

**ESTUDO MICROESTRUTURAL DE LIGA Nb-V FUNDIDA A ARCO ELÉTRICO**Igor F. F. Melo<sup>1</sup> (IC), Prof. Dr. Antonio A. A. P. da Silva<sup>1</sup> (PQ)<sup>1</sup>Instituto de Engenharia Mecânica (IEM), Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Itajubá, Brasil.**Palavras-chave:** Microdureza. Microestrutura. Solução Sólida.**Introdução**

Atualmente, utilizam-se superligas de níquel como material base para pás de turbinas de aeronaves de motor a jato, pois estes componentes conseguem trabalhar em altas temperaturas. Entretanto, estas ligas já estão trabalhando no seu limite de 1150 °C, cerca de 80% de seu ponto de fusão, mas requisita-se que trabalhem em temperaturas cada vez maiores (YANG et al., 2021) para melhorar a eficiência do motor.

Tendo isto em vista, surge a proposta da utilização de ligas multicomponentes com metais refratários, visto que ligas de Nb/Mo-Si demonstram propriedades promissoras para esta aplicação, como alto ponto de fusão e baixa densidade (YANG et al., 2021). Em seus estudos, Hasemann et al. (2019) notou que em ligas de V-Si-B, quando comparadas com as de Mo-Si-B mantinha suas propriedades mecânicas, mas com um aumento drástico de ductilidade. Para isso, é de interesse estudar a estabilidade de fases do sistema binário Nb-V, tendo em vista que ambos Nb e V possuem propriedades individuais que se mostram promissoras para melhorar as propriedades globais de ligas multicomponentes como o alto ponto de fusão do Nb e o aumento de ductilidade pelo V, por exemplo.

Este sistema binário possui uma particularidade que é o gap de miscibilidade em seu diagrama de fase. Gap de miscibilidade é uma região do diagrama de fase que indica uma segregação de fases entre os dois elementos que antes permaneciam em solução sólida. Este gap foi sugerido primeiramente pelos cálculos de Molokanov, Chernov e Budberg (1977) e posteriormente questionada sua existência por Smith e Carlson (1983) pois na época não havia evidências experimentais indicando a existência de imiscibilidade. Assim, estudar esta região do diagrama de fase ajudará a enriquecer as informações dos bancos de dados de sistemas binários e auxiliar nos estudos de ligas multicomponentes.

Este estudo será realizado por meio de análise microestrutural da estabilidade de fase de uma liga fundida de Nb-V e tratadas termicamente em regiões próximas do gap.

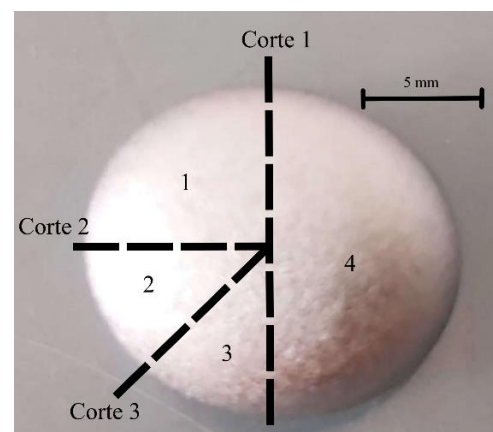
**Metodologia**

Foram pesados 3,2290 g de Nb (99,8 %) e 1,7702 g de V (99,7 %) da empresa Goodfellow a fim de formar uma proporção 50:50 % at. Em seguida, foram misturados em um almofariz de ágata com o auxílio de um pistilo, para que a mistura fosse inserida em um molde de prensagem de aço inoxidável martensítico 420 e fosse compactada em uma prensa para formar um corpo à verde.

Com isso, o corpo à verde foi levado ao forno a arco elétrico do Laboratório de Fundição da UNIFEI a fim de fundir a liga. A fusão foi feita em cadinho de cobre eletrolítico resfriado sob atmosfera de argônio de pureza 99,995%, foi feito vácuo e injeção de argônio cinco vezes para minimizar a quantidade de oxigênio e outras impurezas na atmosfera interna do forno, possibilitando que a amostra não seja contaminada. Foram feitas três etapas de fusão virando o lingote de cima para baixo para deixar a liga fundida homogênea.

