

ANÁLISE DE FALHA EM ARAME DE CERCA ELÉTRICA¹

*Victor Teixeira da Silva Aragão²
 Oswanderson Almeida Santos²
 Abraão Santos Silva²
 Sandro Griza³*

Resumo

Este estudo tem por objetivo analisar as causas de falhas e fratura em arames utilizados em cercas elétricas. Os arames foram submetidos à metodologia de análise de falhas. Foram realizadas inspeções visuais, análises de fratura em baixo aumento e em microscópio eletrônico de varredura, análise de microdureza, análises microestruturais em microscópio ótico e microscópio eletrônico de varredura. Foram realizadas análises químicas do material como de sua camada protetora por micro-sonda EDS. Os resultados indicaram fratura frágil por corrosão sob tensão (CST) do material devido às condições as quais ele foi submetido, tanto mecânicas quanto ambientais, evidenciando a ineficiência da camada galvanizada.

Palavras-chave: CST; Trefilado; Aço inoxidável; Austenítico.

FAILURE ANALYSIS IN WIRE OF ELECTRIC FENCE

Abstract

This study aims to analyze the causes of failure and fracture in wires of electric fences. The wires were submitted to the failure analysis methodology. Visual inspections, fracture analysis at low magnification and scanning electronic microscope, microhardness analysis, microstructural analysis at optical microscope and scanning electronic microscope were realized. Chemical analyzes of the material as well as its layer by EDS were evaluated. The results showed brittle fracture of the material by stress corrosion cracking (SCC) due to the conditions which it was subjected, both mechanical and environmental, proving the inefficiency of the galvanized layer.

Key words: SCC; Drawn; Stainless steel; Austenitic.

¹ *Contribuição técnica ao 68º Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

² *Graduando em Engenharia de materiais, Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, SE, Brasil.*

³ *Engenheiro mecânico. Dr. Professor adjunto da Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, SE, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis são bastante utilizados, desde na função de utensílios de cozinha até em aplicações aeroespaciais. Possui o cromo na sua composição, que confere a propriedade inoxidável para o ferro. Ainda, para melhorar algumas propriedades específicas, elementos de liga, como o molibdênio, podem ser acrescentados.⁽¹⁾

As mudanças microestruturais e tensões residuais introduzidas pela deformação afetam o comportamento dos aços inoxidáveis na corrosão, pois tanto a composição quanto a espessura da camada de óxido podem ser afetadas pelo trabalho a frio, como na trefilação, através das tensões residuais geradas, que também vão influenciar no comportamento eletroquímico.^(1,2)

A corrosão sob tensão (CST) resulta da ação combinada de uma tensão de tração que está sendo aplicada e um ambiente corrosivo, onde ambas as influências são necessárias. A tensão que produz o trincamento devido à corrosão não precisa ser aplicada externamente, podendo ser uma tensão residual.⁽³⁾

A corrosão por pites acelera o processo de CST.⁽⁴⁾ O aço inoxidável, mesmo em diferentes condições metalúrgicas, é suscetível a CST em todas as condições clorídricas na condição de corrosão livre. Os pites se propagam na direção normal à tração e, gradualmente, se tornam trincas intergranulares, ao longo de fendas favoráveis às orientações dos grãos.⁽⁵⁾

O presente trabalho avalia as causas de ruptura em arame de cerca elétrica, que operava numa residência à beira-mar, ou seja, em condições agressivas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Partes do arame foram utilizadas para as análises (Figura 1).



Figura 1. Segmentos de arame recebidos para análise. O rolo mais volumoso, visto na parte superior à esquerda da figura, é um rolo substituto e não faz parte desta análise.

2.1 Análise em Baixo Aumento (Lupa)

Cada segmento fraturado de arame foi encaminhado para análise das características macroscópicas de fratura. Foram observadas todas as superfícies de fratura em lupa (Zeiss Stemi200C, câmera AxioCam ERc 5s). O aspecto da parede do arame também foi observado.

2.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A partir da análise em Lupa, 4 amostras nas quais foram percebidas fraturas mais planas (frágeis) seguiram para análise em MEV (JEOL Carry-Scape JCM-5700).

A primeira análise foi feita sem limpeza no material, que apresentou produtos de corrosão sobre a fratura. A segunda análise foi feita após a imersão de 15 segundos em reagente Clark (HCl concentrado + 50 g/L SnCl₂ + 20 g/L SbCl₃) para retirada da camada de óxidos e a possibilidade de observação dos micromecanismos. A sequência de limpeza seguiu até um total de 300 segundos.

