

# ANÁLISE DE FALHA DE UM REGENERADOR UTILIZADO NOS PROCESSOS DE REFINAMENTO DE PETRÓLEO<sup>1</sup>

*Fernanda Pilla Coutinho<sup>2</sup>, Yonathan Reboh<sup>3</sup>, Sandro Griza<sup>4</sup>, Telmo Roberto Strohaecker<sup>5</sup>*

## RESUMO

Neste trabalho será apresentado um estudo de falha de um regenerador utilizado em unidade de craqueamento catalítico de petróleo. O regenerador é estruturado por tirantes que são isolados do contato com os gases do processo por selantes. Os tirantes romperam ocasionando o colapso. As análises realizadas foram conduzidas para identificar os motivos que levaram este componente a falhar. Para isto, utilizou-se a metodologia padrão para análise de falha. O resultado da investigação mostrou que a falha ocorreu por processo de fadiga dos tirantes, que tiveram sua microestrutura alterada, com formação de carbonetos grosseiros em contornos de grão e redução de dureza. As alterações microestruturais observadas devem-se ao fato destes componentes estarem em contato com altas temperaturas por um período suficiente para as transformações.

Palavras-Chave: Análise de falha, Regenerador

## ABSTRACT

This work presents the results of a failure analysis of a regenerator used in a catalytic cracking unit. The regenerator was fabricated with eight trusses, that were isolated from the process gases by several sealings. The collapse occurred due to the failure of some of the trusses. A failure analysis was conducted to determinate the reasons of the failure. The investigation concluded that the failure occurred by fatigue facilitated by the metallurgical degradation of the material. The high temperature environment conditions that the component was exposed induced coarse carbides formation at grain boundaries and a decrease in hardness which facilitated the fatigue crack initiation.

Keywords: Failure analysis, regenerator

1. 6º ENEMET, 24 a 27 de julho de 2006, Rio de Janeiro.

2. *Graduanda em Engenharia Metalúrgica – UFRGS*

3. *Engenheiro Mecânico, mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais. (PPGEM) – UFRGS.*

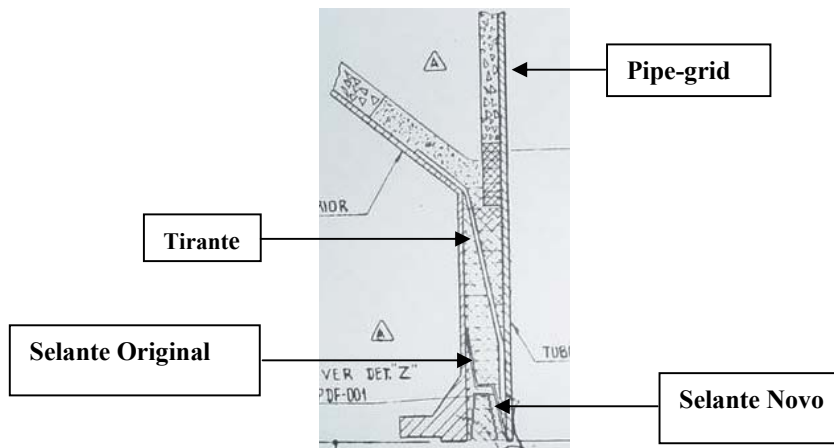
4. *Engenheiro Mecânico, doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais. (PPGEM) – UFRGS.*

5. *Professor, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais (PPGEM) - UFRGS*

