

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE IDENTIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE CONSTITUINTES EM LIGAS DE FERRO FUNDIDO ALTO CROMO UTILIZANDO REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS PROFUNDAS

Thallyta Mariana Cordeiro¹; Danilo de Oliveira Paradela²; Breno Guimarães Fernandes de Faria²; Marcela Novelo da Silva²; Ismael Nogueira Rabelo de Melo³

¹ Bolsista IFMG, Curso Técnico em Mecatrônica, IFMG Campus Ibirité, Ibirité - MG; thallytamariana7@gmail.com

² Curso Técnico em Mecatrônica, IFMG Campus Ibirité, Ibirité - MG

³ Ismael Nogueira Rabelo de Melo, IFMG Campus Ibirité; ismael.melo@ifmg.edu.br

RESUMO

O ferro fundido alto cromo (FFAC) é muito utilizado em aplicações que requerem alta dureza e resistência ao desgaste abrasivo, como por exemplo, no setor de mineração. Para melhorar a característica de resistência ao desgaste abrasivo, vários parâmetros podem ser alterados, como a composição química, condições de fusão e tratamento térmico. A morfologia microestrutural varia em função destes parâmetros de processamento e tem grande impacto nas propriedades mecânicas de interesse, contudo, a segmentação das imagens para análise quantitativa de fatores morfológicos ainda é um desafio para pesquisadores, por este motivo, o presente projeto propõe a criação de um sistema de identificação automática de carbonetos em ligas de ferro fundido alto cromo utilizando redes neurais artificiais profundas, mais especificamente Mask R-CNN e utilização de imagens sintéticas.

Palavras-Chave: Ferro Fundido Alto Cromo; Nióbio; Caracterização; Metalografia; Mask R-CNN.

INTRODUÇÃO:

O FFAC é comumente utilizado em aplicações industriais onde se faz necessária alta resistência à abrasão e corrosão e capacidade de suportar impactos moderados. Desde sua criação, há uma constante busca pela compreensão da relação entre a liga, o processamento e suas propriedades, levando à evolução de várias gerações do FFAC. Dentre os tipos de desgaste, o desgaste abrasivo se destaca em vários campos de atuação, como siderúrgicas, mineração, petroquímica, etc (HUTCHINGS; SHIPWAY, 2017). Dessa forma, ele vem sendo campo de estudo de diversos trabalhos objetivando redução de custos, aumento de resistência e qualidade de processo. Somando-se esses fatores à grande aplicabilidade do FFAC, este vem sendo sistematicamente aperfeiçoado de acordo com a aplicação, ajustando-se propriedades como microdureza da matriz, quantidade e distribuição de carbonetos e adição de elementos formadores de carbonetos (PENAGOS et al., 2017).

Muitos materiais expostos ao desgaste abrasivo normalmente contêm fases duras em uma matriz de menor dureza e essas microestruturas podem ser desenvolvidas durante o processo de fabricação do material. Nos FFAC por exemplo, os carbonetos M_7C_3 envoltos em matriz austenítica ou martensítica exercem papéis importantes nas propriedades deste material e dentro do campo da Engenharia de Materiais, determinar o tamanho de grãos e fração volumétrica de fases é feita de forma semi-manual, utilizando programas computacionais para análise de imagens, dentre eles o ImageJ tem se destacado (MARCOMINI; SOUZA, 2011). Porém esse tipo de método pode causar incertezas nas análises, resultando em tempos longos de trabalho para identificação.

Técnicas sofisticadas de inteligência artificial permitem o reconhecimento de constituintes em imagens, analisando-se padrões que muitas vezes não são percebidos pelos seres humanos. A metodologia aplicada no presente trabalho consiste basicamente em treinar uma rede neural com imagens de microestruturas de FFAC, para que ela aprenda a reconhecê-las e indicá-las, a implementação de uma rede eficaz pode permitir a quantificação de microconstituintes por tipologias morfológicas e correlaciona-las com propriedades mecânicas.

METODOLOGIA:

Para este trabalho foram previamente fundidas 5 ligas nas dimensões de 75x25x12,7mm, tais ligas baseadas na ASTM A 532 CLASSE III tipo A, variando-se o teor de carbono e conseqüentemente, fração volumétrica e morfologias dos microconstituintes. As ligas 2.6C-Cr, 2.7C-Cr são hipoeutéticas, a liga 3.1-Cr quase-eutética e as ligas 3.3CCr e 3.8C-Cr hipereutéticas, sendo a última, fora da faixa especificada pela norma, contudo, resultou em ótima microestrutura para treino da rede. As composições podem ser observadas na tabela 1.

