

ANÁLISE DE FALHA E CARACTERIZAÇÃO METALÚRGICA DE TUBO DE PRESSÃO

Badaró, J.P.(1); Fontes, L.S.(2); Silva, A.S.(3); Andrade, C.E.C.(4); Griza, S.(5);

(1) *Graduando em Engenharia de Materiais, Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais (DECEM), Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, SE, Brasil.*

(2) *Graduando em Engenharia de Materiais, Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais (DECEM), Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, SE, Brasil.*

(3) *Eng. de Segurança do Trabalho, Eng. de Materiais, graduado pela Universidade Federal de Sergipe (UFS), Mestrando em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Sergipe (UFS) Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais (DECEM), Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, SE, Brasil.*

(4) *Eng. de Materiais, graduado pela Universidade Federal de Sergipe (UFS), Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais (DECEM), Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, SE, Brasil.*

(5) *Doutor em Eng. de Minas, Metalúrgica e de Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e professor adjunto da Universidade Federal de Sergipe (UFS), Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais (DECEM), Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, SE, Brasil.*

jaderpitanguera@gmail.com

RESUMO

Nesse estudo foi analisado um tubo fabricado em aço inoxidável AISI 316, que falhou em serviço. Foi realizada análise de falha e caracterização metalúrgica do tubo, onde detectou-se a presença de pites e um baixo teor de Mo na composição do aço. Então recomendou-se a utilização de aço AISI 316L, ou equivalente com maior teor de Mo.

PALAVRAS CHAVE: Análise de falha, tubo de pressão, aço austenítico, corrosão por pites.

1. INTRODUÇÃO

É comum a utilização de tubos feitos em aço inoxidável AISI 316 quando é necessária resistência a corrosão, seja por conta do ambiente agressivo ou devido a características corrosivas da substância transportada. O aço inoxidável apresenta capacidade de formar uma camada passivadora, um filme enriquecido em óxido de cromo em sua superfície [1], [2]. Porém este aço ainda é suscetível a corrosão por pites em ambientes com alta concentração de íons cloretos [3].

Corrosão pode ser definida como um processo, geralmente espontâneo, de deterioração da liga, por ação química ou eletroquímica, dependente da

característica do meio, podendo ainda estar sob efeito de esforços mecânicos. Tal deterioração pode vir a transformar-se num dano comprometedor para a peça deteriorada, diminuindo as propriedades mecânicas e podendo levar a peça à impossibilidade da aplicação para que foi projetada [4].

Dentre as formas de corrosão, pite é uma forma agressiva de degradação localizada, caracterizada por iniciar na superfície do metal, criando apenas pequenos pontos de corrosão que avançam para dentro do metal. Geralmente há formação de produtos de corrosão, que podem depositar-se nas cavidades criadas pelo pite. A formação de pites pode ainda levar à falha prematura do componente metálico, podendo promover pontos para início de trincas ou penetrar fundo no material a ponto de causar vazamento de fluidos [5], [3].

A formação de pites em aços inoxidáveis pode dar-se pela quebra ou dano da camada passivadora. Sabe-se que os íons cloretos são, em relação a outros elementos, preferencialmente adsorvidos pela superfície do metal, principalmente em ambientes com alta concentração de íons cloreto. O cloreto adsorvido, então, quebra a camada passivadora, dando condição ao início da formação de corrosão localizada por pites [6]. Na região onde há ataque corrosivo por pites, a taxa de dissolução do metal pode ser 3×10^4 a 10^6 superior à taxa de dissolução do restante da superfície [7].

A presença de molibdênio (Mo) em aços inoxidáveis é vantajosa no que se refere a proteção contra agentes oxidantes. Primeiro devido ao fato de o Mo formar um óxido que atua junto à camada passivadora do metal, e também por formar um filme de óxido de molibdênio insolúvel, nas regiões ativas do aço inoxidável, agindo como uma barreira à difusão de espécies através da película, dificultando a dissolução [8].

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O Tubo em análise foi usado no transporte fluido composto de etileno glicol e etileno glicol butil éter. Possuía diâmetro de $\frac{1}{4}$ " e operava a uma pressão interna de trabalho de 5.000 psi.

O tubo (figura 1) apresentou vazamento durante operação normal de válvulas de unidade de comando à distância, ocasionando interrupção por

queda brusca de pressão. A parte da peça que falhou foi então retirada de operação e levada para análise.



