

ANÁLISE DE FALHA DE IMPLANTE DENTAL DE TITÂNIO ¹

Cássio Barbosa ²
Jôneo Lopes do Nascimento ²
Robson Oliveira Centeno ²
Iêda Maria Vieira Caminha ²
Ibrahim de Cerqueira Abud ²

Resumo

Produtos implantáveis, sejam ortopédicos ou dentais, devem apresentar um conjunto de propriedades em que se destacam a biocompatibilidade, a resistência mecânica e a resistência à degradação, seja por desgaste ou corrosão, como forma de reduzir a incidência de eventos adversos tanto na área de artoplastia, quanto na de osteossíntese. Para atingir esses objetivos os produtos devem atender a requisitos, geralmente especificados em normas nacionais e internacionais, no que se refere à composição química, microestrutura e acabamento de superfície entre outros, aliados a um projeto e a um processo de fabricação adequados. O objetivo deste trabalho é realizar análise de falha de um implante dental nacional fabricado em liga de titânio, visando correlacionar as causas da falha prematura do implante com possíveis causas associadas ao não atendimento dos requisitos normativos mencionados ou a algum outro tipo de problema. Com essa finalidade foram realizadas análise metalográfica por microscopia ótica e análise fractográfica por microscopia eletrônica de varredura (MEV), que permitiram concluir que os implantes fraturaram devido à sobrecarga gerada por concentradores de tensões existentes nos mesmos provenientes do design e defeitos de usinagem.

Palavras-chave: Análise de falha; Implantes; Microscopia

FAILURE ANALYSIS OF TITANIUM DENTAL IMPLANT

Abstract

Metallic materials designed to applications in surgical implants, no matter orthopaedic or dental, must show a group of properties, in which biocompatibility, mechanical strength and resistance to degradation (by wear or corrosion) outstand. In order to reach these aims these materials must fulfill certain requirements, usually specified in standards, in relation to chemical composition, microstructure and even macrographich aspects. The main aim of this work is to perform a failure analysis of a certain type of dental implant, connecting this undesirable effect with possible causes associated to material requirements which were previously mentioned. With this purpose techniques like metallographic analysis by optical microscopy and fractographic analysis by scanning electron microscopy (SEM) were used and enabled concluding that, in spite of their adequate microstructure, the implants fractured due to the overload generated by stress raisers which were found in them.

Key words: Failure analysis; Implants; Microscopy

¹ Contribuição técnica apresentada no 61º Congresso Anual da ABM, de 24 a 27 de julho de 2006, Rio de Janeiro – RJ

² Instituto Nacional de Tecnologia (INT), Avenida Venezuela, 82, sala 626, Rio de Janeiro, CEP 20.081-312, cassiob@int.gov.br

INTRODUÇÃO

O aumento da longevidade da população brasileira e mundial nas últimas décadas tem levado a um crescimento significativo do uso de implantes cirúrgicos para a reposição de dentes e articulações ósseas dos pacientes afetados, embora outros fatores, como o avanço científico-tecnológico e a maior exposição dos indivíduos a riscos de trauma, por exemplo, também contribuam para essa tendência.⁽¹⁾ Para serem utilizados em implantes cirúrgicos, tanto ortopédicos como dentais, os materiais devem apresentar um conjunto de propriedades tais como: biocompatibilidade, resistência mecânica (estática e dinâmica), resistência à degradação (corrosão e desgaste), bioadesão (ao osso), facilidade de fabricação por diferentes processos termomecânicos e disponibilidade/baixo custo.^(2,3) Em geral os requisitos de composição química, microestrutura e propriedades mecânicas de implantes cirúrgicos metálicos estão estabelecidos em normas editadas por instituições de âmbito internacional como a ISO (International Organization for Standardization) e a ASTM (American Society for Testing and Materials).⁽⁴⁻⁹⁾ Quando os implantes cirúrgicos não atendem aos requisitos especificados nessas normas é grande a probabilidade de que venham a apresentar problemas. Estes problemas podem ser os mais variados, desde fraturas e decoesões até reações adversas no organismo, como infecções, reações alérgicas e metalose (intoxicação celular causada pela presença de fragmentos metálicos não absorvidos que levam à necrose do tecido orgânico adjacente).⁽¹⁰⁾

A produção de implantes cirúrgicos no Brasil tem incorporado avanços em técnicas de fabricação e materiais desenvolvidos no país nos últimos anos,⁽¹¹⁾ entretanto, muito ainda precisa ser feito para que este segmento se insira no Programa Brasileiro de Avaliação da Conformidade - SBAC. Apenas os implantes ortopédicos encontram-se mencionados no Plano Quadrienal 2004-2007 do SBAC, o que torna a situação dos implantes dentais ainda mais crítica. No momento, apenas três fabricantes de implantes dentais têm seus produtos registrados na ANVISA, mas nenhum deles está certificado em boas práticas de fabricação.