Tabela 1 - Tabela de composições químicas (%) em peso obtidas baseadas na ASTM A 532 - IIIA

Liga	Cromo	Carbono	Nióbio	Manganês	Silício	Níquel	Molibdênio	Cobre	Fósforo	Enxofre
2.6C-Cr	25,168	2,565	0,542	1,101	0,459	0,553	ND	0,032	0,028	0,010
2.7C-Cr	24,919	2,723	0,520	1,075	0,462	0,497	ND	0,031	0,024	0,008
3.1C-Cr	25,368	3,094	0,530	1,125	0,471	0,535	ND	0,031	0,025	0,009
3.3C-Cr	25,453	3,360	0,539	1,135	0,475	0,537	ND	0,031	0,023	0,009
3.8C-Cr*	24,867	3,821	0,542	1,197	0,488	0,531	ND	0,031	0,024	0,009

* fora da faixa especificada pela norma - Fonte: o próprio autor

Foram realizados o tratamento térmico de recozimento com a utilização de um Forno Mufla marca Solidsteel modelo SSFM - 6,7L. A temperatura foi elevada a 700°C por 6 horas e resfriamento dentro do forno por 24 horas para transformação da matriz austeníticas em perlítica para melhor contraste entre carbonetos e matriz em futura análise de microscopia óptica.

Para a preparação metalográfica foram cortadas nas dimensões de 30x20x10 mm três amostras de cada tipo de liga totalizando 15 exemplares (figura 01), utilizando-se uma cortadora metalográfica Teclago, modelo CM 80 VV, e um disco de corte para durezas superiores a 55 HRC e fluido de corte. Essas amostras foram embutidas a frio com 10ml da Resina Poliéster de Alta Viscosidade Cristal - Arazyn 25100 T-09 e e catalisador, em um molde projetado no software de CAD 3D Solidworks.

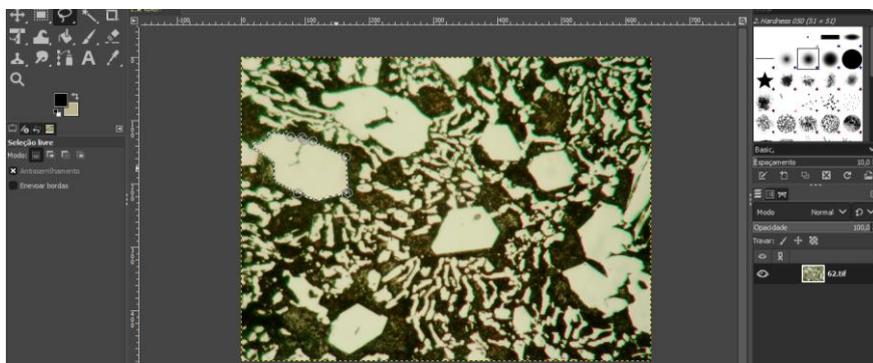


Figura 01 - secagem de amostras devidamente nomeadas. Fonte: o próprio autor

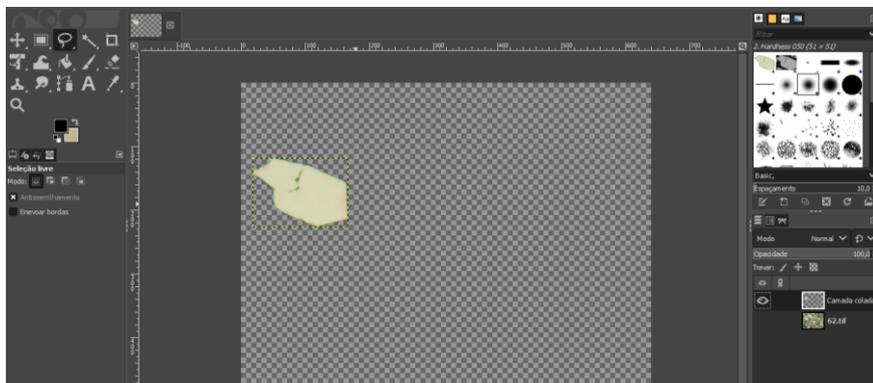
Após o embutimento as amostras foram lixadas e polidas utilizando uma politriz lixadeira metalográfica - Marca Fortel - Modelo PLF, passando por lixas 180, 400, 600, 800 e 1000, em seguida polidas com Alumina em Suspensão 1,0 μ - N^o4, e enfim foram atacadas com tempos de ataque de 20 segundos com reativo Vilella (1g de ácido pícrico + 5mL de ácido clorídrico + 100mL de álcool etílico P.A.).