## INTRODUÇÃO

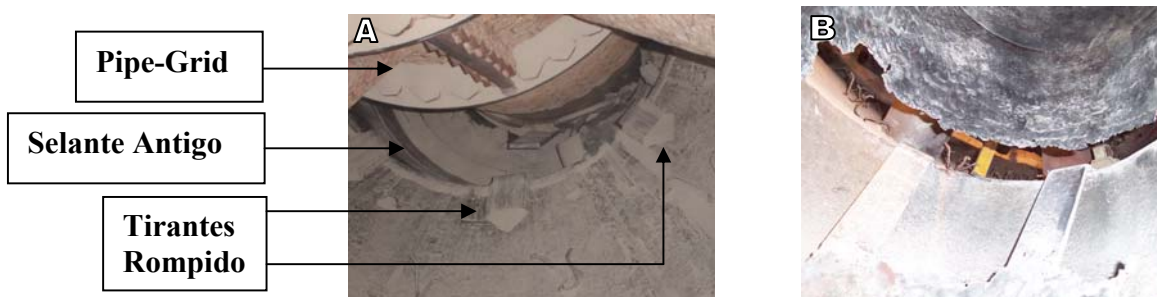
O regenerador é um elemento da unidade de craqueamento catalítico do petróleo onde o coque depositado no catalisador como subproduto do processo de craking é queimado a fim de restaurar a atividade do catalisador. É composto por uma torre chamada de pipe-grid por onde passam os gases. Esta torre é presa a estrutura externa do regenerador por oito tirantes. Para evitar que os gases que passam pelo pipe-grid entrem em contato com os outros componentes do regenerador, há entre a estrutura externa e o pipe-grid uma vedação chamada de selante.

O conjunto estava em operação há cerca de dez anos. Quatro anos atrás houve um reparo por ter sido constatado vazamento do selante antigo, quando foi soldado um novo selante de reposição. Por questões técnicas, o selante novo foi soldado com um perfil "U" diferente do original. A figura 1 mostra um esquema do conjunto.



**Figura 1** - Esquema do conjunto.

Dos oito tirantes que sustentam o pipe-grid, seis romperam desestabilizando a torre. O excessivo aquecimento resultante do colapso destruiu parte do material, ficando a análise restrita às peças que não foram danificadas. Uma imagem, com vista superior, do local após o colapso e uma parte dos danos causados pelo aquecimento podem ser vistos na figura 2.



**Figura 2** – Imagem A mostrando a vista superior do local após o colapso. Imagem B mostrando a estrutura danificada devido ao excessivo aquecimento que ocorreu no colapso.

O objetivo do estudo é identificar as causas que levaram os tirantes a romper. Para isto foram analisados os componentes não danificados pelo super aquecimento. Foram eles: três tirantes (destes apenas um não rompeu no acidente), parte do selante novo, parte do selante antigo, a união destes selantes e a união da ponta do pipe-grid com os selantes. Aplicaram-se análises visuais da fratura, análises metalográficas, análises químicas e ensaios de microdureza. Foi feita também a caracterização no material de referência dos tirantes.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para a análise de falha, foi tomada como base a seqüência experimental sugerida pela ASM [1].

A preparação das amostras para as análises metalográficas foi realizada de acordo com a norma NBR 13284 [2], sendo cortadas, embutidas, lixadas e polidas. Para revelação das microestruturas foram usados os reagentes químicos Nital 2% para as amostras dos tirantes e selagem nova, Villela para selagem antiga e solda de união das selagens e Ácido Oxálico para a solda de união das selagens com o pipe-grid.

Os ensaios de dureza foram feitos em escala Vickers (HV) com carga de 300gf. De acordo com a natureza da análise foram feitos pontos aleatórios de onde foi tomado um valor de dureza médio, ou foi feito um perfil de dureza com objetivo de avaliar a variação de dureza na amostra.

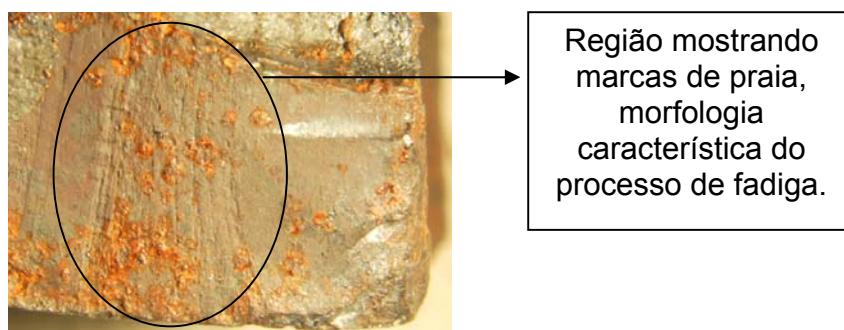
As análises químicas foram realizadas via espectrometria de emissão ótica.

