

# **RECOMENDAÇÃO DO COMITÊ DE SEGURANÇA EM CALDEIRAS DE RECUPERAÇÃO DO BRASIL**

**Revisão 2 - 2004**

(Sub-comitê de Manutenção, Inspeção e Instrumentação)

## **GUIA PARA INSPEÇÃO PERIÓDICA DE CALDEIRAS DE RECUPERAÇÃO**

### **1- Generalidades**

#### **1.1- Objetivo e Campo de Aplicação desta Recomendação**

Por razões de segurança, normas técnicas e legais vigentes no Brasil preceituam que caldeiras de qualquer tipo sejam inspecionadas com regularidade. Estas normas estabelecem procedimentos, prazos, responsabilidades e demais requisitos para estas inspeções. Há contudo um reconhecimento geral, na indústria de celulose, de que a segurança das caldeiras de recuperação de álcalis requer cuidados de inspeção que transcendem as exigências oficiais genéricas para geradores de vapor, contidas nas normas acima citadas. Com isto, configura-se a necessidade de que o escopo técnico aplicável à inspeção periódica de caldeiras de recuperação esteja definido. O presente documento, respeitando inteiramente os regulamentos oficiais vigentes, tem portanto o objetivo de delinear e complementar este escopo recomendável de exames, de forma coerente com a criticidade e o risco associado às caldeiras de recuperação de álcalis da indústria de celulose.

#### **1.2- Princípios e orientações gerais para a inspeção**

1. Deve ser elaborado e mantido pelo proprietário da caldeira um programa de inspeção documentado, detalhado e individual para cada caldeira, levando-se em conta diferenças de concepção, idade, condições de operação e outras particularidades. Este programa deve ser continuamente revisado e atualizado, levando em consideração novas observações e experiências. Prioritariamente o programa deve observar a conformidade aos requisitos legais, conforme enfatizado em 1.1.
2. Registros históricos de cada inspeção devem ser mantidos documentados para futura referência.
3. As inspeções devem ser executadas por agente qualificado e habilitado, podendo ser pessoal próprio ou contratado.
4. Por ocasião das inspeções, quaisquer anomalias já conhecidas pelo proprietário da caldeira devem ser reportadas ao inspetor comissionado para os trabalhos.
5. Todas as especificações, critérios e padrões gerais de aceitação que possam vir a ser necessários (ex.: descrição dos materiais de construção utilizados na caldeira, espessura mínima de tubos, valores de ajuste de válvulas de segurança, parâmetros do teste hidrostático, etc.), devem estar prontamente disponíveis nestas ocasiões, evitando dúvidas e equívocos.
6. As inspeções devem ser constituídas de exame interno, exame externo e testes complementares. Cada uma destas etapas é descrita neste documento de forma sucinta, como orientação apenas. Cabe ao inspetor utilizar sua experiência e conhecimento para determinar a extensão, abrangência e detalhamento das verificações e ensaios a serem aplicados. É necessário que sejam gerados relatórios escritos conclusivos sobre os exames realizados e recomendações deles resultantes.

7. O inspetor deverá certificar-se de que todos os reparos e modificações advindas das inspeções sejam executados em conformidade com as normas e códigos de projeto e construção da caldeira, conforme estabelecido pela legislação vigente. Exceção a este requisito é aceitável em se tratando de novas tecnologias, já consagradas e ainda não previstas à época do código utilizado no projeto e construção da caldeira.
8. Deve-se assegurar que medidas adequadas de controle e garantia da qualidade para os trabalhos a serem executados na parada tenham sido implementados no tempo devido. Por exemplo, qualificação de soldadores, certificados de materiais e especificações de procedimentos de soldagem (EPSs) devem estar disponíveis no campo por ocasião do início da parada.