Figura 1: Tubo como recebido. Ponto de vazamento circulado e indicado com seta.

Primeiramente procedeu-se com a limpeza do tubo em água e agente tenso ativo para remoção de qualquer tipo de impureza e resíduos. Posteriormente procedeu-se o ensaio não destrutivo de líquido penetrante (LP), visando a localização exata do ponto de vazamento e demais danos que pudessem eventualmente existir.

Após a identificação dos pontos desejados, seguiu-se com o corte transversal da peça, em disco abrasivo, de forma a isolar os danos do restante da peça. Então o tubo foi novamente cortado, com serra manual, porém desta vez o corte seguiu a região longitudinal da peça, de forma a permitir a observação da parte interna, e oposta ao dano externo, para apreciação do dano interno. A região interna foi também submetida ao ensaio de líquido penetrante, para confirmação, através do ensaio, de defeitos internos. Todos os procedimentos já citados foram registrados em câmera fotográfica (Canon 1000D) e microscópio estereoscópico (Zeiss Stemi 2000)

As regiões identificadas no LP foram submetidas à análise microestrutural e de microdureza através da preparação de amostras metalográficas transversais

e longitudinais à seção do tubo. As amostras foram lixadas, até lixa de 1500 Mesh, e então polidas com pasta abrasiva de diamante sintético, até 1 μm . Após o polimento as peças foram submetidas a ataque químico com o reagente Água Régia (Ácido clorídrico e nítrico em proporção de 3:1). Foram feitas imagens da microestrutura em microscópio óptico (Zeiss Axio Scope A1).

Em seguida, realizou-se ensaio de microdureza (microdurômetro Future Tech FM 800). As medições de microdureza foram realizadas na escala Vickers com carga de 1 kgf. Foram feitas 5 medições sobre uma das amostras metalográficas, pois como os grãos são axiais, iguais em toda as direções, não há diferença nas propriedades mecânicas nas diferentes direções.

Por último procedeu-se a análise química, por espectrometria de emissão óptica (espectrômetro Oxford, Foundry Master Xpert). A análise química foi realizada em uma amostra do tubo através de cinco queimas e o resultado foi apresentado pela média dos teores dos elementos obtidos pelas cinco queimas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. ENSAIO DE LÍQUIDO PENETRANTE

A macrografia do tubo após o ensaio de LP revelou dois pontos de dano, o ponto de vazamento, Dano 01 (figura 2a), e um segundo dano, Dano 02 (figura 2b) encontrado do lado oposto ao Dano 01 em outra região da peça. Após a realização do ensaio de líquido penetrante na região interna do tubo, percebeu-se que apenas o Dano 01 foi passante (figura 3), enquanto que o Dano 02 ainda não havia atingido a parede interna do tubo (figura 4).

