

# ANÁLISE DE FALHA METALÚRGICA EM PARAFUSOS DE CASCA ACETABULAR METÁLICA<sup>1</sup>

*Thiago Figueiredo Azevedo<sup>2</sup>*

*Silvando Vieira dos Santos<sup>2</sup>*

*Carlos Eduardo Celestino de Andrade<sup>2</sup>*

*Telmo Roberto Strohaecker<sup>3</sup>*

*Sandro Griza<sup>2</sup>*

*Marcelo Massayoshi Ueki<sup>2</sup>*

## Resumo

Parafusos são, muitas vezes, usados para aumentar a estabilidade da fixação da casca acetabular metálica em artroplastia total do quadril não cimentada. Este estudo teve como objetivo identificar os fatores metalúrgicos associados a dois casos de fraturas de parafusos de casca acetabular de artroplastia total do quadril revisadas prematuramente. Foram realizadas análises preliminares das radiografias e das peças revisadas. Os parafusos fraturados foram submetidos à análise de fratura, microsonda EDS e metalografias. Dois fatores foram identificados: microestrutura de liga de titânio consistindo em placas da fase alfa com camada rica em oxigênio e liga de Cr-Co com microestrutura dendrítica e formação de microrechupes desfavoravelmente alinhados.

**Palavras-chave:** Parafusos; Acetabulo; Fadiga.

## FAILURE ANALYSIS OF METALLURGICAL IN BOLTS SHELL ACETABULAR METALLIC

### Abstract

Screws are often used in total hip arthroplasty to increase the cementless acetabular metal backed fixation stability. This study aimed at identifying metallurgical factors related to metal backed screw fractures in two cases of premature total hip arthroplasty revision. It was performed a preliminary analysis of radiographs and retrieved parts. Fractured screws were subjected to fracture analysis, EDS microprobe and metallographic. A finite element analysis was performed to predict the stresses experienced by the screws. Two factors were identified: titanium alloy microstructure consisting of alpha phase plates with oxygen-rich alpha case and as cast Cr-Co alloy with dendritic microstructure and unfavorably aligned shrinkage formation.

**Keywords:** THA; Metal backed screws; Fatigue; Ti6Al4V; Cr-Co.

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

<sup>2</sup> *Engenheiro de Materiais, bolsista, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, Brasil.*

<sup>3</sup> *Engenheiro Metalúrgico, Professor pesquisador, Programa de Pós-Graduação em Metalúrgica, de Minas e Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

O modelo consagrado de substituição total do quadril consiste em uma haste femoral que apresenta uma cabeça esférica feita de aço inoxidável austenítico, liga de Cr-Co ou de Ti6Al4V, que mantém contato sob carregamento com um componente acetabular chamado de liner, de concavidade hemisférica feito de polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE), o que permite baixa fricção e imitar os graus de liberdade de um quadril sadio. O componente acetabular tem que ser bem fixado no quadril para assegurar estabilidade em longo prazo. Existem hoje dois conceitos de fixação do componente acetabular. A fixação mecânica, considerada como padrão de sucesso atual,<sup>(1)</sup> consiste em utilizar cimento ósseo para fixar o componente polimérico ao osso esponjoso da cavidade previamente preparada pelo cirurgião. No entanto, algumas dificuldades têm sido reportadas a este conceito, tais como o fato do sucesso ser dependente da técnica do cirurgião e o limite de tempo para concluir a operação, uma vez que o cimento ósseo ao polimerizar torna-se sólido e perde a capacidade de ser moldado rapidamente.<sup>(2)</sup>

