

## DISPOSITIVOS DE CONTROLE E SEGURANÇA

### 2.1 GENERALIDADES

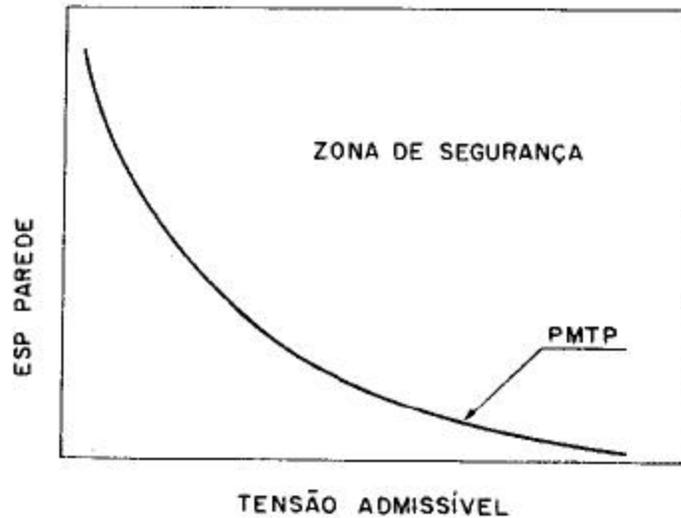
Todos os trabalhos relacionados com o projeto e fabricação de caldeiras devem obedecer às recomendações explicitadas por normas técnica. Entretanto, deve-se levar em conta também, que ao longo da vida útil do equipamento, podem ocorrer alterações acentuadas na estrutura desse material, seja por ação da corrosão, seja pela exposição prolongada desse material aos problemas de superaquecimento. Partindo-se desta constatação, o risco de acidente tende a aumentar na medida e quem diminuem a tensão admissível do material e a espessura efetiva de parede (figura 12).

Portanto, para que a segurança seja preservada, o equipamento deve receber atenção permanente, adotando-se medidas de correção ou, simplesmente, modificando-se a pressão de trabalho da instalação. Em termos mais gerais, entretanto, deve-se levar em conta a possibilidade de acidentes relacionados não apenas com uma eventual explosão do equipamento, mas também com incêndios, choque elétricos e intoxicação.

Dentre os casos de maior frequência, envolvendo a explosão de caldeiras, pode-se relacionar:

- A elevação da pressão de trabalho acima da pressão máxima de trabalho permitida (PMTP).
- Superaquecimento excessivo e/ou modificação da estrutura do material.
- A ocorrência de corrosão do material.
- Ignição espontânea, a partir de névoas ou de gases inflamáveis remanescentes no interior da câmara de combustão.

O alto grau de superaquecimento, combinado com a ação prolongada de vapor sob pressão, interfere na estrutura molecular do material e provoca deformações como empenamento ou abaulamento de tubos, especialmente nas caldeiras aquotubulares. O problema é mais comum nas regiões próximas aos queimadores e tende a se agravar pela presença de incrustações generalizadas, pela presença de sulfato, carbonatos, silicatos e sólidos em suspensão. A incrustação se comporta como isolante térmico, prejudicando o trabalho de refrigeração dos tubos. Além de promover o superaquecimento excessivo do aço, as incrustações favorecem a migração de agentes corrosivos para sua interface com a parede do tubo, aumentando os riscos de explosão.



**Fig. 12 Limite de segurança da caldeira, de acordo com a pressão máxima de trabalho permitida.**

A refrigeração dos tubos está condicionada a uma circulação contínua e eficiente da água. Velocidades da ordem de 0,5 m/s são esperadas em paredes d'água expostas ao calor de radiação. Nos feixes tubulares, dependendo da carga da caldeira e das condições internas de escoamento, o efeito de circulação natural pode anular-se. Falta de água ou circulação deficiente são causas mais freqüentes em acidentes com as caldeiras de vapor.

O emprego de material defeituoso, o posicionamento inadequado dos queimadores ou o dimensionamento incorreto da caldeira potencializam os riscos de acidentes. A incidência direta das chamas sob as paredes d'água ou feixes tubulares implica em conseqüências graves, decorrentes do superaquecimento localizado e da fluência do material.