## RESULTADOS

### ANÁLISE DOS TIRANTES

- Análise da fratura

Foi realizada uma análise visual em lupa de baixo aumento da superfície da fratura dos tirantes. Em um dos tirantes foi observada a presença de marcas de praia, conforme figura 3. Devido à deterioração da superfície de fratura do outro tirante, nenhum mecanismo foi observado.

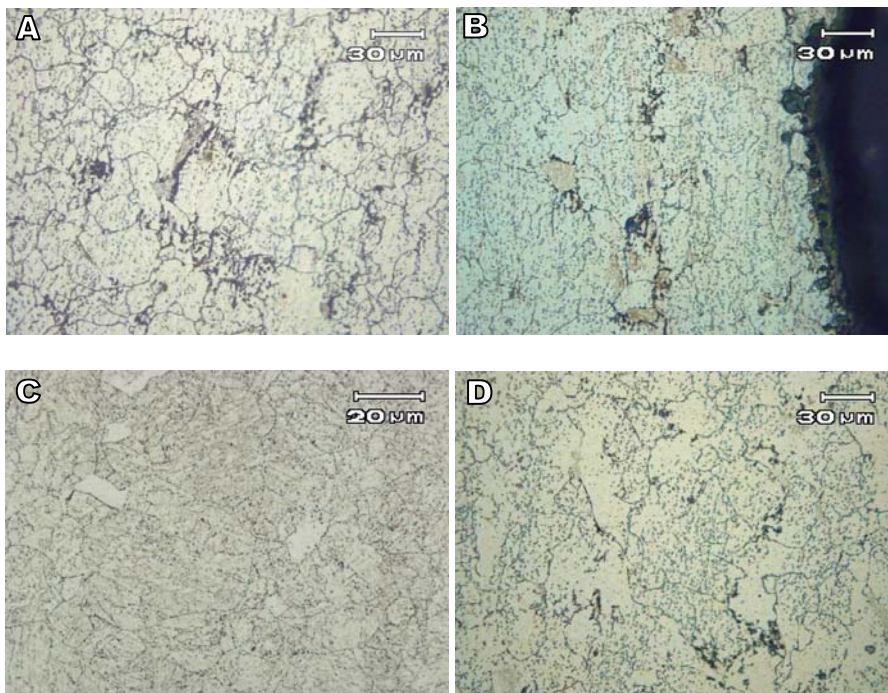


**Figura 3** – Macrografia mostrando marcas de praia no tirante.

- Análise microestrutural

Para a análise microestrutural, foram retiradas amostras transversais da superfície de fratura dos tirantes. Do tirante que não rompeu foi retirada uma amostra no sentido longitudinal da peça na região central, longe das regiões possivelmente afetadas pelo aquecimento causado pelo oxicorte. Da matéria prima de referência também foi retirada uma amostra.

Através de análise em microscópio óptico constatou-se que a microestrutura dos tirantes é composta por carbonetos esferoidizados em matriz ferrítica (figura 4). O material de referência apresenta microestrutura semelhante.



**Figura 4** – Micrografias A, B e C mostrando microestrutura dos tirantes rompidos e do que não rompeu, respectivamente. Microestruturas compostas por carbonetos esferoidizados em matriz ferrítica. Em D, microestrutura do material de referência.