Para análise microestrutural do FFAC, foram feitas microscopias ópticas em um Microscópio Metalográfico Invertido MC-B100 Teclago localizado no IFMG Campus Ibité, objetivando avaliar morfologias, dispersão e constituintes presentes além da formação de um banco de imagens padronizadas para treino das redes neurais e testes.

Foram utilizadas 75 imagens, 15 de cada liga, com ampliação de 400x. No qual foram identificados e cortados carbonetos do tipo M₇C₃ de elevada dureza (~1700HV) com variações morfológicas, utilizando o software de criação e edição de imagens bitmap GIMP, observado na figura 02 (a) e (b), para criação do banco de dados para treino da rede.



a) carboneto sendo selecionado



b) carboneto cortado

Figura 02 - Processo de preparação de banco de dados para imagens sintéticas por morfologia dos carbonetos. Fonte: o próprio autor

Esses carbonetos foram subdivididos em três pastas de acordo com suas morfologias. Em seguida foi utilizado um código em python no Google Colab para geração de dois bancos de imagens sintéticas com o tamanho de imagem padronizado, um banco de treinamento e o outro de validação. Após essa etapa é feito o download dos mesmos a fim de carregar o modelo de rede neural artificial MaskRCNN, e dar início ao treinamento do modelo em ambiente de desenvolvimento criado através do software anaconda configurado com tensorflow 1.15.5 e processamento em GPU localizada no IFMG campus Ibité.

RESULTADOS E DISCUSSÕES:

É apresentada na figura 03 exemplos das microestruturas das cinco ligas, sendo as ligas 2,6%C e 2,7%C hipoeutéticas, 3,1%C próxima a eutética e 3,3%C e 3,8%C hipereutéticas, caracterizadas pelo aparecimento de grandes carbonetos M_7C_3 hexagonais e em forma de agulhas.