## 2.2 CONTROLE MANUAL DE NÍVEL DE ÁGUA

Na maioria das caldeiras o nível normal de água é no centro horizontal do vidro do indicador. No caso de indicadores escalonados, esse nível é no centro, entre a parte superior do mais alto e a parte inferior do mais baixo. Nas caldeiras onde são instalados dois indicadores de nível, este será visível em ambos indicadores, se estiver na altura correta. Enquanto o nível estiver visível em um ou em ambos os indicadores, ele pode ser corrigido; mas se o nível cai ou sobe, de tal maneira que desapareça dos dois indicadores, devemos tomar providências imediatas para parar a caldeira.

O nível de água normal é no meio do tubo. Todavia, há muitas caldeiras que não seguem essa regra de construção. Os operadores devem consultar o

departamento de manutenção de sua instalação, para se certificarem da posição correta do nível de suas caldeiras.

A quantidade de água que é fornecida à caldeira deve, a cada instante, ser igual à quantidade que saiu sob forma de vapor. No entanto, durante mudanças bruscas de consumo de vapor. O nível dá uma falsa indicação de variação, quando aumenta o consumo, as bolhas de vapor que se formam abaixo da superfície de água se expandem mais do que esta e elevam momentaneamente o nível. Se a alimentação for reduzida nessa ocasião, há o perigo de se ter água baixa logo em seguida, quando as condições estáveis de funcionamento forem estabelecidas. A manutenção do nível correto nos indicadores é uma atividade que requer permanente atenção do operador.

## 2.3 AVARIAS NO CONTROLE DO NÍVEL DE ÁGUA

### 2.3.1 ÁGUA ALTA

Se o nível da água ficar muito alto, irá ocorrer arrastamento, especialmente quando a demanda de vapor é muito grande ou está flutuando rapidamente. O nível que deve ser mantido para, ao mesmo tempo em que se impede o arrastamento, manter uma quantidade suficiente para a demanda de vapor, deve ser determinado para cada instalação, através da experiência dos seus operadores. Uma situação momentânea de água alta pode ser corrigida sem maiores problemas, especialmente se a caldeira tem separadores centrífugos (ciclone). Se o nível alto for mais do que uma situação de momento, ou se há alguma dúvida quanto à localização do nível da água, o desaparecimento da marca de nível dos indicadores deve ser encarado como uma avaria que requer que a caldeira seja apagada imediatamente.

Insistimos em dizer que a diferença entre um visor de nível completamente cheio e um completamente vazio é extremamente difícil de ser observada e avarias sérias, causadas por água insuficiente, já ocorreram como resultado de uma interpretação errada do desaparecimento do nível. Com uma observação cuidadosa, às vezes é possível fazer essa diferenciação, pela presença ou não de condensado escorrendo pelo vidro do indicador, sendo que a presença de condensado indica água baixa, ou seja, o vidro vazio.

### 2.3.2 ÁGUA BAIXA

A água baixa é a mais séria e a mais freqüente das emergências em uma caldeira. Se a caldeira estiver em controle manual, é geralmente o resultado de falta de atenção do operador. Outras causas possíveis são a falha da bomba de alimentação, vazamentos no sistema de alimentação, uma válvula de retenção defeituosa, defeitos nos sistemas automáticos e nos alarmes da água baixa e

muitos outros defeitos que, se não forem descobertos e corrigidos logo, podem provocar um água baixa na caldeira.

Quando a água baixa de nível o suficiente para descobrir partes dos tubos geradores, a superfície imersa fica reduzida e se não houver nenhuma alteração nas demais condições, a pressão irá cair. Normalmente uma queda na pressão do vapor é devida ao maior consumo e a tendência natural é tentar equilibrar a pressão acendendo mais queimadores ou aumentando o fogo dos que já estão acesos. Essa providência está correta se a queda de pressão foi devida a um acréscimo no consumo de vapor. Se, todavia, a queda é devida à água baixa, acelerar a combustão resultará em danos sérios para o material e possivelmente para o pessoal que estiver por perto, desse modo, a possibilidade de que uma queda de pressão possa ser devida à água baixa deve estar sempre na mente dos operadores. Quando ocorrer uma queda de pressão em comum, cuja razão não seja rigorosamente conhecida, verifique o nível de água antes de ascender mais maçaricos ou de aumentar a pressão de óleo.

