

# ANÁLISE DE FALHAS EM PARAFUSOS DE FILTRO

*Ihana Gabriela Conceição de Jesus<sup>1</sup>  
Marcos Menino de Macedo Filho<sup>2</sup>  
Matheus Porto Trindade<sup>3</sup>  
Sandro Griza<sup>4</sup>*

## Resumo

Foi realizada análise de falha e caracterização metalúrgica em parafusos de filtro de ar de válvula de derivados, utilizada em plataforma de petróleo. Foi identificado mecanismo de corrosão sob tensão (CST). Os parafusos foram fabricados a partir de barra recozida de aço inoxidável austenítico. Os filetes de rosca e cabeça foram fabricados por deformação a frio. A dureza média do centro do parafuso foi de 201 HV e na raiz de filete foi de 296 HV. Alternativas para reduzir a incidência de falhas futuras são a utilização de ligas mais resistente a CST, redução de pré-carga de aperto dos parafusos e vedação adequada para evitar o contato das regiões mais tensionadas do parafuso com o meio corrosivo.

**Palavras-chave:** Parafusos de Filtro de Ar; Análises de Falhas; Corrosão sob Tensão; Óleo e Gás.

## FAILURE ANALYSIS ON FILTER BOLTS

### Abstract

It was made failure analysis and metallurgical characterization on filter bolts of derivative valve air, used in offshore platform. Stress corrosion cracking mechanism was identified (SCC). The bolts were manufactured from austenitic stainless steel annealed bar. The thread fillets and head bolt were manufactured by cold deformation. The average hardness at the center of the bolt was 201 HV and 296 HV in fillet root. Alternatives to reduce the incidence of future failure are the utilization of more resistant to SCC steel alloys, reduce the preload of the bolts and use suitable seal to avoid contact of the regions more stressed of the bolt with the corrosive environment.

**Keywords:** Air Filter Bolts; Failure Analysis; Stress Corrosion Cracking; Oil and Gas.

- 1 Engenharia de Materiais, Bel, Aluna de Iniciação Científica, Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.*
- 2 Engenharia Mecânica, Esp, Profissional Petrobras de Nível Médio, Coordenação de Grandes Máquinas, Petróleo Brasileiro S.A., Vitória, Espírito Santo, Brasil.*
- 3 Engenharia Mecânica, Bel, Aluno de mestrado, Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.*
- 4 Engenharia Mecânica, Dr, Professor Associado, Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por combustível e a necessidade de práticas mais seguras na produção de óleo e gás está diretamente relacionada ao controle dos diversos processos corrosivos dos materiais, com destaque para os constituintes das instalações de produção e transporte. Nesse panorama, o risco potencial à integridade das pessoas, à possível contaminação do meio ambiente e possíveis prejuízos financeiros e de imagem, tornam o gerenciamento da corrosão ponto de destaque dentro das metas de confiabilidade de instalações e equipamentos usados na produção on-shore e off-shore de petróleo e gás (Garcia & Santos, 2013) [1].

Nesse contexto, os diversos processos de corrosão são responsáveis por elevados gastos na reposição dos equipamentos degradados pela ação do meio, assim como já foram responsáveis por diversos acidentes graves em decorrência de falha estrutural de equipamentos contendo substâncias tóxicas e explosivas, típicas da indústria de petróleo e gás. Gentil (2007) [2] descreve que a corrosão causa grandes prejuízos nas mais variadas atividades como, por exemplo, nos meios de transportes aéreo, nas indústrias química e petrolífera, ferroviário, metroviário, rodoviário, marítimo, e nos meios de comunicação, na medicina (ortopedia), na odontologia (restaurações metálicas, aparelhos de prótese) e em obras de arte.

Os estudos dos processos de corrosão têm apresentado significativo crescimento, uma vez que cerca de 50% das falhas dos materiais são decorrentes desse fenômeno. Assim sendo, o conhecimento tanto dos princípios da corrosão quanto dos meios de proteção anticorrosiva são os grandes desafios na área de engenharia de equipamentos (Pannoni, 2007) [3]. O fenômeno responsável pelo processo da corrosão é visto como sendo a destruição dos materiais, sejam eles metálicos ou não metálicos, em contato com o meio ou ambiente, seja devido a interações químicas e/ou mecânicas. Assim sendo, os custos diretos e, em maior destaque os indiretos, alcançam somas relevantes (Martins, 2012) [4].

