

ANÁLISE DE FALHA EM IMPLANTE ORTOPÉDICO DE FIXAÇÃO DE FRATURA ÓSSEA¹

Raquel Reis Bezerra²
Ruben Rosenthal³
Ivani de Souza Bott⁴

Resumo

Este trabalho tem por objetivo estudar as causas que levaram à falha em serviço um implante ortopédico de fixação interna de fratura. As peças constituintes do implante fabricado em aço inoxidável fornecidas para exame foram a placa e quatro parafusos, sendo que dois destes apresentavam fratura enquanto que os restantes não evidenciaram danos aparentes. Para análise das causas da falha foram examinadas as regiões de fratura dos parafusos, e os orifícios da placa, ficando evidenciado que a fratura dos parafusos ocorreu por fadiga. A análise incluiu também a caracterização microestrutural do aço, para os diversos componentes do implante, revelando que a liga, um aço do tipo 316L, apresentou uma microestrutura típica de austenita deformada a frio. Embora a estrutura com deformação a frio eleve os índices dos limites de escoamento, de resistência à tração e à fadiga, o aço fica mais suscetível ao entalhe e com isto pode ficar prejudicada a resistência à fadiga. Embora nem todos os exames necessários à avaliação tenham sido realizados, algumas possíveis causas para a ocorrência da fratura são discutidas. As conclusões foram dificultadas, em particular, pela inexistência de radiografias que pudessem documentar uma possível ocorrência de fixação instável do implante, uma das principais causas que levam à falha por fadiga de parafusos de fixação.

Palavras-chave: Análise de falha; Implante ortopédico; Aço inoxidável.

FAILURE ANALYSIS OF ORTHOPEDIC IMPLANTS FOR INTERNAL FIXATION

Abstract

The present work aim the investigation of the causes that resulted in the failure of an stainless steel orthopedic internal fixation implant. The analysis included the examination of the fixation plate and four screws, two of which broke at different thread levels. The observation of the fracture surface led to the conclusion that the screws failed by fatigue. The microstructural characterization of the AISI 316L steel has shown a highly deformed austenitic structure. Although the cold-worked structure increases yield, ultimate tensile and fatigue stress, it is notch-sensitive thus losing in fatigue strength when comparing with the annealed condition. The lack of radiographs has not allowed the indication whether unstable fixation of the implant has in some extent contributed to the fatigue failure. Other possible causes are discussed.

Key-words: Failure analysis; Orthopedic implant; Stainless steel.

¹ Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.

² Estudante de Graduação de Engenharia Metalúrgica e de Materiais – UENF, Bolsista PIBIC/UENF

³ PhD, Professor do LAMAV/UENF

⁴ PhD, Professora do DCMM/PUC-Rio

1 INTRODUÇÃO

Os implantes ortopédicos são dispositivos artificiais montados no sistema do esqueleto do corpo humano ou animal para os propósitos de suporte do osso ou substituição do osso ou juntas. Eles se dividem nas categorias de próteses e implantes de fixação interna. As próteses são usadas para substituição de juntas ou ossos e podem ser mantidas no corpo pelo resto da vida. Já os implantes de fixação interna são usados para manter na posição correta as partes do osso que está sendo reconstituído no tratamento da fratura. Nesta modalidade podem ser incluídos parafusos, placas, hastes e pinos. Estas peças ficam sujeitas à ação corrosiva do ambiente interno do corpo, bem como a esforços mecânicos que podem levar à falha do implante, antes que seja alcançada a finalidade pretendida. Estas falhas podem vir a ocorrer devido a defeito de projeto, defeito de fabricação, danos ao implante durante sua colocação e aplicação de carga excessiva pelo portador do implante.

