*Copyright 2010, ABRACO*
*Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2010, em Fortaleza/CE no mês de maio de 2010.*
*As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).*

# Densidade De Depósito Uma Técnica Para Avaliação Da Limpeza Interna De Caldeira

[1]Antonio Sergio Barbosa Neves [2]Francisco Antonio Passos

## Abstract

The deposit weight density, DWD, is the most important technique to evaluate the boiler internal cleanliness. The standards ASTM D 3483-05, NACE 7H100 e NACE TM 0199-2006 determine the procedures to make the deposit weight density in a boiler tube. Depending of the deposit weight density values the EPRI (Electric Power Research Institute) recommends a chemical cleaning of the boiler. We describe two cases of boiler internal cleaning evaluations using different methods, one using a chemical removal by solvent and the other using mechanical removal by glass bead blasting.

## Resumo

A densidade de depósito, conhecida como DWD (deposit weight density) é a técnica mais importante para a avaliação da condição de limpeza interna de uma caldeira. As normas ASTM D 3483-05, NACE 7H100 e NACE TM 0199-2006 estabelecem os procedimentos para a realização da densidade de depósito em um tubo de caldeira. Em função dos valores encontrados, o EPRI (Electric Power Research Institute) recomenda a execução de uma limpeza química da caldeira. Apresentamos dois casos de avaliação da limpeza interna de caldeira, empregando metodologias diferentes, uma utilizando o método da decapagem com solvente químico e a outra o método do jateamento com esferas de vidro.

**Palavras-chave**: densidade de depósito, DWD, falhas em tubos de caldeira, limpeza química de caldeira.

## Introdução

Todas as caldeiras começam a acumular depósitos internos, desde o início de seu funcionamento. Estes depósitos, que representam os produtos de corrosão, são carreados para a caldeira, através dos circuitos de condensado e água de alimentação. Algumas vezes estes depósitos têm a sua origem na água de reposição, quando ocorre um distúrbio no sistema de água desmineralizada, com fuga, principalmente, de sais de dureza e de sílica.
Estes depósitos se acumulam, internamente nos tubos da caldeira, ocasionando uma perda na sua eficiência; eles poderão, ainda, funcionar como isolantes para o fluxo de calor na

[1] Engenheiro Eletricista - Consucal-Consultoria Química para Caldeiras S/C Ltda.,Consultor.
[2] Químico - Consucal-Consultoria Química para Caldeiras S/C Ltda., Consultor.

fornalha, e neste caso, poderá ocorrer um superaquecimento dos tubos levando a sua ruptura. Poderá ocorrer, também, um tipo de corrosão denominado de corrosão sob depósito, como corrosão por fosfato ácido, falha por hidrogênio ou mesmo corrosão cáustica.
Assim sendo, as caldeiras devem passar por uma limpeza química [(1)], sempre que uma quantidade de depósito, sobre os tubos, ultrapassar um determinado valor, depósito este avaliado pela técnica de densidade de depósito, também conhecida como DWD.
Este procedimento visa evitar que, os danos apontados possam acontecer, e que acarretariam grande indisponibilidade da caldeira, gerando custos vultosos.
A norma ASTM D 3483-05 [(2 )] estabelece os procedimentos para a coleta de amostra do tubo, que deve ser feita na região de maior transferência de calor na caldeira, e também, os passos que devem ser seguidos na realização dos ensaios de densidade de depósito. O mesmo acontece com a norma da NACE 7H100 [(3)].
A norma NACE TM 0199-2006 [(4)] estabelece os procedimentos para a realização do ensaio de densidade de depósito, pelo método do jateamento com esferas de vidro.
As avaliações da limpeza interna das caldeiras devem ser realizadas, periodicamente, num intervalo de dois a três anos, e os valores colocados em gráficos, para uma melhor visualização na tendência ao crescimento da densidade de depósito.
As avaliações da limpeza interna da caldeira são apontadas na Tabela Nº 1 [(5)], no Gráfico Nº 2 e no Gráfico Nº 3 [(6)].

## Corpo de Trabalho

### 1.Caso Nº1.Determinação da densidade de depósito pelo método do solvente químico.

#### *1.1. Descrição do equipamento.*

O trabalho foi realizado numa caldeira aquotubular, com capacidade de produção de vapor superaquecido de 240 t/h, pressão de operação de 100 bar e temperatura do vapor de 492 ºC, logo após uma ocorrência, onde vários tubos sofreram superaquecimento, ocasionando falhas do tipo abaulamento (laranja), com vazamento de água para a fornalha.
A caldeira encontra-se instalada numa Unidade de Processamento Químico.