O uso de aço inoxidável como alternativa para minimizar problemas decorrentes da corrosão apresenta-se como uma estratégia interessante, em vista do baixo custo relativo. No entanto, em alguns casos, a adsorção do íon cloreto ( $Cl^-$ ) na película protetora resulta na nucleação de uma trinca por pite, a qual funciona como um ânodo, para uma grande área catódica, criando uma alta concentração de corrente elétrica na ponta da trinca. Esse processo corrosivo, por meio da hidrólise de íons metálicos, provoca o decréscimo do pH, fazendo com que o processo seja autocatalítico e associado aos esforços mecânicos (tensões residuais e tensão positiva) impossibilitam a passivação do metal base, sendo assim característico do fenômeno conhecido como corrosão sob tensão – CST (Brasil, 2003) [5].

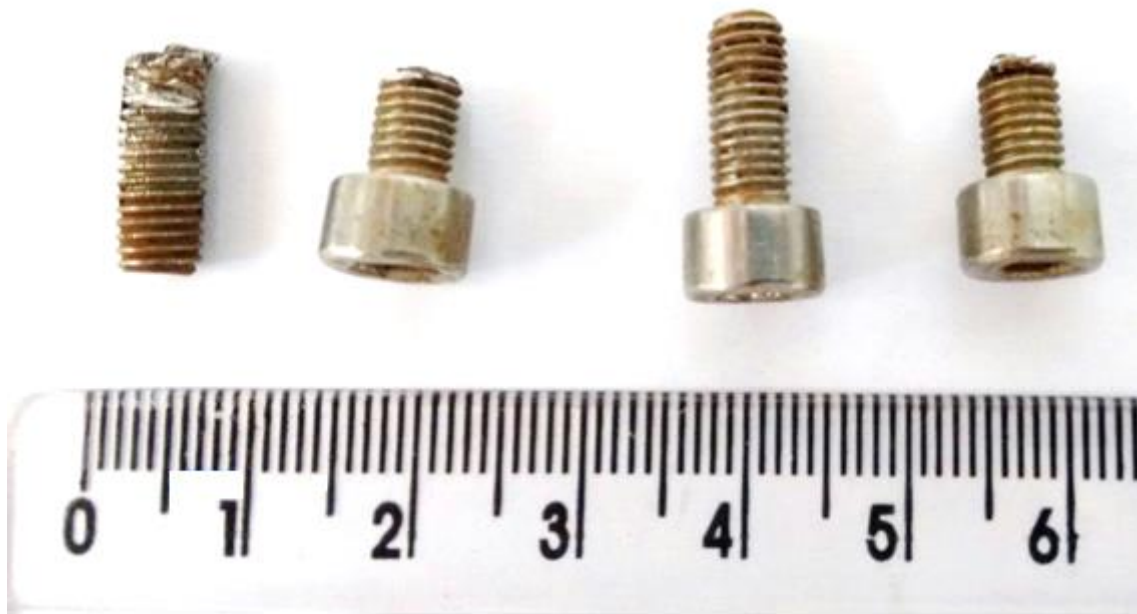
O presente estudo visa a análise de falha de parafusos submetidos a solicitação mecânica em ambiente marítimo, de modo que seja possível identificar o mecanismo de falha e gerar sugestões de melhorias.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Metodologia

Foram estudados quatro parafusos de filtro de ar de válvula de derivados. Dos quatro parafusos recebidos, três apresentaram fratura (Figura 1). Para avaliar a falha e propor melhoria foram obtidas imagens através de câmera fotográfica (Canon 1000D) e microscópio estereoscópico (Zeiss Stemi 2000). Em seguida foram

preparadas amostras metalográficas a partir das seções longitudinais dos parafusos 1, 2 e 4. As amostras foram preparadas de acordo com procedimento padrão de lixamento e polimento e foram atacadas com reativo de Água Régia (75% HCl e 25% HNO<sub>3</sub>). As imagens foram obtidas através de microscópio óptico (Zeiss Axioscope A1). Cinco impressões de microdurezas Vickers (HV1) foram feitas na amostra do parafuso 1 (microdurômetro Future Tech FM 800). A análise química foi feita por espectrometria de emissão ótica (Foundry Master Expert, Oxford Instruments) através de cinco queimas em uma amostra preparada da cabeça do parafuso 2.