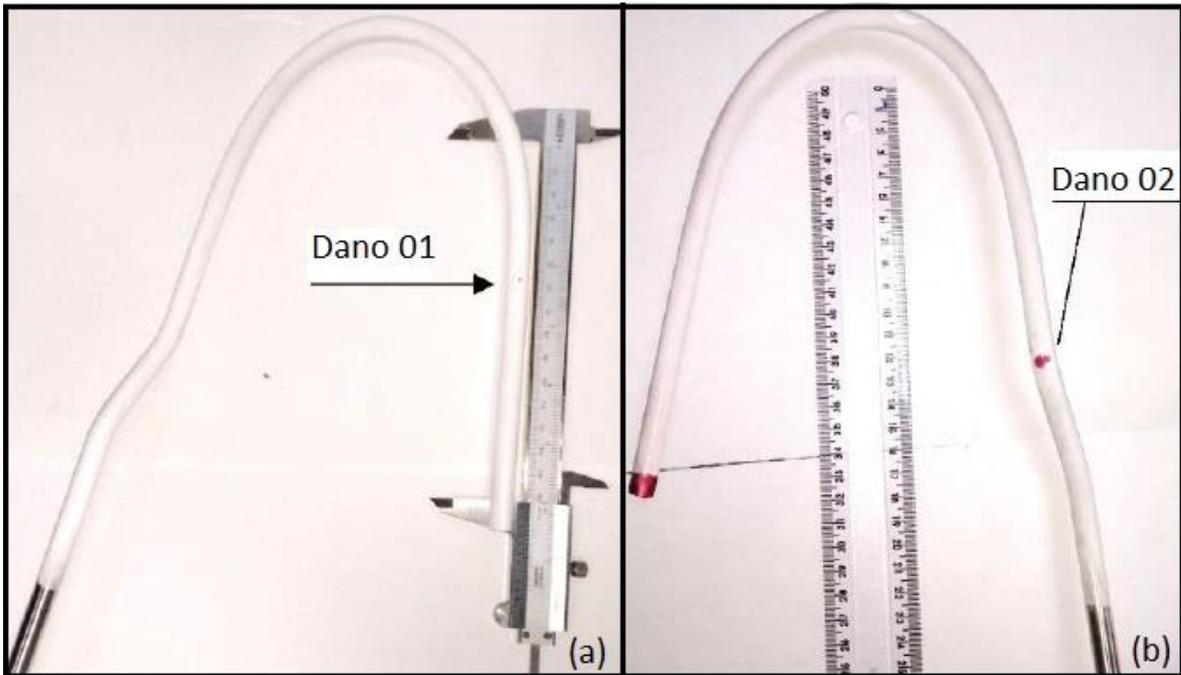


Figura 2: (a) Dano 01, dano passante que ocasionou a queda de pressão; (b) Dano 02, dano que ainda não havia alcançado a parte interna da tubulação.

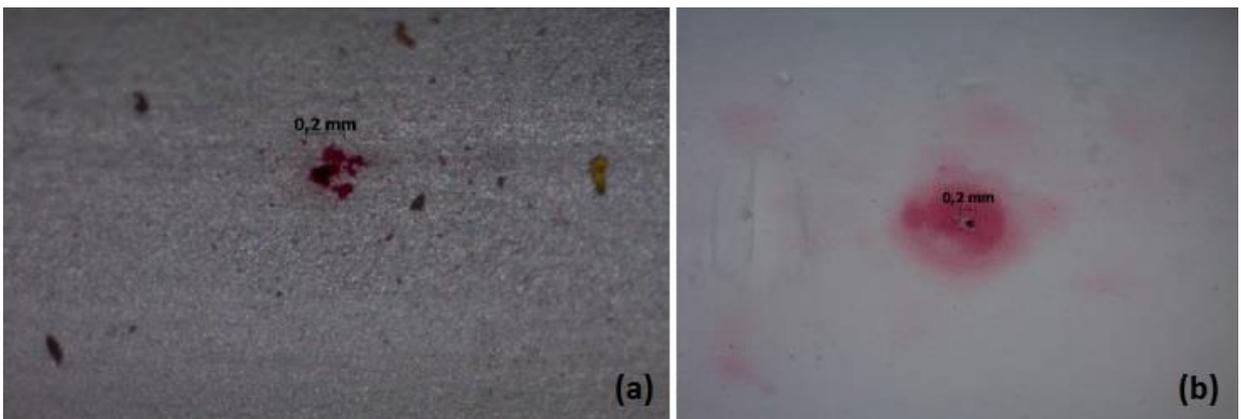


Figura 3: (a) Dano 01, parte interna mostrando defeito passante, com resíduos do ensaio de LP; (b) Dano 01, ensaio de LP na parte externa do tubo, revelando a posição do dano.

