

## AVALIAÇÃO DA INTEGRIDADE SUPERFICIAL DE IMPLANTES DENTÁRIOS DE TITÂNIO

Rodolfo da Silva Manera, [rodolfoman@aluno.feis.unesp.br](mailto:rodolfoman@aluno.feis.unesp.br)  
Alessandro Roger Rodrigues, [roger@mat.feis.unesp.br](mailto:roger@mat.feis.unesp.br)  
Hidekasu Matsumoto, [hidekasu@dem.feis.unesp.br](mailto:hidekasu@dem.feis.unesp.br)  
Juno Gallego, [gallego@dem.feis.unesp.br](mailto:gallego@dem.feis.unesp.br)

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - FEIS/UNESP, Av. Brasil Centro, 56 - CEP 15.385-000 - Ilha Solteira-SP

**Resumo:** Ligas metálicas destinadas a implantes têm sido cada vez mais pesquisadas quanto às suas propriedades microestruturais, mecânicas e características de biocompatibilidade. Apesar do surgimento nas últimas décadas de materiais poliméricos específicos, o titânio e suas ligas representam ainda a principal aplicação na área da implantologia. Este trabalho apresenta uma investigação da influência do processo de roscamento externo no comportamento da ferramenta, na qualidade superficial e na microdureza de implantes dentários. O foco do estudo baseou-se na região da rosca, por ser crítica quanto à osseointegração e solicitações mecânicas em serviço. O material avaliado foi o Titânio ASTM F67 (Grau 4), tipicamente empregado na fabricação de implantes dentários. Exemplos de implantes foram fabricados por uma empresa do setor utilizando o torno CNC com potência de 2,2 kW no fuso principal. Foi empregada ferramenta de metal duro revestido com TiNAl e fluido de corte em abundância. As medidas de microdureza na seção transversal dos filetes de rosca foram comparadas às do material na condição “como recebido”. Os resultados apontaram que o efeito de escala, causado pela relação entre a profundidade de usinagem e raio de aresta da ferramenta, contribuiu por aumentar a microdureza no perfil dos filetes de rosca em torno de 30%, afetando uma camada de aproximadamente 200 µm abaixo da superfície usinada. Além disso, a microdureza nas laterais dos filetes apresentou perfis distintos com relação à profundidade da superfície usinada, devido ao sentido de avanço da ferramenta. Imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) revelaram que o aumento da profundidade de usinagem proporcionou uma melhora na qualidade superficial da rosca e um menor nível de aderência do material usinado na ferramenta.

**Palavras-chave:** implantes dentários, integridade superficial, roscamento, efeito de escala.

### 1. INTRODUÇÃO

O problema da reconstituição parcial ou até mesmo a completa substituição de membros inteiros em seres vivos trouxe ao mundo o desafio de se criar soluções eficazes que pudessem dar ao indivíduo a possibilidade de, dentro do possível, gozar de uma melhor qualidade de vida. Assim, os materiais biocompatíveis se tornaram fonte constante de pesquisas e desenvolvimento para que cada vez mais pudessem atender, de forma a não prejudicar a saúde do paciente, as necessidades básicas de uma vida comum, como por exemplo, comer, andar, trabalhar, entre outras.

Ligas metálicas destinadas a implantes estruturais, que desempenham função de suportar esforços, têm sido cada vez mais pesquisadas quanto às suas propriedades microestruturais, mecânicas e características de biocompatibilidade. Apesar do surgimento de inúmeros materiais poliméricos que poderiam realizar essas funções, o titânio e suas ligas representam ainda a grande gama de aplicações na área da implantologia.

O uso crescente do titânio e suas ligas na fabricação de implantes, tanto ortodônticos quanto ortopédicos, se deve ao fato da presença simultânea da excelente biocompatibilidade já comprovada (Williams, 1981), da alta resistência mecânica e à corrosão, e relativa baixa densidade desses materiais.

O processo de osseointegração está diretamente ligado à qualidade da superfície do implante. Inúmeras pesquisas demonstram que a rugosidade da superfície afeta a taxa de osseointegração e a fixação biomecânica (Gemelli et al, 2007). Em metalurgia, a superfície de trabalho pode ter suas propriedades modificadas pelo processo de transformação do estado bruto ao produto final. Em se tratando de implantes dentários, o processo de usinagem responsável pela formação dos filetes de rosca é o agente de maior influência na qualidade da superfície. A Figura 1 apresenta uma imagem típica de osseointegração na rosca de um implante dentário.