**Figura 1.** Parafusos que falharam. Os parafusos foram identificados como 1, 2, 3 e 4. O parafuso 1 apresenta fratura no raio da cabeça. Os parafusos 2 e 4 apresentam fratura no nível intermediário. O parafuso 3 não falhou.

## 2.2 Resultados

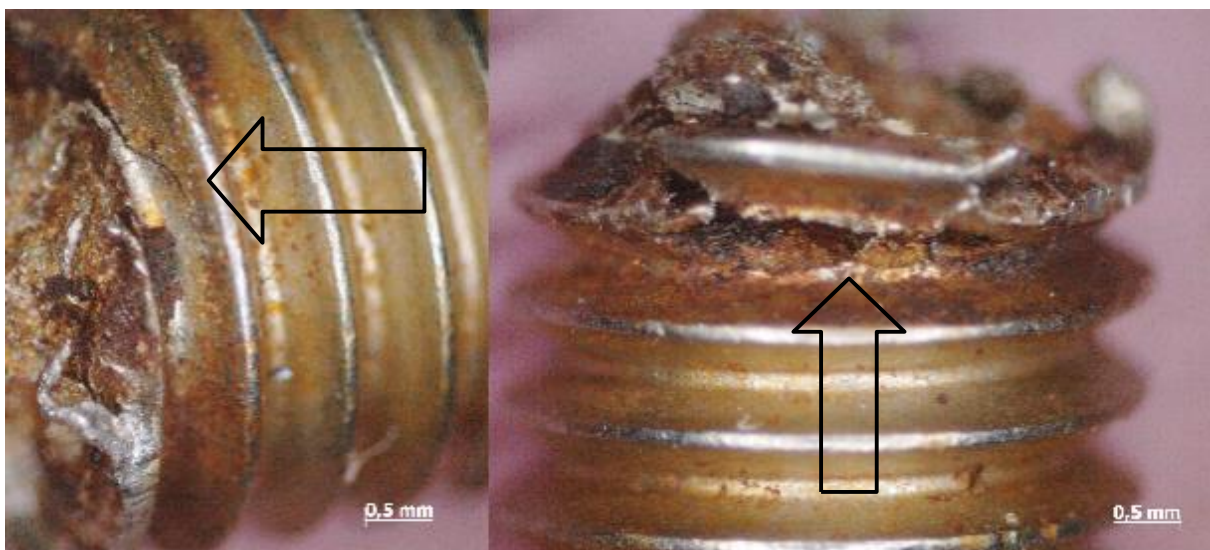
### 2.2.1 Análise de fratura

Todos os parafusos romperam de forma frágil. O parafuso 1 apresentou fratura partindo do raio de curvatura da mudança de seção para a cabeça do parafuso. Os parafusos 2 e 4 apresentaram fratura em plano intermediário da parte rosqueada. Este plano deve coincidir com a interface entre a tampa e corpo do filtro. As fraturas, com efeito, ocorreram nas regiões mais tensionadas dos parafusos, ou seja, respectivamente nos filetes mais próximos da interface de montagem (primeiros filetes carregados) e raio da cabeça. A fratura do parafuso 2 é rugosa e apresenta produtos de corrosão aderidos (Figura 2), além de trincas secundárias (Figura 3). A fratura do parafuso 4 é semelhante à do parafuso 2 (Figura 4). O parafuso 1 foi mais danificado na desmontagem do filtro (Figura 4).

