

# APLICAÇÃO DA ANÁLISE AUTOMÁTICA DE IMAGENS NA QUANTIFICAÇÃO DE PARTÍCULAS PRESENTES NAS LIGAS DE ALUMÍNIO 7075 E 7475

*Cássio Barbosa* <sup>(1)</sup>  
*Jôneo Lopes do Nascimento* <sup>(1)</sup>  
*Mauro de Melo Rodrigues* <sup>(1)</sup>  
*Ibrahim de Cerqueira Abud* <sup>(1)</sup>  
*Iêda Maria Vieira Caminha* <sup>(1)</sup>

## Resumo

Nas ligas Al-Zn-Mg-Cu a presença de fases ricas em ferro e silício, principais impurezas encontradas nesses materiais, podem ter efeitos nocivos sobre propriedades muito importantes, como ductilidade e resistência à fadiga. O objetivo deste estudo é realizar uma análise das diferenças microestruturais entre as ligas 7075 e 7475 no que se refere a parâmetros importantes como fração em área, tamanho e distância entre partículas de fases ricas em Fe e Si. A análise automática de imagens é uma técnica que permite determinar, com maior precisão e em menor tempo, parâmetros microestruturais que possam ser quantificados com base nas diferenças entre níveis de cinza. Após preparação metalográfica convencional, as amostras foram analisadas em um microscópio ótico acoplado a um computador com um software de análise automática de imagens, que permite o processamento das figuras digitalizadas em várias etapas sucessivas, que compreendem desde o melhoramento da qualidade visual da imagem através do uso de filtros até a execução de operações binárias, segmentação e a contagem. Verificou-se que a fração em área, o tamanho e a distância entre partículas varia de uma liga para outra, assim como, para uma mesma liga, há variação desses parâmetros com a orientação cristalográfica relativa à direção de laminação do material. Esses resultados podem influir nas propriedades de cada liga .

**Palavras-chave:** Ligas de alumínio; Microestrutura; Análise de imagens.

## **INTRODUÇÃO**

As ligas de alumínio comerciais contêm impurezas sob a forma de partículas intermetálicas ricas em ferro e silício, cuja origem está em geral associada ao tipo de matéria-prima e de processo de fabricação utilizado. De acordo com a literatura essas partículas podem ser nocivas às propriedades mecânicas das ligas, principalmente a ductilidade, a tenacidade e a resistência à fadiga [1-6]. Essas partículas se formam durante a solidificação nas regiões interdendríticas [7,8] e essa precipitação é favorecida pelo fato de que o alumínio é um elemento fortemente eletronegativo e trivalente [9]. São conhecidas como inclusões grosseiras [3,7,10] e também como partículas constituintes [1,11,12]. O mecanismo de fratura a partir das partículas intermetálicas grosseiras ocorre em três etapas: a) formação de microcavidades por decoesão da interface entre matriz e inclusões ou por fratura das partículas; b) crescimento das microcavidades, o qual aumenta com a redução da razão espaçamento/tamanho das partículas; c) coalescimento das microcavidades relativamente próximas, formando regiões vazias capazes de proporcionar a iniciação de uma trinca, segundo dados da literatura [12,13]. Essas etapas ocorrem novamente de forma quase contínua à medida que a trinca avança. Deste modo, os parâmetros microestruturais importantes que controlam a tenacidade são: i) fração, tamanho e distribuição de partículas grosseiras; ii) resistência dessas partículas à clivagem e de suas interfaces à decoesão; iii) deformação plástica, que é função da tensão de escoamento e da capacidade de encruamento, que determinam o acúmulo de concentrações de deformações locais, levando à iniciação e ao subsequente processo de ligação das microcavidades [8,12]. Destes três parâmetros o primeiro pode ser quantificado por análise automática de imagens.