**Figura 1. Interface osso/implante na osseointegração (Garcia, 2006).**

O material comumente utilizado na fabricação de implantes dentários é o Titânio C.P. (comercialmente puro), que pode ser classificado de acordo com norma ASTM F67 em quatro graus de pureza em sua composição química. A Tabela 1 apresenta essa classificação:

**Tabela 1. Classificação dos graus de pureza do Titânio C.P.**

Elemento*	Grau 1	Grau 2	Grau 3	Grau 4
Nitrogênio	0,03	0,03	0,05	0,05
Carbono	0,08	0,08	0,08	0,08
Hidrogênio	0,010 - 0,015	0,010 - 0,015	0,010 - 0,015	0,010 - 0,015
Ferro	0,20	0,30	0,30	0,50
Oxigênio	0,18	0,25	0,35	0,40
Titânio	balanço	balanço	balanço	balanço

\*Valores máximos, % em massa.

O grande uso do titânio e suas ligas refletem suas boas propriedades físico/mecânicas em serviço. A alta relação resistência/peso é uma das características mais valorizadas em sua seleção industrial. No setor aeroespacial, a liga Ti6Al4V (ASTM F67 Grau 5) representa mais de 50% do mercado de titânio no mundo (Polmear, 1989). O titânio não ligado geralmente é empregado em ambientes onde há fortes agentes corrosivos e necessidade de resistência a fadiga (Wang, 2000).

Ao contrário das excelentes características de aplicação deste material, o seu processamento tanto de obtenção quanto de transformação por remoção de cavaco é considerado ruim. Shaw (1984) classifica o titânio como material de difícil usinabilidade, tanto pelas altas temperaturas de corte quanto pelas pobres características metalúrgicas de deformação e cisalhamento na usinagem.

Este artigo apresenta uma avaliação quantitativa e qualitativa da integridade superficial de implantes dentários de titânio através dos ensaios de microdureza e de imagens obtidas por MEV dos filetes de rosca e da ferramenta, tendo como foco de estudo a presença do fenômeno “efeito de escala” na operação de roscamento externo.

## 2. MATERIAIS, MÉTODOS E EQUIPAMENTOS

Realizada pela “IMPLALIFE - Indústria de Produtos Médico-Odontológicos”, a fabricação de corpos de prova (implantes dentários comerciais), com dimensões de  $\varnothing 5 \times 15$  mm e rosca externa M5 x 0,8 mm, deu-se com o uso do Titânio ASTM F67 Grau 4 usinado em um torno CNC STAR<sup>®</sup>, modelo SR-20RII, com potência de 2,2 kW. Foi empregada ferramenta de roscamento externo ISCAR<sup>®</sup> 16 ER 0.80 ISO IC 908 (metal duro revestido com TiNAl) e fluido de corte ECOCUT 910 (FUCHS<sup>®</sup>) em abundância. Os parâmetros de corte são apresentados na Tab. 2.

**Tabela 2. Parâmetros de corte empregados na confecção das amostras.**

$v_c$ [m/min]	passo [mm/rot]	$a_p$ [ $\mu$ m] **
19	1,6 *	25
		100

\* Rosca com entrada dupla.

\*\* Profundidade de usinagem aplicada em cada passe da rosca (altura total do filete: 0,5 mm).

Para o ensaio de microdureza, os corpos de prova foram seccionados utilizando um disco abrasivo diamantado (0,5 mm de espessura) com aplicação de fluido lubri-refrigerante abundante, Fig. 2. Após o seccionamento, os corpos de prova foram embutidos em resina poliéster para uso na preparação metalográfica. O lixamento se deu pelas lixas 320, 400, 600, 1000 e 1500, sendo os mesmos polidos com alumina 0,03  $\mu$ m. A revelação da microestrutura, apresentada na Fig. 4, se deu com uso de um reagente composto de 5%, em volume, de amônia e ácido fluorídrico em água.

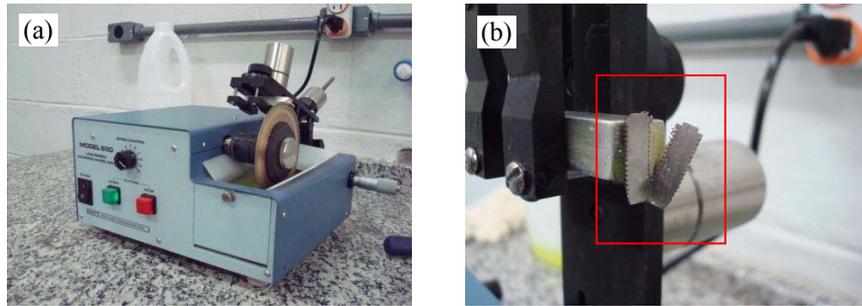


Figura 2. Processo de secção das amostras. (a) Equipamento utilizado e (b) amostra secionada.