Se sua caldeira tiver uma água baixa, o calor da fornalha agindo sobre os tubos secos provocará o seguinte: distorção do invólucro, destruição do refratário, vazamento sérios de água e vapor, destruição de tubos.

Em caso de água baixa siga o procedimento abaixo;

- 1) Corte o óleo para todos os queimadores.
- 2) Corte a alimentação fechando as válvula de alimentação.
- 3) Corte o vapor
- 4) Se há alguma dúvida quando ao fato do nível de água estar alto ou baixo, drene os indicadores para ter certeza.
- 5) Se o caso for de água alta, dê um extração de superfície, para trazer o nível para a situação normal
- 6) Reacenda os queimadores e coloque a caldeira na linha normalmente.
- 7) No caso de água baixa, abra as válvula de segurança a mão, com todo o cuidado e deixe que a pressão da caldeira diminua gradualmente.
- 8) Feche o ar para a caldeira. Pare os ventiladores de tiragem forçada.

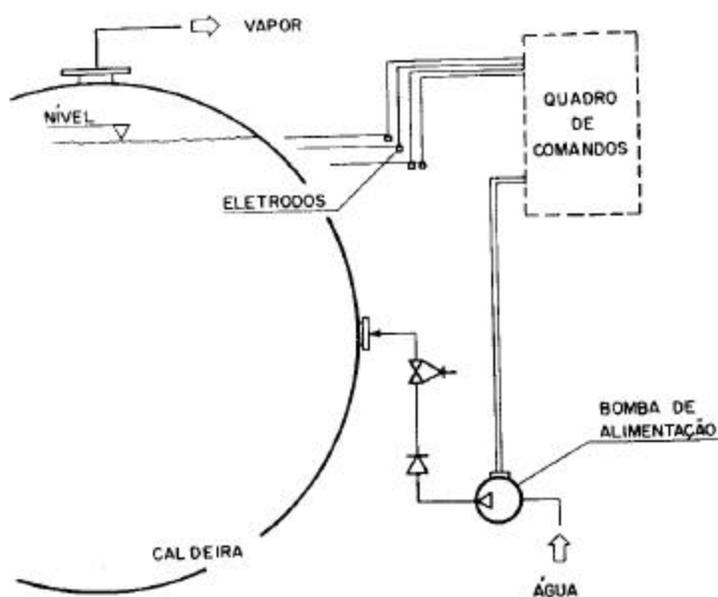
**No caso de água baixa é essencial que não se tente restabelecer o nível normal aumento o suprimento de água.** A caldeira deve ser deixada estriando lentamente e qualquer parte que tenha sofrido um aquecimento excessivo sofrerá um processo de recozimento que minimizará a possibilidade de avarias posteriores.

## 2.4 CONTROLE DO NÍVEL DE ÁGUA

As unidades geradoras de vapor devem estar preparadas para operam condições de máxima segurança e de modo a garantir pleno funcionamento do processo de combustão e geração de vapor. A instalação de dispositivos auxiliares de operação e de segurança tem o propósito de controlara a alimentação de água, alimentação de combustível, de prevenir a ocorrência de incrustações, depósitos de fuligem e, sobretudo, de evitar que o nível de pressão se leve acima dos níveis normais da caldeira.

O sistema de controle da água funciona em conjunto com a bomba de alimentação, de modo a manter o nível de água no tambor principal ou interior da caldeira. Diversos tipos de reguladores são disponíveis no mercado. Caldeiras de médio e de grande porte são normalmente equipadas com reguladores pneumáticos ou elétricos. Nas caldeiras de menor porte, numa faixa inferior a 50 ton/h de vapor, são mais comuns os reguladores de eletrodos e reguladores termohidráulicos. Este sistema consiste em aproveitar a condutividade elétrica da água, como auxílio de dois ou mais eletrodos de aço inoxidável (figura 13).