Além da correção de defeitos gerados durante a aquisição da imagem digital, como, por exemplo, contraste insuficiente, iluminação não uniforme e outros, que é realizada através de operações binárias com píxeis, que são recombinações para produzir novos valores que geram uma nova imagem, o processamento computacional de imagens também permite medir valores que podem ser usados para caracterizar uma microestrutura. Embora essa técnica não elimine completamente a influência humana na obtenção dos dados, já que esta permanece na definição dos diferentes intervalos de níveis de cinza a serem considerados, por exemplo, por outro lado permite maior precisão e rapidez na determinação dos parâmetros microestruturais do que as técnicas não automatizadas (contagem manual) [14].

Neste trabalho é feita uma análise quantitativa de parâmetros microestruturais como fração em área, tamanho médio e distância média entre partículas, em função da direção de laminação das ligas de alumínio 7075 e 7475 (sistema Al-Zn-Mg).

## **PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL**

A composição química das ligas é mostrada na Tabela 1:

**Tabela 1.** Composição química das ligas 7075 e 7475 (% em massa).

Liga	Zn	Mg	Cu	Si	Fe	Mn	Cr	Ti	Al
7075	5,61	2,52	1,61	0,20	0,17	0,21	0,23	0,09	Bal.
7475	5,72	2,31	1,54	0,05	0,06	0,04	0,21	0,03	Bal.

As ligas laminadas a frio foram recebidas na condição de tratamento termomecânico T 7351: solubilização a 465 °C por 1 h, estiramento para alívio de tensões, sem envelhecimento natural subsequente e seguido por envelhecimento artificial em duas etapas: 7 h a 105 °C e depois por 27 h a 165 °C.

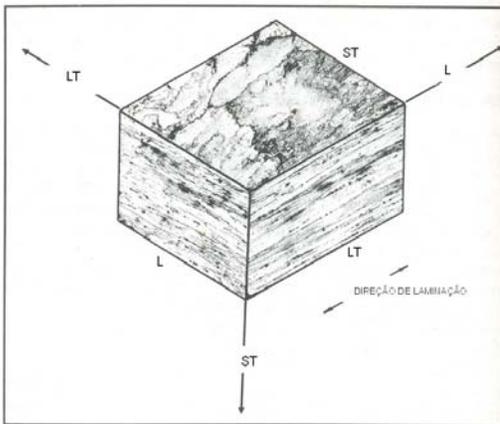
As amostras foram submetidas ao procedimento padronizado de preparação metalográfica: corte, embutimento, lixamento (malhas 220 até 600) e polimento em pasta de diamante (6, 3 e 1 µm). Os corpos de prova polidos correspondem aos planos L, LT e ST de cada liga (Figura 1) e foram submetidos à análise automática de imagens em um computador equipado com software de metalografia quantitativa para a determinação da fração em área, tamanho médio e distância média entre partículas intermetálicas, sendo analisados 20 campos para cada amostra e calculados a média e o desvio padrão. Com base nesses valores assim calculados foram determinadas as barras de erro dos gráficos para um intervalo de confiança de 95 % (distribuição t de Student). Os valores de distância média entre partículas foram obtidos a partir do uso de uma ferramenta computacional do software de análise de imagens denominada “nearest”, que determina a menor distância entre objetos, disponibilizando esses dados em uma planilha eletrônica. Após ataque com reagente de hidróxido de sódio em água (4 %) e rinsagem em solução de ácido nítrico em água (5 %), os corpos de prova foram observados e fotografados num microscópio ótico equipado com uma câmara digital para captura de imagens. Entretanto, antes do ataque, os corpos de prova foram submetidos à análise num microscópio eletrônico de varredura (MEV) operando a 20 kV e equipado com uma microssonda EDS, que possibilitou uma análise qualitativa da composição química das partículas encontradas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