Os testes de microdureza foram realizados em um microscópio Carl Zeiss®, modelo Neophot 21. A carga aplicada foi de 20 gf durante 15 s. A Figura 3 apresenta o desenho esquemático das regiões onde foram realizadas as medições de microdureza. O espaçamento entre os pontos foi de 20 µm, exceto o primeiro abaixo à superfície, que foi de 10 µm. No caso das medidas nas regiões do sentido de entrada e saída da ferramenta, o espaçamento entre pontos foi de 10 µm.

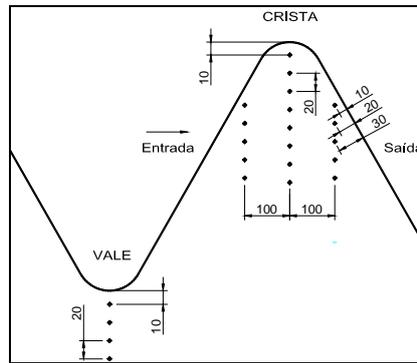


Figura 3. Desenho esquemático das distâncias das indentações.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através do uso da técnica dos interceptos lineares, baseado na norma ASTM E 112-96, o tamanho médio de grão determinado foi de 5 µm. A microestrutura apresentada na Fig. 4 revelou grãos poligonais e isentos de deformação, condizentes com o tratamento de recozimento aplicado pela empresa na condição “como recebido”.

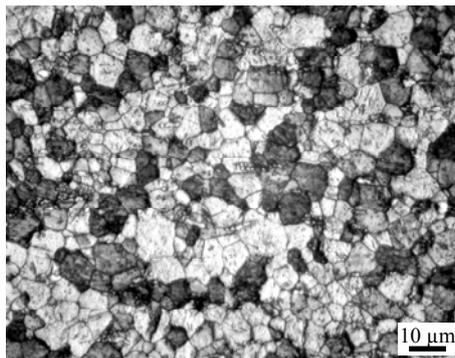


Figura 4. Microestrutura do material “como recebido”.

Apresenta-se a seguir as medições de microdureza e a caracterização visual dos perfis roscados em três regiões principais: crista, vale e laterais dos filetes de rosca. O desvio estatístico médio associado às medidas de microdureza foi de  $\pm 1,8\%$ , considerando um intervalo de confiança de 95% e 2 réplicas (2 corpos de prova).

#### 3.1. Microdureza e Caracterização Visual da Crista da Rosca

Conforme o perfil esquemático demonstrado na Fig. 3, as medições de microdureza foram realizadas no sentido radial, a partir da crista da rosca, com o intuito de conhecer a resposta do material com relação ao encruamento, diante dos parâmetros de corte aplicados à operação de roscamento externo. A Figura 5 mostra os valores de microdureza ao longo de uma profundidade de 550 µm abaixo da superfície roscada.

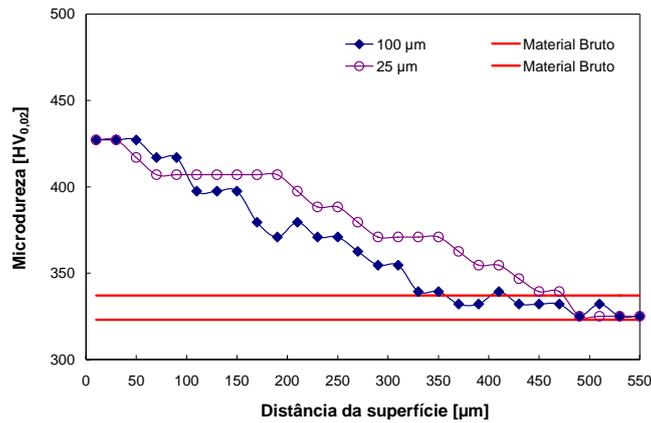


Figura 5. Perfil de microdureza na crista da rosca.

Nota-se que o aumento da profundidade de usinagem de 25 para 100  $\mu\text{m}$  promoveu uma redução em 120  $\mu\text{m}$  da camada endurecida pelo processo de roscamento, considerando como elemento comparativo o material no estado bruto. Este resultado pode ser explicado provavelmente pela presença do fenômeno caracterizado como “efeito de escala”, que trata da relação existente entre a profundidade de usinagem e o raio de aresta da ferramenta.

