

## **ESTUDO DE LIGAS METÁLICAS Ti-Mo APLICADAS COMO BIOMATERIAL PARA IMPLANTES.**

Gabriel Mazzi Leme, Mario Cilense, Antonio Carlos Guastaldi, Nilson Tadeu Camarinho de Oliveira.– Química – Bacharelado em Química Tecnológica – Departamento de Físico-Química – Instituto de Química – Campus de Araraquara.

Ligas biocompatíveis têm sido intensamente estudadas principalmente em relação a propriedades de suas superfícies relacionando-as com suas aplicações em implantes. Uma determinação detalhada da composição superficial é essencial no desenvolvimento de novos biomateriais por serem as camadas mais externas que entram em contato com tecidos biológicos.

O desenvolvimento de um biomaterial, que preencha os requisitos de biocompatibilidade e biofuncionalidade, demanda um estudo aprofundado de suas propriedades mecânicas, resistência à corrosão e propriedades biológicas, de forma a desempenhar de maneira adequada às funções para o qual é projetado. De acordo com a literatura, diversas ligas a base de titânio apresentam resultados promissores para serem utilizadas como biomaterial.

Recentemente, ligas Ti-Mo têm sido objeto de diferentes estudos microestruturais, uma vez que apresentam propriedades mecânicas apropriadas, resistência à corrosão, biocompatibilidade e boa durabilidade.

O presente trabalho teve como objetivo o desenvolvimento e o estudo de ligas de  $Ti_{(1-x)}-Mo_{(x)}$  com diferentes concentrações em Mo, com o propósito de se obter ligas metálicas com propriedades adequadas para o uso como biomaterial. Em uma primeira etapa foram desenvolvidas ligas binárias  $Ti_{(1-x)}-Mo_{(x)}$  com x variando de (6 %, 10 %, 20 % em peso de Mo). O método empregado para a fusão foi em forno a arco voltaico, e posteriormente, foram estudadas suas estruturas metalúrgicas e morfológicas.

Foram empregadas técnicas de análise de superfície, tais como, MEV e mapeamento elementar, metalografia e ensaios de dureza.

A microscopia eletrônica de varredura foi realizada num microscópio JEOL-JSM, modelo T-330 A, acoplado a um analisador de energia dispersiva e a uma câmara fotográfica, com o objetivo de estudar a morfologia da superfície, mapeamento químico, micro análise qualitativa e quantitativa e determinar as fases e microestruturas dos materiais.

A metalografia é a parte da ciência metalúrgica que trata da constituição e estrutura dos metais e suas ligas através da observação por microscopia óptica. Como se trata de uma técnica mais prática do que teórica é necessário cautela na preparação e análise das amostras metalográficas. Para a preparação das amostras, em primeiro lugar, deve-se escolher a seção a ser estudada, pois de acordo com ASM HANDBOOK 9 (1990) uma seção longitudinal é geralmente utilizada para examinar tamanho de grãos, recristalização, inclusões, entre outros, e uma seção transversal é usada para examinar defeitos, como por exemplo, trincas, porosidade e buracos. Depois de escolhida a seção a ser analisada, deve-se fazer o lixamento e polimento da superfície. Esta etapa é muito importante, pois é nela que o defeito mecânico proveniente do corte da seção desejada é minimizado, além de se deixar a superfície a ser analisada lisa e plana, evitando assim problemas com o foco das imagens (KNECHTEL, 1976). Finalmente, deve ser feito o ataque com reagentes químico adequado (PETZOW, 1978; ASM HANDBOOK 9, 1990), pois quando uma superfície polida é submetida a um ataque uniforme por um reagente, certas regiões são atacadas com maior ou menor intensidade que outras devido à diversidade de composição química, estrutura cristalina ou energia livre de superfície.

As estruturas de metais e ligas podem ser reveladas por exame macroscópico onde se obtém informações macroestruturais como a natureza do material, homogeneidade, presença de impurezas, trincas entre outras. Além disso, por exame microscópico obtêm-se informações microestruturais tais como grãos, fases e inclusões (PETZOW, 1978).