Os tipos de fraturas encontradas em parafusos de fixação são por mecanismo de cisalhamento ou por fadiga, estando relacionado o primeiro com a repetição da aplicação da força mecânica durante a colocação do parafuso ou um posicionamento excessivamente oblíquo do mesmo, enquanto que o segundo pode estar relacionado a várias causas, incluindo fixação instável e a existência de entalhes que contribuam para o início da trinca que leva à fratura. Estes entalhes podem ser pites de corrosão ou outros tipos de danos. Os parafusos de implante em aço inoxidável austenítico do tipo 316L são comumente utilizados no estado de deformação a frio,⁽¹⁾ mas, nesta condição, o material se torna sensível ao entalhe, o que faz diminuir a resistência à fadiga de 760 para 170MPa, valor inferior à resistência de 230MPa característica da estrutura austenítica recosida.⁽²⁾

O atual trabalho tem por objetivo investigar as causas que levaram à falha um implante interno de fixação ortopédica de aço inoxidável, que precisou ser retirado do corpo humano prematuramente devido à fratura de dois dos parafusos de fixação. A inexistência de radiografias do paciente mostrando a região do implante antes de sua remoção, no entanto, prejudica uma análise mais conclusiva.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O material utilizado na realização deste trabalho foi um implante de fixação interna fraturado, constituído pela placa de fixação e os parafusos correspondentes, sendo dois apresentando fratura e dois sem fratura ou evidência aparente de danos. Não foi, no entanto, disponibilizado o histórico clínico ou radiografias do paciente. Os aços normalmente utilizados neste tipo de implante são do tipo 316L, cuja composição é especificada pela norma ASTM F138 e apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Composição para o aço inoxidável 316L (% em massa)

C	Mo	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	N	Cu
0,030	2,00	0,025	0,010	0,75	17,00- 19,00	13,00- 15,00	2,25- 3,00	0,10	0,50

A investigação para a identificação da origem da falha que levou à fratura incluiu, até o momento, o exame macroscópico da placa, o exame da superfície de fratura e a caracterização microestrutural e estrutural da liga através do exame de amostras dos parafusos fraturado e não-fraturado por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e análise química (microanálise) por espectroscopia de dispersão de energia (EDS).

Inicialmente foi realizada uma desinfecção prévia da placa e dos parafusos de fixação com uma solução de formol (30%) durante 48 horas, para que agentes patogênicos provenientes de tecido humano, que poderiam estar presentes, fossem removidos, seguida de limpeza com álcool etílico em banho no ultra-som.

Após a etapa de limpeza, passou-se ao exame macroscópico da placa e dos parafusos fraturados com o auxílio de um estéreo-microscópio. Em seguida, foi realizado o exame da superfície de fratura dos parafusos no MEV.

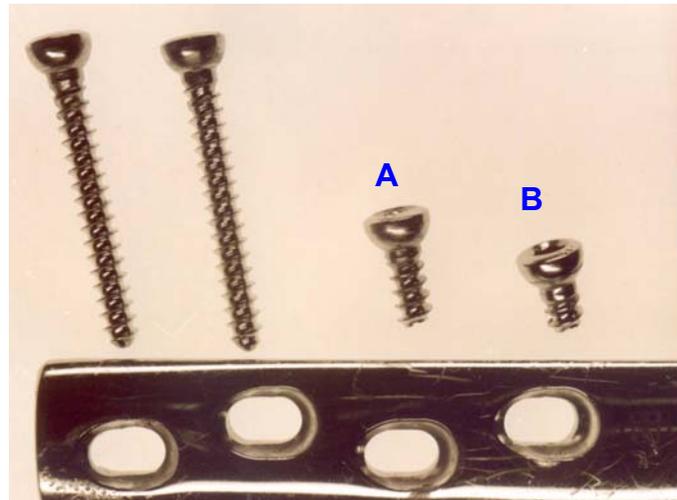


Figura 1: Fotografia do implante fornecido para estudo

Na etapa de caracterização microestrutural da liga foram utilizadas amostras provenientes de um parafuso fraturado e um não-fraturado, que foram preparadas metalograficamente recebendo polimento final em pasta abrasiva de 1/10 μ m alumina. Dois tipos de ataque metalográfico foram utilizados, sendo um químico (com uma solução de HCl, HNO₃ e FeCl₃) e o outro eletrolítico (com uma solução aquosa a 10% de ácido oxálico, com uma tensão de 6V). Após a preparação metalográfica as amostras foram levadas ao MEV para assim realizar a caracterização microestrutural e identificação da composição da liga por EDS.