#### *1.2. Realização do ensaio.*

Foram coletadas cinco amostras de tubos, sendo quatro de tubos que apresentaram falhas e um tubo que se encontrava, aparentemente, normal. Estes tubos foram designados pela localização na fornalha como, tubo 36 da parede sul, tubo 61 da parede oeste, tubo 26 da parede leste, tubo 20 da parede norte e tubo 37, sem falha, da parede sul.
Os tubos foram cortados, inicialmente, no comprimento de 150 mm e divididos, longitudinalmente, em duas metades, sendo uma designada de lado quente, que é a porção voltada para dentro da fornalha e a outra metade denominada de lado frio.
A determinação da densidade de depósito, nestas amostras, foi realizada empregando-se o método da decapagem ácida. Utilizamos, neste processo, uma solução de ácido clorídrico a 5 % em massa, inibido com 0,20 % e mantida aquecida numa temperatura entre 55 e 65 ºC. A duração do ensaio foi de aproximadamente três horas.
A Figura Nº 1 mostra a quantidade de tubos cortados, na caldeira, e que apresentaram falhas do tipo abaulamento (laranja).

Os resultados obtidos, nos ensaios de densidade de depósito, estão indicados na Tabela Nº 2. Na oportunidade, nós coletamos uma pequena amostra de depósito de cada tubo, formando uma amostra composta para análise química por Fluorescência de Raios X. A Tabela Nº 3 mostra os valores obtidos nesta análise.

### *1.3.Conclusões.*

1.3.1. Todos os valores, obtidos nos ensaios de densidade de depósito, lado quente, estão bem acima das recomendações apontadas na Tabela Nº 1 [7] que indica, para a classe de pressão entre 70,3 e 140,6 bar, uma densidade de depósito entre 13 e 22 mg/cm².
Analisando os resultados, com base no Gráfico Nº 2, para uma classe de pressão da caldeira de 100 bar (1450 psig), uma densidade de depósito acima de 36 mg/cm² (34 g/ft²), a recomendação é para a realização de sua limpeza química.
Esta recomendação foi seguida e a caldeira passou por uma limpeza química em março/2007; a partir desta data a caldeira vem operando sem anormalidade.
1.3.2. A caracterização do depósito interno, feita através da análise química por Fluorescência de Raios X, mostrou que sua composição é constituída, praticamente, de ferro com 95,6 %.

## 2.Caso Nº 2. Determinação da densidade de depósito pelo método do jateamento com esferas de vidro.

### *2.1.Descrição do equipamento.*

O trabalho foi realizado numa caldeira de recuperação, com capacidade de produção de vapor superaquecido de 350 t/h, pressão de operação 85 bar e temperatura do vapor de 480 ºC.
A caldeira encontra-se instalada no Setor de Utilidades de uma Unidade de Produção de Celulose e Papel e que passou por uma limpeza química há cerca de 18 meses.

### *2.2.Realização do ensaio.*

A amostra do tubo foi obtida da parede da fornalha da caldeira, com o comprimento de 250 mm, conforme mostra a Figura Nº 5.
O ensaio de densidade de depósito foi realizado num pedaço desta amostra, com 50 mm de comprimento, dividido em duas metades, denominadas de lado quente, voltado para a região interna da fornalha e a oposta, denominada de lado frio. A figura Nº 6 mostra os dois corpos de prova, antes do jateamento.
O jateamento com esferas de vidro foi realizado, seguindo a forma da Nace TM0199-2006 [4].
A Figura Nº 7 mostra os dois corpos de prova, após o jateamento com esferas de vidro.
Os resultados obtidos no ensaio de densidade de depósito estão indicados na Tabela Nº 4.

### *2.3.Conclusões.*

2.3.1.O valor encontrado para a densidade de depósito, lado quente, de 7,9 mg/cm² é muito baixo, tomando por referência a faixa de 13 a 22 mg/cm² indicada na Tabela Nº 1, para uma pressão de caldeira entre 70,3 – 140,6 bar, que contempla o equipamento a analisado com pressão de 85 bar.

2.3.2. Devemos observar que, o baixo valor encontrado para esta densidade de depósito, é compatível com a condição de operação da caldeira, que passou por uma limpeza química há aproximadamente 18 meses.
2.3.3. O ensaio de densidade de depósito pelo método do jateamento com esferas de vidro é bem mais fácil de ser realizado, apresenta uma boa confiabilidade e rapidez nos resultados apresentados.

## Referências bibliográficas

1.MAJNOUNI, MO D. Chemical Cleaning of An Industrial Boiler – An Overview. International Water Conference, Paper Nº 03-34. Pittsburg, PA. Engineer's Society of Western Pennsylvania, October, 2003.

2.ASTM INTERNATIONAL. Standard Test Methods for Accumulated Deposition in a Steam Generator Tube, ASTM D 3483 – 05, Volume 11.01. West Conshohocken, PA, 2005.