O suprimento de água pode depender de controle manual. Nesse caso, é importante que o operador tenha a noção exata de quando a água deverá ser introduzida no interior da caldeira. A presença de visor é indispensável ao operador de caldeiras. Nas caldeiras de médio e de grande porte, são instalados um visor e um indicador remoto de nível. Os indicadores remotos são projetados para uso em tambores montados locais mais altos, de difícil acesso, ou que dificultem a leitura direta por parte do operador da caldeira. Seu funcionamento pode se basear no princípio hidrostático, onde qualquer variação do nível do tambor, pode ser transmitido sem o uso de dispositivos mecânicos ou elétrico, os indicadores de nível devem ser instalados com bujões de limpeza, registros ou válvulas de dreno. A drenagem é importante para que se elimine o lodo e as impurezas que, eventualmente se acumulam no indicador de nível.



**Fig 13 Sistema de Controle por eletrodos para alimentação de água na caldeira.**

As bombas de alimentação e os injetores desempenham o importante papel de reposição de água, para que a caldeira possa atender a demanda de vapor. As bombas centrífugas têm mostrado os melhores resultados, pela simplicidade de seus componentes e pela facilidade de manutenção. Embora menos eficientes, bombas alternativas ou de pistão também têm sido utilizadas, principalmente por permitirem a aplicação de diferentes fontes de energia para seu acionamento.

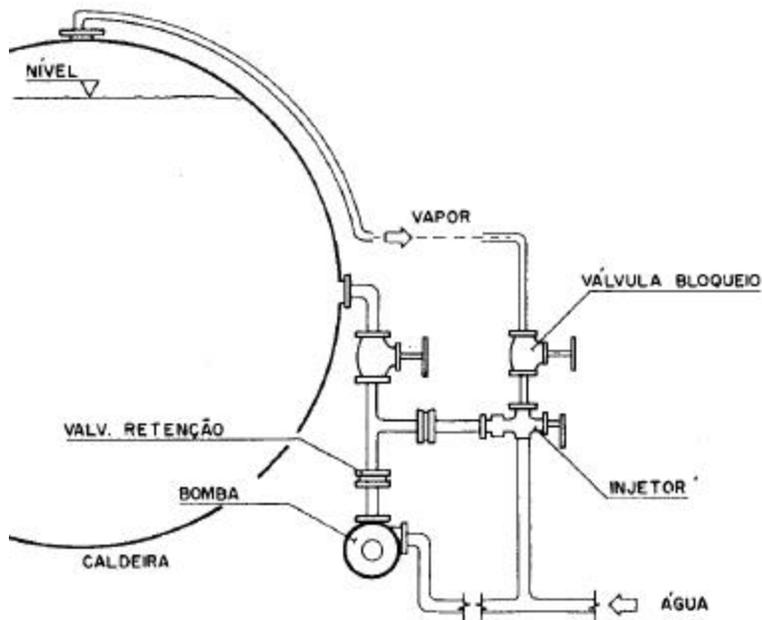


Fig. 14 Sistema de alimentação de água em caldeiras

Nas caldeiras de alta pressão são utilizadas bombas centrífugas de multiestágios. Nas caldeiras de pequeno porte, é comum a instalação de injetores de vapor (figura 14). São dispositivos destinados à alimentação de água, como alternativa em caso de falha na bomba convencional. O funcionamento é baseado no escoamento de vapor, proveniente da própria caldeira, através de uma série de tubos, a depressão suficiente para seccionar água do tanque de alimentação e, em seguida, pressurizá-la até o nível de operação da caldeira.

## 2.5 CONTROLES DE SEGURANÇA

São dispositivos projetados para apagar o queimador, na eventualidade de falha de ignição ou falha de chama subsequente à ignição inicial, de modo a não permitir que a fornalha inunde de óleo. Podem ser termostáticos, fotoelétricos e fotocondutores.