Como alternativa, a técnica de fixação biológica consiste em acoplar o liner a umacasca hemisférica não cimentada, chamada de “metal backed”. A superfície externa do soquete é funcionalizada através de técnicas tais como *porouscoating*, *sinterizedbead*, plasma *spray* para favorecer o crescimento ósseo e então atingir a estabilidade em curto prazo. Esta opção protética foi desenvolvida pelas suas vantagens tais como maior rigidez, distribuição de tensões mais suave sobre a superfície de contato e devido a modularidade, que permite significativa flexibilidade nas cirurgias de revisão. A cavidade do osso sendo raspada com um raio de curvatura menor do que o da casca, produz uma condição de montagem sob pressão (*pressfit*). Quando ambas as partes tem a mesma curvatura, produz-se uma condição de montagem sem interferência (*exactfit*).<sup>(3)</sup>

Os parafusos são usados em alguns casos para amplificar a estabilização da fixação biológica. Em certos casos, quando o cirurgião considera que a casca está bem posicionada no osso, ele pode optar por não utilizar parafusos.<sup>(4)</sup> Quando há estabilidade em longo prazo do sistema, o limite da vida útil é definido pelo desgaste do componente polimérico, que deve ser então substituído antes que ocorra contato metal /metal.<sup>(5)</sup>

No entanto, alguns casos de falhas prematuras têm sido reportados<sup>(6-14)</sup> muitos deles associados a movimentos entre a casca metálica e o osso, o que vem a ser uma manifestação de soltura interfacial. Sendo assim, a integridade estrutural dos parafusos desempenha um papel importante no retardo do evento prematuro de falha.<sup>(15)</sup>

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram analisados casos de falhas de parafusos de fixação de dois componentes acetabulares metálicos, cada um de um paciente diferente (caso 1, paciente M.S.M., caso 2, paciente A.H.R.). Os materiais usados na fabricação dos componentes foram, respectivamente, liga de titânio Ti6Al4V e liga de Cr-Co, para os casos 1 e 2. As fraturas foram identificadas através de radiografias obtidas antes da revisão das substituições totais de quadril. Os elementos das reconstruções foram submetidos à limpeza em autoclave e em seguida análise visual preliminar. Os parafusos foram submetidos à análise da superfície de fratura em microscópio estereoscópico de baixo aumento e em microscópio eletrônico de varredura (SEM – Philips XL-20).

Foram realizadas análises qualitativas das ligas em microsonda EDS acoplada ao MEV. Finalmente, amostras metalográficas foram obtidas a partir de seções longitudinais dos parafusos e análises microestruturais foram realizadas em microscopia ótica.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Análises Preliminares

As análises radiográficas indicaram aspectos similares para os dois casos. Observou-se a ocorrência de soltura (*loosening*) dos componentes acetabulares e a ruptura de parafusos de fixação. A radiografia obtida antes da revisão do caso 1 mostra desgaste do liner, uma vez que a cabeça está deslocada para cima na direção proximal (Figura 1). Ocorreu giro do componente acetabular devido à ruptura de um parafuso de fixação na parte inferior (distal) do componente acetabular. Pela imagem é possível observar que a ponta do parafuso rompido ficou alojada no osso. A análise visual indicou que ambos componentes acetabulares apresentam superfície externa porosa. Os *liners* apresentavam algum nível de desgaste, porém ainda não haviam atingido o contato metal/metal (Figura 2). Ocorreu a ruptura na seção transversal correspondente ao primeiro filete a partir da cabeça em um parafuso do caso 1 e em dois do caso 2. Para o caso 2 também foram observadas rupturas da crista de filetes no terceiro parafuso (Figura 3). Outro aspecto visível são ranhuras longitudinais ao eixo do parafuso e trincas secundárias. Os demais componentes, cabeça e haste femoral, não apresentaram sinais de dano significativo relacionados à revisão.



**Figura 1.** Radiografia obtida antes da revisão do caso 1. Observa-se o giro do componente acetabular. A ponta do parafuso distal fraturado está alojada no osso do acetábulo (seta).



**Figura 2.** Imagens mostrando a esquerda a superfície porosa do componente acetabular do caso 2, e a direita a concavidade do liner do caso 1. Ambos componentes apresentam diâmetro externo de 50 mm.