3.NACE INTERNATIONAL . Evaluation of Boiler Tube Deposit Mass Loading (Deposit Weight Density) Methodology. Publication 7H100, Houston, Texas, July 2000.2.

4.NACE INTERNATIONAL. Standard Test Method for Measuring Deposit Mass Loading ("Deposit Weight Density") Values for Boiler Tubes by the Glass-Bead-Blasting Techique. Publication TM0199-2006, Houston, Texas, April 2006.

5.SELBY, K. Anthony. Determining the Need for Chemically Cleaning a Boiler. International Water Conference, Paper Nº 00-32. Pittsburg, PA, Engineer's Society of Western Pennsylvania, October, 2000

6.DOOLEY, Barry; SHIELDS, Kevin. Beneficial Use of EPRI Chemical Cleaning Guidelines. International Water Conference, Paper Nº 02-60. Pittsburg, PA, Engineer's Society of Western Pennsylvania, October, 2002.

7.WEICK, R. H. Internal Boiler Tube Deposit Weights as a Basis for Chemical Cleaning. Corrosion 94, Paper Nº 208. Nace International, Houston, Texas, March 1994.

Tabela Nº 1 – Guia de limpeza interna de caldeira

| Pressão de Operação da Cadeira (bar) | Densidade de depósito (mg/cm²) |
|---|---|
| <70,3 | 22 -43 |
| 70,3 – 140,6 | 13 – 22 |
| > 140,6 | 11 – 13 |

Tabela Nº 2- Resultados dos ensaios de densidade de depósito pelo método do solvente químico

| Tubo | Densidade de depósito (mg/cm²) |
|---|---|
| Tubo 36 da parede Sul – Lado Quente | 532,0 |
| Tubo 36 da parede Sul – Lado Frio | 56,1 |
| Tubo 61 da parede Oeste – Lado Quente | 449,2 |
| Tubo 61 da parede Oeste – Lado Frio | 71,1 |
| Tubo 26 da parede Leste –Lado Quente | 483,8 |
| Tubo 26 da parede Leste – Lado Frio | 99,3 |
| Tubo 20 da parede Norte – Lado Quente | 568,9 |
| Tubo 20 da parede Norte – Lado Frio | 94,6 |
| Tubo 37 da parede Sul ( sem falha) – Lado Quente | 358,1 |
| Tubo 37 da parede Sul ( sem falha) – Lado Frio | 47,9 |

Tabela Nº 3 – Caracterização do depósito interno da caldeira

| Elemento | Concentração (%) |
|---|---|
| Ferro como $Fe_2O_3$ | 95,6 |
| Cobre como CuO | 1,17 |
| Silício como $SiO_2$ | 1,05 |
| Níquel como NiO | 0,38 |
| Fósforo com $P_2O_5$ | 0,28 |
| Zinco como ZnO | 0,28 |
| Cálcio como CaO | 0,19 |
| Magnésio como MgO | 0,12 |

Tabela Nº 4 – Resultados dos ensaios de densidade de depósito pelo método jateamento com esferas de vidro.

| Tubo | Densidade de depósito (mg/cm²) |
|---|---|
| Lado quente | 7,9 |
| Lado frio | 6,9 |

Gráfico Nº 2 – Densidade de depósito em função da pressão da caldeira.
Método do solvente químico.