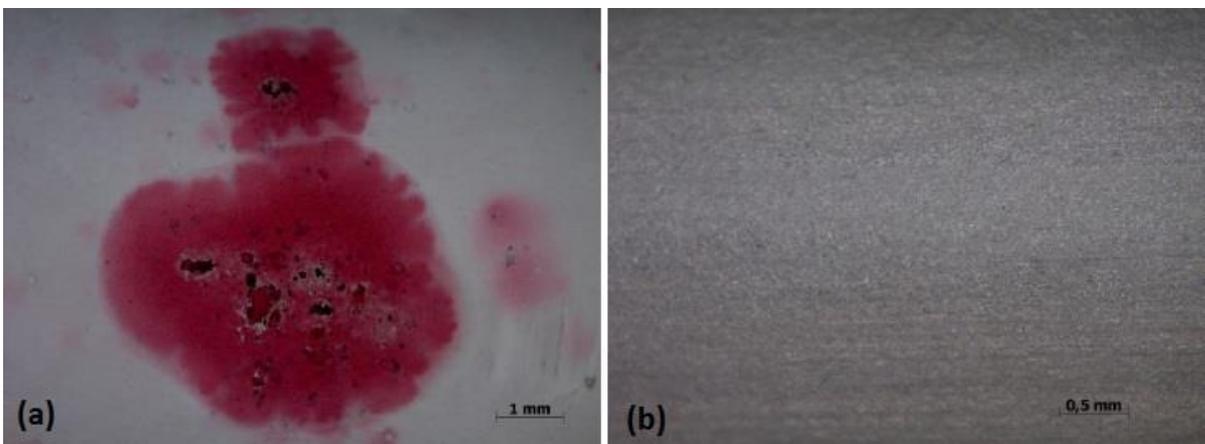


Figura 4: Dano 02, região externa do tubo, mostrando pelo ensaio de LP a presença de um dano externo; (b) Parte interna do tubo, oposta ao Dano 02, mostrando que o mesmo não chegou a atingir a parte interna do tubo.

3.2. CARACTERIZAÇÃO METALÚRGICA

A análise microestrutural do dano que provocou o vazamento, Dano 1, foi realizada através de corte metalográfico na seção transversal do tubo, passando pelo ponto de revelação do dano na parede externa, feito pelo ensaio de LP. Observou-se primeiramente a parte do dano interna ao tubo. Então seguiu-se com o procedimento de lixamento e polimento e sequencialmente a obtenção de imagens, a fim de obter informações do dano em diferentes planos metalográficos, onde pôde-se observar a dimensão e morfologia do dano até atingir a parede interna. Na sequência do lixamento observou-se o início do dano, na superfície externa do tubo, mostrando-se claramente muito maior que a parte próxima a parede interna, o que evidencia que o dano de fato começou na parte externa da peça. A Figura 5 apresenta a sequência de imagens do Dano 1. Observa-se claramente que o dano, por corrosão, atravessa a parede do tubo.

A análise do Dano 2, foi realizada da mesma forma que do Dano 1, por corte transversal, lixamento, polimento e registro fotográfico. Neste caso também observou-se a presença de danos oriundos de processo corrosivo por pites na parede externa do tubo, porém nesse caso não houve a evolução do dano a ponto de atravessar a espessura do mesmo. A figura 6 mostra alguns dos danos observados nessa região. Ambos os danos foram classificados, devido a sua morfologia típica, como pites de corrosão.

O aço em estudo apresenta microestrutura austenítica, recozida (Figura 7), com linhas de fluxo de conformação observadas na seção longitudinal (Figura 8). A microdureza encontrada foi de 156 HV (desvio padrão de 2,3 HV).

O resultado da análise química está apresentado na Tabela 1. A liga de fabricação do tubo é aço inoxidável austenítico AISI 316. Observou-se que o teor médio de molibdênio é de 1,99%, abaixo do especificado pela norma ASTM A 276 – 06, que estabelece teor mínimo de 2% e máximo de 3%.

