

MICROESTRUTURA E TEXTURA CRISTALOGRÁFICA DA LIGA AA 7108 PRODUZIDA POR EXTRUSÃO A QUENTE*

Saul Hissaci de Souza¹
Angelo Fernando Padilha²
Rene Ramos de Oliveira³

Resumo

Barras extrudadas a quente da liga AA 7108 foram caracterizadas com auxílio das técnicas de microscopia óptica com auxílio de luz polarizada, microscopia eletrônica de varredura, mapeamento de microdureza Vickers e análise de micro e macrot textura (via EBSD e difração de raios X, respectivamente). Os resultados mostram uma microestrutura composta por grãos recristalizados e aproximadamente equiaxiais, indicando a ocorrência de recristalização dinâmica no processo de extrusão. Em relação à textura cristalográfica, a análise na superfície de extrusão revelou a presença da componente denominada cubo, típica do fenômeno de recristalização, enquanto a análise realizada na metade da espessura da barra mostrou, além da presença da componente cubo, a componente Goss, incomum em ligas de alumínio trabalhadas.

Palavras-chave: Liga AA 7108; EBSD; Difração de Raios X, Análise de textura.

ANNEALING OF ALUMINUM ALLOY AA 7075 AFTER COLD ROLLING

Abstract

Hot extruded bars of AA 7108 were characterized by using optical microscopy, scanning electron microscopy, Vickers microhardness mapping and texture analysis (by using both EBSD and X ray diffraction). The results show a full recrystallized microstructure, indicating the occurrence of dynamic recrystallization during the extrusion process. Regarding the texture analysis, a cube texture was found on the extruded surface (as usually expected), while a Goss texture was also found in the center of the bar.

Keywords: Aluminium alloy AA 7108; EBSD ; X ray diffraction; Texture Analysis.

¹ Engenheiro de Materiais, Pós graduando, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), São Paulo, SP, Brasil.

² Professor Titular, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), São Paulo, SP, Brasil.

³ Pesquisador Doutor, Instituto de Pesquisas Energéticas Nucleares (IPEN), São Paulo, SP, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

As ligas de alumínio da série 7XXX (endurecíveis por precipitação) são amplamente utilizadas nas áreas de transporte e aeroespacial em virtude de sua elevada resistência mecânica e leveza [1]. A liga AA 7108 é uma liga do sistema Al-Mg-Zn (podendo também possuir pequenos teores de Ti e Zr) que encontra sua principal aplicação na construção de veículos para transporte terrestre. Embora tal material não possua o mesmo nível de resistência mecânica de outras ligas, como a AA 7075, ele não apresenta os recorrentes problemas de tenacidade e de corrosão sob tensão comuns às ligas de alumínio de alta resistência aplicadas na indústria aeronáutica [2].

O objetivo do presente trabalho é realizar a caracterização microestrutural e estudar a textura cristalográfica de uma barra de seção retangular da AA 7108 produzida por extrusão a quente. No que se refere às técnicas utilizadas, além da análise via microscopia óptica e microscopia eletrônica de varredura, foi realizado um mapeamento de dureza Vickers ao longo da seção transversal da barra. Para a caracterização da textura cristalográfica foram utilizadas as técnicas de EBSD (análise da microtextura) e difratometria de raios X (análise da macrotextura), sendo que a avaliação da macrotextura foi realizada ao longo da espessura da barra.

Do ponto de vista científico-acadêmico, tal estudo é justificado principalmente pela escassez de estudos a respeito da AA 7108. Consultas realizadas na base de dados *Scopus* mostram uma diferença significativa entre o número de resultados para as buscas 'AA 7075' e 'AA 7108' – Enquanto para a primeira são encontrados mais de 300 resultados, para a segunda são encontrados apenas 3 (consulta realizada no dia 16/01/2019, sem utilização de outros filtros). Já do ponto de vista tecnológico, é oportuno mencionar o recente trabalho realizado na CBA (Companhia Brasileira de Alumínio) por Gianiselle e coautores [3] acerca da homogeneização da AA 7108, indicando interesse da indústria nacional no desenvolvimento e produção dessa liga.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O material utilizado no presente trabalho provém de barras retangulares da AA 7108 (25 mm de largura e 16 mm de espessura) extrudadas a quente (480°C) a partir de tarugos de 200 mm de diâmetro. Após o processo de extrusão, as barras foram resfriadas pela combinação de jato de água e ar (spray). A composição química do material é apresentada na Tabela 1:

Elemento	Ti	Mn	Si	Cr	Fe	Mg	Zr	Zn	Al
% massa	0,05	-	0,05	0,01	0,10	1,03	0,20	4,96	Balanço

Amostras obtidas a partir das barras foram caracterizadas com emprego das técnicas de microscopia óptica de luz polarizada, microscopia eletrônica de varredura (MEV), difração de elétrons retroespalhados (EBSD-MEV) e ensaio de dureza Vickers. A avaliação da macrotextura foi feita com emprego da difratometria de raios X e as análises foram realizadas na superfície de extrusão, no plano a ¼ da superfície de extrusão e na metade da barra, conforme esquematizado na Figura 1.