Em seguida, por meio do disco de corte diamantado, em um equipamento de corte de precisão de baixa velocidade (modelo Isomet, da marca Buehler), foram feitos três cortes na amostra, separando a amostra nas partes denominadas 1, 2, 3 e 4, sendo os cortes e denominações de partes ilustrados na Figura 1.

Figura 1 – Liga fundida com escala e ilustração dos cortes realizados



Fonte: Autor

**“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”**

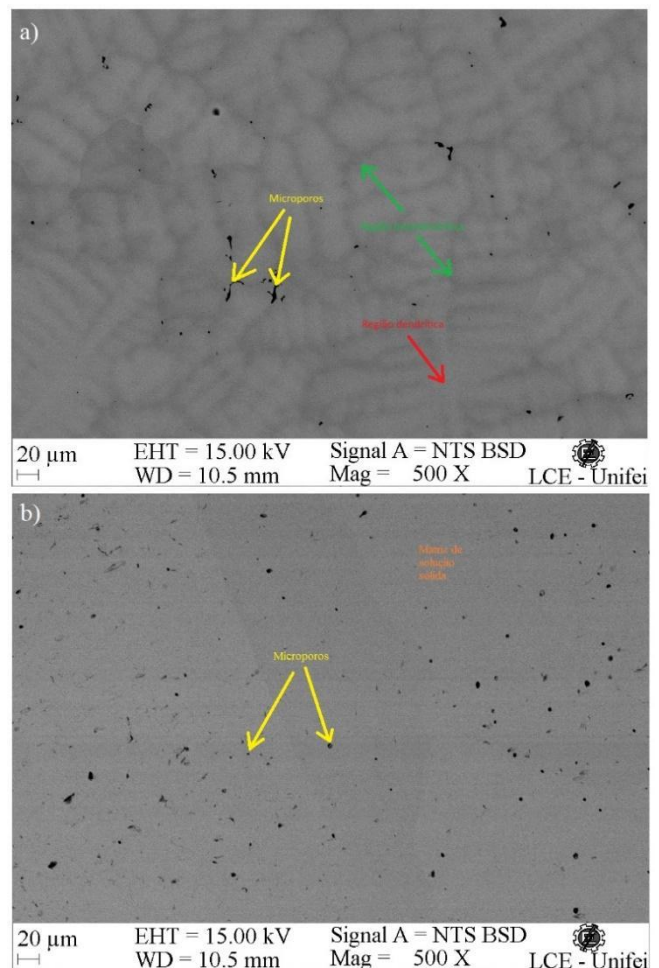
Com isso, a parte 2 foi inserida em um tubo de vidro de sílica e selada a vácuo a fim de controlar a atmosfera para o posterior tratamento térmico. Esta parte da amostra foi sujeita a um tratamento térmico a 1200 °C por 250 horas no forno SPLabor modelo SP-1200 digital. Ambas as partes foram embutidas separadamente em baquelite para serem visualizadas as microestruturas logo após a fusão da liga e após o tratamento térmico. Elas foram preparadas usando as lixas P600 e P1200 e polidas com suspensão de sílica coloidal (OP-S) para os posteriores ensaios de MEV e EDS.

Nas duas amostras foram feitas medidas de microdureza com carga de 200 gf. Os ensaios de análise microestrutural de MEV e EDS foram realizadas no Microscópio Eletrônico de Varredura do Laboratório de Caracterização Estrutural da UNIFEI da marca Zeiss, modelo EVO® MA15 no modo de elétrons retroespalhados. A técnica de EDS foi feita no equipamento de modelo XFLASH 6|10 acoplado ao mesmo microscópio.

### Resultados e discussão

Na Figura 2a referente à amostra no estado bruto de solidificação, foi notada a presença de uma microestrutura dendrítica devido às altas taxas de resfriamento impostas pelo forno a arco, ressalta-se também que a região dendrítica é mais rica em Nb e a região interdendrítica é mais rica em V pelo peso atômico do Nb gerar um contraste mais claro na micrografia. Também foram constatadas microporosidades que foram advindas da última região solidificada na liga, estes são formados pela contração da liga durante a solidificação. Na Figura 2b referente à amostra tratada a 1200 °C por 250 horas, quando comparada com a Figura 2a, percebe-se que houve uma transição de uma microestrutura com formação dendrítica para uma microestrutura de matriz homogênea.

