

## Comportamento Eletroquímico da Liga Ti-12mo-13nb envelhecida para aplicação Biomédica

### *Electrochemical corrosion behavior in aged Ti-12mo-13nb aged to Biomedical Applications*

Tales Vieira Silva<sup>1</sup>  
Iranildes dos Santos<sup>2</sup>  
Sinara Borborema Gabriel<sup>2</sup>



Artigo  
Original

Original  
Paper

#### Resumo

#### Palavras-chave:

Biomateriais  
Ligas de Titânio  
Corrosão  
Microestrutura

Consideráveis esforços têm sido feitos para explorar novas ligas de Ti visando aplicações ortopédicas que reúnam as seguintes propriedades: baixo módulo de elasticidade, excelente resistência mecânica, assim como boa resistência à corrosão, fácil conformabilidade e sem a presença de elementos tóxicos. Estudos preliminares mostraram que a liga Ti-12-Mo-13Nb envelhecida a 500°C/24 h apresentou alta razão dureza/módulo de elasticidade. Diante do contexto, o objetivo deste trabalho foi analisar o comportamento eletroquímico da liga Ti-12Mo-13Nb envelhecida a 500°C/24 h, visando seu uso como material biomédico. O comportamento eletroquímico foi realizado por curvas de polarização potenciodinâmica usando solução de NaCl 0,9 % para simular o fluido corpóreo. Os resultados mostraram que, a liga Ti-12Mo-13Nb apresentou menores valores de densidade de corrente que a liga Ti-6Al-4V em praticamente toda a faixa estudada.

#### Abstract

Considerable efforts have been made to explore new Ti alloys for orthopedics applications that combine the following properties: low elastic modulus, excellent mechanical strength, as well as good corrosion resistance, easy adjustment and without the presence of toxic elements. Previous studies had shown that the Ti-12-Mo-13Nb alloy aged 500°C/24h presented high hardness/modulus ratio elasticity. Therefore, the objective of this work was to analyze the electrochemical behavior of the Ti-12-Mo-13Nb alloy aged 500°C/24h, aiming at its use as biomedical material. The electrochemical behavior was carried through potentio/dynamic polarization curves using solution of NaCl 0.9% to simulate the body fluid. The results had shown that Ti-12-Mo-13Nb alloy presented lower current density values than the Ti-6Al-4V alloy in, practically, all the levels studied.

#### Key words:

Biomaterials  
Titanium Alloys  
Corrosion  
Microstructure

<sup>1</sup>Discente do Curso de Engenharia de Produção / UniFOA

<sup>2</sup>Docente do Curso de Engenharia de Produção / UniFOA

## 1. Introdução

Titânio e suas ligas são amplamente usadas como implantes ortopédicos por apresentarem resistência à corrosão, biocompatibilidade, maior resistência e menor módulo de elasticidade que outros biomateriais metálicos tais como aço inoxidável e as ligas a base de Co-Cr<sup>[1]</sup>. A liga de Ti mais utilizada em aplicações ortopédicas é a Ti-6Al-4V. Embora essa liga apresente um menor módulo de elasticidade quando comparada com o aço inoxidável e as ligas de Co-Cr, esse valor (110-120 GPa) é alto comparado ao do tecido ósseo (~10-40 GPa). A diferença entre o módulo do metal e do tecido ósseo pode resultar em reabsorção óssea e eventual falha do implante<sup>[2]</sup>. Além disso, estudos desta particular liga têm mostrado que a liberação de pequenas quantidades dos elementos V e Al no corpo humano podem induzir efeitos citotóxicos e desordens neurológicas, respectivamente<sup>[3]</sup>.