Também realizou-se um teste simples de magnetismo, de forma a verificar a presença significativa de fases ferromagnéticas como a martensita e a ferrita delta.

3 RESULTADOS

3.1 Análise Química

Ambos os parafusos, fraturado e não-fraturado, foram submetidos à microanálise por EDS. Os resultados obtidos neste exame, e que correspondem a média de três análises em cada amostra, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Composição química dos parafusos obtida por EDS

	Fe (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo(%)
Parafuso fraturado	65,28	19,01	13,64	2,8
Parafuso não-fraturado	64,90	18,98	14,15	1,95

Estes valores se enquadram na faixa de composição do aço inoxidável 316 e, no caso de conter teor de carbono menor que 0,08%, correspondem a variante 316L (Tabela 1), de melhor resistência à corrosão intergranular e por pites. Não foi realizada a análise de elementos minoritários como S, Mn e outros, assim como também não foi realizada a análise do teor de C. Desta forma, não pode ser garantida a total conformidade com a norma ASTM F138.

3.2 Exame Macroscópico

O exame das peças do implante em um estéreo-microscópio não revelou a presença de danos nas cabeças dos parafusos, mas indicou a existência de riscos e danos no interior dos orifícios da placa, cuja origem não pode ser determinada.

3.3 Análise da Fratura

Na Figura 2 temos a vista lateral do parafuso fraturado A mostrado na Figura 1. Em a) é possível se observar a presença de ranhuras que devem estar relacionadas com o processo de usinagem da rosca do parafuso; em b) é evidenciada em detalhe uma trinca paralela à superfície de fratura, presente na região da ranhura selecionada em a). É comum a formação de trincas secundárias de fadiga em plano paralelo ao da falha.

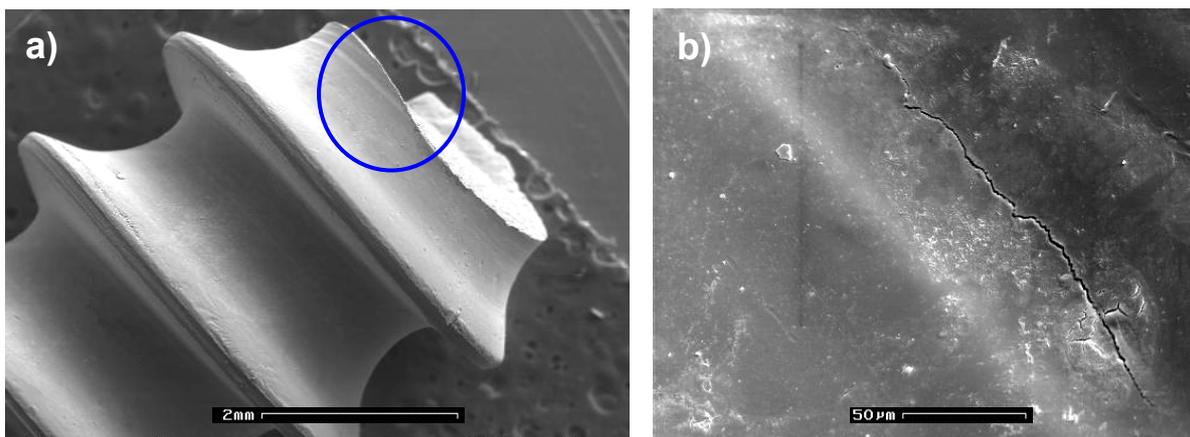


Figura 2: Micrografias obtidas por MEV da vista lateral da fratura do parafuso A. Em a) mostrada uma ranhura de usinagem; em b) fica evidenciada uma trinca próxima à ranhura na região selecionada em a).