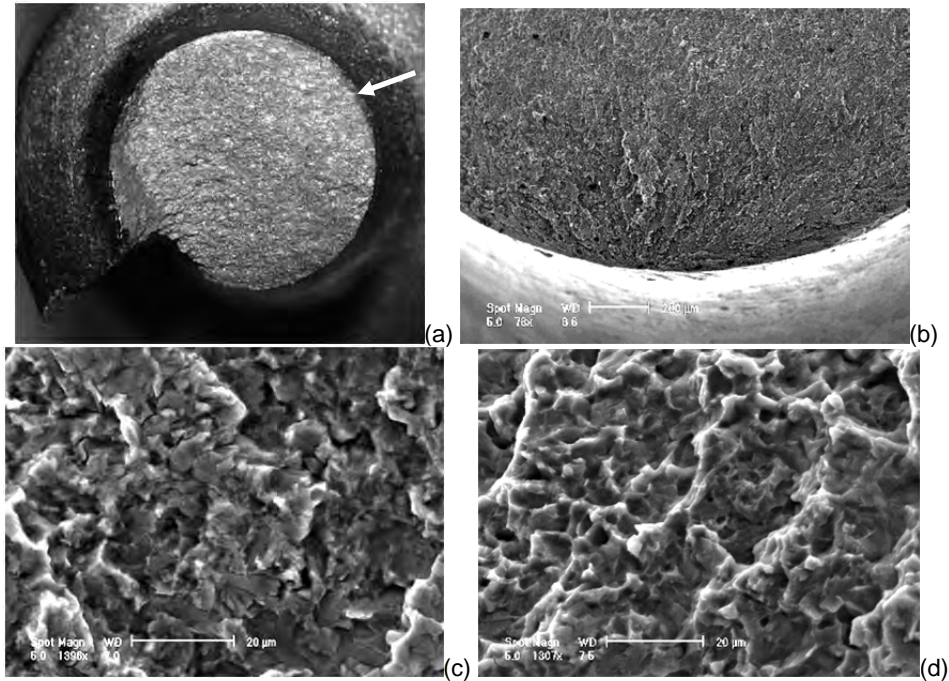


**Figura 3.** A imagem acima a esquerda mostra o parafuso do caso 1 rompido. A fratura ocorreu na região do primeiro filete. A imagem acima a direita mostra os parafusos do caso 2: a seção transversal dos dois parafusos rompidos e o parafuso remanescente de 24 mm de comprimento. A imagem abaixo mostra rupturas em cristas de filetes do parafuso remanescente. Ranhuras longitudinais também podem ser vistas.