## **2- Preparativos**

1. Procedimentos de segurança ocupacional prévios à inspeção, especialmente bloqueio e sinalização dos itens cujo acionamento acidental possa ser perigoso, devem ser rigorosamente providenciados, com suficiente antecedência.
2. Recomenda-se que se proceda a uma verificação interna preliminar à limpeza da caldeira, de forma a observar as possíveis incrustações, obstruções e depósitos excessivos, sua natureza e localização, arranjo do fundido remanescente, etc. Entretanto esta verificação deve ser cercada das precauções de segurança exigíveis, especialmente quanto à possível queda de blocos de sulfato.
3. As cinzas remanescentes devem ser removidas por lavagem a alta pressão com água quente. A lavagem deve ser estendida, inundando-se a fornalha com água através dos sopradores de fuligem e queimadores de licor (bocais spray têm que ser removidos). A qualidade da limpeza resultante deve ser cuidadosamente avaliada antes do encerramento definitivo da lavagem, e antes que se iniciem quaisquer atividades de manutenção na caldeira. Especial atenção deve ser dada à remoção de formações de sulfato que eventualmente ficam presas ao teto, paredes e painéis após a lavagem, evitando acidentes com sua queda durante os trabalhos internos.
4. Todas as portas de visitas e outras aberturas da caldeira precisam ser abertas. Após a abertura das portas dos balões, ar frio deve ser insuflado em seu interior para promover um resfriamento mais rápido.
5. Iluminação geral interna de baixa voltagem deve ser providenciada, bem como luminárias manuais para todas as partes a serem localmente examinadas.
6. O teto de segurança precisa obrigatoriamente ser montado antes que qualquer trabalho seja iniciado na fornalha baixa. Deve ser observada a perfeita vedação entre as partes do teto de segurança e as paredes da caldeira, garantindo que não haja aberturas que possam permitir a queda de materiais na fornalha. É essencial proceder-se a uma cuidadosa inspeção das vigas e demais elementos que compõem o teto de segurança, antes de cada montagem e utilização do mesmo.
7. Um andaime rígido e seguro deve ser erguido para possibilitar a inspeção em toda a altura da fornalha, bem como em todas as linhas de sopragem nos superaquecedores, até o teto. É importante que o andaime proporcione, quando possível, fácil acesso entre os diferentes níveis dos superaquecedores, e nunca obstrua bocas de visita. Plataformas devem ser montadas nos funis de cinzas sob a bancada e economizador. O acesso a outros sítios de interesse além dos citados, se solicitado pelo inspetor comissionado, deve ser providenciado sem restrições.
8. A limpeza mecânica e preparação das superfícies para inspeção e ensaios devem ser feitas pelos meios adequados e com máximo cuidado, a fim de se evitar a abrasão excessiva dos tubos e conseqüentes perdas de espessura. Precauções especiais se aplicam ao uso de jato de areia, pelas razões expostas.
9. É recomendável, especialmente se houver qualquer suspeita de vazamento na caldeira, a execução de um teste de estanqueidade na mesma (com não mais que a pressão de operação) no início da parada, antecedendo as

inspeções propriamente ditas. Esta providência permite evidenciar os possíveis vazamentos em tempo hábil para sua correção, evitando a sua constatação apenas no teste hidrostático final.

### 3- Exame Interno

O exame visual interno em uma caldeira de recuperação de álcalis deve ser extensivo e detalhado, sendo recomendável que seja executado anualmente. Abaixo são descritos os procedimentos gerais para este exame.