A Figura 3 mostra em a) a vista lateral do parafuso fraturado B; em b) fica evidenciada a presença de uma trinca paralela à superfície de fratura na região selecionada em a), bem como de pequenos entalhes causando danos à superfície do parafuso.

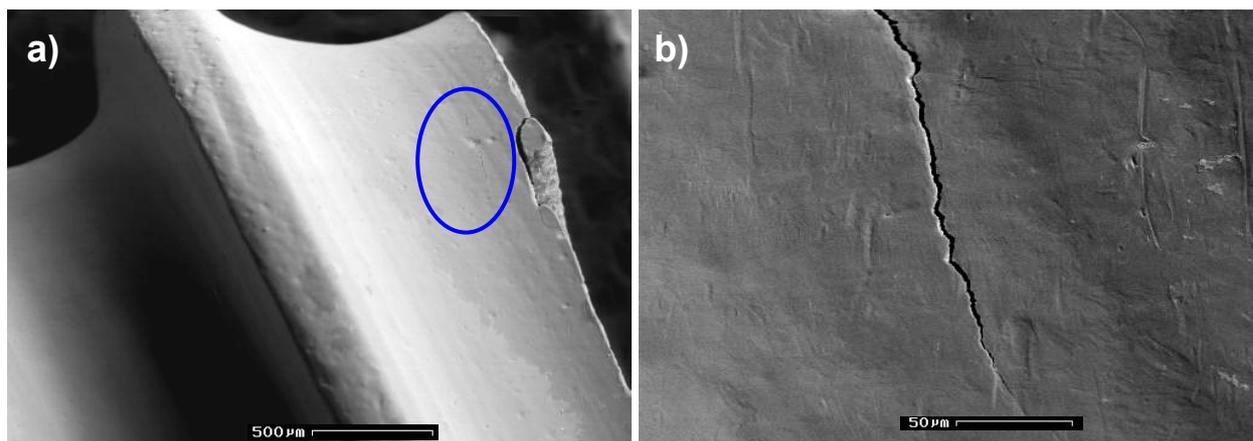


Figura 3: Micrografias obtidas por MEV da vista lateral da fratura do parafuso B. Em a) ranhuras de usinagem estão presentes, próximas à superfície de fratura; em b) é mostrada em detalhe a região selecionada em a), revelando a presença de trinca e pequenos entalhes.

A Figura 4 mostra a superfície de fratura dos parafusos. Em ambas fractografias é possível observar a orientação (da parte superior para a inferior das imagens) de estrias associadas à propagação da trinca e que são características do mecanismo de fadiga, o qual levou, portanto, à falha dos parafusos.