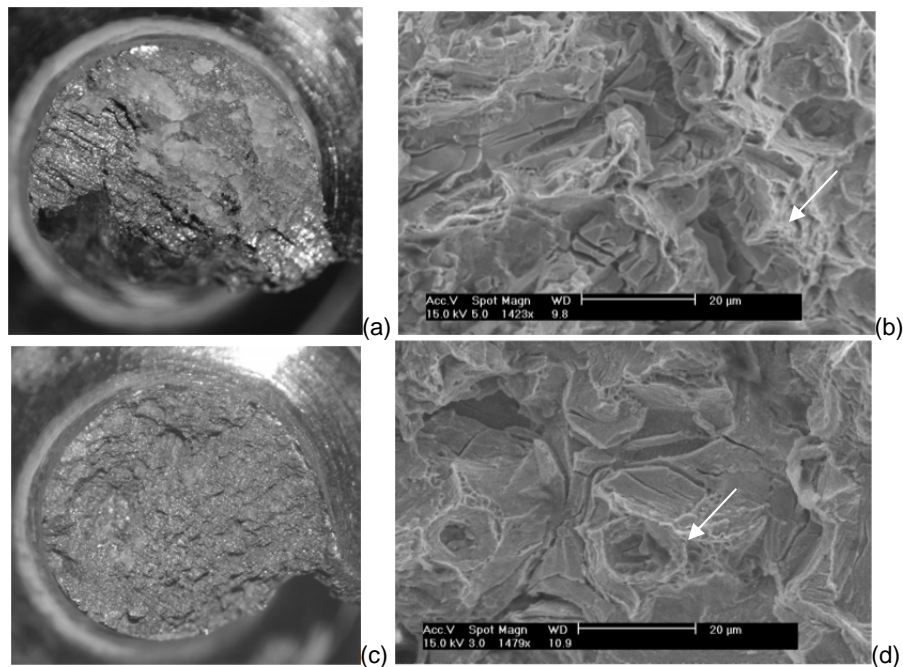
### 3.2 Análise de Fratura

O parafuso do caso 1 apresentou fratura por solicitação de flexão unidirecional. A fratura iniciou em uma região específica junto ao fundo de filete e propagou por uma grande extensão até a ruptura final. Esta foi associada ao cisalhamento da seção do filete. Em microscópico eletrônico foi possível identificar um aspecto de propagação por fadiga na superfície de fratura próxima a região de início e coalescimento de microcavidades próximo a região do final da propagação (Figura 4). Os dois parafusos rompidos na seção transversal do caso 2 apresentaram um aspecto de fratura rugosa, frágil, comumente observada em casos de fratura de materiais de granulometria grosseira. Observaram-se também degraus retos em ambos os parafusos. Esses degraus apresentam similaridade com marcas de praia, no entanto são retos e não semi-elípticos como se espera das marcas de praia. Em microscópio eletrônico verificou-se a separação de partículas sem evidência de deformação, a

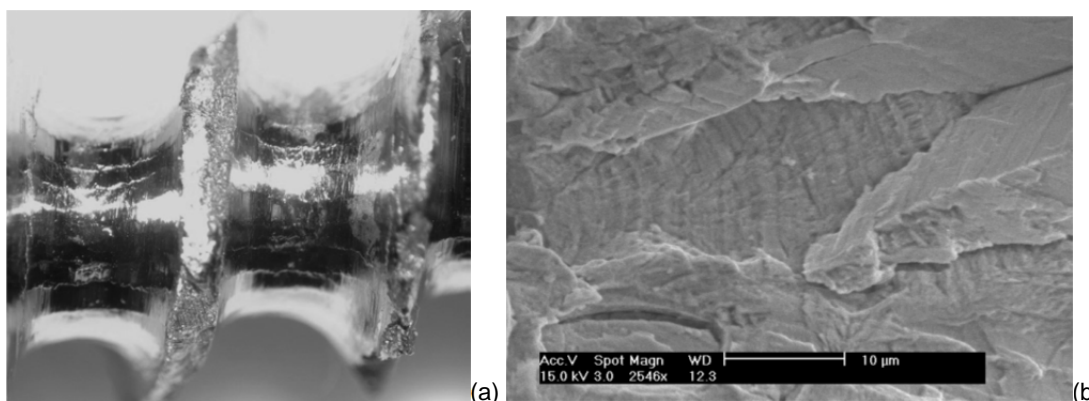
aparência de fadiga, bem como a formação de coalescimento de microcavidades (Figura 5). O parafuso remanescente do caso 2 apresentou fraturas nas cristas dos filetes. Em maior aumento observa-se a formação de fratura interdendrítica e estrias que indicam propagação de fadiga (Figura 6). A Figura 6 também evidencia ranhuras transversais e trincas secundárias na crista de filetes desse parafuso.



**Figura 4.** Imagens do parafuso do caso 1: (a) aspecto liso da superfície de fratura. A seta indica a região de início da fratura; (b) linhas radiais emanando a partir do início da fratura; (c) aspecto de propagação por fadiga na superfície próxima ao início da fratura; e (d) formação de dimples na superfície próxima do final da propagação de fadiga.



