

# ANÁLISE DE FALHA EM TUBO DE CALDEIRA<sup>1</sup>

Marcelo Sartori<sup>2</sup>  
Vinícius Milani Santos<sup>3</sup>  
Telmo Roberto Strohaecker<sup>4</sup>

## Resumo

O objetivo do presente trabalho é estudar as causas que levaram o tubo de caldeira a falhar, bem como investigar seus mecanismos de falha. Para tal, foi utilizada a metodologia padrão de análise de falha que consistiu em: análise visual, análise macrográfica, análise metalográfica, análise em microscopia eletrônica de varredura (MEV), análise química e ensaios de microdureza. O tubo apresentou redução significativa de área na sua superfície interna. Pela análise química realizada pode-se confirmar que o material do tubo é o aço inoxidável austenítico AISI 316L. A microestrutura observada foi de grãos austeníticos com presença de ferrita delta. As fractografias constataram a presença de "steps" característicos de corrosão sob tensão aliado à erosão do material corrosivo na superfície interna do tubo.

**Palavras-chave:** Análise de falha; Tubo de caldeira; Aço inoxidável austenítico; Ferrita delta.

## FAILURE ANALYSIS OF A BOILER TUBE

### Abstract

The objective of this work is to study the causes that led the tube of the boiler fails, as well as investigate the mechanisms of failure. For this, the methodology was used for the analysis of failure pattern which consisted of: visual analysis, macrographic analysis, metallographic analysis, scanning electronic microscopy, chemical analysis and test of microhardness. The component showed significant reduction of area in its inner surface. For the chemical analysis can be performed to confirm that the material of the tube is the austenitic stainless steel AISI 316L. The microstructure was observed austenitic grains with the presence of delta ferrite. The fractographic noted the presence of "steps" characteristics of stress corrosion combined with the erosion of corrosive material in the inner surface of the tube.

**Key words:** Failure analysis; Boiler tube; Austenitic stainless steel; Delta ferrite

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 63º Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1º de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil*

<sup>2</sup> *Estudante de Engenharia Metalúrgica – LAMEF / UFRGS*

<sup>3</sup> *Engenheiro Metalúrgico – LAMEF / UFRGS.*

<sup>4</sup> *Professor Doutor – LAMEF / UFRGS*

## 1 INTRODUÇÃO

A metodologia de análise de falhas é um recurso bastante utilizado na otimização de projetos, pois permite, através de conhecimentos básicos, identificar os mecanismos dos quais ocasionam prejuízos em componentes mecânicos e equipamentos metálicos e, uma vez conhecido o motivo, chegar-se ao objetivo principal que é adquirir conhecimento visando evitar falhas futuras.<sup>[1]</sup>

Tubos de caldeiras são componentes metálicos destinados à condução de gases derivados, por exemplo, da queima de celulose, que são coletados, tratados e queimados em caldeiras, reduzindo a emissão de odores.<sup>[2]</sup>

O objetivo deste trabalho é identificar os motivos que levaram o segmento do tubo de caldeira, conforme indicado na Figura 1 no destaque em vermelho, ao colapso.



**Figura 1:** Imagem mostrando a localização do segmento de tubo de caldeira. O destaque em vermelho corresponde à região analisada.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A Figura 2 mostra o componente conforme recebido para análise. Trata-se de um segmento de tubo curvo em forma de “joelho” cuja matéria-prima é de um aço inoxidável austenítico AISI 316L.



**Figura 2 -** Imagem mostrando o segmento do tubo em forma de “joelho” recebido para análise.

A metodologia empregada na realização deste trabalho consistiu em análise da fratura, análise metalográfica, análise química e ensaio de microdureza.

Para realização da análise fractográfica e metalográfica foram retiradas amostras no sentido transversal do tubo, junto à região de maior tensão (região da curva), conforme mostra a Figura 3. Uma das amostras foi, então, levada para análise em um microscópio eletrônico de varredura (MEV) para análise detalhada dos mecanismos de falha.