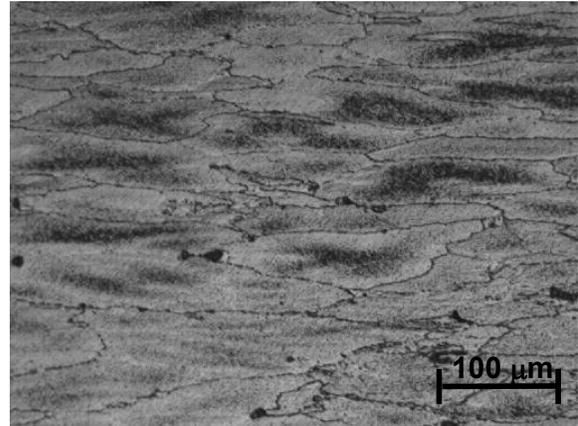
As Figuras 2 e 3 mostram a microestrutura das ligas 7075 e 7475 no plano L, respectivamente. Observa-se a presença predominante de grãos alongados, evidenciando que não houve recristalização significativa. Já as Figuras 4 e 5, obtidas com corpos de prova não atacados, mostram de maneira mais nítida a presença de partículas intermetálicas grosseiras.

A Figura 6 mostra a variação da fração em área de partículas de acordo com o plano/direção para cada liga. Verifica-se que em qualquer plano/direção a liga 7075 apresenta maior fração em área de partículas grosseiras, o que é coerente com seus maiores teores de impurezas (ferro e silício). Em ambas as ligas o plano com menor fração em área de partículas é o LT, enquanto o plano com maior fração em área de partículas é o L, embora essa diferença seja muito mais significativa na liga 7075 do que na liga 7475. Quanto à diferença de fração em área em relação ao plano, esta provavelmente está associada com o fato de que o plano LT é paralelo à direção de laminação, ao passo que o plano L corresponde ao plano perpendicular, no qual essas partículas são espalhadas.

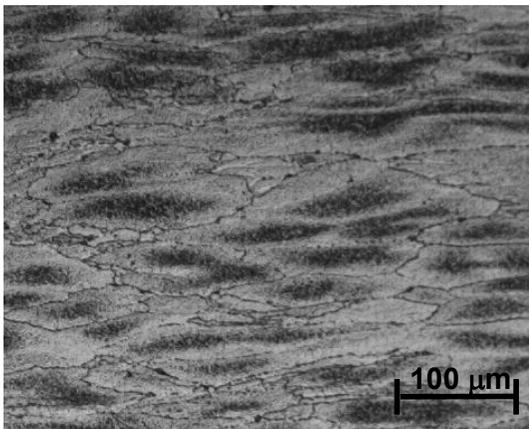
Quanto ao tamanho das partículas a variação observada é relativamente pequena: na liga 7475 o tamanho médio das partículas é ligeiramente maior do que na liga 7075 em todos os planos analisados, conforme mostra a Figura 7. Isso pode ser explicado quando se observa a Figura 8, que mostra a variação do número de partículas observadas em função da liga e do plano/direção de laminação. Foi evidenciado que a liga 7075 apresenta maior número de partículas do que a liga 7475, embora nesta as partículas sejam maiores e a fração em área de partículas também menor.



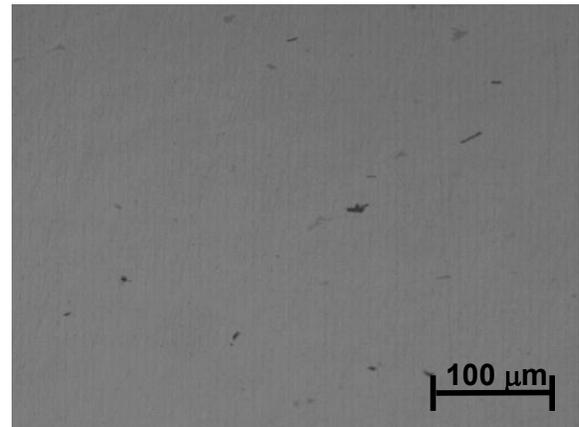
**Figura 1.** Planos e direções de laminação [9].



**Figura 2.** Liga 7075, plano L.



**Figura 3.** Liga 7475, plano L.



**Figura 4.** Liga 7075, plano L.

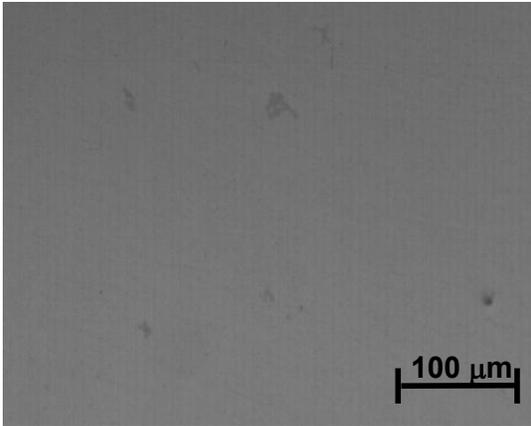


Figura 5. Liga 7475, plano L.