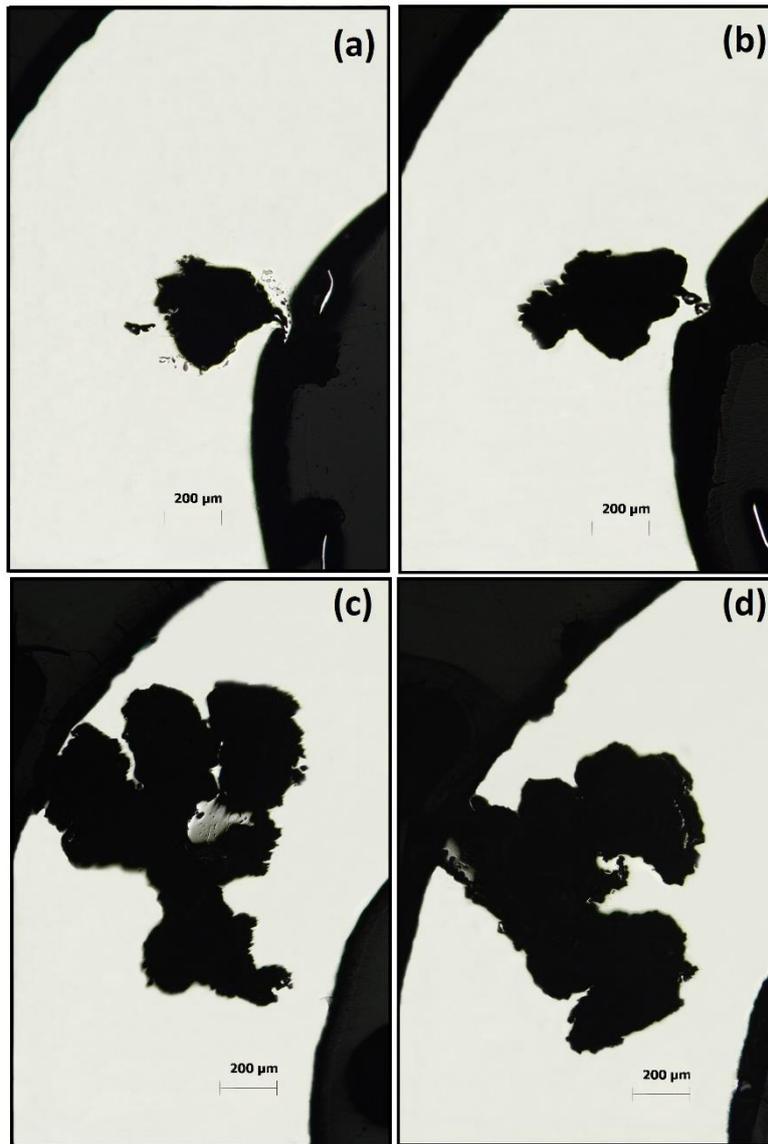


Figura 5: Sequência de fotos, em seção transversal, mostrando a morfologia do Dano 1: (a) Observa-se a abertura interna ao tubo, que levou à vazão do fluido e quebra de pressão; (b) Percebe-se a maior dimensão do dano; (c), (d) É possível agora observar a real dimensão do dano e o ponto externo, onde originou-se o pite. É importante perceber também que por tratar-se de uma estrutura tridimensional, o dano a cavidade externa e a interna não estão alinhadas.

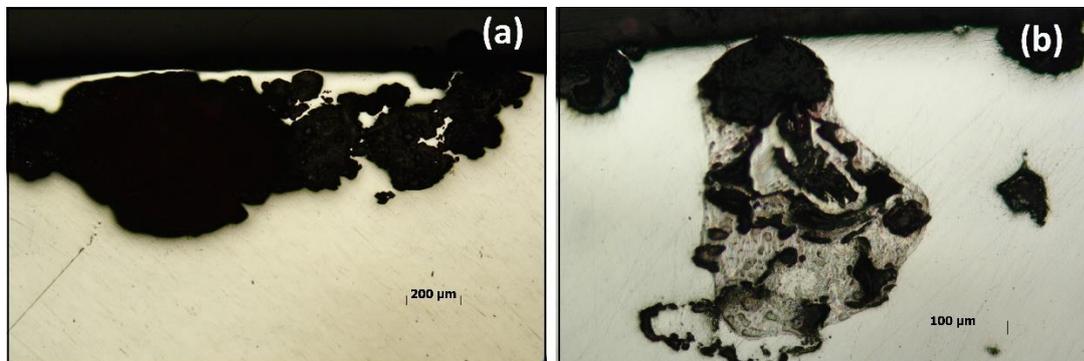


Figura 6: Sequência de fotos, em seção transversal, mostrando a morfologia do Dano 2: (a) Morfologia de um dos pites encontrado no Dano 2; (b) Pite em evolução, evidenciando a presença de produtos de corrosão no interior da parede.