No presente trabalho, após as fundições os corpos de prova foram cortados e usinados em torno mecânico e embutidos em resina polimérica para o polimento mecânico com lixas de 100 a 1000 mesh de granulação, finalizando o polimento com partículas em suspensão de alumina com tamanhos de 1 a 0,3  $\mu m$ . Os ataques químicos, para a revelação das microestruturas das ligas, foram realizados utilizando-se reagente de Kroll (1-3 ml de HF, 3-6 ml de HNO<sub>3</sub>, completado a 100 ml de água).

Os ensaios de dureza realizados nos corpos de prova foram feitos utilizando um microdurímetro digital Micromet 2003 da BUEHLER.

Na ciência dos materiais, dureza é a propriedade característica de um material sólido, que expressa sua resistência a deformações permanentes e está diretamente relacionada com a força de ligação dos átomos.

Para a fusão das ligas, empregou-se o método do forno a arco voltaico, uma vez que este atendia todos os requisitos necessários, isto é, pode trabalhar com pequenas quantidades de material (foi utilizado aproximadamente 100g); trabalha em atmosfera inerte (requisito essencial, visto que todos os elementos químicos utilizados são altamente reativos com oxigênio); trabalha a aproximadamente 3.200 °C (temperatura suficientemente maior que as temperaturas de fusão dos metais constituintes das ligas: Ti = 1670 °C, Mo = 2623 °C).

Levando-se em conta todas estas considerações, o forno a arco voltaico foi escolhido para a fusão das ligas, e esta foi efetuada no Laboratório de Metalurgia Física e Solidificação – FEM - UNICAMP. Após a fundição das ligas, posteriores cortes e tratamentos da superfície, procederam-se os ensaios metalográficos.

As Figs. 1 – 3 apresentam os resultados de microscopia ótica obtidos neste trabalho para as ligas Ti-Mo na estrutura bruta de fusão.

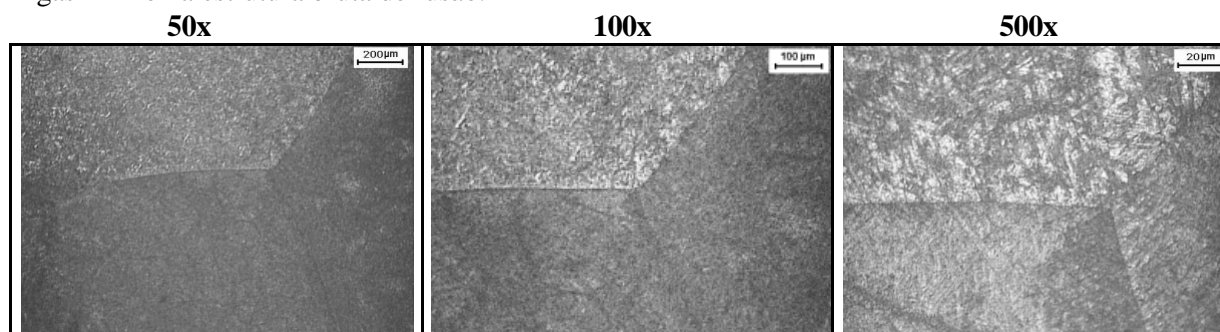


FIGURA 1: Micrografia de uma seção transversal da liga Ti-6 % Mo, na estrutura bruta de fusão, com diversos aumentos.