Os **termostáticos** consistem de um espiral bimetálica e de uma chave elétrica. A espiral é instalada de modo a ficar no caminho dos gases, e está ligada ao circuito de tal modo que não é possível acender o queimador com a chave aberta. Quando a caldeira está apagada, a espiral estará em posição tal que manterá os contatos abertos. Um circuito paralelo permite que se faça a ignição inicial. Quando a caldeira é acesa, o calor da fornalha dilata a espiral, a qual vai manobrar com a chave. Se a caldeira apagar-se, a espiral é resfriada, se contrai e abre o circuito elétrico do queimador.

O tipo **fotoelétrico** é feito com um célula fotoelétrica, uma unidade amplificadora e um relê. O funcionamento se baseia na luminosidade da chama, e se não há chama, o relê abre seus contatos, interrompendo o circuito do queimador.

O tipo **fotocondutivo** faz o mesmo serviço do fotoelétrico, só que agora a resistência de um célula vara quando é exposta à radiação infravermelha da chama. Circuitos especiais de amplificação conseguem distinguir entre o calor da chama e o as paredes de refratário.

A ligação funcional entre os dispositivos de controle do queimador e os controles de segurança da combustão é feita por meio de uma chave eletromagnética formada por um pequeno amplificador de sinal, três relês e uma chave térmica de segurança. Essa chave permite que o sistema desempenhe as seguinte funções:

- 1) Amarração entre o queimador e seu controle;
- 2) Proporciona um circuito temporário para dar a patida no queimador;
- 3) Efetua a parada e a religação automática do queimador, em resposta aos controles de água de alimentação e ao limitador de pressão;
- 4) Parada de emergência do queimador em resposta ao circuito de segurança.

## 2.6 CONTROLE DA PRESSÃO DE TRABALHO

O sistema de alimentação de combustível é controlado por dispositivos associados à leitura de pressão na caldeira. Pressostatos, sensores de pressão e manômetros são dispositivos utilizados para controle ou para simples indicação da pressão efetiva do vapor.

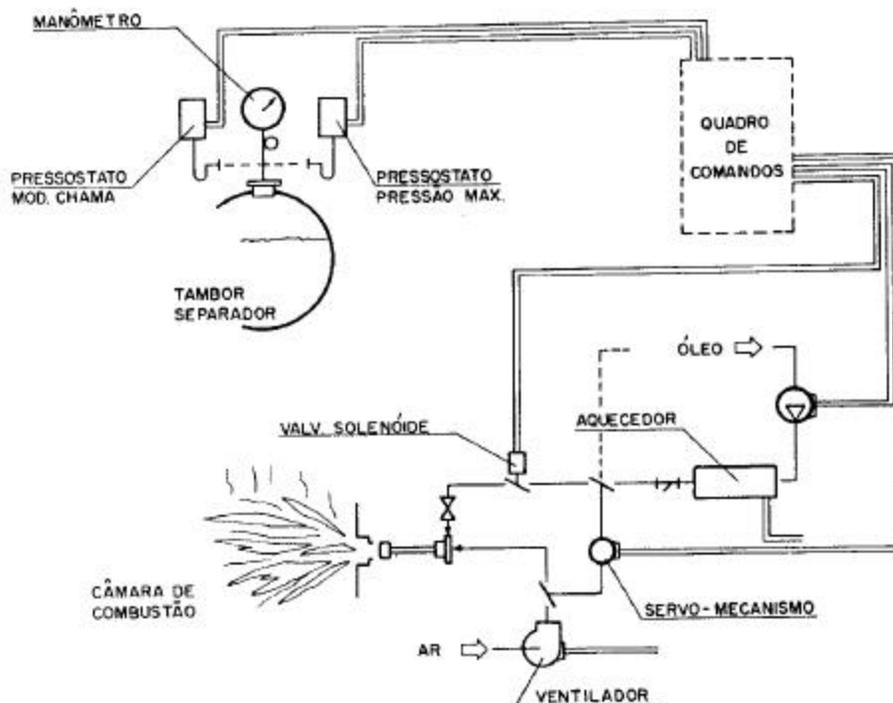


Fig. 15 Utilização de pressostatos e de manômetro para controle de da pressão em cadeiras de vapor.