#### 3.1 – Lado de gases

##### 3.1.1- Exame visual

1. Os tubos da caldeira devem ser examinados visualmente com foco em corrosão, erosão, abrasão, desalinhamentos, deformações, amassamento, empolamento, inchamento, porosidade, trincas, rupturas, descoloração, alterações da textura do material, etc. Devem-se verificar os tubos também quanto a danos mecânicos decorrentes de possível interferência física indevida entre componentes da própria caldeira, limpeza da caldeira com instrumentos pontiagudos, colisões com sopradores de fuligem, queda de objetos pesados, etc.. Tubos de cortina e do fundo da fornalha são particularmente sujeitos a danos por queda de grandes formações de sulfato, que se desprendem das partes altas da caldeira.
2. Aletas, membranas, chapas de vedação tipo *crotch-plate*, grampos, espaçadores, suportes e outros elementos soldados devem ser atentamente examinados quanto a possíveis trincas, que podem se propagar para os tubos. Este problema assume maior criticidade quando ocorrido em locais passíveis de contato água-fundido. As aberturas das bicas de fundido e bocais de ar primário são portanto locais em que se recomenda máxima atenção.
3. Caldeiras de um balão que possuam convector do tipo *long-flow*, assim como certos tipos de economizadores longitudinais, apresentam às vezes suscetibilidade a vibrações, e deve-se verificar a existência de trincas nos seus coletores, soldas e suportes.
4. Tubos compostos são sujeitos à ocorrência de trincas e erosão, devendo ser examinados com este foco.
5. A pinagem protetora, quando existente, deve ser inspecionada, controlando-se o comprimento e diâmetro remanescente dos pinos, uma vez que estes se desgastam por ação de corrosão e erosão. Outros elementos da caldeira sujeitos a mecanismos similares de desgaste são bocais de ar de combustão e queimadores.
6. Recomenda-se uma verificação amostral das condições dos tubos do fundo da caldeira a cada cinco anos em caldeiras de fundo plano. Para tanto podem ser abertas uma ou mais janelas pequenas (1 x 1 m, por exemplo) no refratário do piso, de forma a permitir uma verificação visual dos tubos que compõem o fundo, e a sua medição de espessura conforme descrito no item 3.1.2. Para unidades com fundo inclinado a inspeção nesta região deve ser anual. Dada a diversidade de materiais, tipos de tubos e formas construtivas de fundos de caldeiras de recuperação, esta recomendação, aqui dada de forma genérica, deve ser cuidadosamente adaptada pelo engenheiro inspetor às condições particulares da caldeira em questão. Atenção especial deve ser dada aos tubos do fundo, nos cantos, em caldeiras que tenham sofrido redimensionamentos importantes de capacidade, devido a possíveis alterações de circulação (estas, verificáveis por tubos Pitot). Atenção especial deve ser dispensada a pisos em tubos compostos, que têm apresentado susceptibilidade ao surgimento de trincas na camada austenítica. Neste tipo de material recomenda-se a realização de inspeção por líquidos penetrantes, integral ou por amostragem, dependendo do histórico da caldeira. Nota: extremo cuidado deve ser exercido na remoção do refratário do piso, para evitar danos mecânicos aos tubos.
7. Suportes, tirantes, chicanas e grampos anti-vibração devem ser examinados quanto à sua fixação, partes faltantes ou soltas, atritos e interferências indevidas.

8. Refratários de um modo geral devem ser avaliados quanto ao seu possível desgaste, fragmentação, deterioração, situação da ancoragem e até mesmo se ainda permanecem nos locais originais.
9. Recomenda-se fortemente que as bicas de fundido sejam substituídas a cada campanha anual. Se isto não ocorrer por alguma razão, é imperioso submetê-las a inspeção criteriosa incluindo ensaios não-destrutivos para determinar sua espessura remanescente, e eventual degradação (corrosão, erosão e trincas), especialmente micro-trincas no material do leito. Nota: bicas substituídas devem ser inutilizadas imediatamente para evitar sua reutilização, inclusive por terceiros, de forma inadvertida ou mal-intencionada. As bicas usadas devem, contudo, ser objeto de avaliação com vistas a informações de interesse para o histórico da caldeira (por exemplo, verificar se está havendo trincas ou não).
10. O *penthouse* e o porão devem ser examinados visualmente, com foco no estado de elementos estruturais ali alojados, corrosão em geral, invólucros, isolamentos, possíveis infiltrações e acúmulos de sulfato, estado de refratários e selos, estado de termopares e conexões de tubos *Pitot*. Especialmente deve ser verificada a condição de coletores, distribuidores e tubos, e as conexões entre eles. Em alguns tipos de caldeiras, é necessário inspecionar o sistema de suportação dos superaquecedores, quanto a trincas. Possíveis vazamentos de fundido devem ser pesquisados no porão.
11. Inspeção similar à descrita no item anterior, no que for aplicável, deve ser executada na câmara fria do nariz.

