



4º Congresso Brasileiro
de Ciência e Saberes
Multidisciplinares
**tudo é
ciência**
11º Encontro de Extensão
Universitária do UNIFOA

**23 a 25
de outubro**

Submissões abertas até 07/09

Desempenho da resistência à corrosão da liga Ti-10Mo-3Nb em solução de ringer – uma avaliação eletroquímica

Gabrielle Laut Lopes Marinho¹; 0000-0002-7558-4958

Larissa Dutra Pereira¹; 0009-0004-2968-8045

Maurício Vasconcellos dos Santos¹; 0000-0002-1863-3071

Nathalia Vasconcellos de Andrade¹; 0009-0002-5012-1292

Victoria Rosa Euzebio de Azevedo¹; 0009-0006-3508-682X

Sinara Borborema²; 0000-0001-6866-5808

Wilma Clemente de Lima Pinto¹; 0000-0002-3771-8871

Ana Isabel de Carvalho Santana¹; 0000-0002-2000-5859

1 – FCEE/UERJ, Faculdade de Ciências Exatas e Engenharias – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.

2 – FAT/UERJ, Faculdade de Tecnologia - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rezende, RJ.

gabriellelaut122@gmail.com

Resumo: As ligas de titânio são amplamente utilizadas como biomateriais metálicos em virtude das suas propriedades mecânicas e da elevada resistência à corrosão. Contudo em meios de corrosividade elevada, essas ligas podem sofrer degradação por corrosão. O presente trabalho utilizou testes eletroquímicos de monitoramento do potencial de circuito aberto e curvas de polarização para avaliar a resistência à corrosão da liga Ti-10Mo-3Nb, em comparação a uma liga comercial Ti-Al-V. As ligas foram expostas a uma solução ringer, naturalmente aerada, em temperatura ambiente. Os resultados mostraram a formação espontânea de um filme protetor sobre a superfície das ligas. A formação de uma ampla região passiva foi verificada através das curvas de polarização para ambos os materiais. Os resultados preliminares mostraram que a liga Ti-10Mo-3Nb apresenta uma resistência à corrosão compatível com o observado com a liga referência. Esses resultados são interessantes e tornam a liga Ti-10Mo-3Nb uma alternativa promissora em termos de resistência à corrosão.

Palavras-chave: Ligas de titânio. Corrosão. Biomateriais. OCP. Curvas de Polarização



INTRODUÇÃO

As ligas de titânio vêm sendo amplamente utilizadas como biomateriais metálicos por apresentarem propriedades interessantes como elevada resistência mecânica e baixo módulo de elasticidade, o que permite que esses materiais sejam aplicados como próteses ósseas e em aplicações dentárias. Aliado às excelentes propriedades mecânicas, as ligas de titânio possuem uma alta resistência à corrosão, o que permite que sejam candidatas a substituir os aços inoxidáveis e as ligas cromo-cobalto, na aplicação como biomateriais (LI et al. 2020). A liga Ti-6Al-4V é uma das mais aplicadas como biomaterial metálico, entretanto estudos recentes apontam que a presença do alumínio e vanádio na liga pode provocar efeitos citotóxicos ao corpo humano (XU et al. 2020; KUMAR e GAUTAM, 2024; RIBEIRO et al. 2025). Considerando a extrema relevância da utilização do titânio e de suas ligas em aplicações ortopédicas e dentárias, aliadas com a necessidade de encontrar as condições ideais para que os procedimentos de implantes sejam realizados com segurança, pesquisas vêm sendo desenvolvidas a fim de avaliar o efeito da adição de elementos de liga como Nb, Zn, Mo sobre as propriedades das ligas de titânio. Neste sentido este trabalho teve como objetivo avaliar a resistência à corrosão de uma liga Ti-10Mo-3Nb em comparação com uma liga comercial Ti-10Al-2,5V. Testes eletroquímicos de monitoramento do potencial de circuito aberto e curvas de polarização, foram obtidos utilizando uma solução de ringer, naturalmente aerada.