2.3 Metalografia

As amostras analisadas em MEV foram embutidas em resina polimérica para análise de sua seção longitudinal no microscópio óptico (Zeiss Axio Scope.A1). As amostras foram preparadas conforme procedimentos usuais, ou seja, foram lixadas e polidas em pasta de diamante de até 1 micron. O ataque das amostras foi feito com Água Régia (75% HCl, 25% HNO₃).

2.4 Microdureza

Foi analisada a dureza na seção longitudinal das amostras em microdurômetro na escala Vickers (Shimadzu HVM Micro Hardness Tester). Foram feitas 10 endentações aleatórias nos arames previamente embutidos, com carga de 1,961 N por 15 segundos.

3 RESULTADOS

3.1 Análise em Baixo Aumento (Lupa)

A partir da lupa foram identificadas a corrosão ao longo da superfície do arame (Figura 2) e as fraturas planas de segmentos do arame fraturado (Figura 3).



Figura 2. Modo de fratura plana precedida de pouca deformação plástica e corrosão ao longo da superfície de um segmento do arame.

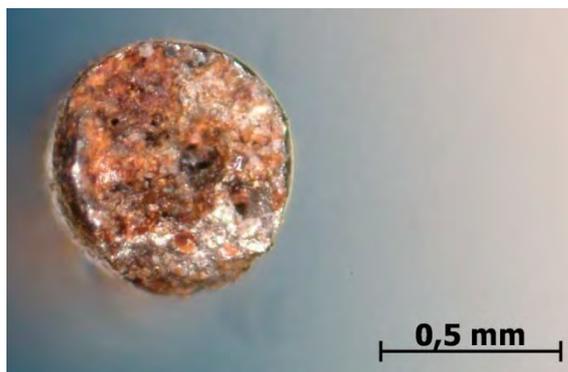


Figura 3. Aspecto da superfície de fratura plana vista em baixo aumento. Observam-se produtos de corrosão (tonalidade escura) sobre a fratura.

3.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As superfícies planas de fratura dos segmentos foram vistas com maior ampliação em MEV. Devido à grande quantidade de produtos de corrosão depositados nas superfícies, foi feito um trabalho de limpeza em etapas sucessivas de 15 segundos de ataques por imersão no reativo de Clark (Figura 4).

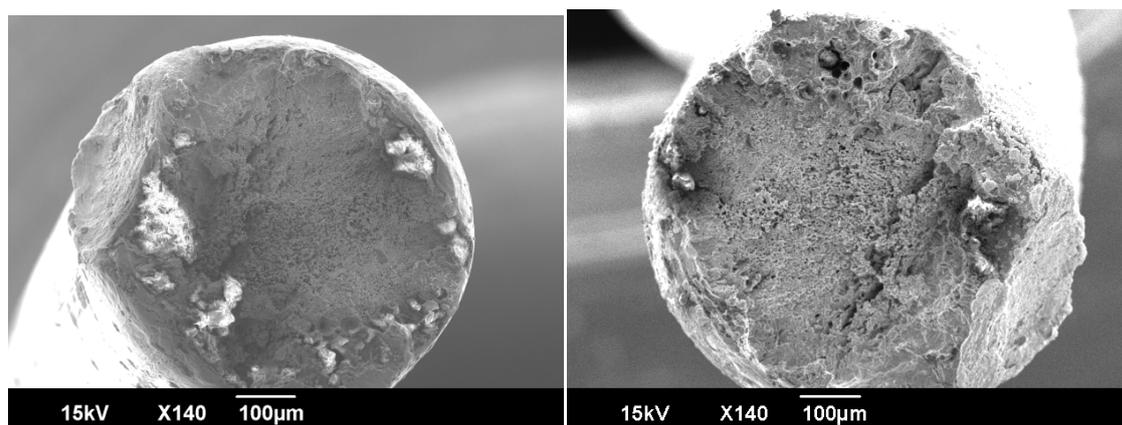


Figura 4. Superfície do fio antes e depois da limpeza com Clark, respectivamente.