Consideráveis esforços têm sido realizados para explorar novas ligas de Ti visando aplicações ortopédicas que reúnam as seguintes propriedades: baixo módulo de elasticidade, excelente resistência mecânica, boa resistência à corrosão, fácil conformabilidade e sem a presença de elementos tóxicos. A fase  $\beta$ , presente nas ligas de titânio, exibe um menor módulo de elasticidade que as fases  $\alpha$  e  $\alpha + \beta$ , e também, satisfazem a maioria dos pré-requisitos para uma bioliga ideal<sup>[4,5]</sup>. Vários trabalhos na literatura vêm desenvolvendo ligas do tipo  $\beta$  compostas de elementos não tóxicos<sup>[4,5,6]</sup>.

Estudos realizados por Gabriel *et al.*<sup>[7,8]</sup> sobre o processamento da liga Ti-12Mo-13Nb mostraram que, a maior relação dureza específica, módulo de elasticidade foi obtida na condição envelhecida a 500°C/24 h. Esse resultado representou um valor da ordem de 37% em relação à liga Ti-6Al-4V e, portanto, mostrou ter maior potencial para ser aplicada como substituto ósseo, em locais sujeitos a carregamentos mecânicos. Porém, são necessários estudos adicionais como a avaliação da resistência à corrosão desta liga.

Sabe-se que a biocompatibilidade do Ti está intimamente relacionada às propriedades da camada de óxido superficial, em termos de sua estrutura, morfologia e composição<sup>[9,10]</sup>. Segundo OKAZAKI GOTOH<sup>[11]</sup>, os metais são liberados dos implantes ortopédicos por vários mecanismos:

corrosão, desgaste e processos eletroquímicos mecanicamente acelerados tais como corrosão acelerada por tensão, corrosão por fadiga e corrosão por atrito. Essa liberação tem sido associada com falha do implante, osteólise e reações alérgicas.

Diante do contexto, o objetivo deste trabalho foi analisar o comportamento eletroquímico da liga Ti-12Mo-13Nb obtida sob diferentes condições, visando seu uso como material biomédico.

## 2. Procedimento Experimental

A liga Ti-12Mo-13Nb foi preparada a partir de Ti, Mo e Nb de pureza comercial por fusão a arco com eletrodo não consumível de tungstênio em atmosfera de argônio. O lingote obtido foi tratado a 1200°C por 4 h em um forno tubular com resfriamento em água a temperatura ambiente e então forjado a frio até redução de ~ 20%. Em seguida foi tratado a 1000 °C por 24h e resfriamento em água e forjado até redução de 55 %. O lingote forjado foi submetido a um tratamento de envelhecimento a 500°C/ 24h e resfriado em água.

As curvas de polarização potenciodinâmica foram realizadas em potenciostato/galvanostato EG&G Princeton Applied Research modelo 273-A, tendo como interface o cartão controlador GPIB STD-8410 e aquisição de dados pelo programa Resarch Electrochemistry Software 4.00 (1992) modelo 270 da EG&G Instruments. Esses testes foram realizados para avaliar o comportamento eletroquímico da liga de Ti-12Mo-13Nb para uso em aplicações biomédicas. As medidas foram realizadas na faixa de potencial entre -0,4 e 1,6V a uma taxa de varredura de potencial de 0,03 V.min<sup>-1</sup>. Os ensaios foram realizados a 25°C usando uma célula de vidro com tampa de teflon contendo 15 mL de solução de 0,9% de NaCl. Ligas de Ti-12Mo-13Nb e Ti-6Al-4V, ambas com área de 0,17 cm<sup>2</sup>, foram usadas como eletrodo de trabalho. Fio de platina em espiral foi utilizado como contraeletrodo e prata/cloreto de prata (E<sub>o</sub>=0.222V), em solução de 1 mol.L<sup>-1</sup> de KCl, como eletrodo de referência. As curvas potenciodinâmica foram realizadas em duplicata e antes de cada teste, as ligas foram polidas com alumina e ácido oxálico, rinsadas com água destilada e álcool, e secas.

