cbecimat26
26º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
22 a 26 de novembro de 2026
Costão do Santinho
Florianópolis-SC

Automação na Quantificação Estereológica de Ligas Al-6351: Validação de Método Computacional via ImageJ

Marcel de Freitas Santos[1]; Spyridion Haritos Borges[1]; Vitor de Lima Vilela[1]; Carolina Cruz Ferreira[1,2]; Neide Aparecida Mariano[1]

[1] Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM)-Universidade Federal de Alfenas-UNIFAL-MG-Poços de Caldas-MG
[2] Departamento de Engenharia de Materiais e Bioprocessos (DEMBio) – Faculdade de Engenharia Química (FEQ) - Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP – Campinas/SP

Introdução

A caracterização microestrutural quantitativa de ligas de alumínio da série 6xxx é essencial para correlacionar o processamento térmico às propriedades mecânicas do material. Tradicionalmente, a contagem e medição de precipitados do tipo dispersão é um processo manual e suscetível à erros. Dessa forma, este trabalho apresenta o desenvolvimento e a validação estatística de uma macro no software ImageJ, projetada para automatizar à identificação e medição de precipitados na liga Al-6351, submetida à tratamentos térmicos.

Objetivos

Desenvolver um método analítico por estereologia de imagens para a liga de alumínio Al-6351 via microscopia óptica (MO) e validar a confiabilidade e eficácia do método a partir da análise manual de amostras representativas das imagens estudadas.