A análise de falhas utiliza diversos tipos de técnicas para a investigação das causas do defeito que leva ao colapso de um equipamento ou de uma estrutura. De um modo geral essas causas estão relacionadas com: a utilização de materiais inadequados, a presença de defeitos surgidos durante a fabricação, erros de projeto, de montagem, de manutenção ou de utilização. O conhecimento dessas causas e a correção dessas anomalias permitem aprimorar o funcionamento de equipamentos semelhantes e evitar a repetição do mesmo tipo de falha, melhorando o desempenho do componente, tanto em relação à funcionalidade, quanto ao atendimento dos requisitos de segurança. Em geral, a análise de falhas busca correlacionar o aspecto visual de uma fratura à sua possível causa, utilizando para isso técnicas de microscopia, principalmente a microscopia eletrônica de varredura (MEV).⁽¹²⁻¹⁴⁾

No presente trabalho é conduzida uma análise de falha de um determinado tipo de implante dental, tentando correlacionar a falha com possíveis causas associadas ao não atendimento aos requisitos estabelecidos nas normas. Com esse objetivo foram empregadas as técnicas de análise metalográfica em microscópio óptico, análise visual macrográfica em estéreo-microscópio e análise fractográfica em microscópio eletrônico de varredura (MEV), permitindo concluir que os implantes fraturaram devido à sobrecarga gerada por alguns concentradores de tensões, que surgem devido ao projeto inadequado da peça ou que podem ser introduzidos durante o processo de fabricação dos mesmos, entre outros motivos.

MATERIAL E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Um determinado tipo de implante dental, denominado “A”, apresentou, em diversos pacientes, problemas de fratura pouco tempo após a realização das cirurgias. Por outro lado, outro tipo de implante, denominado “B”, também inserido em vários pacientes, não apresentou qualquer tipo de problema. Tendo em vista essas circunstâncias, a presente análise concentrou-se no implante “A”, reservando-se o implante “B” apenas como referência para um estudo comparativo limitado.

A composição química do implante “A” é mostrada na Tabela 1 a seguir:

Tabela 1. Composição química do implante “A” (% em massa).

Al	V	Fe	C	N	O	Ti
2,28	0,86	0,10	0,030	0,012	0,132	Bal.

Foram recebidas algumas amostras de ambos os tipos de implante. Entre as amostras do implante “A”, algumas, fraturadas, foram retiradas de pacientes, ao passo que outras, ainda não usadas, foram utilizadas nas análises química, visual macrográfica e metalográfica. Amostras do implante “B” só foram utilizadas para análises visual macrográfica e metalográfica. As amostras para análise microestrutural foram submetidas ao procedimento padronizado de preparação: corte, embutimento, lixamento (malhas 220, 320, 400 e 600), polimento (em pasta de diamante com granulometria de 6, 3, 1 e 0,25 μm) e ataque químico com reagente de Keller (0,5 % HF, 1,5 % HCl, 2,5 % HNO₃ em água: 15 segundos). Parte das amostras não usadas do implante “A”, assim como as amostras do implante “B” foram observadas e fotografadas num estéreo-microscópio (análise visual macrográfica). As amostras fraturadas do implante “A” foram analisadas num microscópio eletrônico de varredura (MEV).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição química do material não se enquadra em nenhuma das normas ASTM e ISO referentes a implantes. Os teores de alumínio e vanádio são muito inferiores aos limites mínimos especificados pelas normas (4,8) para a liga Ti-6Al-4V, porém muito mais altos do que os valores máximos permitidos para o titânio comercialmente puro.^(4,6,7)

A Figura 1 apresenta a microestrutura do material do implante “A”, que corresponde ao padrão A1 da ETTC2,⁽⁹⁾ e é constituída por matriz de fase α (cinza claro) contendo uma dispersão de fase β (cinza escuro) ao longo de sua extensão. Verifica-se que os grãos são bastante finos e aproximadamente equiaxiais, estando portanto de acordo com as recomendações das normas.^(8,9) Há uma predominância de fase α (clara) com pequena presença de fase β (escura), o que está de acordo com o maior teor de alumínio (2,28 %), elemento estabilizador da fase α , em relação ao teor de vanádio (0,86 %), elemento estabilizador da fase β . Uma liga com estas características química e microestrutural tende a apresentar menor resistência mecânica do que a da liga bifásica Ti-6Al-4V de composição química e microestrutura balanceadas e menor ductilidade do que o titânio comercialmente puro monofásico (α).⁽¹⁵⁾