### 3. Resultados e Discussão

A Figura 1 apresenta duas imagens de campo claro obtidas por microscopia eletrônica de transmissão da liga envelhecida a 500 °C / 24 h. A primeira imagem (a) mostra lamelas da fase  $\alpha$  na

matriz  $\beta$  e a segunda (b) mostra a fase  $\alpha$  na forma de partículas não lamelares na matriz  $\beta$ . A Figura 1 (c) mostra o padrão de difração da liga onde se identifica as fases  $\alpha$  e  $\beta$ , respectivamente. Portanto, com o envelhecimento a microestrutura desta liga é composta somente por fase  $\alpha$  na matriz  $\beta$  [7,8].

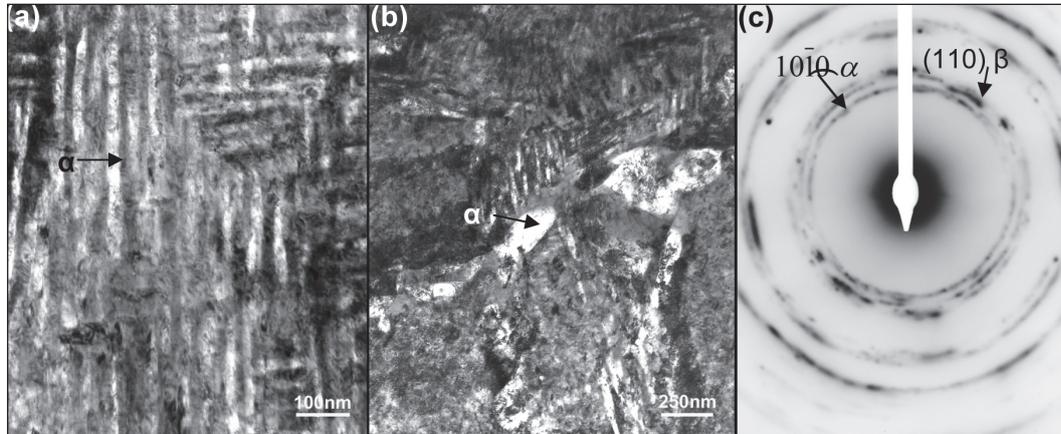


Figura 1 – Análises por MET da liga Ti-12Mo-13Nb envelhecida a 500 °C / 24 h: (a) imagem de campo claro de lamelas da fase  $\alpha$  (branco) em uma matriz  $\beta$  (b) imagem de campo claro de partículas não lamelares da fase  $\alpha$  (branco) em uma matriz  $\beta$  e (c) padrão de difração com indicação das fases  $\alpha$  e  $\beta$  [7,8].

Em relação às propriedades mecânicas da liga nesta condição, o módulo de elasticidade e a dureza da liga foi de aproximadamente 84 GPa e 320 HV, respectivamente.

Para medir a desempenho de biomateriais com baixo módulo de elasticidade e alta resistência para serem utilizados como substituto ósseo, geralmente utiliza-se a razão resistência por módulo de elasticidade, onde quanto maior o valor resultante, maior será o potencial para uso nestas aplicações. Assim sendo, a razão dureza específica por módulo da liga nesta condição representou

um valor da ordem de 37 % em relação à liga comercial Ti-6Al-4V [7,8].

As curvas de polarização potenciodinâmica das ligas Ti-12Mo-13Nb envelhecida a 500 °C / 24 h e Ti-6Al-4V em solução de 0,9% de NaCl, simulando a agressividade do corpo humano, foram realizadas para avaliar a resistência à corrosão da liga Ti-12Mo-13Nb, conforme mostra a Figura 2. A liga Ti-6Al-4V foi utilizada para efeito de comparação, por se tratar de um material comumente usado em implantes ortopédicos [6].