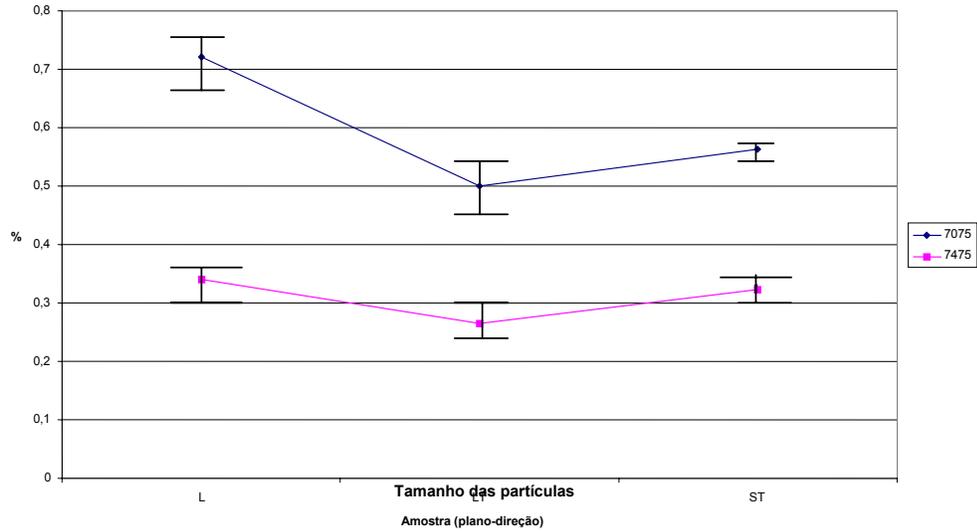


Figura 6. Fração em área de partículas em função da liga e do plano/direção de laminação.