As fraturas planas apresentaram micromecanismos diversos. Foi possível identificar a região de início e final da trinca nos segmentos analisados, devido aos aspectos distintos dos micromecanismos de fratura. A Figura 5 apresenta um dos segmentos analisados. Observou-se aspecto de estrias de propagação de trinca a partir da região de início (Figuras 5c, 5d, 5e). A região final de fratura é definida por micromecanismos de coalescimento de microcavidades (dimples), indicativos de maior nível de deformação plástica (Figura 5b). A Figura 6 mostra outro segmento analisado. Observam-se dimples rasos, algumas facetas intergranulares e marcas de propagação de defeito. A Figura 7 mostra uma região de fratura de outro segmento onde há a presença de facetas intergranulares entre uma zona de dimples e outra de propagação.

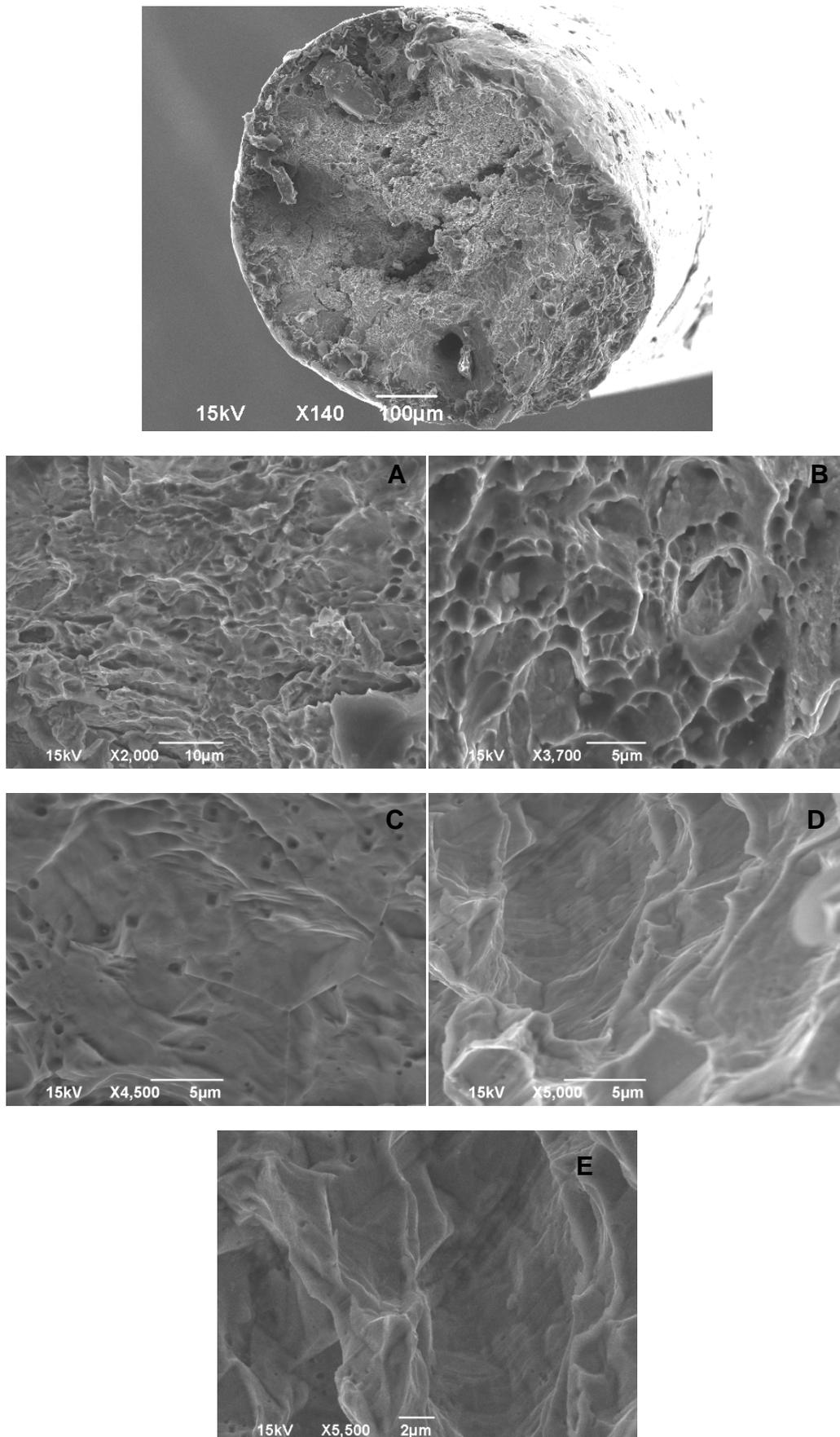


Figura 5. Regiões ampliadas mostrando os micromecanismos de ruptura de A a E. Ataque por 90 s de imersão em Clark.