### 3.1.2- Ensaios não-destrutivos

Medições de espessura:

Medições ultra-sônicas de espessura periódicas são essenciais para controlar a vida útil dos tubos, detectar desgastes anormais e confirmar a Pressão Máxima de Trabalho Admissível (PMTA) da unidade. Abaixo são recomendadas linhas gerais para um plano de prospecção ultra-sônica para medição de espessura.

Ressalta-se aqui, uma vez mais, que o plano deve ser individualizado para cada caldeira, levando-se em conta sua concepção, idade, histórico de corrosão, etc. As medições de espessura devem ser sempre complementadas com uma cuidadosa inspeção visual quanto a perdas de material dos tubos, por exemplo, com o uso de uma lanterna em ângulo. As medições são feitas em um arranjo lógico de localizações (exemplo: a cada 6 metros, de 5 em 5 tubos), resultando em uma densidade de medições adequada a cada caso, e para cada parte da caldeira. Vários milhares de pontos podem ser necessários em uma inspeção, para proporcionar uma adequada avaliação da unidade. O arranjo de medições também deve ser tal que permita boa repetibilidade dos ensaios em inspeções subseqüentes. Tipicamente as medições de espessura são feitas a cada ano. Este período, bem como a densidade de pontos, pode ser ajustado dependendo dos resultados. Abaixo são recomendadas práticas para prospecção de cada parte da caldeira.

- Os tubos de fornalha são medidos entre 3 e 6 níveis ou elevações, dependendo do tipo de proteção contra corrosão existente. Prioritariamente são medidos os níveis de ar de combustão e queimadores, e os tubos curvados ao redor das diversas aberturas da fornalha. Em áreas críticas é recomendado que a medição seja feita em três pontos da semicircunferência do tubo exposta aos gases, ao invés de uma única medição central. Partes como o nariz, que sabidamente experimentam maior desgaste, também devem receber atenção especial nas medições. As regiões altas da fornalha e teto, em contrapartida, geralmente apresentam baixas taxas de corrosão e podem ser examinadas com menor frequência ou amostralmente.
- Os tubos de superaquecedores são medidos prioritariamente em partes curvas, e nos trechos retos, nas linhas de centro dos sopradores de fuligem.
- Os tubos de economizadores devem ser medidos com prioridade para as partes inferiores, mais frias, e nas linhas de sopragem. Cuidado especial deve ser tomado para verificar a chamada corrosão do lado frio, próxima ao invólucro, estendendo-se as medições ultra-sônicas a estes locais se necessário. Isto se aplica de forma especial quando o invólucro estiver corroído nas regiões próximas às entradas de sopradores de fuligem.

- Os tubos de cortina (*screen*) são medidos em 2 a 5 níveis (este número pode ser maior dependendo das características da cortina). As partes próximas às penetrações das paredes, tubos curvados e trechos retos nas regiões de sopragem são os focos de interesse principal.
- Os tubos de bancada devem ser medidos próximo aos balões, se for o caso, em partes curvadas e nas linhas de sopragem.
- Tubos com sinais visuais evidentes de desgaste ou corrosão anormais devem ser medidos independentemente da sua localização.

É essencial verificar freqüentemente a calibração do aparelho, durante os trabalhos de medição de espessura.

Outros ensaios não-destrutivos recomendáveis:

Ensaio não-destrutivos clássicos são usados para evidenciar descontinuidades em partes pressurizadas e estruturais. Abaixo são dadas algumas recomendações específicas do emprego destes ensaios, típicas nas inspeções periódicas da caldeira de recuperação:

- Líquidos penetrantes ao redor das aberturas das bicas de smelt.
- Nas fornalhas de tubos compostos, onde a experiência tenha mostrado uma incidência apreciável de trincas, além da recomendação acima, estender o ensaio também às portas de ar de combustão e demais aberturas da fornalha baixa. Dependendo das circunstâncias (tipo do tubo composto, projeto, carga da caldeira, composição do *smelt*), tubos compostos podem sofrer trincas, tanto de corrosão sob tensão fraturante (SCC) como de fadiga térmica. É portanto importante executar o ensaio por líquidos penetrantes em todos os locais de maior concentração de tensões e regiões em contato direto com o fluxo de smelt.
- Líquidos penetrantes em espaçadores ou soldas de painéis de *screen*, quando o painel em questão tiver sido deformado por queda de blocos de sulfato.
- Líquidos penetrantes em *clips* e espaçadores dos superaquecedores.
- Radiografia para controle da qualidade de eventuais soldas de manutenção em partes pressurizadas. É necessário radiografar 100% das soldas executadas em tubos de água na região da fornalha, assim como em quaisquer outras localizações que teoricamente possam originar vazamentos para a fornalha.
- Ensaio IRIS nos tubos do banco de convecção, quando houver suspeita de redução da espessura.
- Outros ensaios não-destrutivos, ou os ensaios acima em localizações diferentes das citadas, devem ser aplicados segundo necessidades específicas e/ou suspeitas levantadas nos exames visuais. Métodos especializados de ultra-som como B-Scan e o próprio IRIS, por exemplo, são indicados para exame de grandes áreas ou locais com limitação de acesso.

### 3.2- Lado de água e vapor

1. Por ocasião da inspeção periódica, a qualidade da água de alimentação (incluindo água de alimentação principal, de reposição, e condensados que retornam à caldeira) é aferida. Uma inspeção interna nos balões e coletores torna isto possível. No caso dos coletores, devem ser removidos *caps* para possibilitar esta visualização, e também ser feita a retirada de amostras dos depósitos internos e possíveis detritos, que serão analisadas por agente competente. Falhas ou deficiências da camada de óxido protetor, depósitos excessivos, corrosão, *pitting*, erosão, e outras irregularidades associáveis à qualidade da água são portanto evidenciadas neste exame dos balões e coletores. Também podem ser cortados trechos de tubos para permitir análise dos

depósitos internos. A inspeção do desaerador e tanque de água de alimentação, conforme item 4.2 abaixo, completam esta investigação.

2. Os internos do balão de vapor, nomeadamente defletores, telas separadoras de umidade, tubulações de alimentação de água e de dosagem de produtos químicos, devem ser verificados quanto à sua adequada instalação e fixação, e ao seu estado geral. Observar nesta ocasião a linha d'água no balão, o que fornecerá indícios acerca do controle de nível no mesmo.
3. A inspeção nos balões, além dos fatores acima, deve incluir o exame quanto a trincas e rupturas. Atenção especial deve ser dada às extremidades expandidas de tubos mandrilados e respectivas soldas de selagem (se existentes), recorrendo-se a ensaios não-destrutivos se necessário. Isto se aplica especialmente após eventual lavagem química.
4. É recomendável que sejam periodicamente inspecionados (por exemplo, com intervalo de três a cinco anos, dependendo da idade da caldeira) os bocais "spray" dos dessuperaquecedores, usando um endoscópio, e que seja aplicado teste hidrostático ao condensador Dolezal, se existente. Observar que atemperadores defeituosos ou com vazamento podem causar sérios danos aos superaquecedores.
5. Investigação com foco em corrosão e erosão nas partes em contato com a água, é feita, por exemplo, por meio de radiografia se houver indícios apontando para isto.
6. Recomenda-se, quando da inspeção do balão de água, a instalação de tampas nas aberturas dos *downcomers*, presas com correntes no lado externo do balão, evitando-se que objetos caiam acidentalmente nestes locais.

#### **4- Exame Externo**

O exame visual externo em uma caldeira de recuperação de álcalis também deve ser extensivo e detalhado. Embora tenha menor abrangência e profundidade que o exame interno, pode ainda assim proporcionar informações de grande relevância ao inspetor. Abaixo são dadas linhas gerais para o exame externo, subdividindo-o em: parte exterior da caldeira, e acessórios e órgãos periféricos.