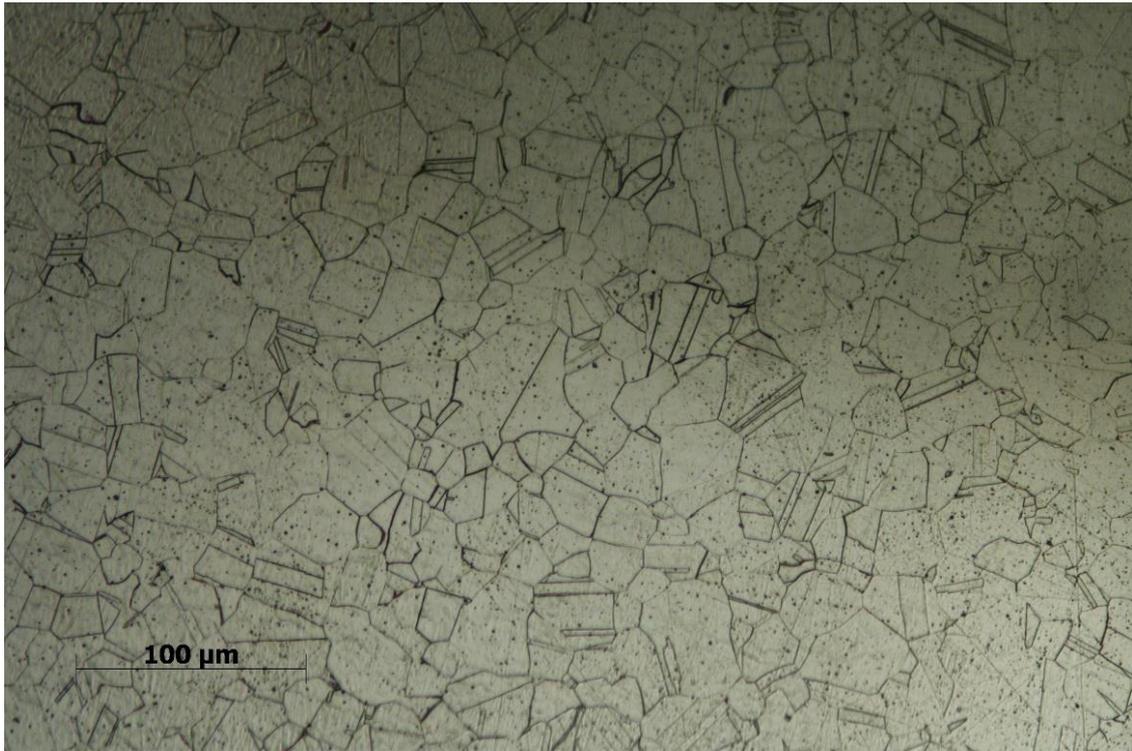


Figura 7: Microestrutura austenítica, com grãos poligonais e recozidos.

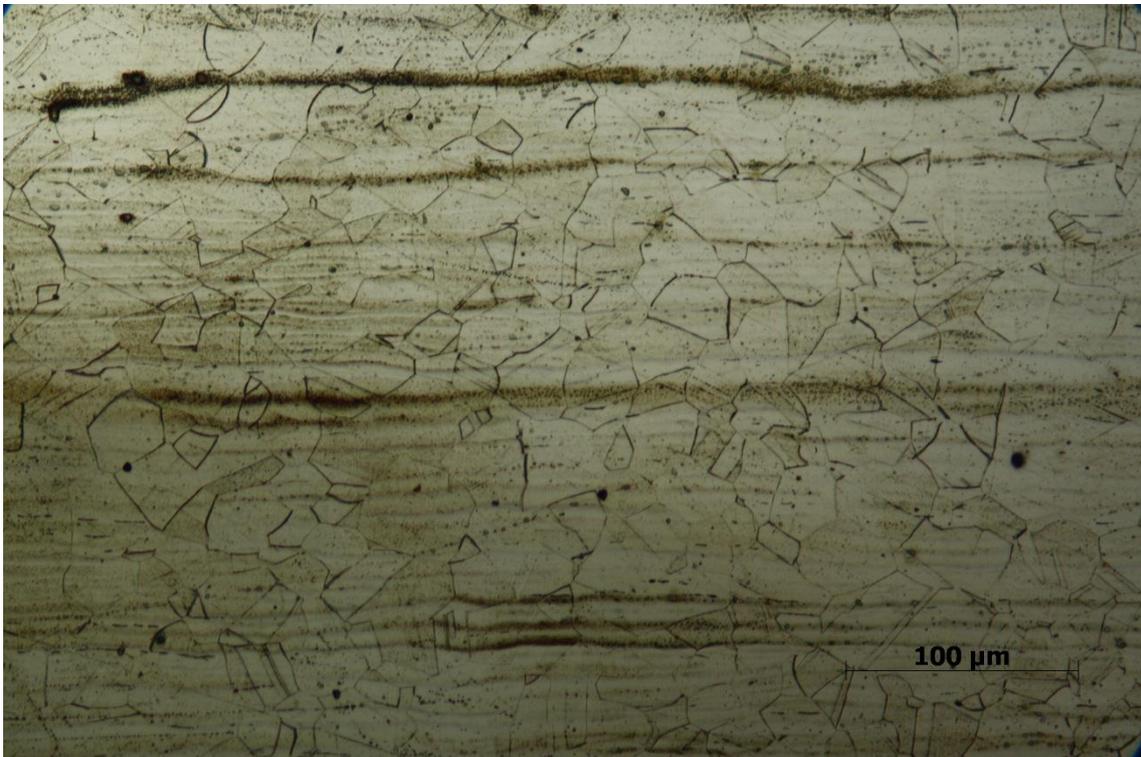


Figura 8: Microestrutura da seção longitudinal. Percebem-se linhas de fluxo oriundas de conformação e os grãos austeníticos.