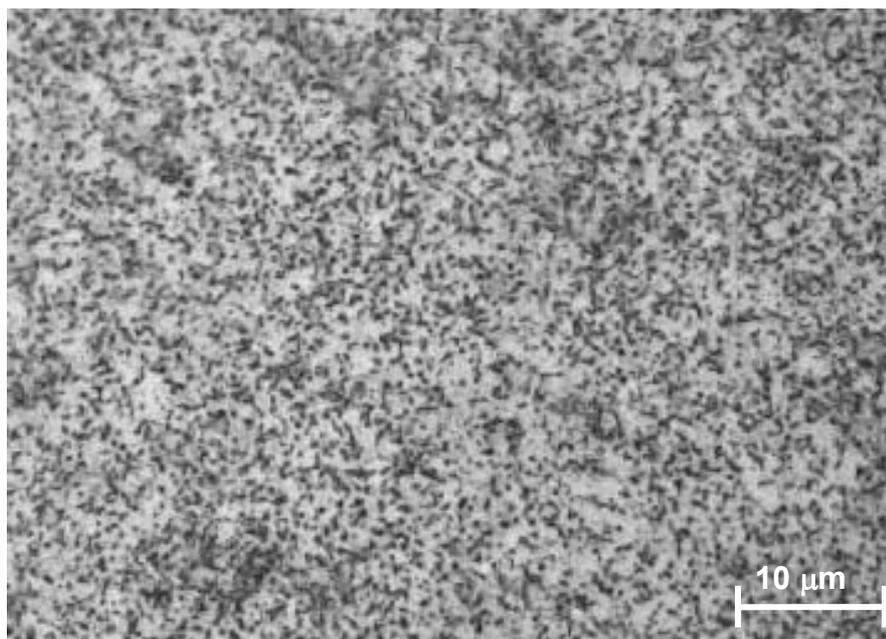


Figura 1. Microestrutura do implante “A”. Ataque: reagente de Keller. Grãos finos e equiaxiais de fase alfa (clara) e beta (escura).

A microestrutura do material do implante “B”, que corresponde ao padrão A22 da ETTTC2,⁽⁹⁾ é apresentada na Figura 2. Neste predomina a chamada estrutura acicular de Widmanstätten. De acordo com a norma ASTM F 136,⁽⁸⁾ esta formação acicular é inadequada para implantes.

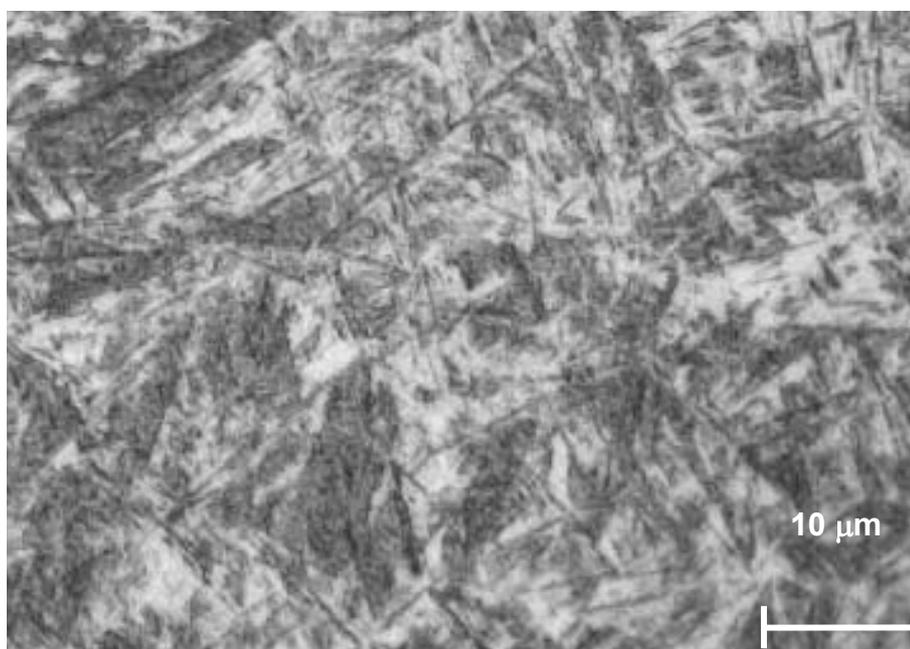


Figura 2. Microestrutura do implante “B”. Ataque: reagente de Keller. Estrutura acicular de Widmanstätten: matriz alfa (clara) e fase beta (escura).