- Ensaio de microdureza

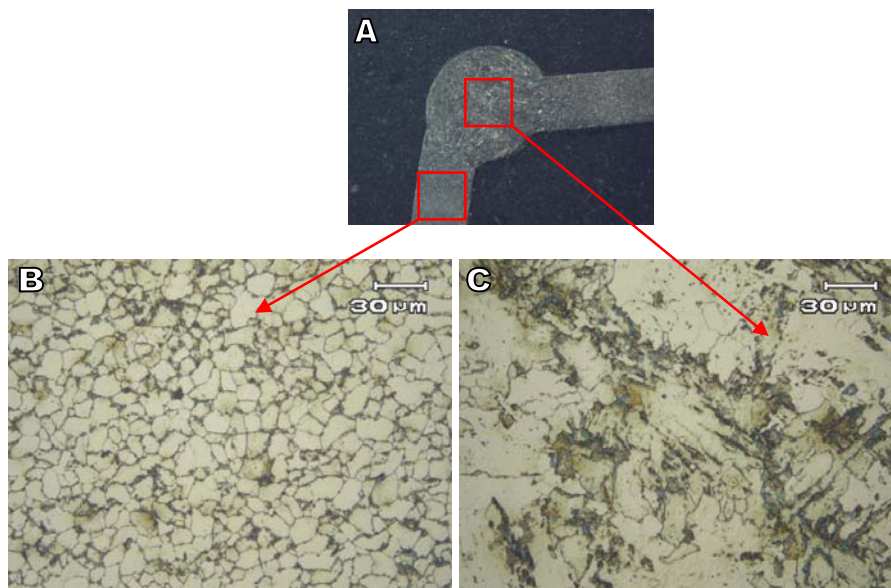
Foram feitas dez endentações em cada tirante. Obteve-se uma média de 125 HV para cada um. O material de referência apresentou dureza média de 210HV.

## ANÁLISE DA CHAPA DA SELAGEM NOVA

- Análise microestrutural

Para a análise microestrutural foi retirada uma amostra contendo a seção transversal do cordão de solda (figura 5).

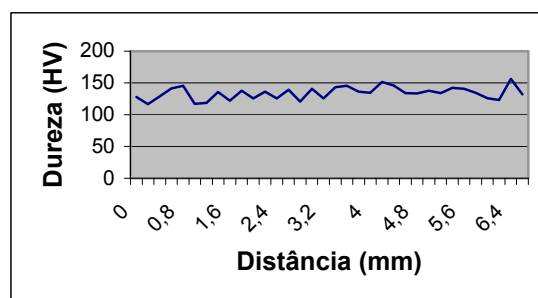
Através de análise em microscópio ótico constatou-se que a microestrutura da selagem nova é composta por carbonetos esferoidizados em matriz ferrítica e a microestrutura da solda composta por ferrita acicular e carbonetos. (figura 5).



**Figura 5** – Imagem A mostrando a amostra contendo a seção transversal do cordão de solda. Micrografia B mostrando a microestrutura do selante novo, composta por carbonetos esferoidizados em matriz ferrítica. Micrografia C, mostrando a solda composta por ferrita acicular e carbonetos.

- Ensaio de microdureza

Foi realizado um perfil de microdureza partindo do material base até o núcleo da solda. A figura 6 apresenta o perfil. Observou-se uma dureza média de 134HV.

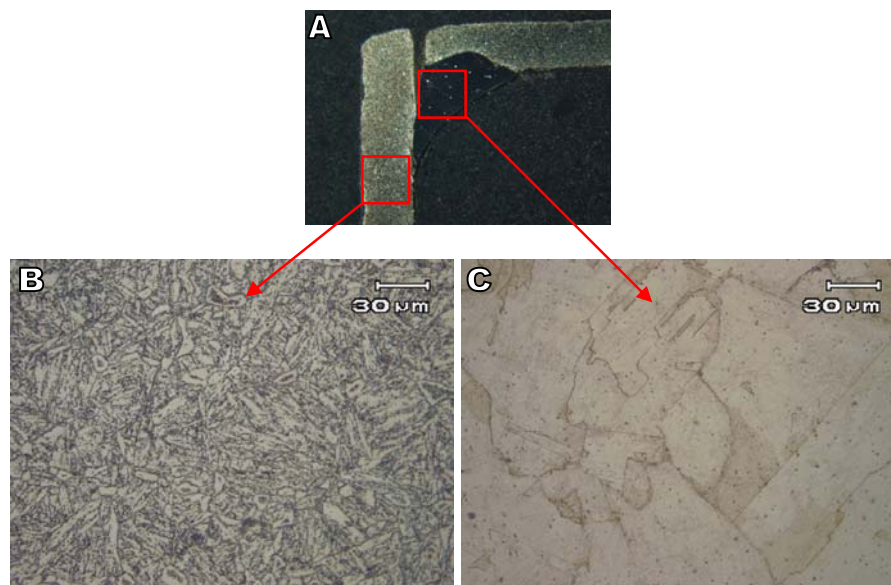


**Figura 6** – Perfil de microdureza da selagem nova.

## ANÁLISE DA CHAPA DA SELAGEM ANTIGA

- Análise microestrutural

Para a análise microestrutural da selagem original, foi retirada uma amostra contendo a seção transversal do cordão de solda (figura 7). Através de análise em microscópio ótico constatou-se que a microestrutura da selagem antiga é composta por bainita e a microestrutura da solda é martensítica (figura 7).