Segundo Rodrigues (2005), é possível assumir que nenhuma ferramenta de corte possui aresta totalmente viva e quando a profundidade de usinagem estiver na mesma ordem de grandeza do raio de aresta da ferramenta, haverá maior nível de deformação no processo de remoção de cavaco, já que a aresta passa a recalcar o material da peça ao invés de cisalhá-lo.

Utilizando um projetor de perfil com resolução micrométrica, o raio de aresta da ferramenta apresentou a medida de 25  $\mu\text{m}$ . Observa-se que na condição em que a profundidade de usinagem é igual ao raio de aresta, a camada afetada pelo aumento de dureza e as respectivas amplitudes são maiores, exceção feita unicamente na região próxima à superfície (até 50  $\mu\text{m}$  abaixo da superfície) onde a dureza alcançou cerca de 430 HV para ambas as profundidades de usinagem, ou seja, a elevação da dureza atingiu 30% e um gradiente de aproximadamente 0,2 HV/ $\mu\text{m}$ .

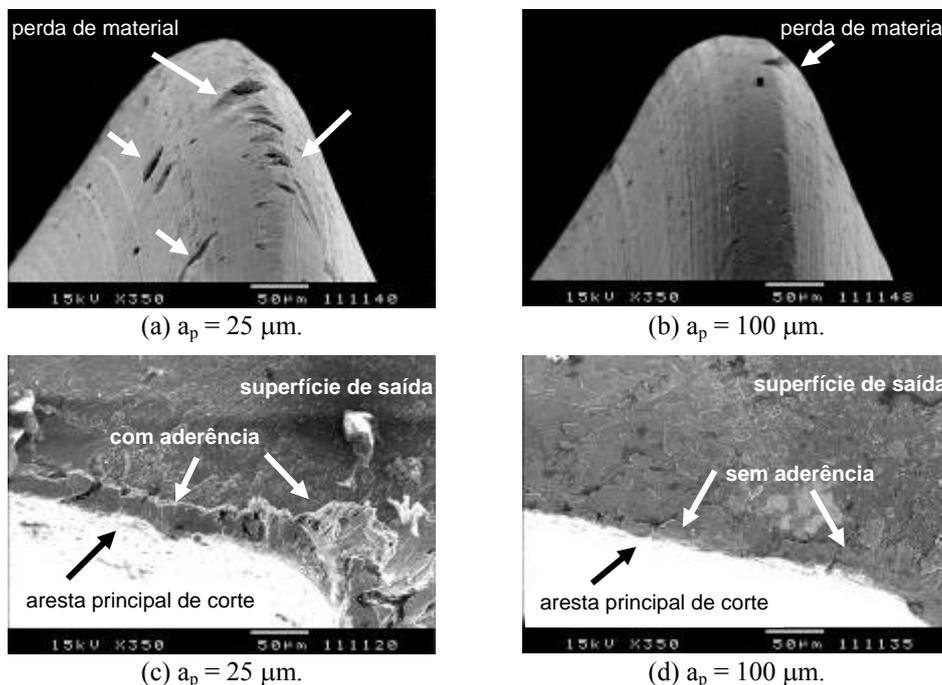


Figura 6. Imagens de MEV da crista da rosca (a, b) e da ferramenta de roscamento (c, d).

Examinando-se a Fig. 6a, observa-se que a rosca usinada com profundidades de 25  $\mu\text{m}$  apresentou um perfil não uniforme na região do raio de arredondamento da crista, além de pontos de arrancamento de material da peça. A crista da rosca usinada com profundidade de 100  $\mu\text{m}$ , mostrada na Fig. 6b, exibiu um perfil mais homogêneo e praticamente sem perda de material. Este comportamento pode estar relacionado ao pequeno volume de material na crista, à baixa usinabilidade do titânio e ao aumento da pressão específica de corte ocorrido na menor profundidade de usinagem, já que a pressão específica de corte é inversamente proporcional à profundidade de usinagem, ou equivalentemente à área da seção de corte, conforme ilustram Diniz et al (2000) e Ferraresi (1970).

A Figura 6c demonstra que houve nitidamente deposição de material da peça na aresta principal de corte da ferramenta, provavelmente decorrente dos fatores mencionados acima. É possível inclusive constatar uma grande quantidade de material aderido na aresta curva responsável pela usinagem do perfil da crista da rosca. A Figura 6d, ao contrário, devido à maior profundidade de usinagem, e conseqüentemente maior área de corte, praticamente não apresenta material depositado nas arestas de corte reta e curva.