Metodologia

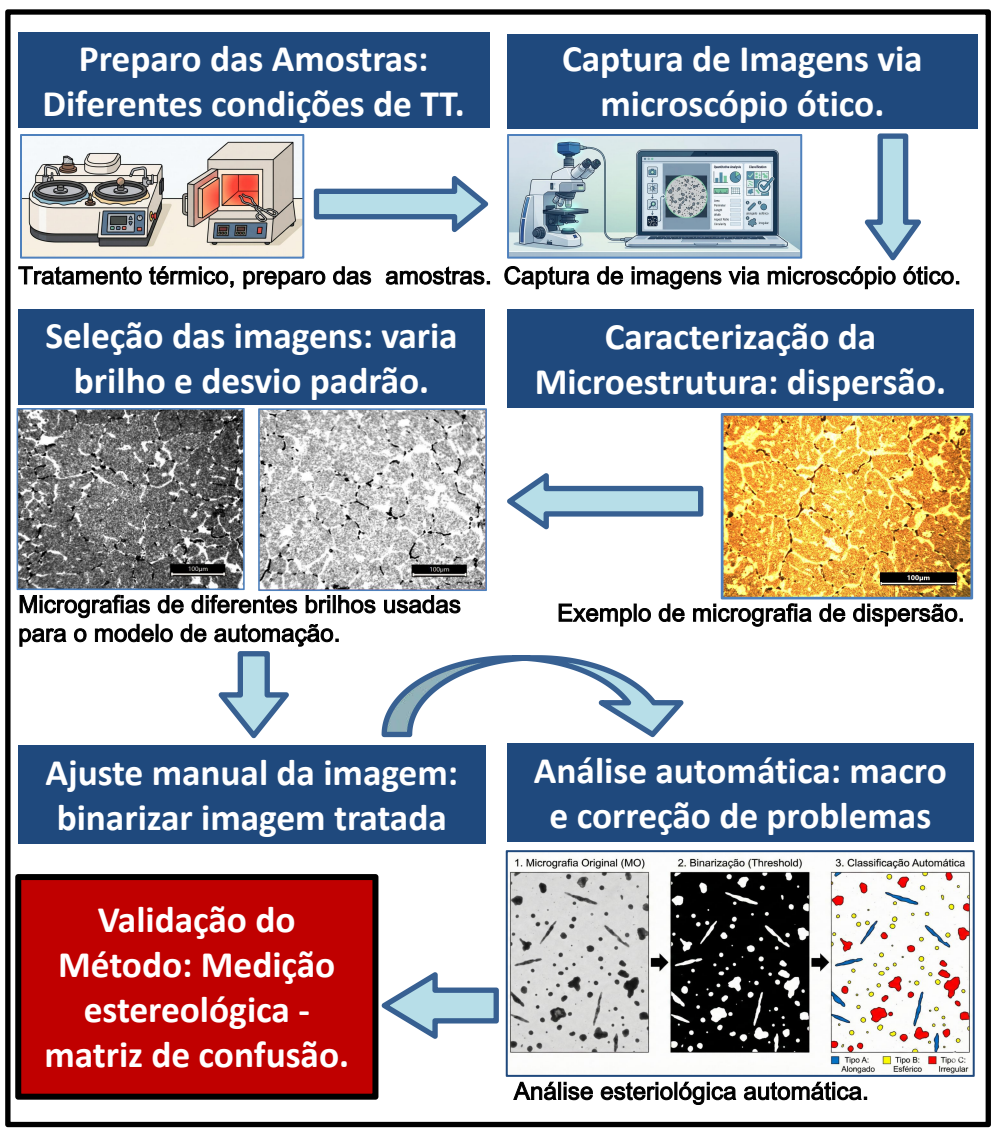


Figura 1. Diagrama de blocos que representa a metodologia do estudo.

Resultados e Discussão

O desenvolvimento do algoritmo partiu de uma análise prévia avaliando doze imagens e medindo quinhentos precipitados, para estabelecer os parâmetros morfológicos e uma classificação por tipo de precipitado (A: alongado, B: circular e C: irregular), que balizariam a programação. Para eliminar problemas na iluminação o algoritmo aplica um recorte circular digital nas capturas. O maior desafio da automação foi a variação de brilho entre as diferentes capturas, na etapa de binarização. Esse problema foi solucionado através de um modelo estatístico de regressão múltipla. O limite superior da ferramenta Threshold (T) passou a ser calculado para cada captura por meio da equação T = 3,7984 + 0,5465.(b) - 0,6260.(d), alimentada pelo brilho médio (b) e pelo desvio padrão do brilho (d) e da imagem original. Ruídos inerentes à matriz foram eliminados com um filtro de área mínima de 6μm².

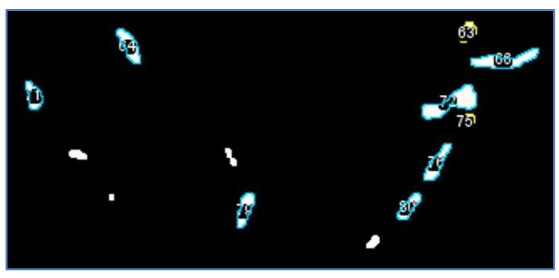


Figura 2. Precipitados medidos, numerados e classificados automaticamente.

Tabela 1. Matriz de confusão de validação do método na classificação dos precipitados.

	Previsto: A	Previsto: B	Previsto: C
Real: A	233	7	33
Real: B	1	98	4
Real: C	36	22	169
Real: matriz	13	9	17

Conclusões

A robustez científica do método foi comprovada por uma matriz de confusão envolvendo seiscentos e quarenta precipitados de validação. O algoritmo alcançou uma precisão de 77,88% na classificação morfológica, com apenas 6,07% de falsos positivos e zero falsos negativos, garantindo a contabilização de todos os precipitados reais presentes no campo. Dessa forma, conclui-se que a ferramenta desenvolvida garante um ganho expressivo de produtividade operacional, além de alta reprodutibilidade e confiabilidade estatística para estudos metalúrgicos de microestruturas similares.

Referências e Agradecimentos

1-HATCH, John E. Microstructure of alloys. In: HATCH, John E. (ed.). Aluminum Properties and Physical Metallurgy. [S. l.]: ASM International, 1984.
2-SLATER, J.; RALPH, B. The determination of particle shape and size distributions using automatic image analysis techniques. In: INTERNATIONAL CONGRESS FOR STEREOLOGY, 4., 1975.
3-TING, Kai Ming. Confusion Matrix. In: SAMMUT, Claude; WEBB, Geoffrey I. (Orgs.). Encyclopedia of Machine Learning. Boston, MA: Springer US, 2010.

PPGCEM
Unifal MG Universidade Federal de Alfenas
UNIFEI Universidade Federal de Itajubá/MG
CNPq Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
FAPEMIG
Festival Mais Ciência, Por Favor!
CAPES