Tabela 1: Composição química do tubo (% em peso) e valores comparativos do aço AISI 316.

Elementos	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
Composição (%)	0,05	0,42	1,65	0,015	0,01	16,60	1,99	12,7
AISI 316	0,08 máx	0,75 máx.	2,00 máx.	0,045 máx.	0,03 máx.	16,00- 18,00	2,00 - 3,00	10,00 - 14,00

4. CONCLUSÃO

A falha ocorreu pela formação de pites de corrosão na superfície externa do tubo. Esses pites são incentivados pelo uso do tubo em ambiente marinho (plataforma *off shore*). Os pites cresceram e permitiram a deposição de cloretos no seu interior, o que incentivou o processo de corrosão e formação de bolsas de produtos de corrosão na parede do tubo em pelo menos duas regiões diferentes identificadas. O crescimento do dano por corrosão atingiu a parede interna do tubo em uma das regiões de dano, o que levou ao vazamento.

O tubo foi fabricado por conformação a partir de aço inoxidável austenítico AISI 316 recozido para dureza média de 156 HV. O teor de molibdênio está levemente abaixo do limite especificado.

Para reduzir a possibilidade de reincidência de danos ao tubo, pode-se utilizar o aço AISI 316L para a sua fabricação, pois o AISI 316L possui menor teor de carbono que aumenta a resistência a corrosão. Outra alternativa é usar aço inoxidável austenítico equivalente ao AISI 316L com maior teor de molibdênio, cuja composição promove maior resistência a formação de pites.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às agências de fomento CAPES, CNPq, FINEP e FAPITEC.

REFERÊNCIAS

- [1] P. Marcus and I. Olefjord, "A Round Robin on combined electrochemical and AES/ESCA characterization of the passive films on FeCr and FeCrMo alloys," *Corros. Sci.*, vol. 28, no. 6, pp. 589–602, 1988.

- [2] H. Dong, P. Y. Qi, X. Y. Li, and R. J. Llewellyn, "Improving the erosion-corrosion resistance of AISI 316 austenitic stainless steel by low-temperature plasma surface alloying with N and C," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 431, no. 1–2, pp. 137–145, 2006.
- [3] S. Caines, F. Khan, and J. Shirokoff, "Analysis of pitting corrosion on steel under insulation in marine environments," *J. Loss Prev. Process Ind.*, vol. 26, no. 6, pp. 1466–1483, 2013.
- [4] V. Gentil, *Corrosão*, 3ª. Rio de Janeiro: LTC, 1996.
- [5] L. V. Ramanathan, *Corrosão e seu controle*. Hermus, 1996.
- [6] X. L. Yafei Wang, Guangxu Cheng, Wei Wu, Qiao Qiao, Yun Li, "Effect of pH and chloride on the micro-mechanism of pitting corrosion for high strength pipeline steel in aerated NaCl solutions," *Water Res.*, vol. 124, no. 1–3, pp. 22–31, 2015.
- [7] G. A. Cragolino, "Corrosión bajo tensiones del circonio y de sus aleaciones en presencia de cloruros," Universidad de Buenos Aires, 1975.
- [8] A. Pardo, M. C. Merino, A. E. Coy, F. Viejo, R. Arrabal, and E. Matykina, "Effect of Mo and Mn additions on the corrosion behaviour of AISI 304 and 316 stainless steels in H₂SO₄," *Corros. Sci.*, vol. 50, no. 3, pp. 780–794, 2008.

ABSTRACT

In this study was analyzed a tube manufactured in stainless steel AISI 316, which failed in service. Failure analysis was performed and metallurgical characterization of the tube, where the presence of pits was detected and a low Mo content in the steel composition. So it was recommended the use of AISI 316L steel, or equivalent with a higher content of Mo.

KEYWORDS: Failure Analysis, pressure tube, austenitic steel, pitting corrosion.