### 3.2. Microdureza e Caracterização Visual do Vale da Rosca

Outra região crítica ao desempenho do implante dentário quanto à osseointegração e a solicitações mecânicas é o vale da rosca. O comportamento da microdureza para essa região é mostrado na Fig. 7.

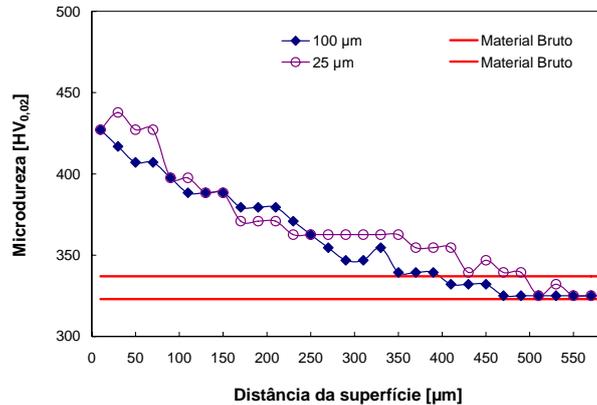


Figura 7. Perfil de microdureza no vale da rosca.

De forma análoga aos resultados da crista da rosca, nota-se também que o emprego da menor profundidade de usinagem causou uma redução em cerca de 120  $\mu\text{m}$  na camada endurecida afetada pelo processo de roscamento, ao comparar as medições com as do material na condição bruta. Novamente, este resultado indica que o aumento da pressão específica de corte, também ocorrido no vale da rosca, causa um maior recalque e encruamento do material.

Através da Fig. 7 também se pode constatar que o comportamento dos perfis de microdureza para ambas as profundidades de usinagem apresentaram-se semelhantes, especialmente no intervalo entre 100 e 250  $\mu\text{m}$ , onde o gradiente de microdureza foi de 0,4 HV/ $\mu\text{m}$ . A única exceção ocorreu na região próxima à superfície, em que a microdureza para a menor profundidade de usinagem foi cerca de 5% maior, até aproximadamente 90  $\mu\text{m}$  abaixo da superfície. Finalmente, ambas as profundidades de usinagem causaram um aumento dos níveis de microdureza, em relação ao material bruto, de aproximadamente 33%, atingindo o patamar de 437 HV.

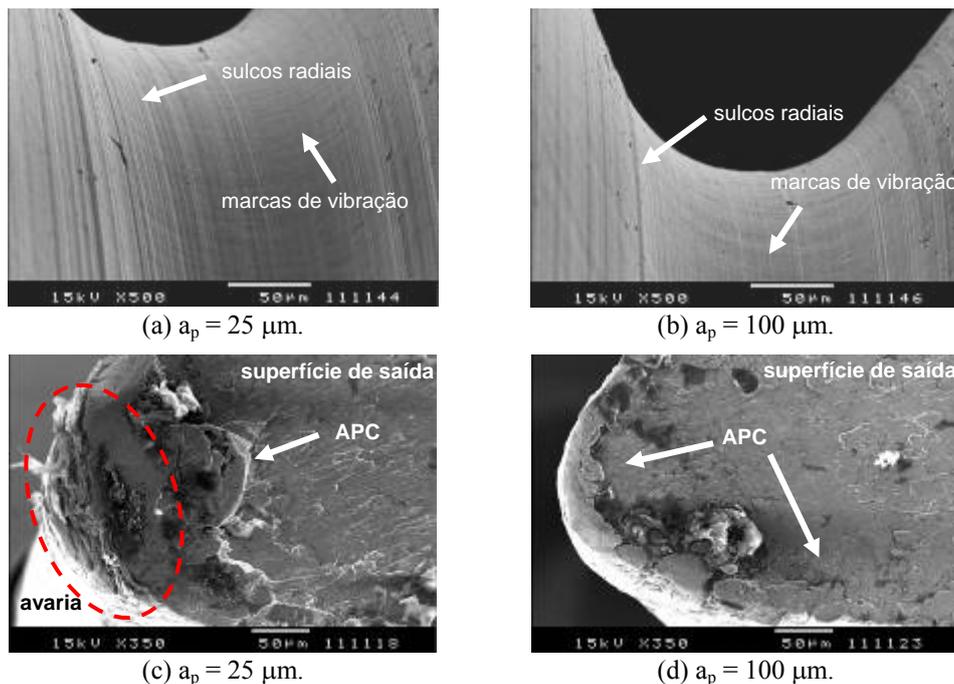


Figura 8. Imagens de MEV do vale da rosca (a, b) e da ferramenta de roscamento (c, d).