**Figura 7** – Imagem A mostrando a seção transversal do cordão de solda. Micrografia B mostrando microestrutura do selante antigo composta por bainita e/ou ferrita acicular. Micrografia C mostrando microestrutura martensítica da solda.

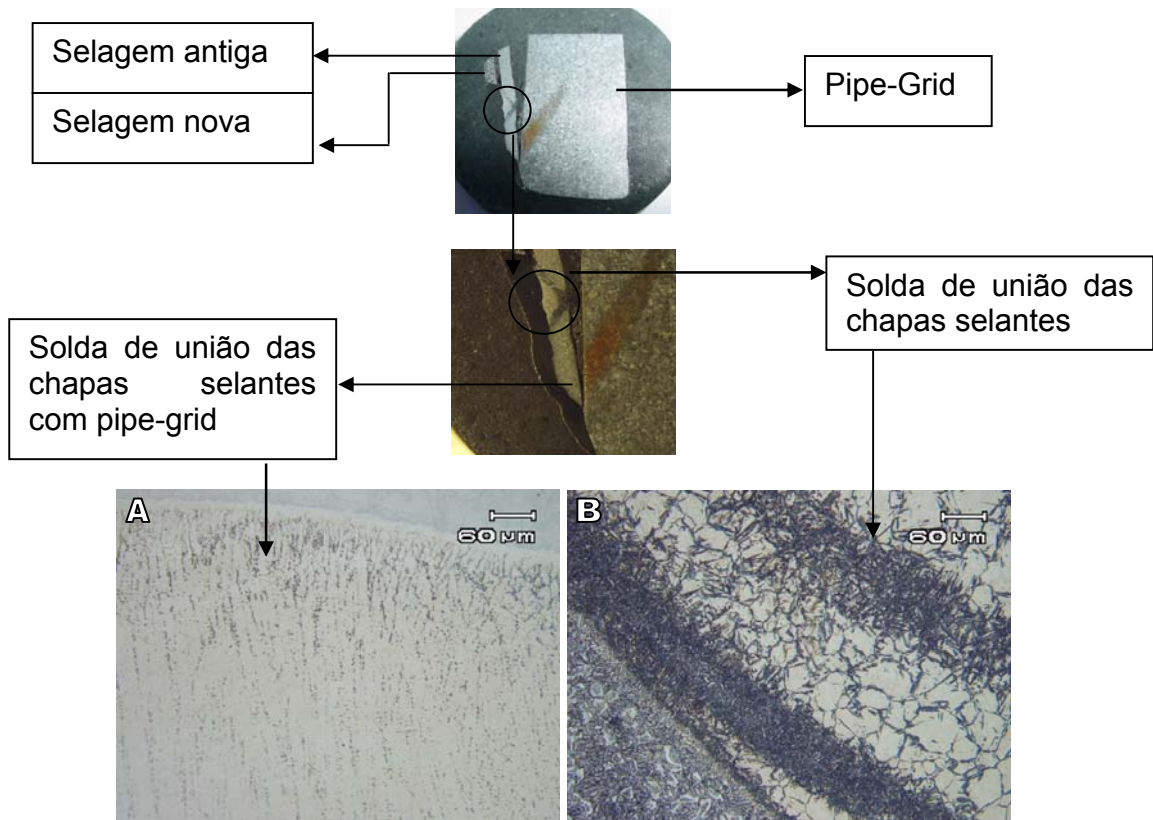
## ANÁLISE DA PONTA DO PIPE-GRID COM SELAGEM NOVA E ANTIGA

- Análise metalográfica

Para a análise microestrutural da ponta do pipe-grid com selagem nova e original, foi retirada uma amostra contendo a seção transversal do cordão de solda que une as chapas.