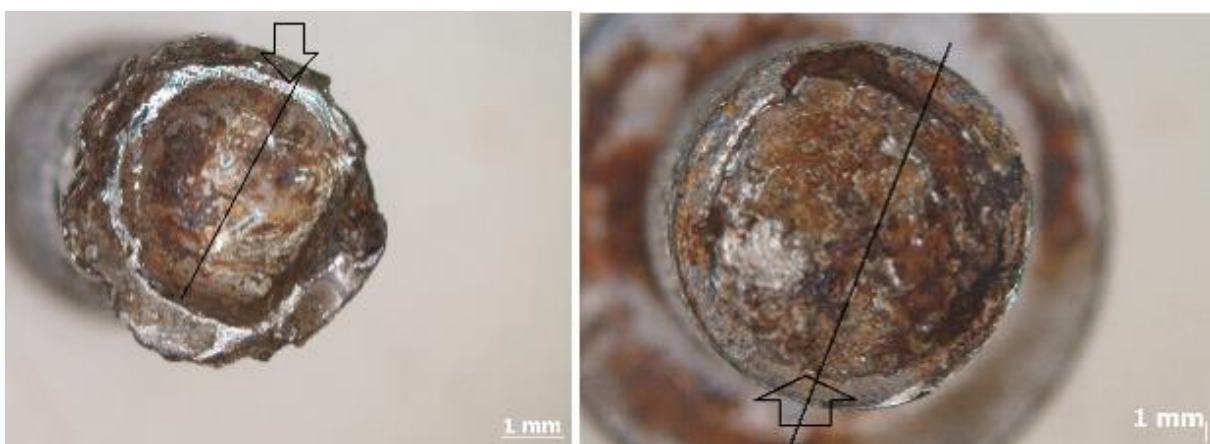




**Figura 2.** Parafuso 2. Superfície rugosa de fratura (esquerda) e produtos de corrosão sobre a fratura rugosa (direita). A seta indica região de início da fratura, diametralmente oposta à região de cisalhamento final.



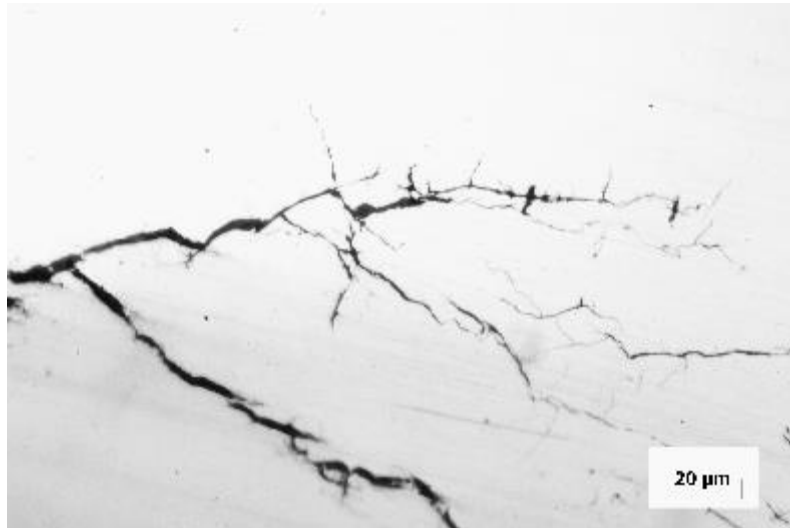
**Figura 3.** Parafuso 2. As duas imagens mostram trincas secundárias (setas).



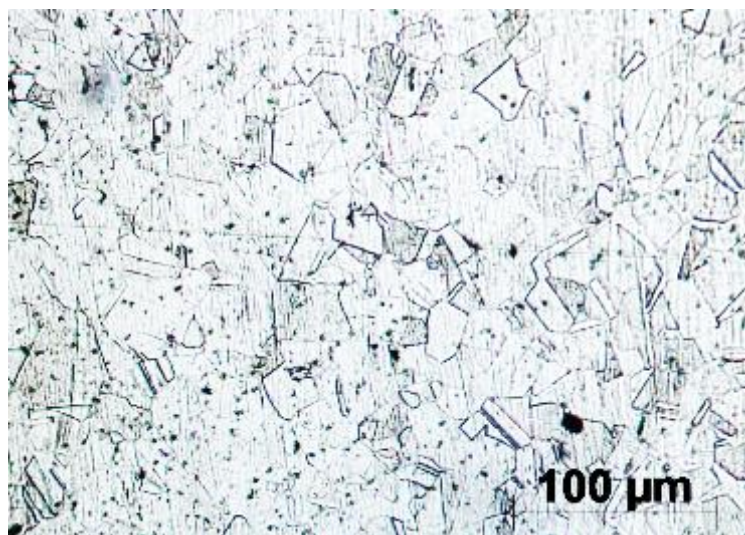
**Figura 4.** Parafuso 1 (esquerda). Parafuso 4 (direita). As setas indicam região de início de fratura e as linhas indicam planos de cortes metalográficos. O parafuso 1 está danificado devido à desmontagem.

## 2.2.2 Caracterização metalúrgica

A metalografia sem ataque do parafuso 2 mostrou trincas secundárias ramificadas com direção de propagação para o centro do parafuso (Figura 5). Estas ramificações são típicas de corrosão sob tensão (CST). A microestrutura é composta de grãos refinados de austenita recozida, maclas de recozimento e linhas de fluxo de conformação (Figura 6). A análise mostrou ainda grãos deformados por laminação dos filetes (Figura 7). A Figura 7 também mostra trincas secundárias ramificadas partindo da raiz de um filete no parafuso 1.