##### **4.1- Parte exterior da caldeira**

Deve ser feita inspeção cuidadosa na estrutura, *buckstays*, tirantes de sustentação, isolamento térmico, invólucros, portas, visores, instrumentos, caixas de ar, funis de cinzas, suportes de tubulações, escadas e corrimãos, plataformas, pisos, vias de evacuação em emergência, sinalização, etc. Recomenda-se periodicidade semestral para esta inspeção, que pode ser conduzida com a unidade em operação.

##### **4.2- Acessórios e órgãos periféricos à caldeira**

Muitos destes itens requerem a parada da unidade para serem inspecionados. A periodicidade recomendada é, portanto, anual, juntamente com o exame interno. Os principais estão destacados abaixo:

- Tanque de dissolução - Antes da limpeza, verificar quanto a acúmulos irregulares de fundido, que indicam deficiência da agitação. O estado do costado deve ser avaliado externa e internamente. Se for construído em aço carbono revestido em aço inoxidável, eventuais falhas deste revestimento, expondo o substrato de aço carbono ao produto corrosivo, devem ser pesquisadas, uma vez que darão origem a pontos de severa corrosão localizada. Devem ser examinados os agitadores com foco em seus suportes de fixação (que podem ter trincas), estado das telas de proteção e desgaste dos rotores. Inspeccionar o estado e possíveis obstruções das linhas de licor verde, fragmentadores de licor verde a vapor, chuveiros de recirculação e outros internos do tanque.
- Sopradores de fuligem - Inspeccionar quanto ao alinhamento e possível existência de trincas, corrosão e erosão nas lanças, estas últimas ocasionadas geralmente por inadequada purga de condensado. Deve-se adotar como procedimento a inspeção por gamagrafia nas soldas de lanças novas e reparos executados, conferindo-lhes maior segurança contra defeitos que poderiam causar o rompimento do tubo e sua projeção para o interior da

caldeira. Deve ser examinada por END com especial atenção a solda de união entre as ponteiros e as lanças. Observar o estado das caixas de selagem dos sopradores, montadas junto às penetrações nas paredes da caldeira. Proceder também a uma verificação da estanqueidade das válvulas do sistema. Confiabilidade adicional quanto à segurança dos sopradores de fuligem pode ser alcançada executando-se testes funcionais e dinâmicos com os mesmos. O teste, conduzido “a seco” durante a parada da unidade, é feito inserindo-se completamente a lança de cada soprador, enquanto um inspetor observa os seguintes aspectos: (a) curso da lança, certificando-se que a mesma não se aproxima demasiadamente, ou mesmo colide, com a parede oposta; (b) as condições e funcionamento das chaves-limite e batentes mecânicos de fim-de-curso, devendo a fixação deste último ser verificada por líquidos penetrantes; (c) o empeno ou descentralização da lança ao longo do percurso, com possíveis atritos laterais com painéis de tubos adjacentes; (d) condições de desgaste e desalinhamento, bem como ruídos anormais, dos roletes de apoio da lança; (e) funcionamento adequado do sistema de indexação, se existente.