**Figura 3** – Imagem mostrando o local onde foi retirada a amostra para a realização das análises

A amostra para análise metalográfica foi preparada segundo procedimentos padrões de metalografia, que incluem embutimento, lixamento e polimento, segundo a norma (NBR 13284 - Preparação de corpos-de-prova para análise metalográfica). Para a revelação da microestrutura, realizou-se ataque eletrolítico com ácido oxálico 10%, de acordo com a norma (NBR 8108 – Ataque com reativos metalográficos em ligas ferrosas).

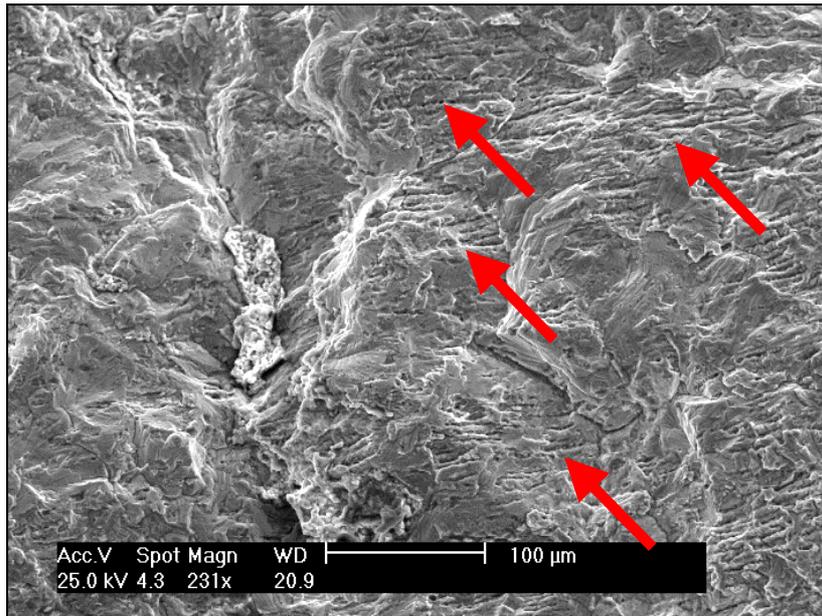
As análises químicas foram realizadas via espectrômetro de emissão ótica da marca Spectro, sendo o resultado apresentado uma média de três análises.

O ensaio de microdureza foi realizado em um microdurômetro marca Struers na escala Vickers (HV), com carga de 200 gf. Foi realizado um perfil no sentido transversal da amostra.

### **3 RESULTADOS**

#### **3.1 Análise da Fratura**

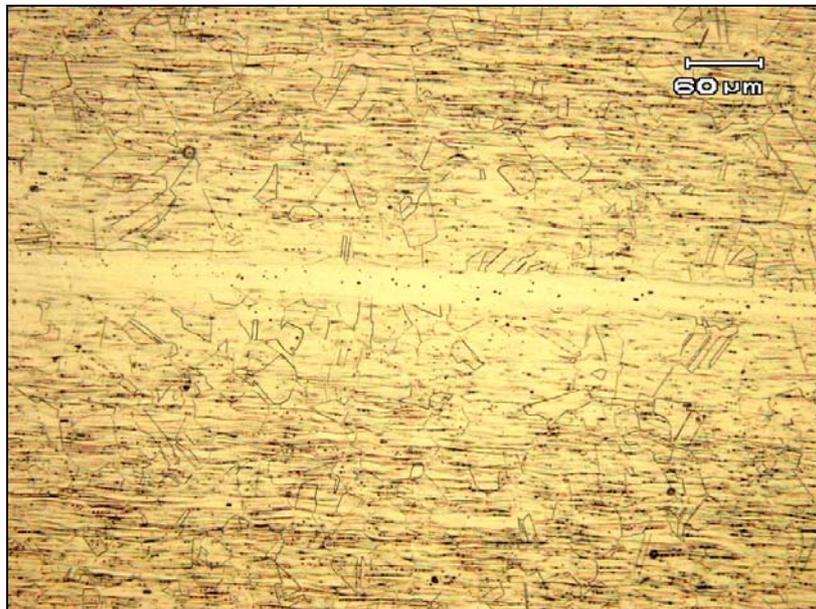
A análise em MEV mostrou a presença de “steps”, característicos de superfícies que sofreram corrosão sob tensão, às setas mostram tais deformações, conforme Figura 4.