Foi observada a presença de duas soldas sobrepostas. Uma de união das chapas selantes e uma de união das chapas com o pipe-grid. Para revelação da microestrutura da solda de união das chapas selantes foi realizado ataque com reagente químico Villela e para revelação microestrutural da solda de união das chapas selantes com o pipe-grid foi realizado ataque eletrolítico com ácido oxálico.

Através de análise em microscópio ótico observou-se microestrutura composta por martensita para a solda de união das chapas selantes e uma microestrutura composta por austenita e carbonetos esferoidizados dispersos para a solda de união das chapas selantes ao pipe-grid (figura 8).

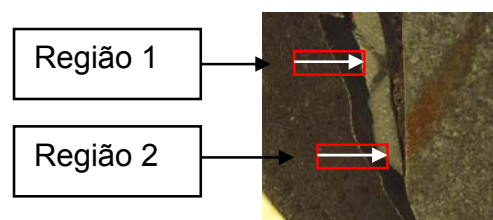


**Figura 8** – Micrografia A mostrando microestrutura da solda de união das chapas selantes com pipe-grid. Micrografia B mostrando microestrutura da solda de união das chapas selantes.

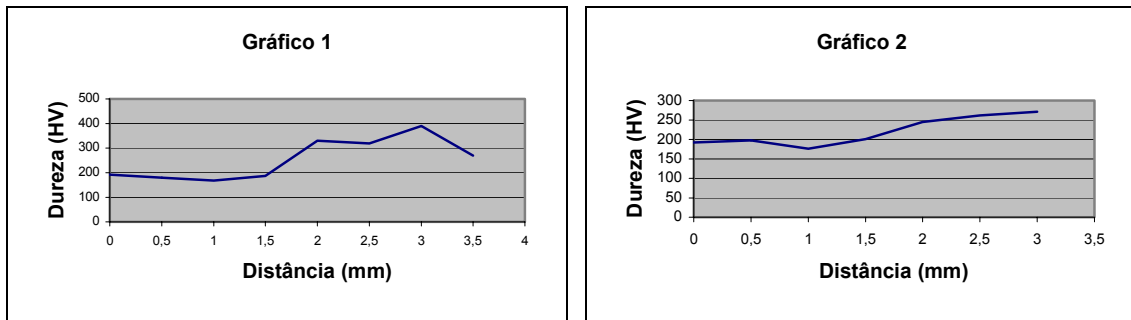
- Ensaio de microdureza

Foram realizados dois perfis de microdureza na região das soldas. A figura 9 mostra a localização da obtenção dos perfis. As medições foram feitas começando da superfície da solda de união dos selantes com o pipe-grid até extremidade oposta.

A figura 10 mostra os perfis obtidos. Para a solda de união dos selantes foi obtida uma dureza média de 350HV. Para a solda de união dos selantes com o pipe-grid foi observada uma dureza média de 190HV e uma dureza média de 235HV para a chapa selante antiga.



**Figura 9** – Campos em vermelho mostram as regiões onde foram obtidos os perfis de dureza e as setas mostram a direção de aquisição das durezas.



**Figura10** – Gráfico 1 mostrando perfil de dureza obtido na região 1. Gráfico 2 mostrando perfil de dureza obtido na região 2.

## ANÁLISE QUÍMICA

Foram efetuadas três queimas nas amostras de cada material (tirantes, chapa da selagem nova, chapa da selagem nova com original, ponta do pipe-grid). A tabela abaixo mostra os resultados obtidos.

A análise química dos componentes mostrou que os materiais utilizados para fabricação dos tirantes e pipe-grid são similares aos aços ASTM A-387Gr5 e ASTM A-335Gr5, respectivamente. O material utilizado para fabricação da selagem nova é similar a um aço ASTM A242, porém com teor elevado de cromo. O material utilizado para fabricação da selagem antiga é similar a um aço ASTM A240 TP410, porém apresentou teor de carbono acima da especificação.