Observa-se na Fig. 8a que o emprego da profundidade de usinagem de 25  $\mu\text{m}$  causou uma quantidade maior de sulcos radiais no vale da rosca em comparação à Fig. 8b. Isso pode ser explicado pelo fato da ferramenta, apresentada na Fig. 8c, ter tido sua aresta de corte danificada, devido ao acúmulo de material na superfície de saída, ocasionado pela aresta postiça de corte (APC). Além disso, o maior número de passes da ferramenta para usinar o perfil completo dos filetes de rosca pode ter contribuído para a geração das marcas radiais nas superfícies próximas ao vale da rosca.

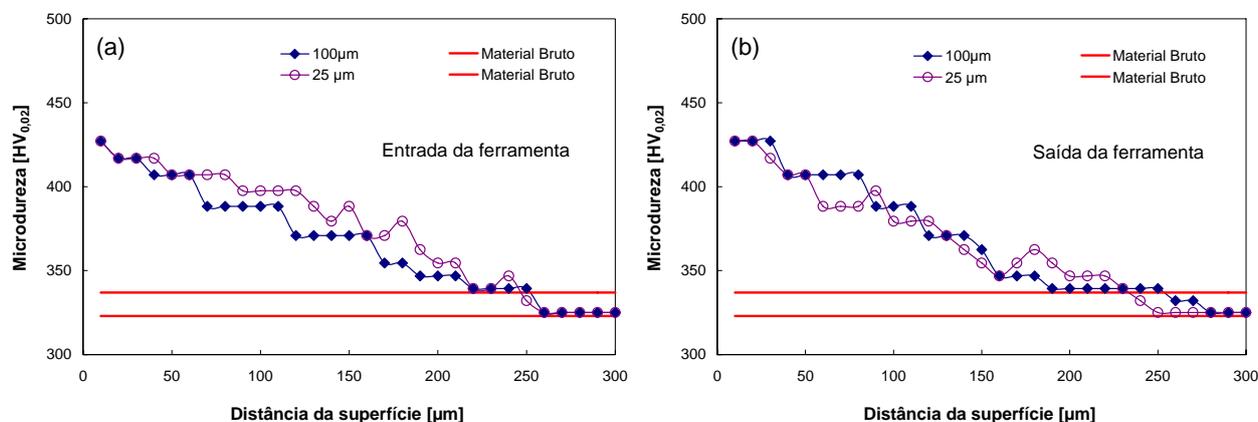
A Figura 8d revela também a existência de APC na aresta principal de corte da ferramenta ao aplicar a profundidade de usinagem de 100  $\mu\text{m}$ . Entretanto, neste caso, o menor grau de aderência não causou danos significativos à ferramenta por ser em menor volume e mais distribuído ao longo da aresta principal. Apesar do aumento do raio de aresta, causado pela deposição de material, há um efeito alisador na superfície do vale, evidenciada na Fig. 8b.

Por fim, em ambos os vales das roscas analisados, nota-se a presença de ondulações axiais aparentemente de mesma intensidade e frequência. Esta textura superficial provavelmente provém da associação entre a velocidade de corte e o perímetro de contato do raio de ponta da ferramenta, uma vez que as ondulações não avançam por sobre as superfícies laterais dos filetes de rosca. Estas marcas de vibração demonstram que a aresta do raio de ponta da ferramenta, confinada no vale da rosca, parece sofrer maiores esforços no contato peça-ferramenta.

### 3.3. Microdureza e Caracterização Visual das Superfícies Laterais da Rosca

A microdureza apresentou padrões ligeiramente distintos para as superfícies laterais dos filetes de rosca. A face disposta no sentido do avanço da ferramenta, denominada de entrada da ferramenta, indica que o encruamento da subsuperfície dos corpos de prova alcançou uma extensão de aproximadamente 220  $\mu\text{m}$ , para ambas as profundidades de usinagem, Fig. 9a. O gradiente de microdureza foi em média de 0,36 HV/ $\mu\text{m}$ , porém as menores amplitudes foram encontradas para a profundidade de usinagem de 100  $\mu\text{m}$ , exceção feita apenas na região até 30  $\mu\text{m}$  abaixo da superfície da rosca, onde os valores de microdureza foram idênticos.