Os pressostatos atuam em conjunto com os queimadores ou com alimentadores de combustíveis para manter a pressão em níveis usuais de operação. A instalação de manômetros ou de sensores de pressão é necessária para permitir a leitura direta pelo pessoal de operação da caldeira.

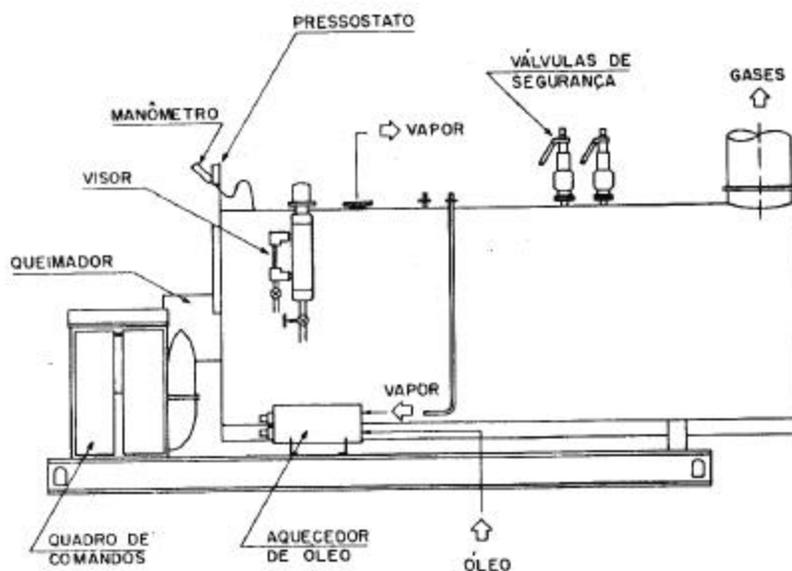
A figura 15 mostra o sistema de controle e alimentação de óleo combustível, normalmente utilizados em caldeiras de pequeno porte. Dois pressostatos são utilizados. O pressostato de pressão máxima tem a finalidade de controlar a pressão interna da caldeira, dando a partida ou interrompendo o funcionamento dos queimadores. O pressostato modulador, de acordo com a variação da pressão de vapor, atua sobre um servo-mecanismo programado para regular o fluxo de óleo e o fluxo de ar para os queimadores.

Diversos outros componentes complementam o sistema de alimentação de combustível, como manômetros, termômetros, válvulas de alívio, válvulas solenóides e chave seqüencial. A chave seqüencial tem a finalidade de promover, automaticamente, o ciclo completo de operação da caldeira.

As falhas podem ocorrer por conta de problemas diversos. Os pressostatos podem apresentar falhas no diafragma ou falha elétrica pelo colamento dos platinados. As válvulas solenóides oferecem risco quando deixam de funcionar, permanecendo na posição aberta, por falha mecânica, simplesmente, pela instalação incorreta.

## 2.7 VÁLVULAS DE SEGURANÇA

As válvulas de segurança são dispositivos auxiliares, previstos para atuarem em caso de falha no sistema de combustão, de modo a evitar eventual aumento na pressão de trabalho da caldeira. O local de instalação das válvulas dependerá do tipo de caldeira. A figura 16 mostra a instalação de duas válvulas de segurança e numa caldeira do tipo flamotubular.