**Figura 4** - Fractografia mostrando a presença de “steps”, as setas indicam as deformações.

### 3.2 Análise Metalográfica

Na análise microestrutural observou-se uma microestrutura composta de grãos austeníticos característica de um aço inoxidável austenítico, conforme mostram as Figuras 5 a 8. Observa-se, também, que o material do tubo apresenta linhas de deformação como mostra a Figura 5. Na superfície interna do tubo foi observada a presença de uma camada de óxido, bem como trincas superficiais, conforme mostram as Figuras 6 e 7. A Figura 8 mostra a microestrutura de grãos austeníticos e precipitados de ferrita delta.



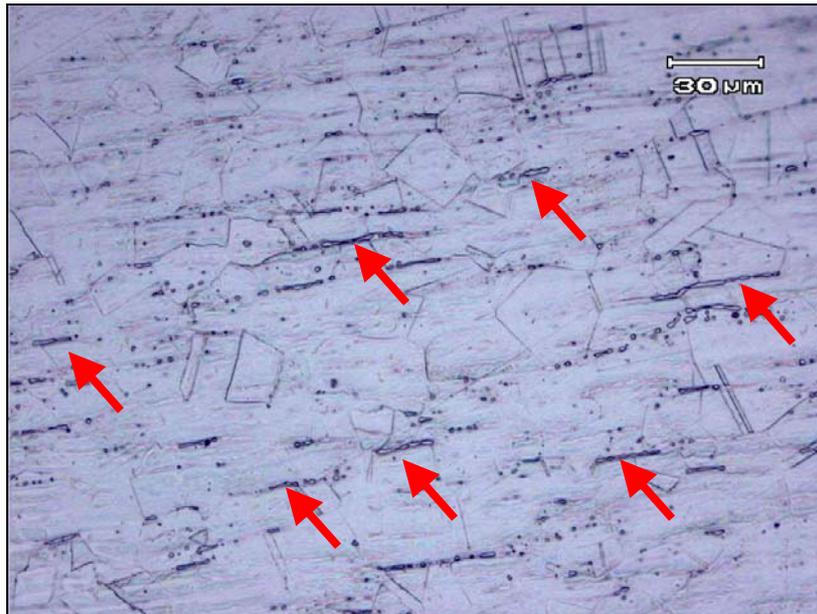
**Figura 5** - Micrografia do tubo mostrando a presença de grãos austeníticos com deformação. Ataque: Eletrolítico com ácido oxálico 10 %. Aumento: 200 X



**Figura 6** – Micrografia mostrando a camada superficial de óxido, na parte interna do tubo. Ataque: Eletrolítico com ácido oxálico 10 %. Aumento: 200X.



**Figura 7** - Micrografia mostrando trinca superficial e camada de óxido na parte interna do tubo. Ataque: Eletrolítico com ácido oxálico 10 %. Aumento: 200x.



**Figura 8** - Microestrutura mostrando a presença de ferrita delta. As setas vermelhas identificam as mesmas. Ataque: Eletrolítico como ácido oxálico 10 %. Aumento 500X.

### 3.3 Análise Química

Foram realizadas três análises na amostra e a média dos resultados está apresentado na Tabela 1. O resultado comprovou que o material é o aço austenítico AISI 316L.