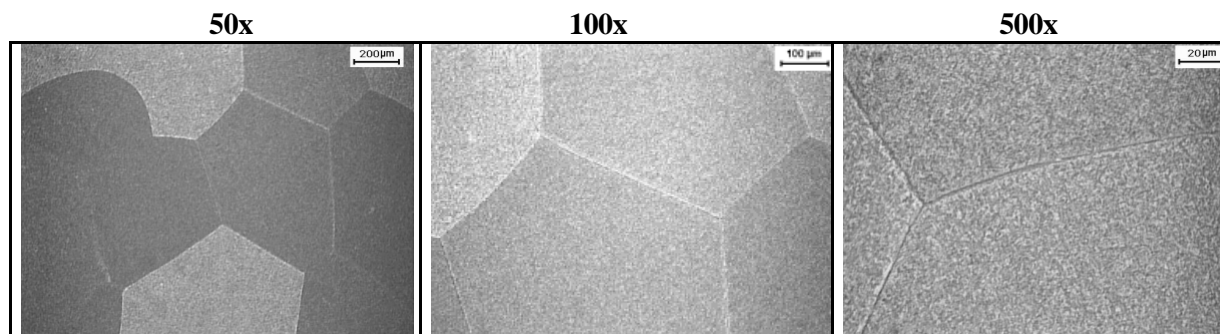


FIGURA 2: Micrografia de uma seção transversal da liga Ti-10% Mo, na estrutura bruta de fusão, com diversos aumentos.

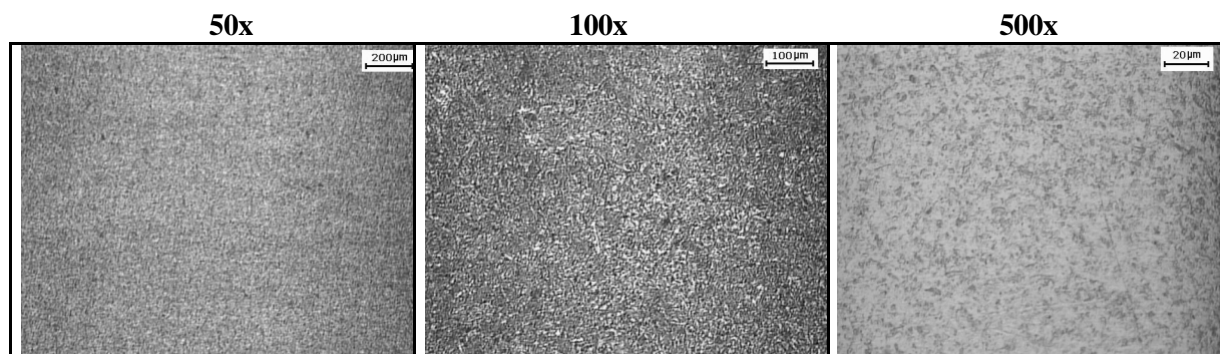


FIGURA 3: Micrografia de uma seção transversal da liga Ti-20% Mo, na estrutura bruta de fusão, com diversos aumentos.

Nas Fig. 4 a 5 são apresentados micrografias (a) e o mapeamento elementar das superfícies analisadas para o Mo e Ti respectivamente nos itens (b) e (c). Nestas figuras é possível verificar a

distribuição uniforme do Mo em toda a região analisada, comprovando a eficiência do método utilizado para a fusão das ligas.

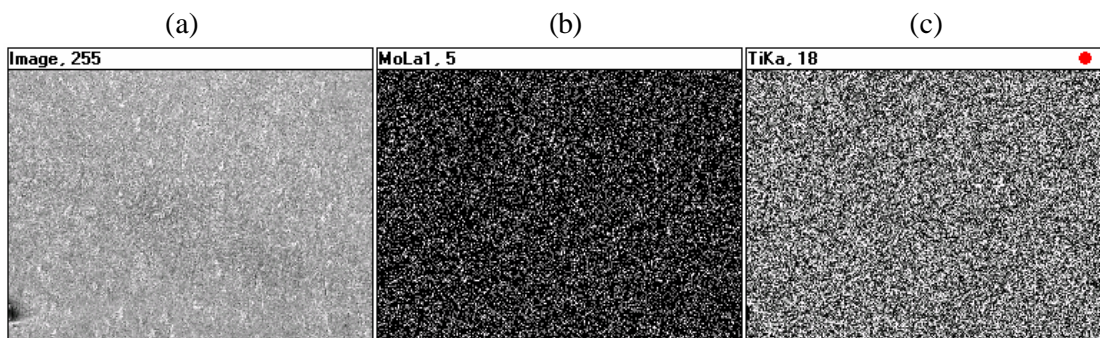


FIGURA 4: (a) Micrografia da liga Ti-6% Mo, ampliação 2000x. (b) e (c) Mapeamento elemental realizado nesta mesma superfície para o Mo e Ti respectivamente.