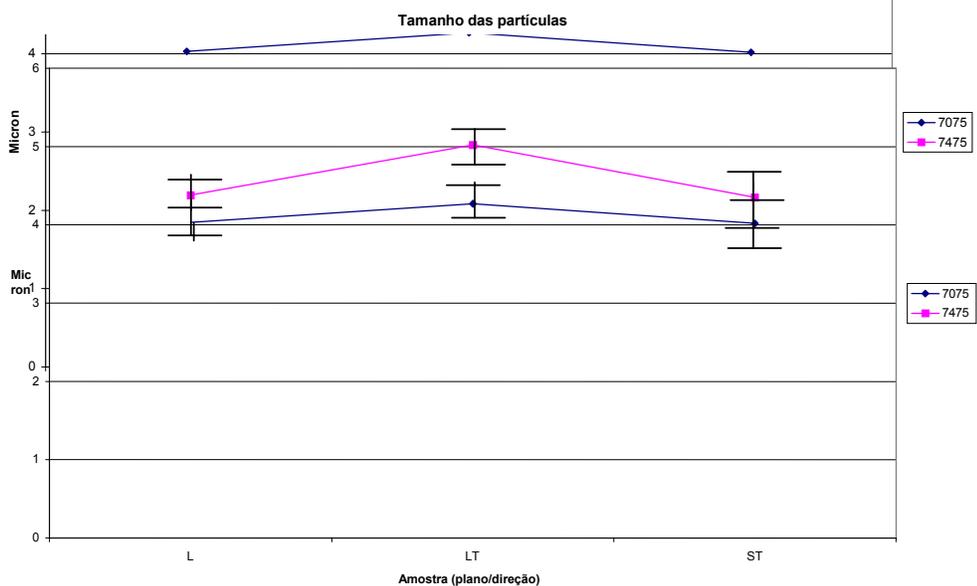
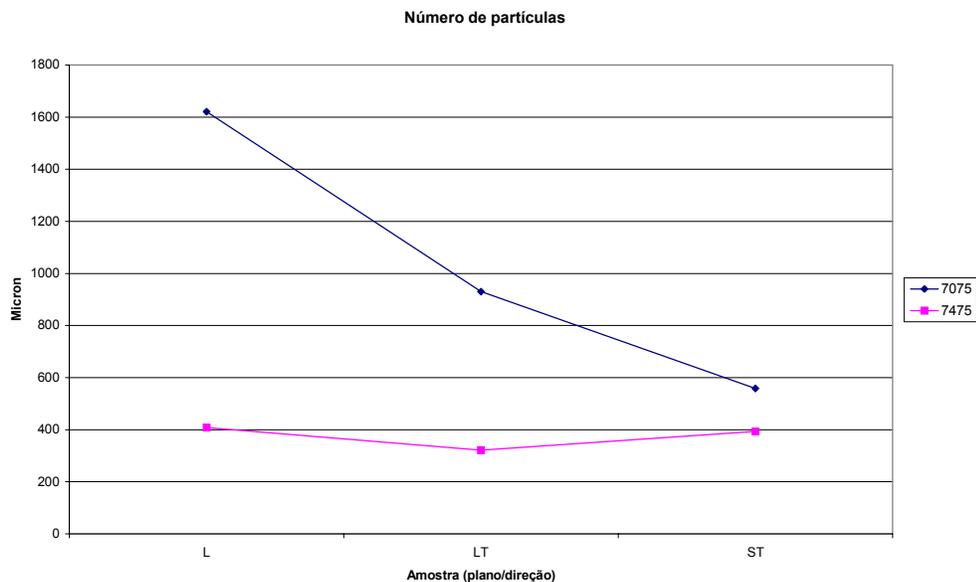
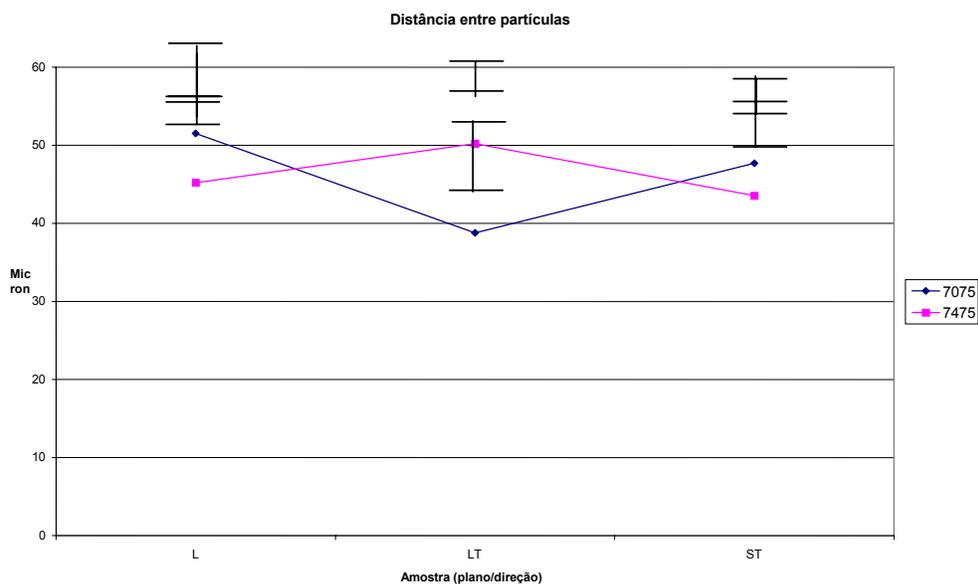


Figura 7. Tamanho médio de partículas em função da liga e do plano/direção de laminação.

De acordo com a Figura 9 a distância média entre as partículas apresenta pouca variação, tanto no que se refere à liga como ao plano analisado.