MÉTODOS

A liga Ti-10Mo-3Nb avaliada neste trabalho foi produzida através de um processo de fusão a arco com eletrodo de tungstênio, utilizando Ti (comercialmente puro), Nb (> 99,9%) e Mo (> 99,9%). A liga Ti-10Al-2,5V, adquirida comercialmente foi utilizada para comparação com a liga Ti-10Mo-3Nb. A composição da liga adquirida comercialmente foi obtida através da técnica de fluorescência de raios X. Para obtenção dos ensaios eletroquímicos as amostras metálicas foram cortadas com máquina policorte de bancada e soldadas a um fio de cobre. O contato elétrico das amostras após soldagem foi conferido com auxílio de um multímetro. Na sequência as amostras foram embutidas em resina epóxi e deixadas em repouso por 24 horas para a cura da resina. A Figura 1 ilustra o esquema experimental para o preparo das



amostras metálicas. Antes dos testes eletroquímicos as amostras metálicas foram lixadas com lixa d'água de diferentes granulometrias (600 – 1200), seguida de lavagem com água e sabão, desengorduradas com álcool etílico, rinsadas com água destilada e secas com jato de ar frio.

Figura 1: Preparação da amostra para ensaios eletroquímicos.

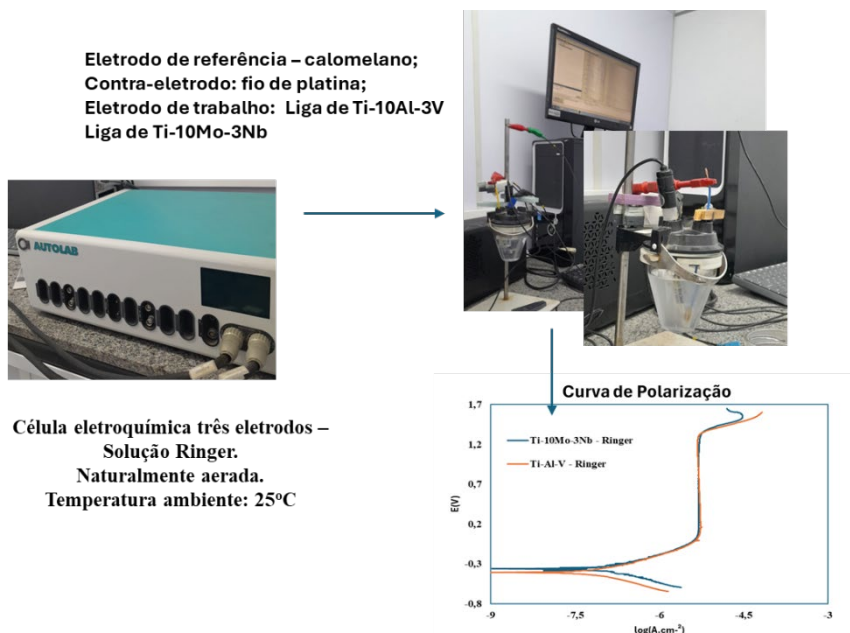


Fonte: (AUTOR, 2025)

Os testes eletroquímicos foram conduzidos utilizando uma célula convencional de três eletrodos: ligas de titânio – eletrodo de trabalho, calomelano saturado – eletrodo de referência, fio de platina – eletrodo de referência. O eletrólito consistiu de uma solução ringer, naturalmente aerada, temperatura de 25°C e pH 6,5. O potenciostato/galvanostato da AUTOLAB foi utilizado para obtenção dos testes eletroquímicos: monitoramento de potencial de circuito aberto (OCP – Open Circuit Potential) e curvas de polarização anódica. A figura 2, apresenta o esquema experimental para a realização dos testes eletroquímicos. O OCP foi monitorado por 3600 s e na sequência foram obtidas as curvas de polarização utilizando uma faixa de potencial -0,25 V a 2 V (vs SCE) em relação ao OCP, com velocidade de varredura de 1 mV.s⁻¹. A fim de garantir a reprodutibilidade dos dados, todos os ensaios foram obtidos em triplicata. A Figura 1 ilustra o esquema experimental para obtenção dos testes eletroquímicos.