**Figura 5.** Trincas secundárias ramificadas típicas de corrosão sob tensão do parafuso 2. A propagação é perpendicular à direção da carga de ruptura.



**Figura 6.** Parafuso 2. Microestrutura de grãos refinados de austenita, maclas de recozimento e linhas de fluxo de conformação.





**Figura 7.** Trincas secundárias ramificadas de corrosão sob tensão iniciando na raiz de filete do parafuso 1. Microestrutura de grãos refinados de austenita, maclas de recozimento e linhas de fluxo de laminação de filetes.

A dureza média do centro do parafuso foi de 201 (desvio padrão de 1,9) e da raiz do filete foi de 296 (desvio padrão de 4,7). O resultado da análise química está apresentado na Tabela 1. Os parafusos são fabricados em aço inoxidável austenítico, contendo 2,8% de cobre.

**Tabela 1.** Composição química do parafuso 2 (% em peso)

| Elemento   | C    | Si   | Mn   | Ni   | Cr   | Mo   | S     | P     | Cu   | N    |
|------------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|
| Percentual | 0,10 | 0,30 | 0,96 | 11,3 | 16,6 | 1,97 | 0,002 | 0,012 | 2,80 | 0,15 |

### 3 CONCLUSÃO

Os parafusos apresentaram trincas por corrosão sob tensão (CST). Os parafusos são de aço inoxidável austenítico contendo 2,8% de cobre. Os parafusos são fabricados por laminação a frio de filetes e conformação da cabeça a partir de barra laminada e recozida para microestrutura de grãos austeníticos refinados. A dureza na região encruada de laminação dos filetes é de 296 HV e a dureza de núcleo é de 201 HV.

A CST é um processo que envolve a associação de susceptibilidade da liga ao meio corrosivo e a tensão aplicada. A laminação dos filetes é adequada para ampliar a resistência mecânica. Entretanto, o encruamento resultante é prejudicial para processos corrosivos, devido as inerentes tensões residuais causadas, além da maior energia para as reações. A possibilidade de entrada do fluido corrosivo na interface tampa/corpo e interface da arruela permite aeração diferencial e acelera o início do dano por corrosão (corrosão por fresta) nas regiões de maior concentração de tensões da união parafusada, que são a região do raio de curvatura da cabeça e os filetes próximos da região de interface tampa/corpo. O ambiente corrosivo associado à tensão de pré-carga do parafuso e ao encruamento dos filetes favorece a propagação da corrosão sob tensão.

Nossas recomendações para reduzir a incidência de tais falhas são as seguintes:

- Substituir a liga dos parafusos por aço inoxidável de maior resistência à CST em ambiente marinho, como por exemplo, aço inoxidável austenítico de baixo carbono e maior teor de cromo e molibdênio, ou duplex dos tipos N4462 e S32550;

- Reduzir o torque de montagem. Neste caso é preciso ter cuidado para definir adequadamente o torque no caso dos parafusos serem solicitados ciclicamente em fadiga (pressurização e despressurização do filtro). Para essa operação recomenda-se o uso de um torquímetro;
- Verificar sistema de vedação na interface entre tampa e corpo e na cabeça do parafuso para evitar entrada de fluido corrosivo.

## REFERÊNCIAS

- 1 Garcia, L. P. & Santos, A. R. Aplicação de Inibidores de corrosão na Indústria de Petróleo e Gás. *UNISANTA SCIENCE AND TECHNOLOGY, INSS 2317- 1316*. 2013; 2: 19-23.
- 2 Gentil, V. Corrosão. 6º Edição. Rio de Janeiro: LTC; 2007.
- 3 Pannoni, F. D., Gaspar, C., Vicentin, A. Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio (Coletânea do Uso do Aço). 4º Edição: Perfis GERDAU Açominas; 2007.
- 4 Martins, J. I. F. P. A corrosão: a outra perspectiva de abordagem. *Corrosão e Proteção de Materiais*. 2012; 31: 60-64.
- 5 Brasil, F. Estudo de Corrosão sob Tensão em Tubos de Aço Inoxidável AISI 304L, Aspergido Termicamente com Alumínio por Arco Elétrico. Dissertação. 2003.