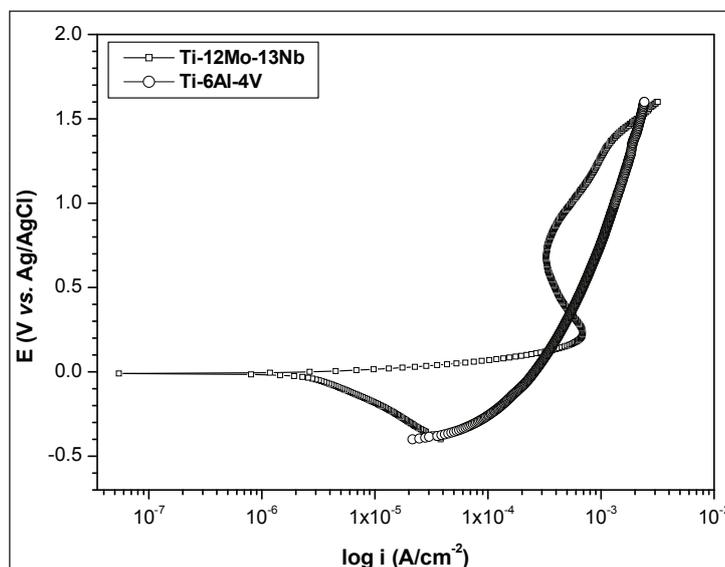


Figura 2- Curvas de polarização potenciodinâmica das ligas de Ti-12Mo-13Nb e Ti-6Al-4V em solução de 0.9% de NaCl a uma taxa de varredura de potencial de 0,03 V.min<sup>-1</sup> e a 25°C.

A região anódica da curva de polarização da liga Ti-12Mo-13Nb entre 0,2 e 1,5V indica a formação de uma região passiva, associada à formação de um ou mais filme protetor<sup>[12]</sup>. Não foi observada região de formação de pite e nem oscilação da densidade de corrente na região passiva, indicativo da presença de corrosão por pite<sup>[12]</sup>. Observa-se ainda que, ocorreu uma estabilização parcial da densidade de corrente em  $8 \times 10^{-7} \text{ A.cm}^{-2}$ , indicando que o filme de óxido de titânio foi formado<sup>[13]</sup>. Entretanto, esse filme torna-se mais estável em potenciais superiores a 0,16V onde se observa uma leve estabilização da densidade de corrente com o aumento do potencial. Através da curva potenciodinâmica da liga Ti-12Mo-13Nb, foram obtidos os seguintes resultados:  $E_{\text{corr.}} = -15,717 \text{ mV}$ ,  $I_{\text{corr.}} = 0,0544 \mu\text{m.cm}^{-2}$  e  $I_{\text{pass.}} = 622 \mu\text{m.cm}^{-2}$ . Os resultados mostraram ainda que, a liga Ti-12Mo-13Nb apresentou menores valores de densidade de corrente que a liga Ti-6Al-4V em praticamente toda a faixa estudada.

#### 4. Conclusão

Conclui-se que a liga Ti-12Mo-13Nb na condição envelhecida com uma microestrutura  $\alpha + \beta$  apresentou além de baixo módulo de elasticidade e alta dureza em relação a liga comercial Ti-6Al-4V, uma boa resistência à corrosão. Quando comparada com a liga comercial Ti-6Al-4V, apresentou menores valores de densidade de corrente que esta em praticamente toda a faixa estudada. Portanto, esta avaliar a resistência à corrosão da liga em função do tempo de exposição em solução de 0,9% de NaCl liga é um promissor candidato para ser utilizado como implante, porém, serão necessários estudos adicionais envolvendo outras análises como: testes de fadiga, citotoxicidade, teste *in vivo* e medidas de potencial de circuito aberto (OCP) para melhor.

#### 5. Agradecimento

Os autores agradecem ao Departamento de Engenharia de Materiais da Escola de Engenharia de Lorena (EEL/USP) pelo desenvolvimento deste trabalho.