Figura 2: Esquema experimental dos testes eletroquímicos.



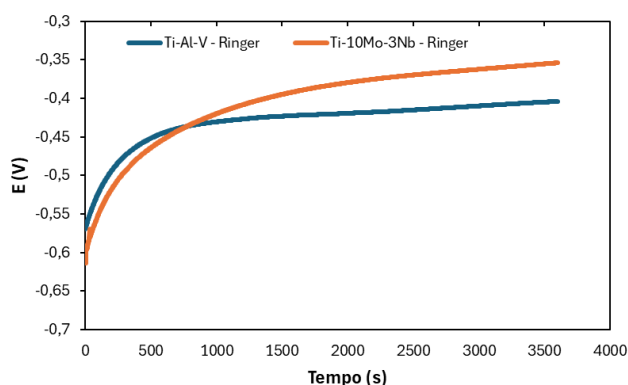
Fonte: (AUTOR, 2025)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 mostra a evolução do potencial de circuito aberto (OCP – open circuit potential) para a liga Ti-10Mo-3Nb e a liga Ti-10Al-2,5V, a evolução do OCP foi monitorada durante o período de 1 hora em solução de ringer (sem lactato), naturalmente aerada (pH 6,5) em temperatura ambiente (25°C). Os resultados mostram que o potencial de circuito aberto se desloca continuamente para valores mais positivos com o tempo. Esse comportamento sugere a formação de um filme passivo sobre a superfície das ligas após exposição ao meio corrosivo. Comportamento semelhante foi observado para ligas de titânio em trabalhos recentes na literatura (SOUZA et al. 2012; MONTEIRO et al. 2020; SOURES SOUZA et al. 2022). Embora ambas as ligas apresentem comportamento semelhante, a liga Ti-10Mo-3Nb atinge um potencial mais nobre ao final do ensaio ($E \approx -0,367 \text{ V}$), em comparação com a liga comercial ($E \approx -0,405 \text{ V}$.)



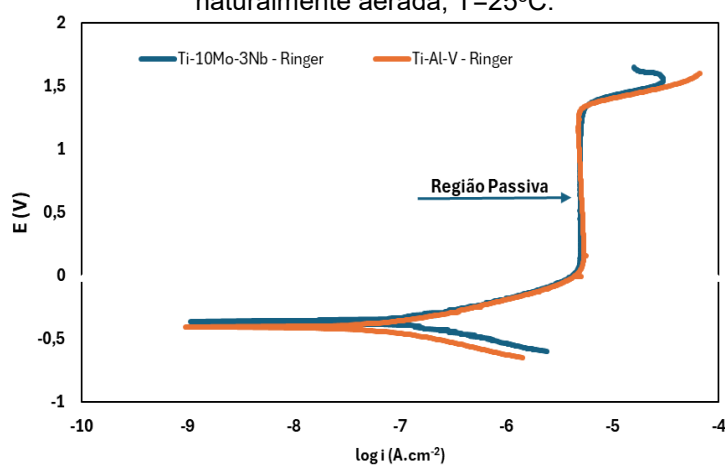
Figura 2 – Medida do potencial de circuito aberto para as ligas, Ti-10Mo-3Nb e Ti-Al-V em solução ringer, naturalmente aerada, $T=25^{\circ}\text{C}$.