**Fig.16 Dispositivos de controle e segurança, instalados em uma caldeira do tipo flamotubular**

A pressão de abertura de cada válvula de segurança deve ser periodicamente testada e, se necessário, ajustada. Elas devem ser dimensionadas de modo a garantir descarga total do vapor gerado, caso haja aumento superior a 10% da pressão de trabalho ou valor pré-estabelecido para a instalação. As válvulas de segurança montadas e superaquecedores poderão ser consideradas como parte do conjunto de válvulas de segurança da caldeira. Nesse caso, é conveniente que, ao menos, 75% da capacidade total seja instalada no corpo da caldeira. No caso de caldeiras de circulações forçada, essa distribuição pode ser decidida de comum acordo entre o fabricante e autoridade inspetora. A área total mínima dos orifícios das sedes de todas as válvulas deve atender exigências impostas por normas específicas para o caso. As tubulações de descarga devem ter um área de passagem útil, no mínimo, igual à soma das áreas dos orifícios de todas as válvula de segurança montadas na cadeira e suficiente de modo a evitar contrapressões, acúmulo de depósitos ou de condensado, que venham restringir a passagem do vapor. O bocais devem ter no mínimo comprimento possível. A presença eventual de umidade e partículas sólidas no vapor torna a sede da válvula de segurança susceptível a danos. Por esta razão, os teste habituais das válvulas de segurança devem ser precedidos na caldeira, superaquecedores ou linha de vapor.

## 2.8 SEPARADORES DE VAPOR

A reposição contínua de água de alimentação, embora tratada quimicamente, promove a acumulação de sais e partículas sólidas no interior da caldeira. Sais solúveis e sólidos em suspensão são responsáveis pelo aparecimento de incrustações, que reduzem substancialmente a taxa de troca de calor nas superfícies de aquecimento e a segurança da caldeira. Os problemas tendem a serem maiores , na medida em que aumenta o arraste de umidade a partir do tambor principal da cadeira. Incorporadas à parte úmida do vapor saturado, as impurezas tendem a também se acumular nos superaquecedores. Tubulações e turbinas a vapor.

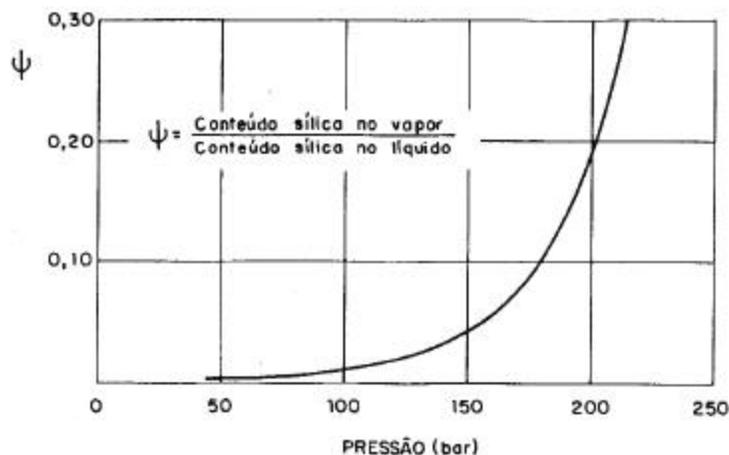


Fig 17 Relação entre o conteúdo de sílica presente no vapor e na água líquida da caldeira.

Para fins industriais, o vapor saturado não requer alto grau de purificação. Vapor saturado com título superior a 97%, inclusive, é possível de ser obtido com separadores simples. Nas caldeiras de baixa pressão de trabalho, inferior a 20 bar, a separação pode ser feita por gravidade. Pressões maiores exigem meios de separação mecânicos.

Nas usinas termoelétricas de alta pressão, é importante que o vapor superaquecido seja livre de contaminação (max. 0,03 ppm), para evitar incrustações nos superaquecedores e problemas nos últimos estágios das turbinas. Pressões superiores a 40 bar, favorecem o arraste de sílica e outros compostos, que viriam deteriorar alguns passos da turbina. A figura 10.6 mostra a relação entre o conteúdo de sílica no vapor e na água da caldeira. Experiências têm indicado que os problemas, relacionados à sílica, são minimizados quando sua concentração no vapor não exceder a 0,025 ppm.