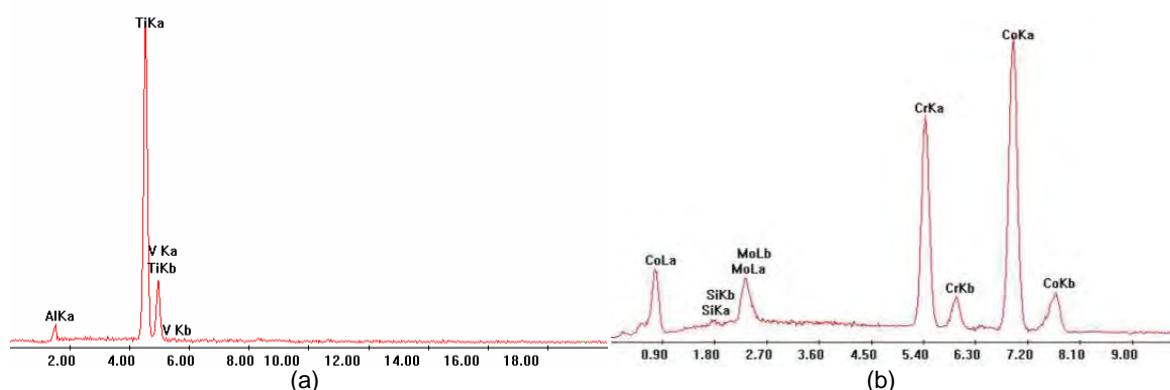
**Figura 5.** Imagens (a) e (c) apresentam o aspecto frágil da fratura transversal dos dois parafusos do caso 2. Observa-se o aspecto rugoso e degraus retos e paralelos sobre as superfícies. As imagens (b) e (d) mostram respectivos micromecanismos de fratura. Observam-se separações de partículas, aparência de fadiga e alguns coalescimentos de microcavidades.



**Figura 6.** A imagem (a) evidencia fraturas nas cristas dos filetes, ranhuras transversais e trincas secundárias na crista de filetes do parafuso remanescente do caso 2; (b) em maior aumento, observa-se a formação de fratura interdendrítica e estrias que indicam propagação de trinca.

### 3.3 Análise Em EDS

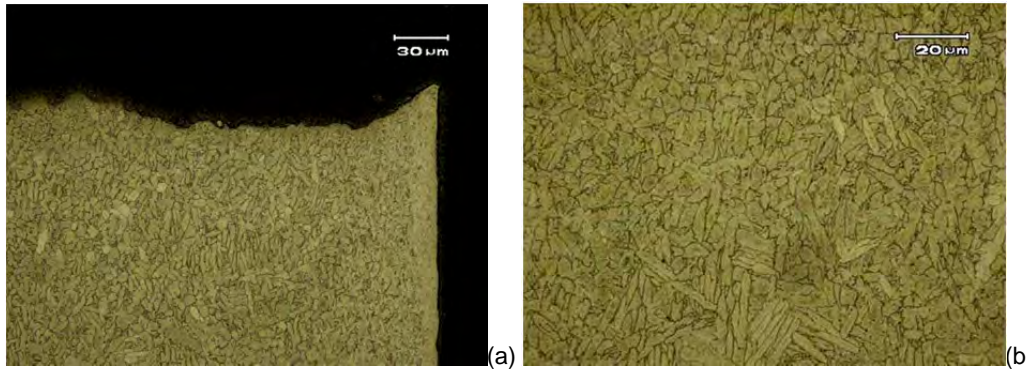
A análise em EDS indicou picos em titânio, alumínio e vanádio para o parafuso do caso 1. Para um dos parafusos analisados do caso 2, verificaram-se picos em cromo, cobalto, molibdênio e silício (Figura 7).