- Tanque de água de alimentação e desaerador - Devem ser examinados com foco na qualidade da água conforme descrito em 3.2 (1), atentando-se para depósitos e a presença de materiais estranhos em seu interior. Verificam-se também o estado dos internos do desaerador, especialmente fixação das bandejas e bicos spray. De forma geral estes vasos devem receber o mesmo tratamento de inspeção e END aplicável a vasos de pressão em geral, inclusive com atendimento aos requisitos legais.
- Linha de água de alimentação – Está sujeita à perda de espessura causada por *corrosão acelerada por fluxo*, podendo resultar em rupturas de consequências catastróficas. Toda a tubulação deve portanto ser inspecionada com este foco, dando-se atenção especial às curvas, partes adjacentes ou à jusante de válvulas, derivações, pontos de dosagem de químicos ou onde quer que a geometria da linha favoreça o aumento de turbulência e o impingimento do fluido contra as paredes dos tubos. A medição ultra-sônica de espessura é o recurso indicado. Como a corrosão pode ocorrer de forma localizada, é importante que se meça, a intervalos criteriosamente definidos, ao redor de toda a circunferência do tubo, e que seja feito um *grid* adequado de pontos de medição nas áreas suspeitas. Se necessário, inspecionar internamente com um endoscópio: a aparência rugosa típica da superfície interna das regiões corroídas será facilmente identificada com este instrumento.
- Linha de vapor principal – Está sujeita principalmente à acumulação de danos de longo prazo (objeto de outro documento do CSCRB), mas ainda assim deve receber certa atenção também nas inspeções anuais. Nestas ocasiões, devem ser verificadas principalmente as condições gerais de suportaço (estado visual e funcionamento dos suportes elásticos, exame por END nos olhais e outros dispositivos de suspensão soldados à tubulação). De modo particular em caldeiras onde parte da linha de vapor esteja sujeita a intempéries, atenção deve ser dada à possibilidade de corrosão externa sob o isolamento térmico da tubulação --uma forma clássica de corrosão!

Outros órgãos externos e periféricos da caldeira a serem inspecionados encontram-se apenas relacionados de forma genérica abaixo, como referência adicional ao inspetor:

- Válvulas de segurança
- Bombas de alimentação de água e de circulação
- Lavadores de gases
- Preaquecedores de ar
- Tanque de mistura
- Sistemas de limpeza das portas de ar primário
- Tanques de descarga contínua e de fundo
- Tanque de água de resfriamento das bicas
- Ventiladores e exaustores de tiragem
- Precipitadores eletrostáticos
- Transportadores de cinzas
- Válvulas rotativas
- Dutos de ar e gases
- Manômetros e indicadores de nível

- Instrumentação e alarmes em geral. Dispositivos de segurança como sistema de drenagem rápida, medição on-line de sólidos, instrumentos com ação de *trip* na caldeira.
- Etc.

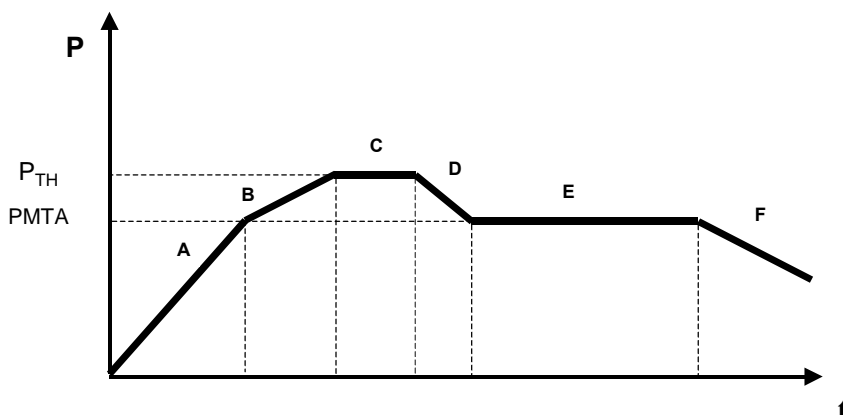
## 5-Testes Complementares

Além dos exames visuais e ensaios, a aplicação dos testes complementares citados abaixo, de natureza mais funcional, contribuirá para aferir a segurança da unidade. Estes testes devem ser testemunhados pelo profissional comissionado para executar a inspeção da caldeira.

### 5.1- Teste Hidrostático

A aplicação de prova de pressão hidrostática (com valor normalizado de sobre-pressão, e seguindo procedimentos de teste também padronizados no código de projeto da caldeira) permite verificar a existência de vazamentos e/ou insuficiência de resistência da unidade. Embora somente exigível, pelas normas genéricas para caldeiras, na inspeção inicial e após execução de reparos e/ou vazamentos em partes pressurizadas, o teste hidrostático é imprescindível por ocasião das inspeções periódicas, no caso de caldeiras de recuperação.