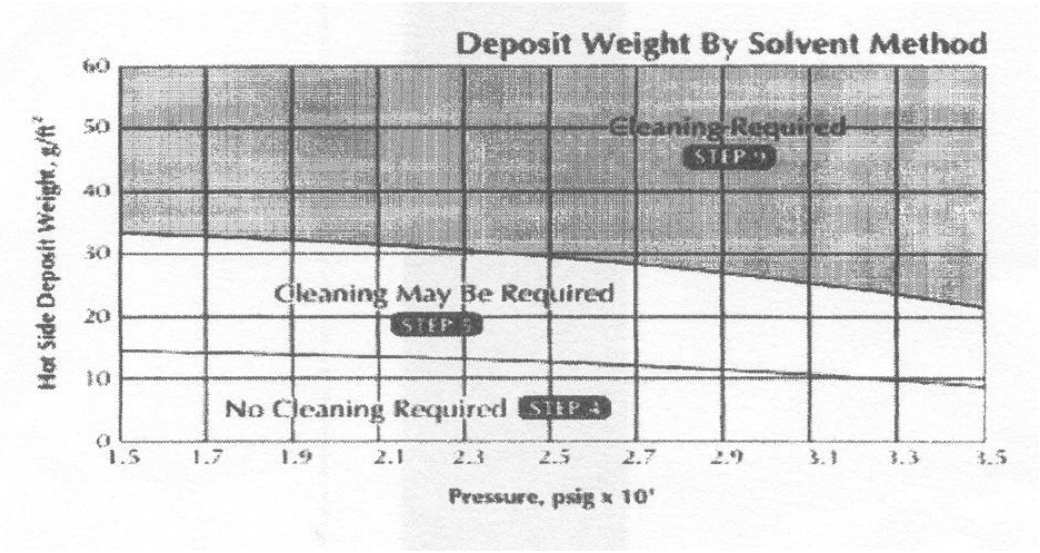
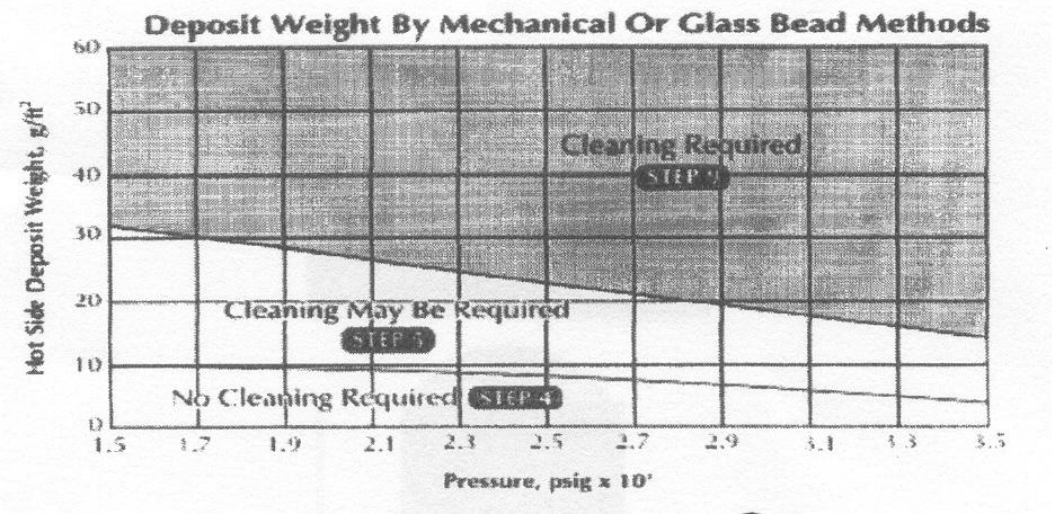



Gráfico Nº 3 – Densidade de depósito em função da pressão da caldeira.




Método jateamento com esferas de vidro.

$g/ft^2 \times 1{,}06 = mg/cm^2$ $\quad$ $psig \times 6{,}9 \times 10^{-3} = MPa$

Figura Nº 1 – Amostras dos tubos retirados da caldeira.

Figura Nº 2 – Amostra do tubo 36, repartido, da parede Sul, antes da decapagem.

Figura Nº 3 – Amostra do tubo 36, lado quente, após da decapagem.

Figura 4 – Amostra do tubo 36, lado frio, após da decapagem.

Figura Nº 5 – Amostra do tubo da caldeira de recuperação

Figura Nº 6 – Corpos de prova antes da remoção do depósito.

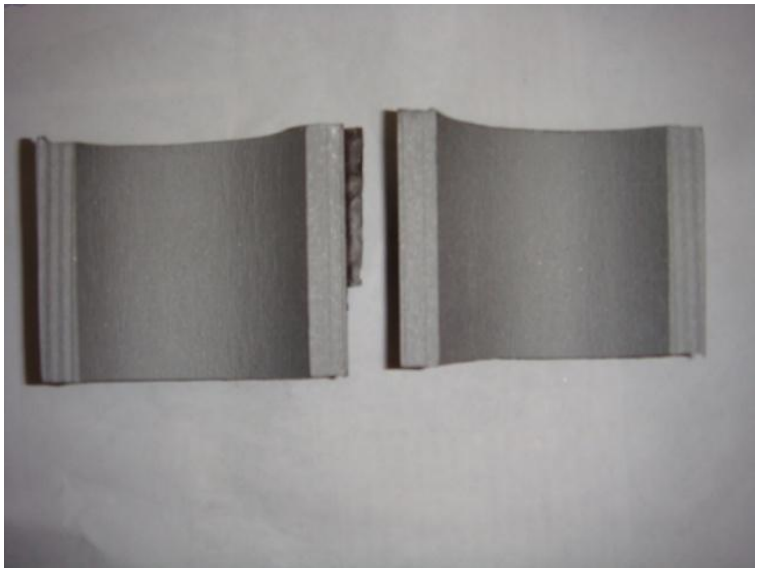



Figura Nº 7 – Corpos de prova após da remoção do depósito