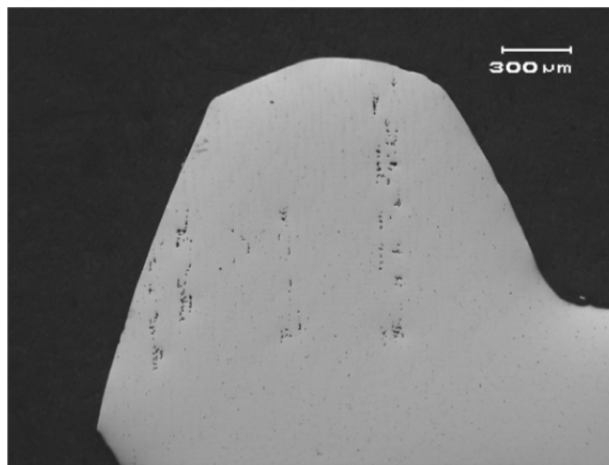
**Figura 7.** Espectro de microsonda EDS para o parafuso (a) do caso 1; e (b) para o parafuso do caso 2.

### 3.4 Análise Microestrutural

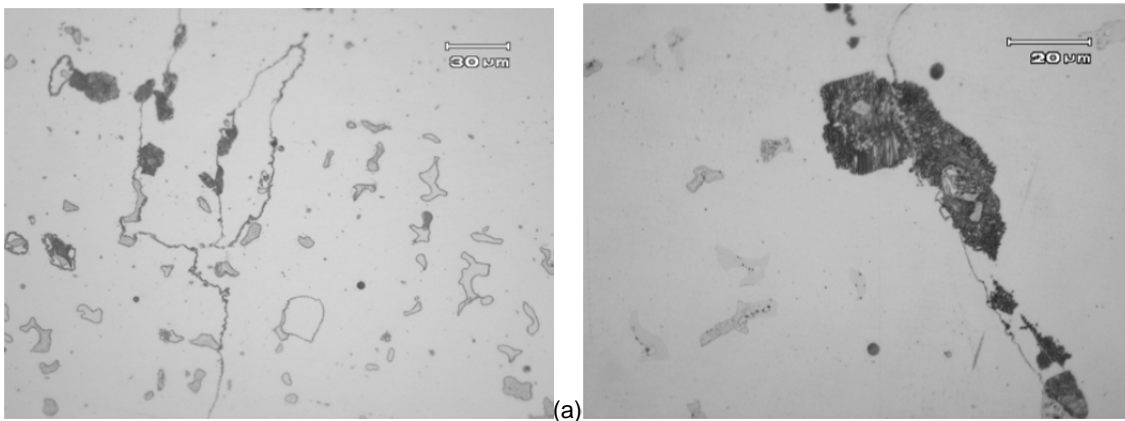
O parafuso do caso 1 apresentou microestrutura típica de liga de Ti6Al4V transformada acima da temperatura beta, com a formação de placas da fase alfa e beta intergranular. Foi observada a formação de uma fina camada superficial mais clara, indicando maior quantidade de fase alfa. Esta característica é típica em tratamentos térmicos de ligas de titânio realizados em atmosfera rica em oxigênio. A nucleação do processo de fratura está associada a esta camada (Figura 8). A análise dos parafusos do caso 2 indicou a formação de microrechupes orientados transversalmente a seção (Figura 9). A microestrutura é típica de liga fundida resistente a altas temperaturas a base de Cr-Co, constituída de matriz de solução sólida rica em cobalto, contendo carbonetos dispersos nos grãos e nos contornos (Figura 10).



**Figura 8.** A imagem (a) mostra o local do início da fratura do parafuso do caso 1; a imagem (b) mostra a microestrutura constituída de placas da fase alfa e fase beta intergranular. Ataque 0,2% HF e 0,4% HNO<sub>3</sub> diluído em água.



**Figura 9.** Seção metalográfica sem ataque (como polida) do plano transversal da cabeça de um parafuso do caso 2. Observa-se o alinhamento de microrechupes.



**Figura 10.** Microestruturas representativas dos parafusos do caso 2. Matriz constituída de dendritas de austenita contendo cadeias de carbonetos eutéticos e partículas dispersas de carbonetos. A imagem (b) mostra em detalhe o aspect lamellar de carboneto em contorno. As inclusões globulares são primordialmente de sulfeto e silicato. 10 mL HNO<sub>3</sub>, 20 mL HCl, 30 mL glicerol.