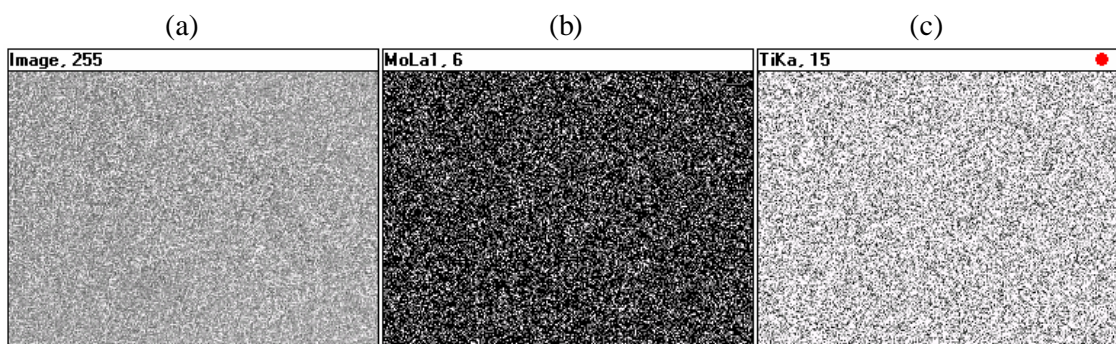


FIGURA 5: (a) Micrografia da liga Ti-10% Mo, ampliação 2000x. (b) e (c) Mapeamento elemental realizado nesta mesma superfície para o Mo e Ti respectivamente.

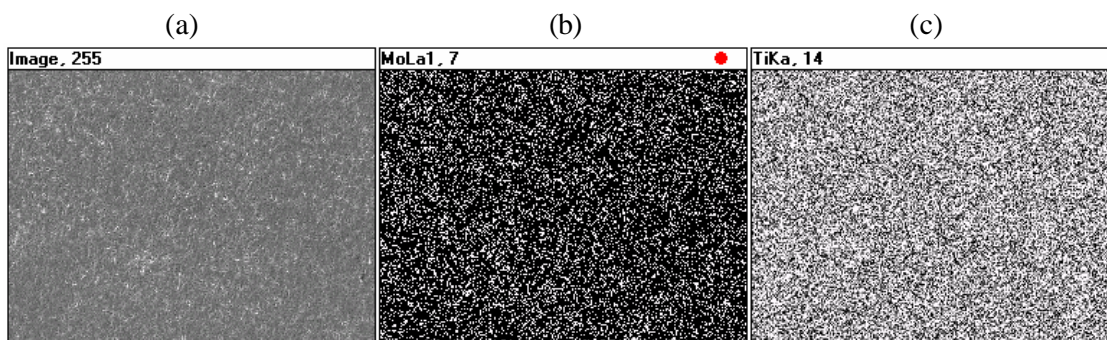


FIGURA 6: (a) Micrografia da liga Ti-20% Mo, ampliação 2000x. (b) e (c) Mapeamento elemental realizado nesta mesma superfície para o Mo e Ti respectivamente.

Para uma melhor visualização da distribuição do molibdênio sobre a superfície das ligas, as micrografias foram sobrepostas com o mapeamento deste elemento. Nas Fig. 7 e 8, onde são apresentadas estas sobreposições, pode-se verificar que há realmente uma distribuição uniforme de Mo, sem regiões preferenciais. Estes resultados confirmam a homogeneidade das ligas obtidas e estudadas neste projeto, sugerida nas análises anteriores descritas acima.