Figura 2 – Microestruturas das amostras: a) estado bruto de solidificação; b) tratada a 1200 °C por 250 horas



Fonte: Autor

As medidas de microdureza podem ser observadas na Tabela 1:

**“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”**

Tabela 1 – Medidas de microdureza de ambas as amostras no estado bruto de solidificação e tratada termicamente

Medida	Microdureza Vickers	
	Estado bruto de solificação	Após tratamento térmico 1200 °C 250 h
1	581,7	1168,9
2	596,4	1237,4
3	576	1352
4	614,8	1237,4
5	627,5	1312,1
6	-	1219,7
7	-	1219,7
8	-	1185,5
9	-	1062
10	-	1160,7
<b>Média</b>	<b>599,3</b>	<b>1215,5</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>21,8</b>	<b>80,69</b>

Fonte: Autor

Quando comparadas com as durezas dos metais puros (Nb=80; V=159 escala Vickers) (MATWEB, 1999) nota-se que a liga no estado bruto de solidificação possui dureza maior que dos metais puros, isto se deve ao fato da solução sólida entre o Nb e o V, pois o movimento das discordâncias fica restrito pelo surgimento de deformações de rede sobre os átomos hospedeiros vizinhos (CALLISTER; RETHWISCH, 2016). Quanto à liga tratada, percebe-se que possui dureza ainda maior que os metais puros e a liga no estado bruto de solidificação, isto pode ter ocorrido pela solubilização de oxigênio na estrutura cristalina da liga, pois percebeu-se que houve uma oxidação na superfície da liga após o tratamento térmico, causando um aumento de dureza maior por haver tanto a solução sólida substitucional do Nb e do V quanto a solução sólida intersticial do oxigênio na rede cristalina.

### Conclusões

Com este trabalho, foi possível concluir que a taxa de resfriamento do forno a arco gera uma microestrutura dendrítica na liga 50:50 %at. de Nb-V e com o subsequente tratamento térmico a 1200 °C e 250 horas, forma-se uma microestrutura de matriz homogênea por dar energia e tempo para ocorrer a difusão dos metais pela

estrutura cristalina da liga.

Além disso, pôde-se notar que as soluções sólidas tanto substitucional quanto intersticial atua como um mecanismo de aumento de dureza da liga por restringir o movimento das discordâncias pelo surgimento de deformações de rede sobre os átomos vizinhos.

Para trabalhos futuros, uma sugestão seria fazer um tratamento térmico na região do gap de miscibilidade e avaliar sua microdureza.

### Agradecimentos

Agradeço à Universidade Federal de Itajubá por garantir a infraestrutura e o apoio financeiro para a realização do projeto e ao meu orientador Prof. Dr. Antonio A. A. P. S. pela oportunidade de realizar a Iniciação Científica e pelas orientações durante o percurso do trabalho.

### Referências

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia de Materiais: UMA INTRODUÇÃO**. 9. ed. rev. Rio de Janeiro: LTC \_\_ Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., 2016. ISBN 978-1-118-32457-8.

MATWEB. **Niobium, Nb (Columbium, Cb); Annealed Sample**. [S. l.], 1999. Disponível em: <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=63dbf7fcefb42b99a190cad7e109056>. Acesso em: 16 ago. 2025.

MATWEB. **Vanadium, V; Vacuum Annealed Sheet**. [S. l.], 1999. Disponível em: <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=0b63679b24784b40a8c1ac69bea8b9be>. Acesso em: 16 ago. 2025.

MOLOKANOV, V.; CHERNOV, D.; BUDBERG, P. **Calculation of structural diagrams of Vanadium-Chromium, Vanadium-Niobium and Chromium-Niobium systems in approximation to regular solutions**. ZHURNAL FIZICHESKOI KHIMII, MEZHDUNARODNAYA KNIGA 39 DIMITROVA UL., 113095 MOSCOW, RUSSIA, v. 51, n. 8, p. 2022–2025, 1977.

SMITH, J.; CARLSON, O. **The Nb-V (Niobium-Vanadium) system**. Bulletin of Alloy Phase Diagrams, Springer, v. 4, n. 1, p. 46–49, 1983.

YANG, W. et al. **Experimental measurement and thermodynamic optimization on the solidus miscibility gap of the Mo-V binary and the Mo-Nb-V ternary systems**. Journal of Alloys and Compounds, v. 857, p. 157509, 2021. ISSN 0925-8388.