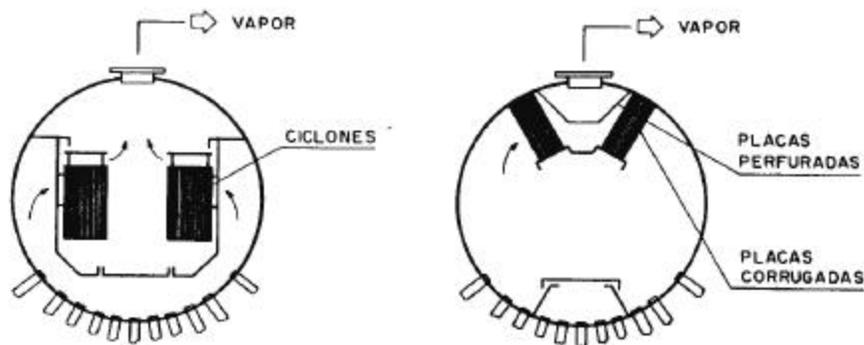


Fig. 18 Dispositivos de separação de condensado

Os purificadores de vapor são dispositivos auxiliares com a finalidade de minimizar o arraste de umidade, sais e sólidos em suspensão. A figura 18 mostra a instalação de purificadores de vapor no tambor principal da caldeira. O tambor é o

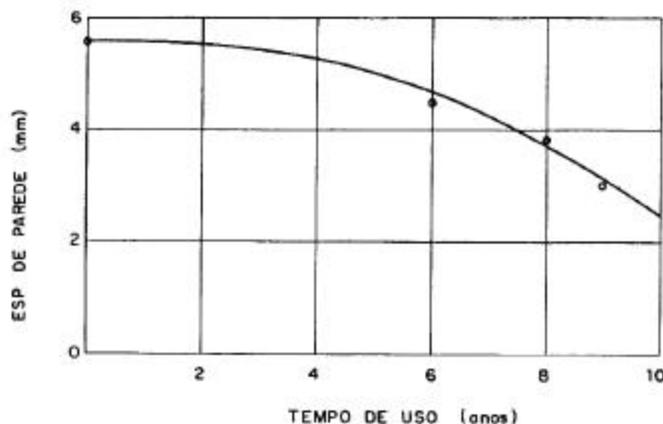
local mais apropriado à separação de espuma e partículas sólidas proveniente do feixe tubular, para representar a região de maior estabilidade e de menor taxa de troca de calor.

Em geral, nas unidade de maior pressão de vapor, o trabalho de purificação é feito em três etapas:

- a) Separação primária: remoção da espuma, sólidos e maior parcela de umidade do vapor.
- b) Lavação: remoção dos sais diluídos no vapor, pela pulverização da água de alimentação.
- c) Secagem: remoção de pequenas gotas, eventualmente presentes na massa de vapor.

## 2.9 SEPARADORES DE FULIGEM

Os sopradores de fuligem são instalados em pontos estratégicos da unidade geradora de vapor, com a finalidade de remover fuligem ou depósitos de cinzas das superfícies de aquecimento. As unidades atuais são projetadas e construídas de forma a garantir limpeza automática durante a operação normal da caldeira. Em geral, os sopradores são instalados nos anteparos ou divisórias da caldeira, junto aos superaquecedores, economizadores e outros locais que venham favorecer os depósitos de cinzas. Dependendo de sua localização, os sopradores podem ser fixos ou retráteis.



**Fig 19** Desgaste verificado em tubos submetidos a jateamentos intermitentes de vapor.

A formação de grandes depósitos de cinzas tendem a prejudicar o fluxo de gases e a reduzir a troca de calor entre água e gases de combustão. A ocorrência de caminhos preferenciais implica em problemas relacionados com o aquecimento localizado e deformação irregular dos feixes inconveniente de provocar desgastes progressivos, tanto nas paredes d'água como nas serpentinas dos superaquecedores.

A figura 19 mostra o desgaste médio de alguns tubos, verificado ao longo de quase 10 anos de operação, de uma caldeira adaptada com sopradores de

fuligem operando com vapor a 45 bar. A tendência não linear da curvas é consequência lógica do elevado tempo de exposição dos tubos sob elevadas temperaturas. Nessas condições ocorrem alterações significativas nas propriedades dos materiais que, de efeito somado ao eventual aparecimento de microtrincas, justificam o desgaste acelerado dos tubos.