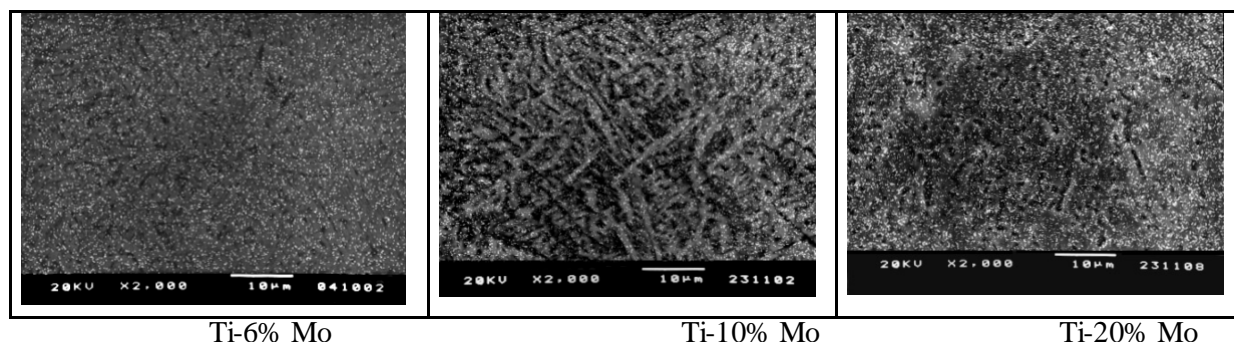


FIGURA 7: Sobreposição da Micrografia das ligas Ti-6Mo, Ti-10Mo e Ti-20Mo, ampliação 2000x e mapeamento elementar realizado nesta mesma superfície para o Mo.

Na Tab. 1 são apresentados os valores de dureza Vickers obtidos para as amostras com diferentes concentrações em Mo:

% Mo	Dureza (HV)
6	300,6
10	457,8
20	325,4

TABELA 1: Valores de dureza (em HV) obtidos para as amostras.

Até o presente, a etapa cumprida do presente projeto foi a fundição das ligas  $Ti_{(1-x)}-Mo_{(x)}$ , com diferentes concentrações de molibdênio ( $x = 6, 10$  e  $20\%$  em peso), através do método de forno a arco voltaico. Estas ligas foram analisadas por meio da metalografia, microscopia eletrônica de varredura, e mapeamento elementar.

Podemos concluir que a análise do mapeamento elementar mostrou que as ligas estão homogêneas. Os estudos por metalografia indicaram que as fusões foram eficientes, pois não foram verificados problemas tais como bolhas e trincas, sugerindo homogeneidade das ligas no estado bruto de fusão, e que os ensaios de dureza nas diferentes amostras estudadas demonstraram um aumento da dureza com o aumento da concentração de molibdênio até aproximadamente a  $10\%$  de molibdênio para depois diminuir até valor próximo da liga com  $6\%$  de molibdênio, resultados estes, compatíveis com dados encontrados na literatura.

### Referências Bibliográficas

GUASTALDI, A.C. *Metalurgia & Materiais*, **59**, Jul., 442, 2003.

KNECHTEL H. E.; KINDLE W. F.; MCCALL J. L. & BUCHHEIT R. D. "Metallographic practice generally applicable to all metals". IN: *Metals Handbook, Structures and Phases Diagrams*. **8**, 8ª ed.; OHIO; ASM International, 1976.

LÓPES M. F.; GUTIÉRREZ A. & JIMÉNEZ J. A. *Surface Science*, **482-485**, 300-305, 2001.

OKAZAKI Y.; TATEISHI T. & ITO Y. *Materials Transactions, JIM*, **38**, 78-84, 1997.

PETZOW G. *Metallographic Etching*. OHIO; ASM International, 1978.

POURBAIX M. *Biomaterials*, **5**, 122-134, 1984.

SUKEDAI E., YOSHIMITSU D., MATSUMOTO H., HASHIMOTO H. & KIRITANI M. *Mat. Sci. Eng.A*, **1-3**, 133-138, 2003.

**Bolsa:** nenhuma.