#### 4 DISCUSSÃO

A análise radiográfica indicou o deslocamento dos componentes acetabulares após a ruptura dos parafusos. A retirada da ponta rompida do interior do osso para a revisão pode causar mais perda óssea e a necessidade de preenchimento ósseo, prejudicando a qualidade da nova interface.

Em todos os casos a fratura ocorreu junto ao primeiro filete a partir do parafuso. No caso 1, o parafuso apresentou aspecto de fratura por fadiga devido a esforço de flexão. A falha foi favorecida pela condição microestrutural do material, que apresentou microestrutura típica de liga Ti6Al4V transformada em elevada temperatura e sem proteção contra oxidação. Segundo a literatura, esta condição apresenta baixo desempenho à nucleação de fadiga.<sup>(16)</sup> Segundo a Norma ASTM F136,<sup>(17)</sup> a microestrutura das ligas Ti6Al4V para aplicação em implantes cirúrgicos deve ser uma dispersão fina de fase alfa e beta, resultante do processamento no campo alfa mais beta. Não deve existir rede contínua de alfa em contorno dos grãos beta primários e nem devem existir plaquetas alfa grosseiras e alongadas. Com efeito, o material com uma dispersão fina dos grãos apresenta melhores propriedades em fadiga.<sup>(18)</sup>

No caso 2, ocorreu a ruptura da seção transversal de dois dos parafusos, com aspecto rugoso e com linhas ou degraus retos e paralelos ao longo da superfície de fratura. A morfologia da superfície de fratura bem como os micromecanismos encontrados indica falha de modo frágil. Através das metalografias, constatou-se estrutura dendrítica típica de ligas de cromo-cobalto brutas de fusão e a formação de microrrechupes delineando as dendritas em algumas regiões. A estrutura de dendritas alinhadas transversalmente ao eixo dos parafusos pode ser associada à formação de degraus na superfície de fratura e também foi responsável pelas escamações (ranhuras transversais) nos filetes e pelas fraturas de aspecto frágil. Também foi verificado mecanismo de fadiga propagando entre as dendritas de algumas das cristas dos filetes do último parafuso que não apresentou ruptura no plano transversal, indicando que este estava suportando um elevado carregamento e estava fadado a também romper ou ser puxado para fora do osso. A fabricação dos parafusos através dessa liga foi para que houvesse compatibilidade com a casca acetabular metálica, que também é decromo-cobalto. Materiais que mantêm contato devem ser compatíveis (de preferência ser os mesmos materiais) para evitar processos corrosivos pela formação de pilha galvânica. Entretanto, os parafusos teriam resistido mais caso tivessem sido fabricados a partir de uma liga de cromo-cobalto com estrutura mais refinada, assim como as obtidas por trabalho mecânico ou por metalurgia do pó (Hot Isostatic Pressure), para evitar as fraturas interdendríticas e as escamações de usinagem.

## 5 CONCLUSÃO

Parafusos são muitas vezes utilizados em soquetes acetabulares não cimentados para aumentar a estabilidade da fixação. Apesar de serem elementos secundários na fixação, sua ruptura determina uma falha prematura. Portanto, devem ser utilizados os materiais de maior resistência na sua manufatura. Nos dois casos estudados foram observados aspectos microestruturais que remetem a condições abaixo das ideais para o desempenho em fadiga:

- microestrutura constituída de placas alfa com camada alfa grosseira oxidada em liga de titânio,
- microestrutura dendrítica desfavoravelmente alinhada e formação de microrrechupes em liga de cromo cobalto.



## Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer as agências de financiamento CAPES, CNPq, FINEP e FAPITEC.