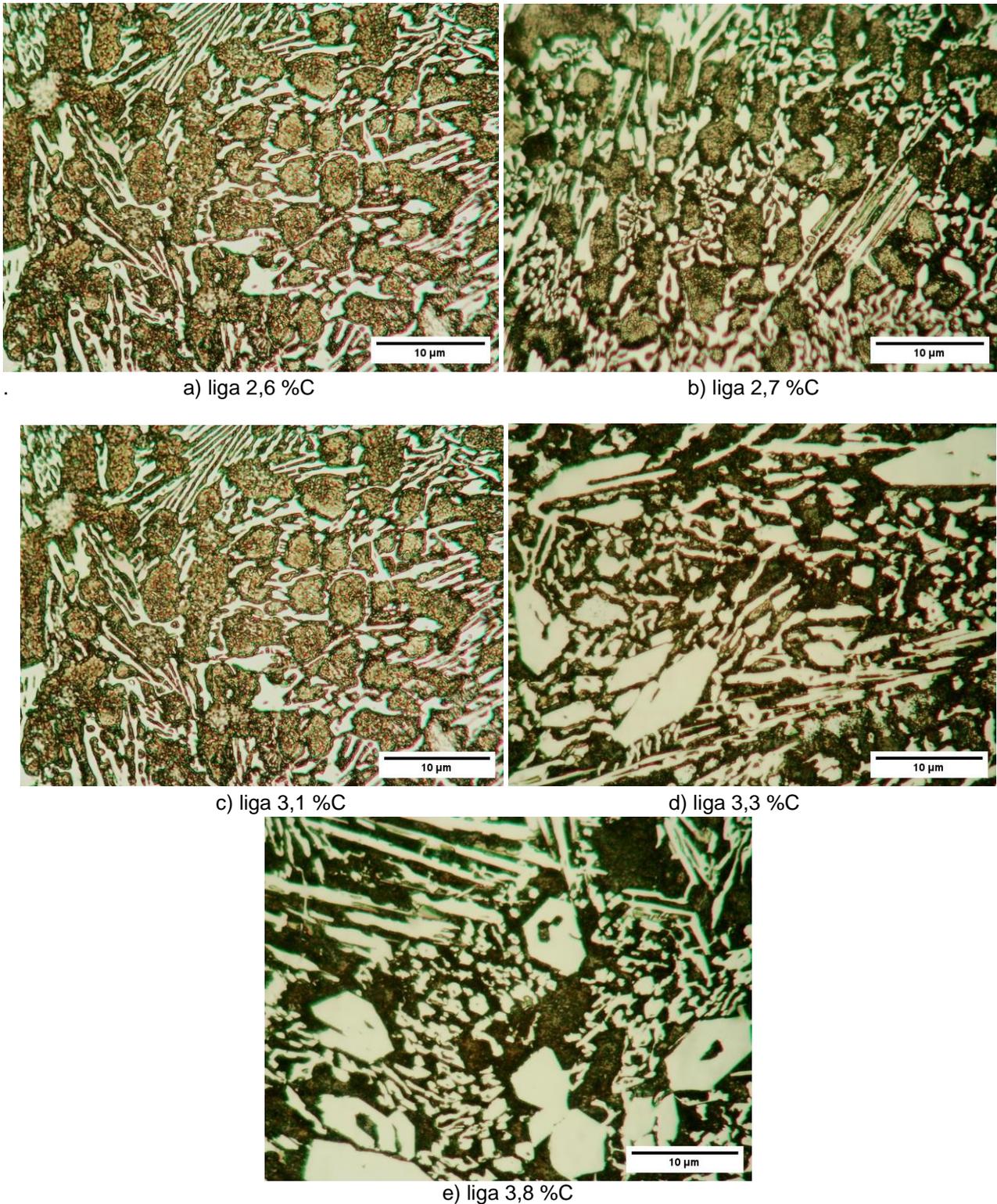


Figura 03 – Microscopias ópticas das ligas de FFAC. Fonte: o próprio autor

Exemplos de separação de morfologias para preparação do banco de dados podem ser visualizados na figura 04.

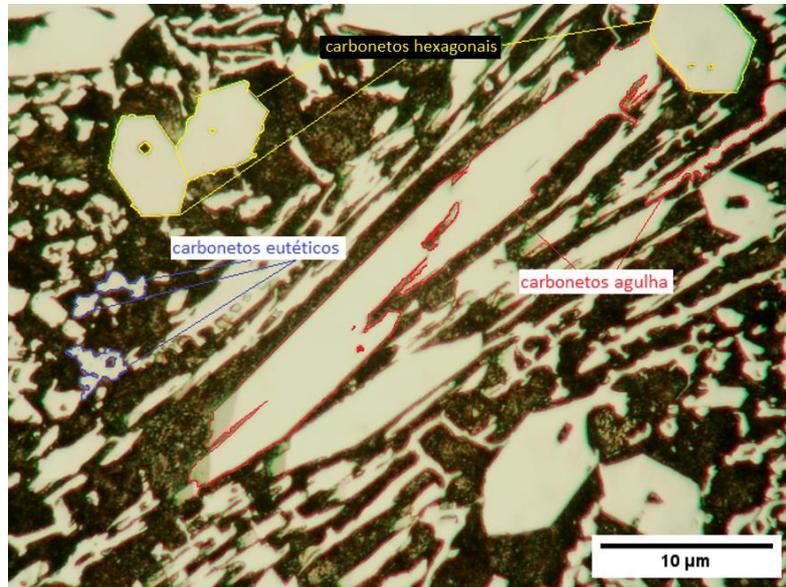


Figura 04 - Exemplos de formatos de carbonetos encontrados em ligas de FFAC com alto teor de carbono.
Fonte: o próprio autor

Após treino da rede Mask RCNN o algoritmo conseguiu reconhecer alguns carbonetos de forma satisfatória e é observável que a rede necessita de ajustes da rede para otimização. Ressalta-se que a implementação da matriz de confusão para análise quantitativa ainda não foi concluída e será a base para melhorias da rede em busca de sua viabilidade de aplicação. A figura 05 (a) mostra resultados prévios da rede treinada com carbonetos formando uma única classe e a figura 05 (b) mostra resultados prévios da rede treinada separando os carbonetos por morfologia. Na figura 05 (b) é possível notar nas regiões de cor verde em que a rede indica falsos positivos, apontando matriz como carbonetos hexagonais.