Fonte: (AUTOR, 2025)

As curvas de polarização obtidas para as ligas de Ti-10Mo-3Nb e Ti-10Al-2,5V foram obtidas nas mesmas condições experimentais utilizadas para o potencial de circuito aberto. Os resultados mostram que não existem diferenças significativas no comportamento eletroquímico das ligas. As curvas apresentam uma ampla região passiva típica da formação de um filme protetor sobre a superfície da amostra. Os parâmetros eletroquímicos preliminares obtidos a partir das curvas estão apresentados na Tabela 01. Os dados mostram que a liga avaliada (Ti-10Mo-3Nb) apresenta valores de corrente passiva ligeiramente mais baixo à liga referência

Figura 3 – Curvas de polarização anódica para as ligas Ti-10Mo-3Nb e Ti-Al-V em solução ringer, naturalmente aerada, $T=25^{\circ}\text{C}$.



Fonte: (AUTOR, 2025)



Tabela 1 – Parâmetros eletroquímicos obtidos a partir do monitoramento do potencial e das curvas de polarização: Ligas Ti-10Mo-3Nb e Ti-10Al-3V

Liga	E_{OCP} (V)	i_{pass} (A.cm ⁻²) x 10 ⁻⁶
Ti-10Mo-3Nb	-0,367 ± 0,012	5,031 ± 0,036
Ti-10Al-2,5V	-0,405 ± 0,0017	5,072 ± 0,091

Fonte: Autor

CONCLUSÕES

Os resultados preliminares obtidos através dos testes eletroquímicos mostraram que:

- As ligas Ti-10Mo-3Nb e Ti-10Al-2,5V (liga referência) apresentam a formação espontânea de filme passivo sobre a superfície ao serem expostas ao meio corrosivo. A formação do filme é evidenciada pelo deslocamento do OCP para potenciais mais positivos.
- As curvas de polarização mostram a formação de uma ampla região passiva em ambas as amostras. Não se observou diferenças significativas entre o comportamento das ligas estudadas, embora a liga Ti-10Mo-3Nb apresente uma corrente passiva menor do que a liga referência.
- Os dados preliminares apontam que nas condições experimentais testadas a liga Ti-10Mo-3Nb apresenta um comportamento promissor em relação a resistência à corrosão.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPERJ pelo apoio financeiro.



REFERÊNCIAS

KUMAR, R.; GAUTAM, R. K. Biocompatibility of Ti-Nb alloys for biomedical applications. **Materials Today Communications**, v. 41, p. 110365, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2024.110365>.

MONTEIRO, E. S.; SOARES, F. M. S.; NUNES, L. F.; SANTANA, A. I. C.; BIASI, R. S.; ELIAS, C. N. Comparison of the wettability and corrosion resistance of two biomedical Ti alloys free of toxic elements with those of the commercial ASTM F136 (Ti-6Al-4V) alloy. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 9, n. 6, p. 16329-16338, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.11.068>.

RIBEIRO, A. N.; SILVA, L. M. G.; MENDES FILHO, A. A.; ANTUNES, R. A.; SANTOS, S. F. Unveiling the effect of ECAP on the passive film stability, surface chemistry and corrosion resistance of the β -type Ti-29Nb-13Ta-4Mo alloy. **Applied Surface Science**, v. 706, p. 163506, 2025.

SOARES, F. M. S.; BARBOSA, D. M.; CORADO, H. P. R.; SANTANA, A. I. C.; ELIAS, C. N. Surface morphology, roughness, and corrosion resistance of dental implants produced by additive manufacturing. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 21, p. 3844-3855, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.10.114>.

SOUZA, J. C. M.; BARBOSA, S. L.; ARIZA, E.; CELIS, J.-P.; ROCHA, L. A. Simultaneous degradation by corrosion and wear of titanium in artificial saliva containing fluorides. **Wear**, v. 292–293, p. 82-88, 2012.

XU, W.; CHEN, M.; LU, X.; ZHANG, D.; SINGH, H.; YU, J.; PAN, Y.; QU, X.; LIU, C. Effects of Mo content on corrosion and tribocorrosion behaviours of Ti-Mo orthopaedic alloys fabricated by powder metallurgy. **Corrosion Science**, v. 168, p. 108557, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2020.108557>.