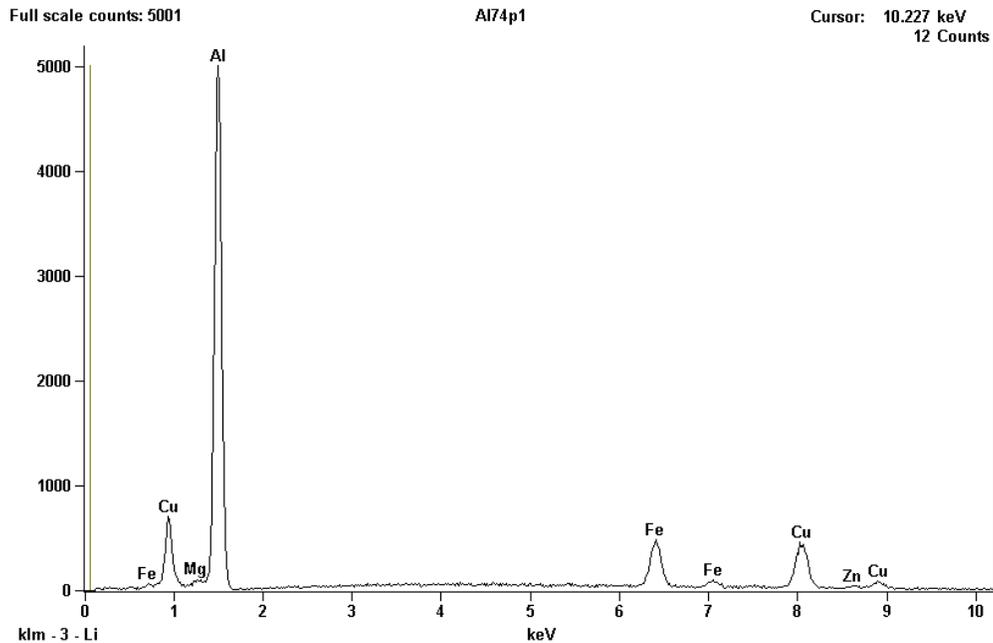
**Figura 8.** Número de partículas em função da liga e do plano/direção de laminação.



**Figura 9.** Distância média entre partículas em função da liga e do plano/direção de laminação.

A análise das partículas intermetálicas por EDS, conforme espectro mostrado na Figura 10, permite dizer que essas inclusões contêm essencialmente ferro e

cobre, o que, de acordo com a literatura, sugerindo que se trata da fase  $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$  [1,2].



**Figura 10.** Espectro EDS de partícula intermetálica grosseira.

## CONCLUSÕES

O uso da ferramenta computacional de análise automática de imagens, aliado às técnicas tradicionais de microscopia ótica e MEV, mostrou-se bastante útil e permitiu chegar às seguintes conclusões:

- A liga 7075 apresenta maior fração em área de partículas intermetálicas grosseiras, que embora menores do que as partículas presentes na liga 7475, estão presentes em maior número do que nesta liga última liga.
- A laminação exerce grande influência na distribuição das partículas. A menor fração em área corresponde ao plano LT, o qual é paralelo à direção de laminação, sendo o plano L, perpendicular, o que apresenta maior fração em área de partículas.
- Não há variação significativa de distância entre partículas, tanto no que se refere à liga como ao plano em relação à direção de laminação.
- As partículas intermetálicas grosseiras encontradas possivelmente correspondem à composição da fase  $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$ .

## Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à Dra. Ana Cristina Insfran (Technische Universität Hamburg-Harburg) pelo fornecimento das amostras, e ao Laboratório de Microscopia Eletrônica do PEMM/COPPE/UFRJ pela realização das análises em MEV.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 Dumont, D.; Deschamps, A.; Brechet, Y.; "On the relationship between microstructure, strength and toughness in AA 7050 aluminum alloy"; *Materials Science and Engineering A* 356, 2003, p. 326-336.
- 2 Cai, H.; Evans, J.T.; "Acoustic emission analysis of stable and unstable fracture in high strength aluminum alloys"; *Engineering Fracture Mechanics*, v. 42, n. 4, 1992, p. 589-600.
- 3 Blind, J. A., Martin, J.W.; "The effect of dispersoids on the ductile fracture toughness of Al-Mg-Si alloys"; *Materials Science and Engineering*, v. 57, 1983, p. 49-54.
- 4 Xinggang, J.; Jianzhong, C.; Longxiang, M.; "A study of cavity nucleation during superplastic deformation of high strength aluminum alloy 7475"; *Materials Science and Engineering, A* 157, 1992, p. 37-41.
- 5 Jeniski Jr., R. A.; "Effects of Cr addition on the microstructure and mechanical behavior of 6061-T6 continuously cast and rolled redraw rod"; *Materials Science and Engineering, A* 237, 1997, p. 52-64.
- 6 Narayanan, L.A., Samuel, F.H.; Gruzleski, J.E.; "Dissolution of iron intermetallics in Al-Si alloys through nonequilibrium heat treatment"; *Metallurgical and Materials Transactions A*, v. 26-A, August, 1995, p. 2161-2174.
- 7 Hahn, G.T.; Rosenfield, A.R.; "Metallurgical factors affecting fracture toughness of aluminum alloys"; *Metallurgical Transactions A*, v. 6-A, April, 1975, p. 653-668.
- 8 Mulherin, J.H.; Rosenthal, H.; "Influence of nonequilibrium second-phase particles formed during solidification upon the mechanical behavior of an aluminum alloy"; *Metallurgical Transactions*, v.2, February, 1971, p. 427-432.
- 9 J.E. Hatch; "Aluminum: properties and physical metallurgy", ASM, Metals Park, Ohio, USA, 4 th printing, 1990.
- 10 Ohira, T.; Kishi, T.; "Effect of iron content on fracture toughness and cracking processes in high strength Al-Zn-Mg-Cu alloy"; *Materials Science and Engineering*, v. 78, 1986, p. 9-19.
- 11 Renard, A.; Cheng, A.S., De la Veaux, R.; Laird, C.; "The cyclic stress-strain response of polycrystalline Al-Zn-Mg alloy and commercial alloys based on this system"; *Materials Science and Engineering*, v. 60, 1983, p. 113-120.
- 12 Garrett, G.G.; Knott, J.F.; "The influence of compositional and microstructural variations on the mechanism of static fracture in aluminum alloys"; *Metallurgical Transactions A*, v. 9-A, September, 1978, p. 1187-1201.
- 13 Van Stone, R.H.; Psioda, J.A.; "Discussion of "Metallurgical factors affecting fracture toughness of aluminum alloys""; *Metallurgical Transactions*, v. 6-A, April, 1975, p. 668-670.
- 14 Russ, J.C.; "The image processing handbook, CRC Pres, 3 rd edition, 1988.

# APPLICATION OF AUTOMATIC IMAGE ANALYSIS IN THE QUANTIFICATION OF PARTICLES PRESENT IN AA 7075 AND 7475 ALUMINUM ALLOYS

*Cássio Barbosa  
Jôneo Lopes do Nascimento  
Mauro de Melo Rodrigues  
Ibrahim de Cerqueira Abud  
Iêda Maria Vieira Caminha*

## **Abstracts**

In the Al-Zn-Mg-Cu alloys the presence of phases with high contents of iron and silicon, main impurities found in such materials, can have detrimental effects on very important properties, as ductility and fatigue strength. The aim of this work is to perform an analysis of the microstructural differences between 7075 and 7475 alloys in relation to important parameters such as area fraction, size and distance between iron and silicon rich phases. Automatic image analysis is a technique which allows the determination, with higher accuracy and in shorter time, of microstructural parameters which can be quantified based on grayscale levels differences. After traditional metallographic preparation, samples were analyzed in an optical microscope attached to a computer with an automatic image analysis software, which allows processing digital figures in several stages, comprising since the enhancement of visual quality of the image through the use of filters, until binary operations, segmentation and accounting. It was observed that area fraction, size and distance between particles vary according to each alloy and each orientation related to the rolling direction. The results found in this work allow predicting the mechanical behavior of each alloy.

**Key-words:** Aluminum alloys; Microstructure; Image analysis.