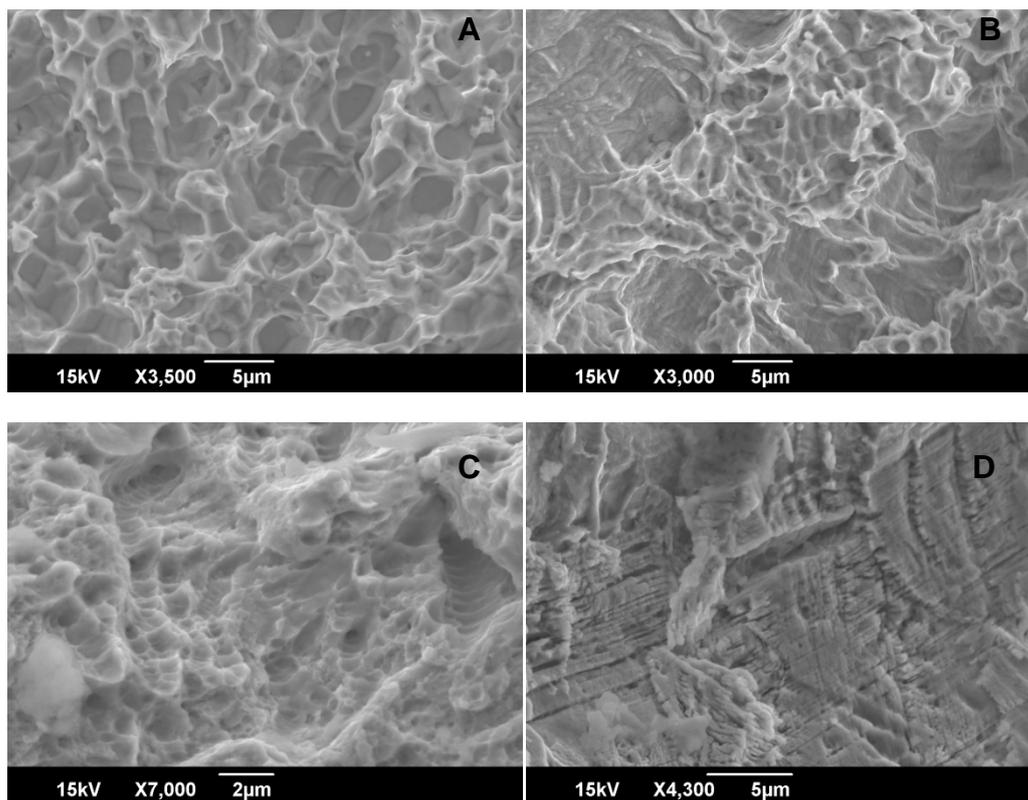
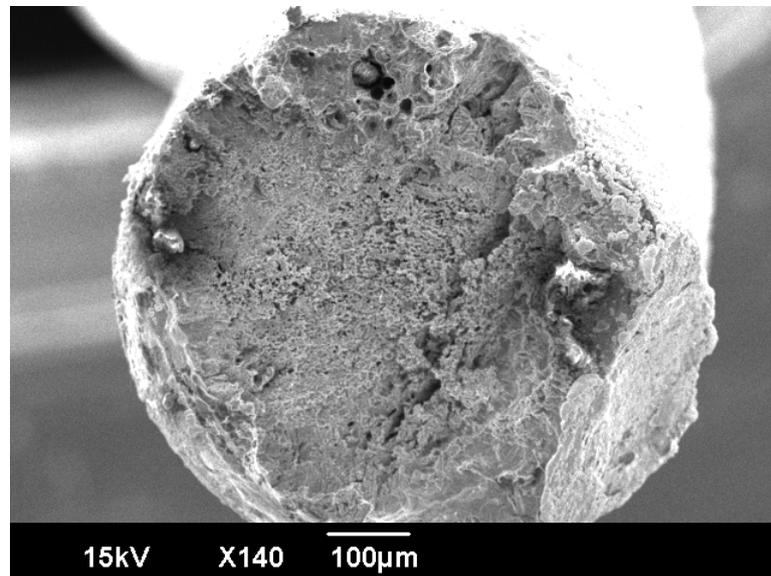


Figura 6. Regiões ampliadas mostrando os micromecanismos de ruptura. (A e B) após 15 s de imersão em Clark; (C) após 30 s; (D) após 150 s.

