde se injeta vapor com pressão.

b) Após o tempo necessário para que ocorra a colagem, a autoclave é aberta. Como houve contato do vapor com o pneu, esse vapor é considerado contaminado e, com isso, é descartado na atmosfera.



Caldeira a vapor para autoclave*

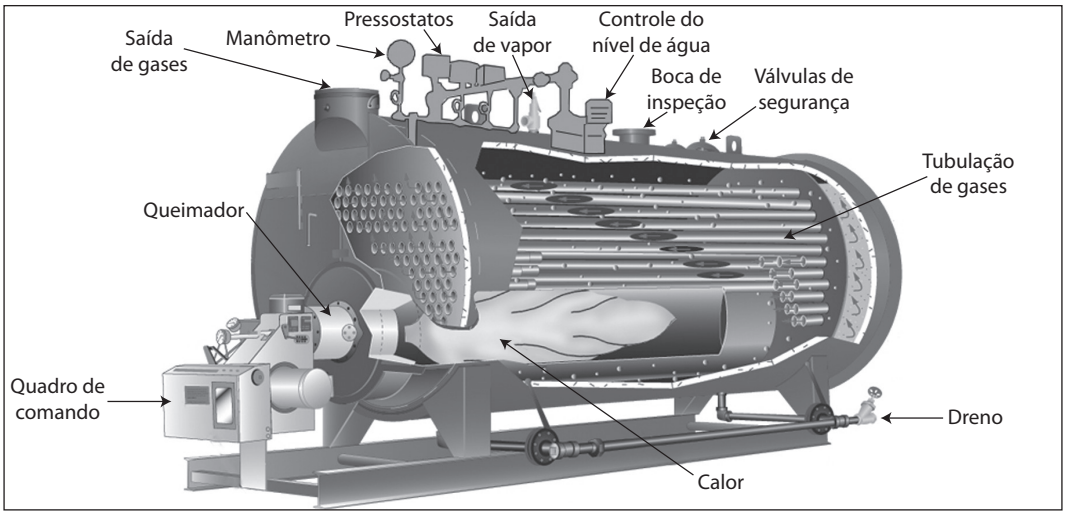
Partes de uma caldeira

A caldeira por queima de combustível é composta essencialmente por:

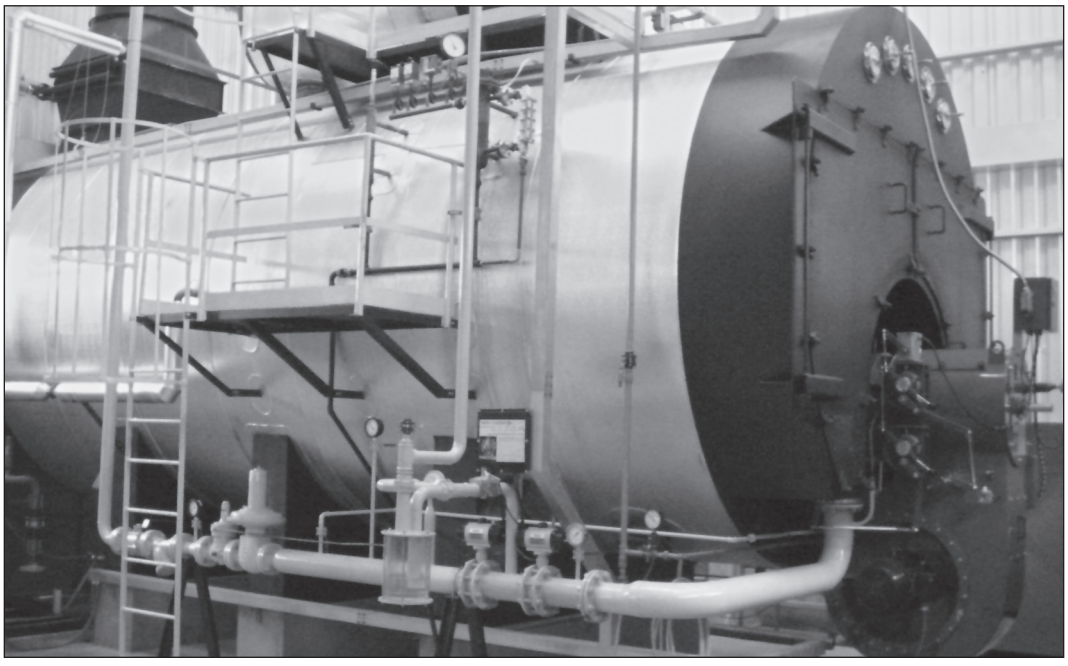
- corpo da caldeira de aço, constituindo-se de um reservatório dentro do qual a água alimentada vira vapor;
- tubos internos, normalmente de aço, por onde passam os gases muito quentes, provenientes da combustão, ou passa água que sofre o aquecimento, envolvida pelos gases que circundam os tubos cheios de água;
- alimentador de combustível (manual ou automático);
- queimador de combustível;
- tubulação de saída de vapor – o vapor produzido dentro da caldeira deve ser enviado aos pontos de utilização. Isso é feito por uma tubulação que se inicia na caldeira e vai até os pontos de interesse;
- tubulação de saída de gases queimados – depois de aquecer a água da caldeira, os gases queimados saem desta, sendo dispostos na atmosfera;
- válvulas de descarga (extração) de fundo – para esvaziamento, tirar resíduos e dispor o lodo criado pelo tratamento de água;

(*) Autoclave – aparelho que usa vapor para esterilizar instrumentos.

- válvulas de segurança contra excesso de pressão – atuam no caso de a pressão do vapor na caldeira se elevar mais do que o desejado;
- dispositivos de controle – controlam a entrada de gases combustíveis, a ligação do acendedor da queima dos gases e o acionamento do motor da bomba de água que alimenta a caldeira;
- entre outros.



Caldeira de vapor e seus principais componentes



Caldeira de grande porte, do tipo estacionária (fixa na casa de caldeiras), grande capacidade de geração de vapor, usando óleo combustível para aquecer a água.