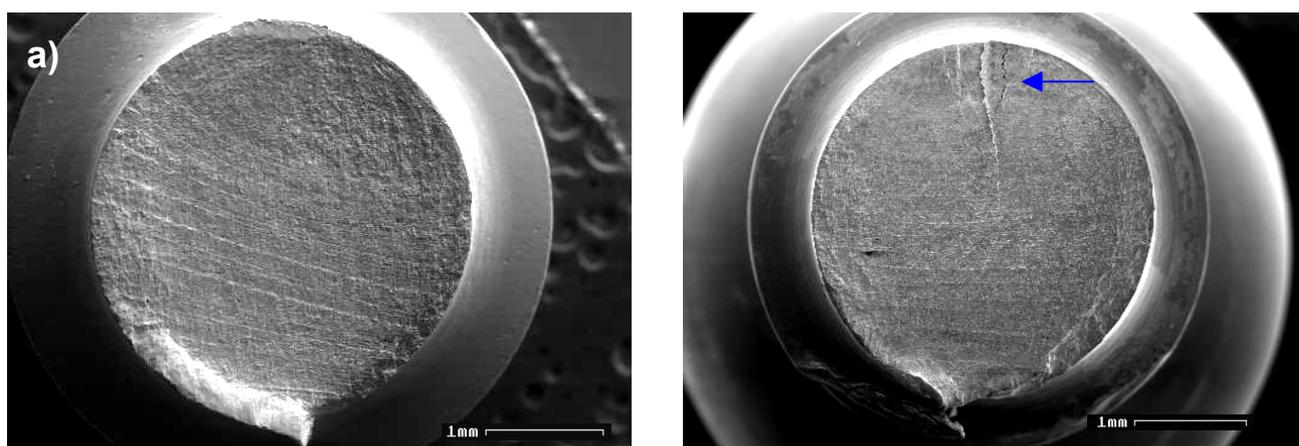


Figura 4: Fractografias obtidas por MEV da superfície de fratura dos dois parafusos fraturados; em a) estrias associadas à propagação da trinca podem ser observadas no parafuso A; em b) além das estrias de propagação da trinca, pode ser observada uma trinca propagada perpendicularmente à superfície de fratura do parafuso B.

3.4 Caracterização Microestrutural

A Figura 5 apresenta as micrografias da microestrutura dos parafusos fraturado e do não-fraturado, após ataque eletrolítico com uma solução de ácido oxálico. As micrografias obtidas mostram, em ambos os casos, uma estrutura típica de aços austeníticos que passaram por deformação a frio. Não foi possível, através deste reagente ou do uso do reagente químico com base na mistura de HCl, HNO₃ e FeCl₃, comprovar a ausência de ferrita delta, fase cuja presença no aço 316 deve ser evitada por ser ferromagnética e por tornar o aço mais suscetível à corrosão. As micrografias mostram a presença de muitas cavidades, que podem ser pites de corrosão causados pelo reagente utilizado no ataque metalográfico.

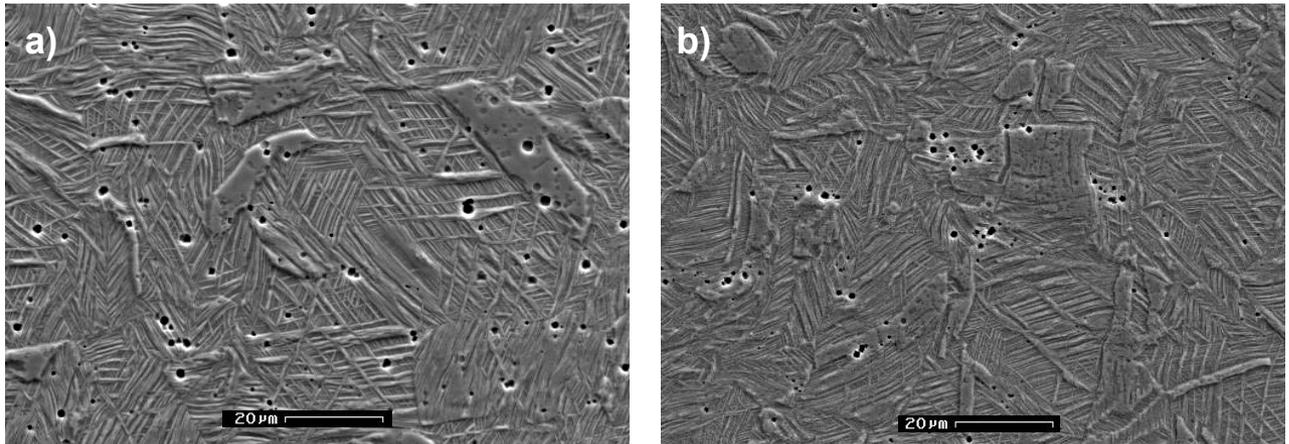


Figura 5: Micrografias obtidas por MEV da microestrutura da seção interna dos parafusos após ataque eletrolítico: fraturado em a); e não-fraturado em b).