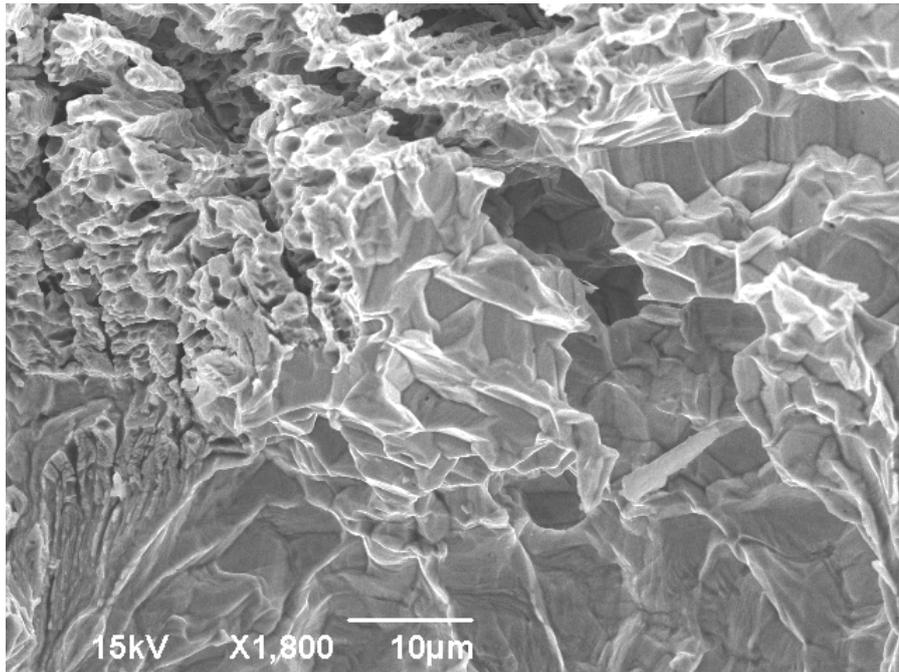


Figura 7. Facetas intergranulares, dimples e zona de propagação de defeito sobre a superfície de fratura de um segmento de arame. Imagem obtida em MEV após imersão por 90s em Clark.

3.3 Metalografia

A metalografia revelou a formação de diversas trincas transversais com deposição de produtos de corrosão. As trincas (Figura 8) apresentam aspecto ramificado característico de corrosão sob tensão. Além disso, a Figura 8 indica que há uma camada superficial de proteção galvânica mal aderida no arame. O arame apresenta uma microestrutura constituída de grãos poligonais austeníticos, típica de aços inoxidáveis austeníticos e a presença de linhas que indicam o fluxo de trefilação (Figura 9).

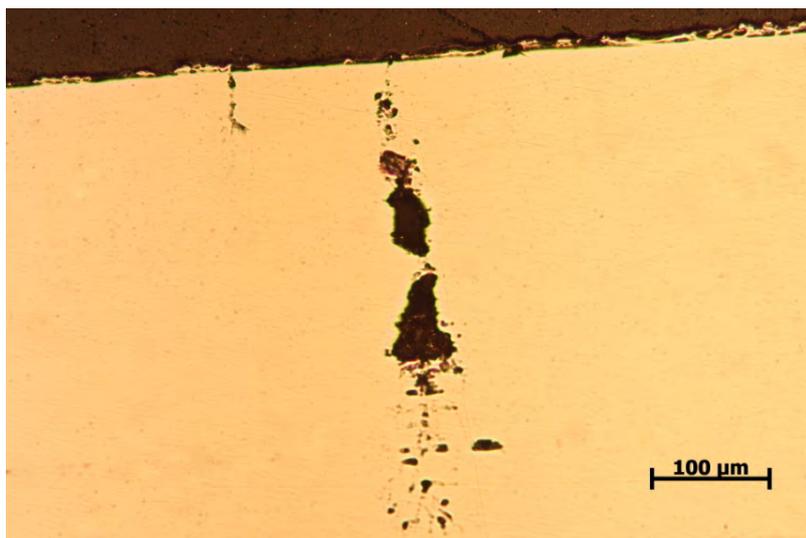


Figura 8. Trincas transversais ramificadas características de corrosão sob tensão.