A Figura 3 mostra o implante “A” ainda não usado e a Figura 4 apresenta próteses que mostram a exata localização da fratura no implante.



Figura 3. Implante “A” ainda não usado.



Figura 4. Implante “A” fraturado após uso.

A Figura 5 apresenta um aspecto detalhado do implante mostrado na Figura 3, evidenciando o local (assinalado por seta) onde existem concentradores de tensões, originados pelo processo de fabricação, como ranhuras de usinagem. Pode-se observar também outras características nocivas à resistência mecânica da peça A, tais como mudança abrupta de diâmetro e canto vivo sem adoçamento. Cada um desses fatores por si só acarreta concentração de tensões, isto é, ampliação dos efeitos das tensões atuantes. Não por acaso a fratura ocorre exatamente nesta região crítica da peça.

Com o propósito de comparação, na mesma Figura é mostrado, com o mesmo detalhamento, o aspecto macrográfico do implante “B”, que não apresentou problemas de fratura. Verifica-se que neste caso o acabamento resultante da usinagem é muito superior, sem evidências da presença de concentradores de tensões.

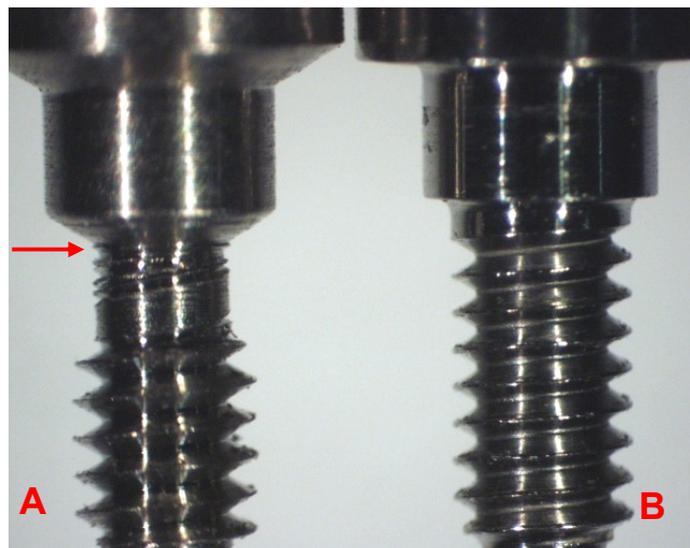


Figura 5. Aspecto macrográfico dos implantes “A” e “B”.

A Figura 6, obtida em microscópio eletrônico de varredura (MEV), apresenta um aspecto geral da superfície de fratura do implante “A”, enquanto a Figura 7, também obtida em MEV, mostra um aspecto mais detalhado da mesma superfície de fratura. Nesta imagem pode-se observar que o material fraturou de modo predominantemente dútil, tendo havido considerável deformação plástica até a fratura. A ocorrência de fratura dútil está associada ao colapso do implante por sobrecarga originada pelo acúmulo de tensões gerado pelo processo de usinagem do implante, mas por outro lado evidencia que não houve fragilização, o que é consistente com a microestrutura adequada. Na mesma Figura, a ausência completa de estrias e marcas paralelas evidenciam que a falha não ocorreu por fadiga.

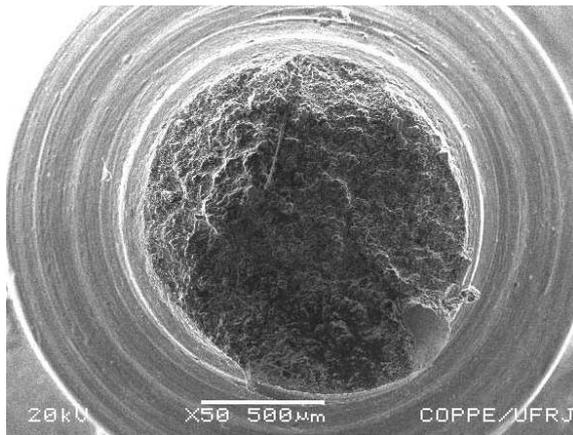


Figura 6. Aspecto geral da superfície de fratura do implante “A”.