4 DISCUSSÃO

O exame fractográfico dos parafusos indicou que a falha dos mesmos se deu pelo mecanismo de fadiga. Algumas possíveis causas da ocorrência deste tipo de falha podem ser sugeridas; no entanto, a inexistência de radiografias do paciente mostrando o implante “in situ”, prejudica confirmar se ocorreu fixação instável dos parafusos, o que poderia levar à falha por fadiga dos mesmos, mesmo quando o aço não apresenta defeitos estruturais ou de fabricação.⁽²⁾ A presença de alguns danos no interior dos orifícios da placa de fixação poderia sugerir um certo grau de instabilidade na fixação dos parafusos. Estes danos podem, no entanto, ter ocorrido no próprio processo de fabricação da placa ou na remoção do implante.

Em determinadas circunstâncias, mesmo uma pequena instabilidade na fixação poderia levar à falha por fadiga. Um fator agravante seria o fato do aço austenítico trabalhado a frio ser mais suscetível ao entalhe,⁽²⁾ podendo reduzir consideravelmente, desta forma, a elevada resistência à fadiga que seria concedida pela estrutura deformada.

As micrografias mostram a presença de muitas cavidades, que podem ser pites de corrosão causados pelo reagente utilizado no ataque metalográfico, o que indicaria a tendência da liga a formar pites em presença de fluidos do corpo humano, que atuando como entalhes, passam a ser pontos preferenciais para o surgimento de trincas de fadiga. A liga 316L é uma variante de baixo carbono da liga 316, com composição de Cr e Mo indicada para aumentar a resistência à corrosão por pites e fundida a vácuo para melhorar a presença de impurezas.⁽¹⁾ Este material deveria estar praticamente livre de inclusões, que em geral contém S, elemento que faz baixar à resistência à corrosão por pites.⁽³⁾ A presença das cavidades após ataque metalográfico pelos dois reagentes testados precisa ser, portanto explicada. A presença de ranhuras de usinagem verificada nas Figuras 2 e 3, bem como de pequenos danos superficiais no interior das roscas dos parafusos (Figura 3) também pode funcionar como entalhe, produzindo efeito semelhante ao de pites de corrosão na iniciação de uma fratura por fadiga.

5 CONCLUSÃO

Pelos resultados obtidos no presente estudo ficou evidenciado que a falha de dois parafusos do implante de fixação de fratura óssea ocorreu por fadiga. Apesar da estrutura austenítica deformada a frio apresentada pelos parafusos ser em geral largamente utilizada em implantes de fixação, esta estrutura seria altamente suscetível ao entalhe, o que pode ter contribuído para o desenvolvimento da falha por fadiga das peças em presença de pites de corrosão ou de danos superficiais de usinagem nas roscas dos parafusos. A inexistência de radiografias do paciente não permite comprovar se ocorreu fixação instável dos parafusos, que seria outro fator a contribuir para a ocorrência da falha por fadiga.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao técnico da oficina de metalografia do LAMAV Ronaldo Quintanilha Gomes, pela colaboração prestada no decorrer do projeto.

REFERÊNCIAS

- 1 Davis, J.R. Metallic Materials In: Handbook of Materials for Medical Devices, ASM International, The Materials Information Society, Ohio, 2003, cap. 3, p.26.
- 2 Davis, J.R. Failure Analysis of Metallic Orthopedic Implants. In: Handbook of Materials for Medical Devices, ASM International, The Materials Information Society, Ohio, 2003, cap. 5, p. 94, 100, 117.
- 3 Davis, J.R. Corrosion of Metallic Implants and Prosthetic Devices. In: Handbook of Materials for Medical Devices, ASM International, The Materials Information Society, Ohio, 2003, cap. 4, p.54.