**Tabela 1** – Resultados das análises químicas dos componentes

% em peso	C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo	Ni	Cu	V
<b>Tirante 1</b>	0,09	0,44	0,03	<0,01	0,13	4,6	0,54	0,12	0,16	-
<b>Tirante 2</b>	0,09	0,45	0,03	<0,01	0,13	4,62	0,55	0,12	0,15	-
<b>Tirante 3</b>	0,08	0,44	0,02	<0,01	0,13	4,67	0,54	0,11	0,16	-
<b>Selagem Nova</b>	0,8	0,47	0,02	0,01	0,22	0,59	-	0,03	0,36	<0,01
<b>Selagem Antiga</b>	0,13	0,51	0,04	<0,01	1	13	-	0,19	-	-
<b>Pipe-Grid</b>	0,14	0,46	0,02	0,01	0,22	4,51	0,44	-	-	-

## DISCUSSÕES

Com base na análise das fraturas foi possível determinar que a falha dos tirantes ocorreu por processo de fadiga. Foi observada presença de marcas de praia, mecanismo característico da propagação de trinca por fadiga [3], cobrindo todas as superfícies de fratura. O estudo da integridade dos selantes passou a ser decisivo para determinar se a fadiga dos tirantes ocorreu por corrosão causada pelo contato com os gases do processo devido a possível ineficiência dos selantes ou se a fadiga foi puramente mecânica.



Na análise metalográfica dos tirantes foi observado uma microestrutura formada por matriz ferrítica e grande concentração de carbonetos em contornos de grão. A comparação da microestrutura observada nas amostras com a microestrutura do material de referência indicou uma séria degradação do material dos tirantes. A microestrutura de referência mostra uma distribuição homogênea de carbonetos dispersos na matriz. Os resultados dos ensaios de dureza comprovam a perda de resistência mecânica dos tirantes.

As análises metalográficas dos selantes não revelaram nenhuma anormalidade microestrutural ou a presença de trincas. A hipótese de falha do sistema de vedação permitindo a passagem dos gases foi posta em segundo plano.

Na análise da ponta do pipe-grid com a selagem nova e original observou-se a presença de descarbonetação na região de interface entre a selagem antiga e a solda e a presença de uma sobreposição de solda. Apesar da existência de uma grande diversidade microestrutural não usual de ser aplicada, não foi observada presença de trincas.

O fato dos tirantes terem trabalhado por cerca de dez anos sob temperaturas em torno de 550 °C, foi suficiente para provocar uma degradação do material, evidenciada pela presença de carbonetos em contorno de grão e pela perda de dureza. O estudo indica que a falha dos tirantes ocorreu por fadiga puramente mecânica, devido a perda da resistência mecânica dos componentes.

O estudo mostrou a necessidade da adoção de um plano de inspeção mais rigoroso com relação a integridade dos tirantes já que uma falha nestes componentes comprometem a estabilidade da estrutura. Tendo o processo ocorrido por fadiga, a presença das trincas poderia ser detectada por métodos não destrutivos já bastante difundidos. O fato de o material apresentar uma severa degradação indica que o tempo de serviço para estes componentes deve ser avaliado a fim de evitar as transformações indesejáveis.

## CONCLUSÕES

- A falha dos tirantes ocorreu por processo de fadiga.
- Se tomarmos como referência a estrutura da matéria prima, os tirantes sofreram degradação com formação de carbonetos grosseiros em contornos de grão e redução de dureza;
- Foi encontrada uma região de maior dureza na zona afetada pelo calor nas soldas de união das chapas selante com o pipe-grid que podem ser regiões frágeis por onde trincas podem iniciar sob as condições de vibração em serviço. Contudo, não foram observadas trincas associadas a estas regiões;
- Nenhum indicio de trinca ou falha grosseira do sistema de vedação foi detectado.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- [1] ASM – Metals Handbook - Failure Analyses and Prevention, Vol 11, 9 ed., 1992.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 13284: Preparação de corpos-de-prova para análise metalográfica, Abril, 1995.
- [3] Reguly, A. – Apostila de Fadiga e Análise de Falha, 2003.