A face oposta ao sentido do avanço, denominada de saída da ferramenta, apresentou o mesmo gradiente de microdureza da entrada da ferramenta, todavia alcançou uma extensão de encruamento menor (190  $\mu\text{m}$ ), especialmente para a profundidade de usinagem de 100  $\mu\text{m}$ . Este resultado, apresentado na Fig. 9b, demonstra que o flanco da rosca disposto no sentido do avanço da ferramenta indica sofrer maiores esforços mecânicos, provavelmente decorrentes da própria força de avanço da ferramenta. Novamente, tomando-se como valor referencial o material no estado bruto, o acréscimo da microdureza para ambas as superfícies dos filetes de rosca alcançou 30% e atingiu o patamar de 430 HV na superfície roscada.



**Figura 9. Perfil de microdureza nas superfícies laterais dos filetes de rosca.**

No que se diz respeito à qualidade das superfícies laterais dos filetes de rosca, pode-se verificar que o emprego da profundidade de usinagem de 25  $\mu\text{m}$  resultou em uma quantidade maior de sulcos e maiores níveis de ondulações nas faces opostas ao sentido do avanço da ferramenta, como mostra a Fig. 10a. Para a profundidade de usinagem de 100  $\mu\text{m}$ , entretanto, as marcas da ferramenta, apesar de existentes, não foram significativas e nem provocaram ondulações perceptíveis, Fig. 10b. Novamente, o número de passes necessários para usinar o perfil completo da rosca, associado ao efeito de escala ditado pelas distintas profundidades de usinagem, influenciou a qualidade da textura das superfícies laterais dos filetes de rosca.

As Figuras 10c e 10d contribuem na análise acima, sob a ótica das ferramentas de corte, na medida em que é possível constatar maior aderência na aresta secundária de corte ao aplicar a menor profundidade de usinagem, em comparação à profundidade de 100  $\mu\text{m}$ . Observa-se na Fig. 10c que a APC presente na aresta secundária de corte apresenta certa semelhança com a da aresta primária de corte. A Figura 10d, porém, mostra nitidamente que a aresta secundária de corte da ferramenta está praticamente isenta de acúmulo de material da peça, o que também pode ter contribuído para o melhor acabamento das superfícies laterais dos filetes de rosca ao empregar a maior profundidade de usinagem.

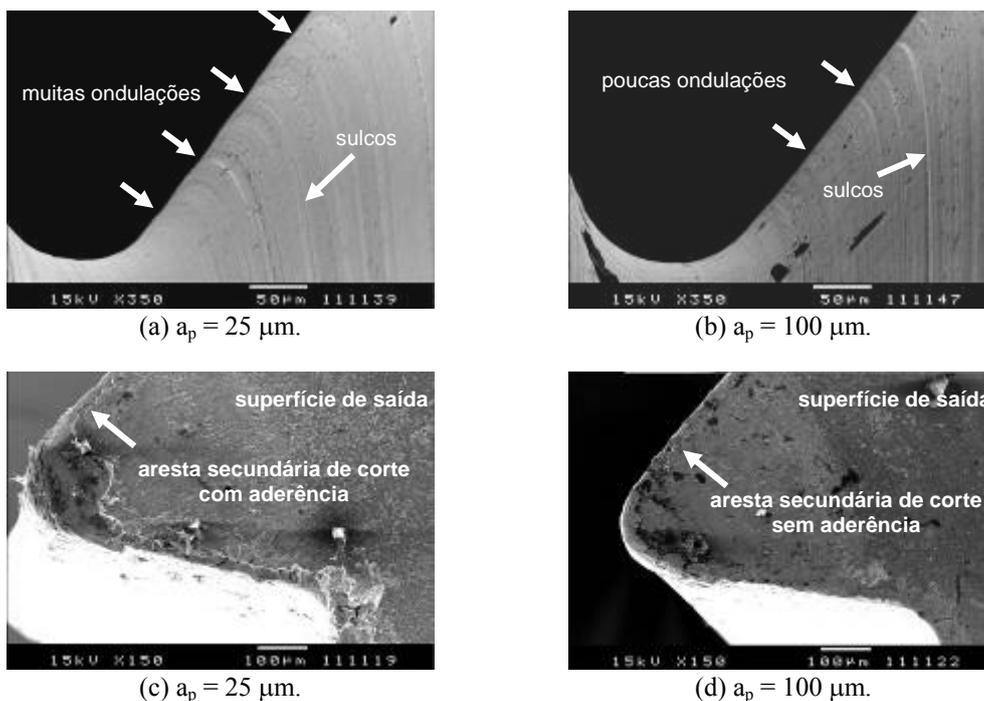


Figura 10. Imagens de MEV da superfície lateral da rosca (a, b) e da ferramenta de roscamento (c, d).