Abaixo é mostrado o diagrama de pressão de um teste hidrostático típico, bem como as operações associadas a cada um de seus segmentos, de A até F:





Segmento	Operação/atividade	Razão de pressurização ou depressurização
A	Pressurização até a PMTA	2 a 3 kgf/cm <sup>2</sup> por minuto. Pode ser conduzida em patamares intermediários
B	Elevação até a pressão de teste, P <sub>TH</sub>	1 kgf/cm <sup>2</sup> por minuto
C	Estabilização na pressão de teste por 30 minutos	Zero
D	Redução da pressão até a PMTA	2 a 3 kgf/cm <sup>2</sup> por minuto
E	Ingresso dos interessados na caldeira e execução das inspeções	Zero
F	Despressurização	2 a 3 kgf/cm <sup>2</sup> por minuto

Recomendações gerais para teste hidrostático:

- Travar as válvulas de segurança
- Pressurizar por meio das bombas de alimentação (BFPs)
- Utilizar água desmineralizada, fria (15 a 40°C)
- Utilizar manômetro-padrão aferido, instalado no balão de vapor .
- Inspeccionar todas as partes pressurizadas acessíveis da caldeira
- Surgimento de gotículas em tubos mandrilados não deve motivar reprovação

## 5.2- Teste das válvulas de segurança

Válvulas de segurança são dispositivos de proteção sujeitos a falhas latentes, isto é, falhas que só serão percebidas quando a atuação da válvula se fizer necessária. Assim, mesmo assumindo-se que tenham recebido adequada manutenção, e sejam suficientes em termos de vazão, as válvulas de segurança devem ainda ser testadas anualmente, com foco na calibração e funcionamento adequado. A pressão de abertura e o diferencial de alívio devem estar em estrita conformidade com as especificações do fabricante, com o código de projeto da caldeira e com a legislação vigente. A abertura das válvulas deve ser em disparo único, em “pop”, sem apresentar batimento ou trepidação. As PSVs devem também estar isentas de vazamentos perceptíveis quando da operação normal da caldeira.

Nota: o teste das válvulas de segurança, bem como sua desmontagem e revisão anuais são mandatórios pela legislação vigente.

Recomendações gerais para teste convencional de válvulas de segurança:

- Iniciar o teste pela PSV de ajuste mais alto
- A cada válvula testada, as demais deverão estar travadas.
- Caso sejam requeridos ajustes, disparar a válvula em questão no máximo 5 vezes seguidas. Ocorrendo esta situação, somente após 6 horas poderá ser feita nova tentativa.
- Quando uma PSV abrir, o operador deverá apagar um queimador e liberar vapor pela válvula de alívio *blowoff*.
- Utilizar manômetros-padrão aferidos.
- Uma tolerância de  $\pm 1$  kgf/cm<sup>2</sup> no valor de abertura da PSV, é usualmente aceita.
- Testes de acumulação não devem ser executados em caldeiras providas de superaquecedores.

Opcionalmente ao teste convencional de válvulas de segurança, é aceita a utilização de dispositivos atuadores hidráulicos, geralmente associados a uma instrumentação especial, constituindo o chamado teste *on-line*, sem a necessidade do disparo em “pop” e abertura total das válvulas de segurança.

Em seu atual estágio de desenvolvimento, os testes *on-line* ainda não permitem uma verificação do funcionamento correto da válvula (abertura em “pop”, ausência de possíveis vibrações, martelamento, vazamentos, etc.). Alguns

modelos de equipamento de teste também não permitem a verificação do valor de *blow-down*. Por estas razões recomenda-se que, a cada inspeção da caldeira, pelo menos uma das válvulas de segurança seja testada de forma convencional, com vapor.

Belo Oriente – MG, setembro de 2004, segunda revisão oficial.

Membros do Sub-comitê de Manutenção, Inspeção e Instrumentação:

Agostinho Salgado Alves  
Augusto César Lovo  
Edson Maestri  
Flávio Abelha Paoliello – Coordenador do Sub-comitê, e Redator.  
Jesuíno Felicíssimo Neto  
Juliano Shim Iti Takahashi  
Lars Peter Aspgren  
Milton Mentz.