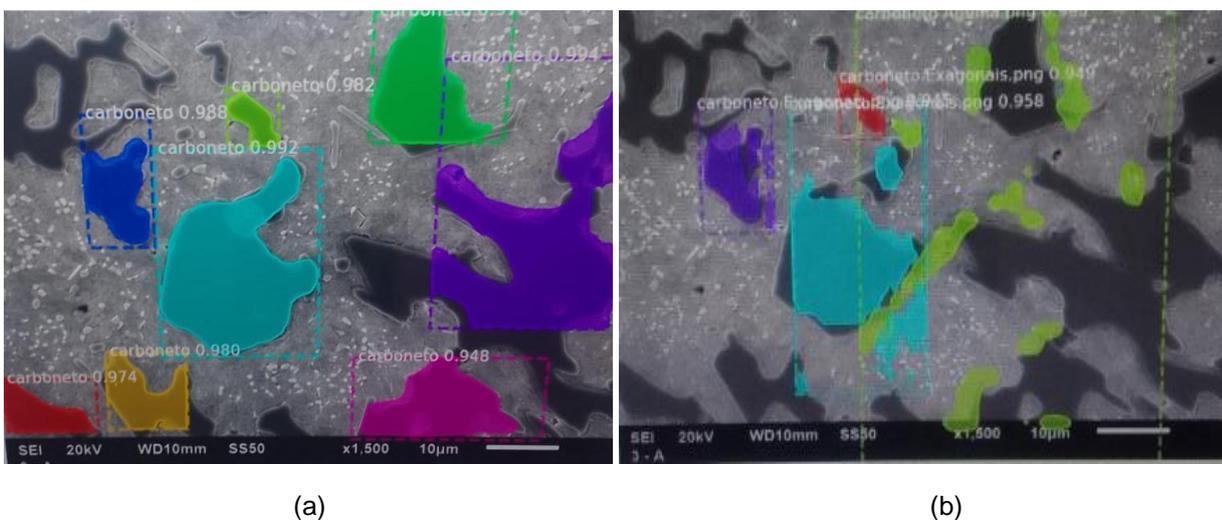


Figura 05 - Identificação de carbonetos pela rede Mask RCNN. Fonte: o próprio autor

CONCLUSÕES:

O aumento do teor de carbono em ligas de FFAC contribuiu para uma liga com carbonetos com diâmetros maiores, e em sua maioria carbonetos hexagonais e agulhas. Em contrapartida, a diminuição no teor de carbono resultou numa microestrutura composta em sua maioria por carbonetos eutéticos menores.

Em análise visual dos resultados prévios, a rede aparenta apresentar melhor desempenho ao reconhecer carbonetos quando utilizado apenas uma classe quando comparados ao treino com três subclasses de microestruturas.

A implementação da matriz de confusão é o próximo passo a ser executado, possibilitando a análise de indicadores como verdadeiro positivo, verdadeiro negativo, falso positivo e falso negativo, servindo de métricas para melhorias dos pesos da rede em busca da viabilização da utilização da rede em análises morfológicas de materiais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ASTM A-532: standard specification for abrasion-resistant cast irons standard. . West Conshohocken, PA: AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2014.

Faria, L.M. de, Melo, I.N.R. de, Santos, A.J. dos, Pinheiro, I.P., 2020. Heat Treatment Effect on the Microstructure and Tribological Behaviour of a High Chromium Cast Iron with 0.5% of Niobium. ISIJ International 60, 2569–2575. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2019-760>

HUTCHINGS, I.; SHIPWAY, P. **Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials.** 2ª edição ed. Cambridge, MA: Butterworth-Heinemann, 2017.

MARCOMINI, R. F.; SOUZA, D. M. P. F. DE. Caracterização microestrutural de materiais cerâmicos utilizando o programa de processamento digital de imagens Image J. **Cerâmica**, v. 57, n. 341, p. 100–105, mar. 2011.

PENAGOS, J. J. et al. Synergetic effect of niobium and molybdenum on abrasion resistance of high chromium cast irons. **Wear**, v. 376–377, p. 983–992, abr. 2017.

Powell, G.L.F., LAIRD II, G., 1992. Structure, nucleation, growth and morphology of secondary carbides in high chromium and Cr-Ni white cast irons. *Journal of Materials Science* 27, 29–35.

SILVA, A. E. DA et al. Characterisation and machinability of high chromium hardened white cast iron with and without the addition of niobium. **Wear**, v. 460–461, p. 203463, 15 nov. 2020.

TABRETT, C. P.; SARE, I. R.; GHOMASHCHI, M. R. Microstructure-property relationships in high chromium white iron alloys. *International Materials Reviews*, v. 41, n. 2, p. 59–82, jan. 1996.