#### 6. Referências

1. ZHOU, Y. L., NIINOMI, M., AKAHORI, T., *et al.*, Corrosion resistance and biocompatibility of Ti-Ta alloys for biomedical applications, *Materials Science and Engineering A*, v. 398, p. 28-36, 2005.
2. MAJUMDAR, P., SINGH, S. B., CHAKRABORTY, M., Elastic modulus of biomedical titanium alloys by nano-indentation and ultrasonic techniques – A comparative study, *Materials Science and Engineering A*, v. 489, p. 419-425, 2008.
3. RAABE, D., SANDER, B., FRIÁK, M., *et al.*, Theory-guided bottom-up design of  $\beta$ -titanium alloys as biomaterials based on first principles calculations: Theory and experiments, *Acta Materialia*, v. 55, p. 4475-4487, 2007.
4. LI, S. J., YANG, R., LI, S., *et al.*, Wear characteristics of Ti-Nb-Ta-Zr and Ti-6Al-4V alloys for biomedical applications, *Wear*, v. 257, p. 869-876, 2004.
5. XU, W., KIM, K.B., DAS, J., *et al.*, Phase stability its effect on the deformation behavior of Ti-Nb-Ta-In/Cr  $\beta$  alloys, *Scripta Materialia*, v. 54, p. 1943-1948, 2006.
6. GORDIN, D.M. *et al.* Synthesis, structure and electrochemical behavior of a beta Ti-12Mo-5Ta alloy as new biomaterial, *Materials Letters*, v. 59, p.2959-2964, 2005.
7. GABRIEL, Sinara Borborema. Processamento e caracterização de ligas Ti-Mo-Nb para aplicações biomédicas, 2008, Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2008.
8. GABRIEL, S. B., NUNES C. A., DILLE, J., SOARES, G. A. Microstructural evolution and Mechanical properties of aged Ti-12Mo-13Nb alloy. In Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais, Porto de Galinhas, 2008.
9. LI, L., KONG, Y., KIM, H., *et al.*, Improved biological performance of Ti implants due to surface modification by micro-arc oxidation”, *Biomaterials*, v. 25, p. 2867-2875, 2004.

10. NIINOMI, M., AKAHORI, T., TAKEUCHI, T., et al., Mechanical properties and cytotoxicity of new beta type titanium alloy with low melting points for dental applications, *Materials Science and Engineering C*, v. 25, p. 417-425, 2005.
11. OKAZAKI, Y., GOTOH, E., Comparison of metal release from various metallic biomaterials in vitro, *Biomaterials*, v. 26, p. 11-21, 2005.
12. ALVES, A. P. R., SANTANA, F. A., ROSA, L. A. A., *et al.*, A study on corrosion resistance of the Ti-10Mo experimental alloy after different processing methods, *Materials Science and Engineering*, v. C24, p. 693-696, 2004.
13. De Assis, S. L., Wolyneć, S., Da Costa, I., Corrosion characterization of titanium alloys by Electrochemical techniques, *Electrochimica Acta*, v.51, p. 1815-1819, 2006.

---

**Endereço para Correspondência:**

Sinara Borborema Gabriel  
sinarab@msn.com

Centro Universitário de Volta Redonda  
*Campus* Três Poços  
Av. Paulo Erlei Alves Abrantes, nº 1325,  
Três Poços - Volta Redonda / RJ  
CEP: 27240-560

**Informações bibliográficas:**

Conforme a NBR 6023:2002 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), este texto científico publicado em periódico eletrônico deve ser citado da seguinte forma: SILVA, Tales Vieira, SANTOS, Iranildes dos; GABRIEL, Sinara Borborema. Comportamento Eletroquímico da Liga Ti-12mo-13nb envelhecida para aplicação Biomédica. *Cadernos UniFOA*. Volta Redonda, Ano V, n. 14, dezembro 2010. Disponível em: <<http://www.unifoa.edu.br/cadernos/edicao/14/19.pdf>>