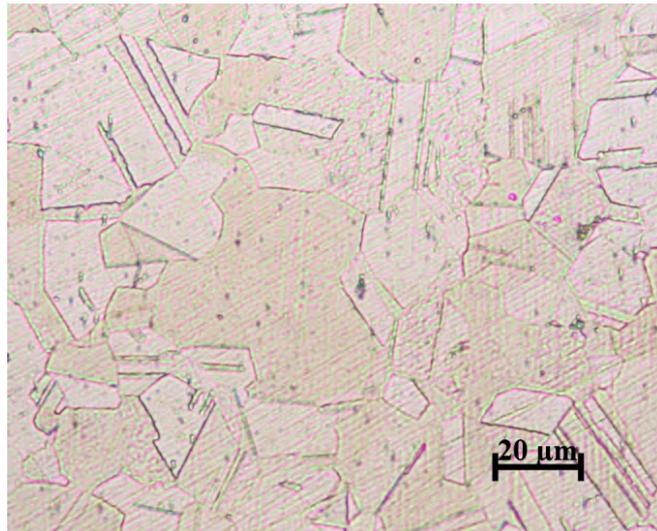


Figura 9. Microestrutura formada por grãos poligonais austeníticos (aumento de 500x).

3.4 Microdureza

Tabela 1. Valores encontrados para microdureza Vickers. Carga: 1,961 N; Tempo: 15 s

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valor (Vickers)	242	242	217	241	235	219	213	227	228	227
Média	229									
Desv. Pad.	10,7									

4 DISCUSSÃO

A fratura mecânica esperada para este material seria precedida de extensa deformação plástica, visto que a granulometria do material é refinada e a dureza é baixa. Portanto, as trincas planas (aspecto frágil), precedidas de pouca deformação plástica foram incentivadas pelo processo de CST.⁽³⁾

O aço inoxidável austenítico é susceptível a corrosão sob tensão em ambiente contendo cloretos (NaCl) típico de lugares próximos ao mar.⁽⁶⁾ A tensão, neste caso, pode ser originada do processo de fixação do arame na cerca, seu peso próprio considerando-se o vão entre restrições e devido a ação do vento.

Estrias de propagação como as observadas na análise em MEV são um importante indício do processo de CST, assim como o fato de ter sido encontrado micromecanismos mistos que vão desde dimples rasos (de baixa deformação) até fratura intergranular e o aspecto ramificado das trincas. A mudança de micromecanismos é função de fatores tais como a razão de carregamento imposta e o nível de intensidade de tensões na ponta do defeito.⁽⁷⁾

A camada protetora, desgastada, facilitou o processo de corrosão do material.

5 CONCLUSÃO

A partir da análise feita, pode-se concluir que o arame se rompeu devido à ação corrosiva do meio, aliada às tensões residuais do processamento do arame e às condições de tração no qual operava o material. Além disso, o processo foi incentivado pela falta de aderência da camada protetora, onde a formação de lascas e escamações expôs o substrato metálico à ação do meio, aumentando o potencial de corrosão.

Agradecimentos

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

REFERÊNCIAS

- 1 LO, K. H.; SHEK, C. H.; LAI, J. K. L. Recent developments in stainless steel. *Materials Science and Engineering R*, v. 65, p. 39-104, 2009.
- 2 PADMANABHAN, R. et al. Influence of process parameters on the deep drawing of stainless steel. *Finite Elements in Analysis and Design*, v. 43, p. 1062-1067, 2007.
- 3 CALLISTER JR., W. D. *Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Abordagem Integrada*. Rio de Janeiro: LTC, 2006.
- 4 TSAI, W. T.; CHEN, M. S. Stress corrosion cracking behavior of 2205 duplex stainless steel in concentrated NaCl solution. *Corrosion Science*, v. 42, p. 545-559, 2000.
- 5 GOUDA, V. K.; EL-SAYED, H. A. Stress corrosion cracking of 410 stainless steel in aqueous chloride solutions. *Surface Technology*, v. 18, p. 327-339, 1982.
- 6 PEGUET, L.; MALKI, B.; BAROUX, B. Influence of cold working on the pitting corrosion resistance of stainless steels. *Corrosion Science*, v. 49, p. 1933-1948, 2007.
- 7 NOVOTNY, R. et al. Stress corrosion cracking susceptibility of austenitic stainless steels in supercritical water conditions. *Journal of Nuclear Materials*, v. 409, p. 117-123, 2011.