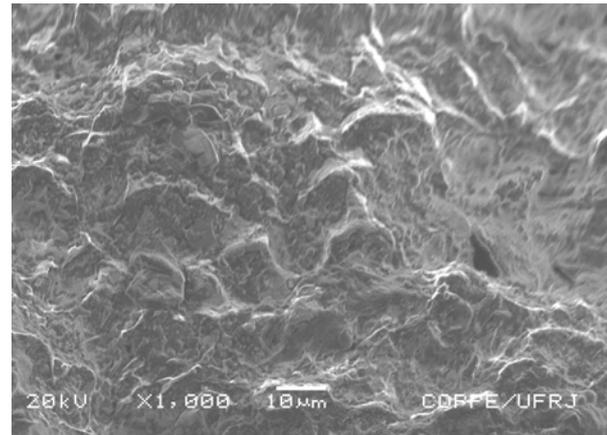


Figura 7. Aspecto mais detalhado da superfície de fratura do implante “A”.

CONCLUSÕES

O uso de técnicas como análise microestrutural em microscópio ótico, análise visual macrográfica em estéreo-microscópio e análise fractográfica em MEV contribuiu muito para a elucidação das causas das fraturas inesperadas e repetidas de implantes já em uso nos pacientes. Com base nos resultados obtidos com a utilização dessas técnicas chegou-se às seguintes conclusões:

- A composição química do implante fraturado (tipo “A”) não atende aos requisitos das normas ASTM e ISO para liga Ti-6Al-4V e titânio comercialmente puro.
- Os implantes que fraturaram (tipo “A”) apresentaram vários tipos de concentradores de tensões como: mudança abrupta de diâmetro, canto vivo sem adoçamento e ranhuras decorrentes do processo de usinagem, ao contrário dos implantes que não fraturaram (tipo “B”).
- No presente estudo constatou-se que o efeito do projeto e do processo de fabricação inadequados dos implantes prevaleceu sobre a influência da microestrutura, pois embora a microestrutura do implante “A” seja mais adequada que a do implante “B”, somente o primeiro implante apresenta relatos de falha.
- As imagens da superfície de fratura evidenciam que os implantes romperam de modo predominantemente dútil, provavelmente devido à sobrecarga gerada pela concentração de tensões.

REFERÊNCIAS

- 1 Azevedo, C.R.F.; Hippert Jr., E.; “Análise de falhas de implantes cirúrgicos no Brasil: a necessidade de uma regulamentação adequada”, Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro, 18 (5), set-out, 2002, pp.1347 – 1358.
- 2 Cavalcanti, E.; Coelho, S.; “Implantes Ortopédicos Temporários de Aços Inoxidáveis”, Revista Inox, ano V, nº 8, 1997, pp. 6 – 8.
- 3 Brè me, J.; “Titanium and titanium alloys, biomaterials of preference”, Mè moires et Études Scinetifiques Revue de Métallurgie, Octobre, 1989, pp. 625 – 637.
- 4 NBR ISO 5832 – 12 partes; “Implantes para cirurgia – Materiais metálicos”. Parte 2: Titânio comercialmente puro, 2001. Parte 3: Ligas de titânio, 1997.
- 5 NBR ISO 15374 – “Implantes para cirurgia – Requisitos para a produção de forjados”, 2000.
- 6 ASTM B 348-93 – “Standard Specification for Titanium Alloy Bars and Billets”, 1993.
- 7 ASTM F 67-89 – “Standard Specifications for Unalloyed Titanium for Surgical Implant Applications”, 1989.
- 8 ASTM F136-02 – “Standard Specification for Wrought Titanium-6 Aluminum – 4 Vanadium ELI (Extra Low Interstitial) Alloy for Surgical Implant Applications (UNS R56401)”, 2002.
- 9 ETTC2 – “Microstructural Standards for Titanium Alloy Bars”.
- 10 Brown, S.A.; Merritt, K.; Farnsworth, L.J.; Crowe, T.D.; “Biological Significance of Metal Ion Release”, Qunatitative Characterization and Performance of Porous Implants for Hard Tissue Applications, ASTM STP 953, ed. J.E. Lemons, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1987, pp. 163 – 181.
- 11 Oliveira, M.V. – “Desenvolvimento de Revestimento Poroso de Titânio para Implantes Cirúrgicos”, Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, 2003, 176 p.
- 12 Azevedo, C.R.F.; Cescon, T.; “Metalografia e Análise de Falhas, Casos Seleccionados (1933-2003); IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas), São Paulo, 2004, 1ª edição, 416 p.
- 13 Wouters, R.; Froyen, L.; “Scanning electron microscope fractography in failure analysis of steels”; Materials Characterization, 36, 1996, pp. 357-364.
- 14 Metals Handbook, Ninth Edition, Volume 11, Failure Analysis and Prevention, ASM (American Society for Metals), Metals Park, Ohio, 1986, 843 p.
- 15 Donachie Jr., M.J.; “Titanium, a technical guide”, American Society for Testing and Materials (ASM), Metals Park, Ohio, USA, 1988, 469 p.