## REFERÊNCIAS

- 1 Schulte KR, Callaghan JJ, Kelley SS, Johnston RC. The outcome of Charnley total hip arthroplasty with cement after a minimum twenty-year follow-up. The results of one surgeon. *J Bone Joint Surg Am* 1993;75:961–75.
- 2 José A. Rodriguez, Acetabular Fixation Options:Notes from the Other Side, *The Journal of Arthroplasty* Vol. 21 No. 4 Suppl. 1 2006
- 3 Iain R. Spears, Martin Pheiderer, Erich Schneider, EkkehardHille, Michael M. Morlock, The effect of interfacial parameters on cup}bone relative micromotions A "nite element investigation, *Journal of Biomechanics* 34 (2001).
- 4 R. J. Sharp, FRCS, S. T. O'Leary, FRCS (Orth), M. Falworth, FRCS, A. Cole, FRCS, J. Jones, FRCS, and R. W. Marshall, FRCS, Analysis of the Results of the C-Fit Uncemented Total Hip Arthroplasty in Young Patients With Hydroxyapatite or Porous Coating of Components, *The Journal of Arthroplasty* Vol. 15 No. 5 2000.
- 5 S. Griza, A.N. Cê, E.P. Silva, F. Bertoni, A. Reguly, T.R. Strohaecker, Acetabular metal backed fatigue due to severe wear before revision, *Engineering Failure Analysis* 16 (2009) 2036–2042
- 6 Berry DJ, Barnes CL, Scou RD, Cabanela ME, Poss R. Catastrophic failure of the polyethylene liner of uncementedacetabular components. *Bone Joint Surg [Br]* 1994;76-B:575–8.
- 7 Heaton-Adegbile P, Russerly B, Taylor L, Tong J. Failure of an uncementedacetabular prosthesis – a case study. *Eng Fail Anal* 2006;13:163–9.
- 8 Barrack RL, Burke DW, Cook SD, Skinner HB, Harris WH. Complications related to modularity of total hip components. *J Bone Joint Surg [Br]* 1993;75-B:688–92.
- 9 Barrack RL, Burke DW, Cook SD, Skinner HB, Harris WH. Complications related to modularity of total hip components. *J Bone Joint Surg [Br]* 1993;75- B:688–92.
- 10 Stiehl JB, Mahfouz MR. Catastrophic failure of a modular revision total hip polyethylene insert. *J Arthroplasty* 2007;22(1).
- 11 Ito H, Minami A, Kondo E, Fujita M, Ubayama Y, Matsuno T. Destruction of acetabular bone caused by early failure of a constrained acetabular component. *J Arthroplasty* 2001;16(7).
- 12 Brien WW, Salvati EA, Wright TM, Nelson CL, Hungerford DS, Gilliam DL. Dissociation of acetabular components after total hip arthroplasty. Report of four cases. *J Bone Joint Surg Am* 1990;72:1548–50.
- 13 Yun AG, Padgett D, Pellicci P, Dorr LD. Constrained acetabular liners mechanisms of failure. *J Arthroplasty* 2005;20(4).
- 14 Cheung K, Yung S, Wong K, Chiu K. Early failure of smooth hydroxyapatite-coated press-fit acetabular cup – 7 years of follow-up. *J Arthroplasty*2005;20(5).
- 15 Ronald R. Hugate, MD,\* Ian D. Dickey, MD,yQingshan Chen, MS,z,Christina M. Wood, MS,z Franklin H. Sim, MD,z and Michael G. Rock, Fixed-Angle Screws vs Standard Screws in Acetabular Prosthesis Fixation. A Cadaveric Biomechanical Study. *The Journal of Arthroplasty* Vol. 24 No. 5 2009
- 16 Rodney R. Boyer, Titanium and Titanium Alloys: Metallographic Techniques and Microstructures, *ASM Metals HandBook, Metallography and Microstructures*, Vol. 9, 10<sup>th</sup> , 1991, pp. 1033.
- 17 ASTM F136 – Standard Specification for Wrought Titanium-6Aluminium-4Vanadium.
- 18 Jesus Chao, Vi'ctorLo'pez, Failure analysis of a Ti6Al4V cementless HIP prosthesis, *Engineering Failure Analysis* 14 (2007) 822–830.