#### 4. CONCLUSÕES

Os parâmetros de corte para a operação de roscamento externo em Titânio C.P. demonstram influir no perfil de microdureza abaixo da superfície usinada da peça e no acabamento dos filetes de rosca. Devido ao fenômeno conhecido como “efeito de escala”, constatou-se que a menor profundidade de usinagem empregada no roscamento conduziu, em geral, a maiores níveis de microdureza, bem como a maiores extensões das camadas endurecidas abaixo da superfície usinada. Por outro lado, a maior profundidade de usinagem refletiu positivamente no comportamento da microdureza, elevando-se a níveis mais baixos e alcances abaixo da superfície roscada menores.

A textura superficial da rosca, tanto na crista, como no vale e nas faces laterais dos filetes foi favorecida pelo aumento da profundidade de usinagem, que minimizou a pressão específica de corte pela redução da área de corte e a quantidade de passes necessários à obtenção do perfil completo do filete de rosca. Esta combinação de efeitos teve conseqüências nas próprias arestas das ferramentas, em que a maior profundidade de usinagem permitiu uma melhor formação do cavaco (menor recalque decorrente do efeito de escala) e a mínima deposição de material da peça nas arestas de corte.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa “IMPLALIFE - Indústria de Produtos Médico-Odontológicos” pelo fornecimento dos corpos de prova e ao CNPq pelo suporte na forma de bolsa de apoio técnico.

#### 6. REFERÊNCIAS

- Diniz, A.E., Marcondes, F.C., Coppini, N.L., 2000, “Tecnologia da Usinagem dos Materiais”, Ed. Artiliber, São Paulo, Brasil, 244 p.
- Ferraresi, D., 1977, “Fundamentos da Usinagem dos Metais”, Ed. Edgard Blücher, São Paulo, Brasil, 751 p.
- Garcia, J.D.O., 2006, “Parafusos de pilar utilizados em implantes dentários”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil.
- Gemelli, E., Scariot, A., Camargo, N. H. A., 2007, “Thermal Characterization of Commercially Pure Titanium for Dental Applications”, Materials Research, Vol. 10, No. 3, pp. 241-246.
- Polmear, L.J., 1989, “Light Alloy”. Edward Arnold Publisher, London, 278 p.
- Rodrigues, A.R., 2005, “Estudo da geometria de arestas de corte aplicadas em usinagem com altas velocidades de corte”, Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Brasil.
- Shaw, M.C., 1984, “Metal Cutting Principles”, Oxford Science Publications, New York, EUA, 594 p.
- Wang, S.H., 2000, “Investigation into the grinding of Titanium alloys”, PhD Thesis, Cranfield Institute of Technology, School of Industrial and Manufacturing Science, p. 252. Cranfield, London.
- Williams, D.F., 1981, “Biocompatibility of Clinical Implant Materials”, Vol. 1, Boca Raton, Fla, CRC Press, 288 p.

## 7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

# SURFACE INTEGRITY EVALUATION OF TITANIUM DENTAL IMPLANTS

**Rodolfo da Silva Manera, rodolfoman@aluno.feis.unesp.br**  
**Alessandro Roger Rodrigues, roger@mat.feis.unesp.br**  
**Hidekasu Matsumoto, hidekasu@dem.feis.unesp.br**  
**Juno Gallego, gallego@dem.feis.unesp.br**

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - FEIS/UNESP, Av. Brasil Centro, 56 - CEP 15.385-000 - Ilha Solteira-SP

***Abstract:** Metallic alloys applied in implants have been researched a lot with regard to the microstructure, mechanical properties, and biocompatibility characteristics. Even with appearance of polymeric materials in the last decades, titanium and his alloys still represent the main application in implantology area. This work presents an investigation of the external threading process influence on the tool behavior, surface quality and microhardness of dental implants. The study based on thread region given the problems about osseointegration and mechanical forces. The researched material was the ASTM F67 Titanium (Degree 4) employed typically in dental implants manufacturing. The workpieces were machined in a CNC with 2,2 KW power. Carbide tools coated with TiNAl and abundant cutting fluid were applied on tests. The visual characterization of thread by using SEM and microhardness measurements in the thread cross-section were compared to the material "as received". The results indicated that the size effect contributed to increase the microhardness by about 30%, affecting a layer of 200  $\mu\text{m}$  beneath the machined surface. In addition, the microhardness measured in the lateral thread profile presented distinct values due to the tool feed direction. Images from SEM revealed that increase in depth of cut provided an improvement of thread surface quality as well as a reduction of workpiece material adherence on tool rake face.*

***Keywords:** dental implants, surface integrity, threadings, size effect.*