**Tabela 1** - Resultado da análise química do segmento de tubo de caldeira.

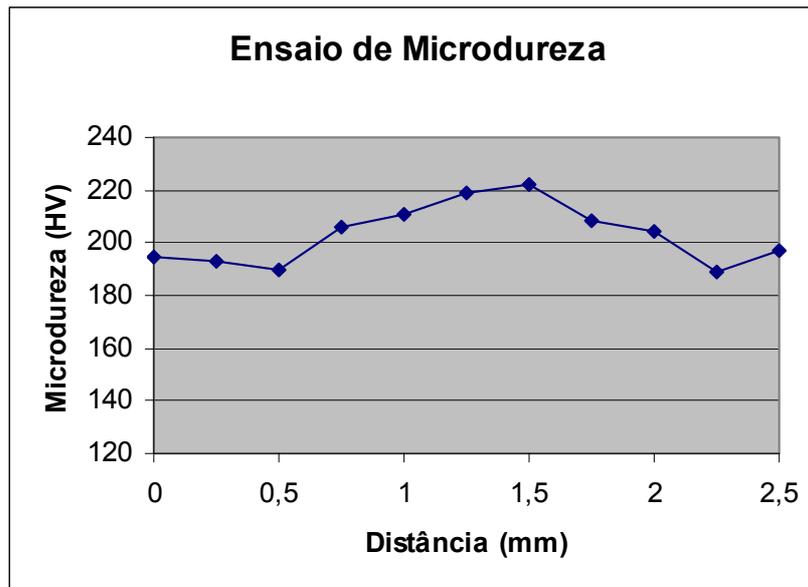
COMPOSIÇÃO QUÍMICA (% EM MASSA)									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al
<b>Média</b>	0,01	0,47	1,44	0,03	0,004	17,61	1,94	10,19	<0,001
<b>AISI 316 L</b>	0,03 Máx	-	2,00 Máx	0,045 Máx	0,030 Máx	16,00	2,00	10,0 14,0	-

	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb	Sn	B	Fe
<b>Média</b>	0,10	0,06	0,02	0,005	0,04	<0,01	<0,002	0,002	0,001	Balanço

### 3.4 Ensaio de Microdureza

O ensaio de microdureza foi realizado na escala Vickers (HV), com carga de 200 gf. Foi realizado um perfil no sentido transversal da amostra. Os resultados são mostrados na Figura 9.



**Figura 9** - Resultado do perfil de microdureza realizado no sentido transversal da amostra, na escala vickers (HV).

#### 4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Na análise fractográfica observou-se a presença de “steps” de deformação, podendo estar relacionada com o mecanismo de falha de corrosão sob tensão no componente. Este mecanismo de falha ocorre quando o material encontra-se sob a ação simultânea de um meio corrosivo e de uma tensão mecânica.<sup>[3]</sup>

A microestrutura apresentou trincas superficiais na região do “joelho”, região de grande deformação e onde há maior turbulência na passagem do produto de corrosão no tubo. Observou-se uma camada superficial de óxido na parte interna do material, apresentando trincas superficiais.

O material possui microestrutura com grãos austeníticos apresentando maclas de recozimento, a qual altera a estrutura do metal, aumentando sua dureza. Este fenômeno é denominado endurecimento pela deformação a frio ou encruamento. Foi constatada também uma grande quantidade da fase de ferrita delta, podendo a mesma ter influenciado na resistência à corrosão e nas propriedades mecânicas do material.

A análise química do material apresentou composição similar a um aço inoxidável austenítico AISI 316 L, destinado à fabricação de peças que exigem alta resistência a corrosão.

O perfil de microdureza apresentou uma variação de 190 a 222 HV, a qual pode ser devido às maclas de recozimento e a precipitação da fase de ferrita delta.

#### 5 CONCLUSÃO

Pelas análises realizadas pode-se concluir que o tubo de caldeira em forma de “joelho” trincou devido aos efeitos de corrosão e tensão impostas no componente, fenômeno conhecido como trinca de corrosão sob tensão.

## **Agradecimentos**

Ao Laboratório de Metalurgia Física (LAMEF / UFRGS) pela oportunidade e infra-estrutura para a realização deste trabalho.

## **REFERÊNCIAS**

- 1 A. REGULY, I. LIMBERGER, S. GRIZA, M. KRAMER E T. STROHAECKER – Fadiga e Análise de Falha – Escola de Engenharia – UFRGS – sem 2004/02.
- 2 <http://www.veracel.com.br/web/pt/industriais/gestao.html>
- 3 Metals Handbook – Fractography and Atlas of Fractographs – ASM American Society for Metals - volume 9 - 8° edição 1974