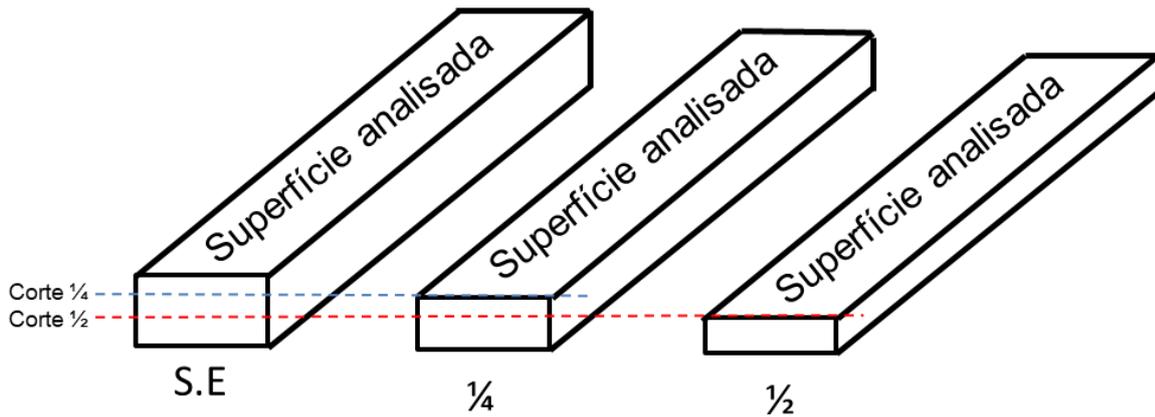


Figura 1 – Desenho ilustrativo indicando as superfícies analisadas via difratometria de raios X

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 mostra micrografias obtidas por microscopia óptica de luz polarizada da AA 7108 no estado inicial. São mostradas as direções de conformação (DL), normal à direção de conformação (DN) e transversal à direção de conformação (DT). Observa-se uma estrutura de grãos refinados, aproximadamente equiaxiais, nas três superfícies analisadas. A origem de tal microestrutura pode ser atribuída ao processamento termomecânico ao qual a barra foi submetida (extrusão a quente), o que promoveu o fenômeno de recristalização e resultou na estrutura de grãos mencionada. Considerando que a velocidade de deformação na extrusão é elevada e que a velocidade de resfriamento após a deformação foi elevado, é razoável supor que a recristalização (dinâmica) tenha ocorrido durante a deformação.

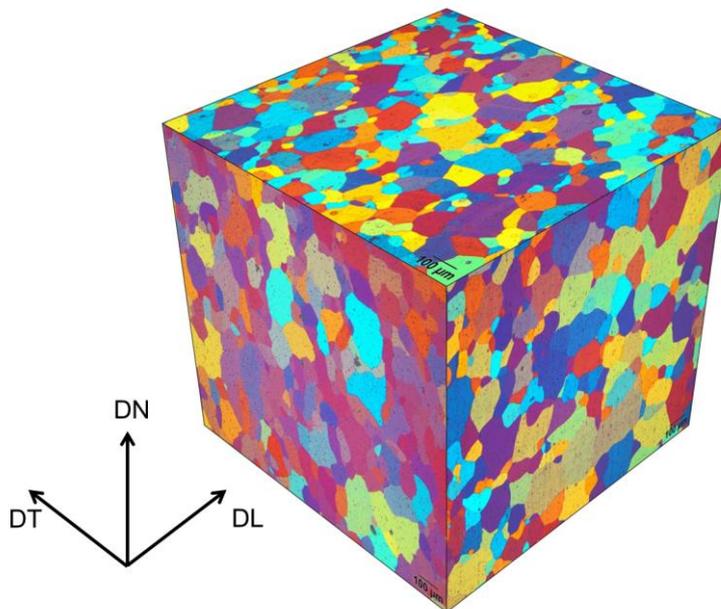


Figura 2 – Micrografia da AA 7108 obtida por meio de microscopia óptica de luz polarizada. Ao lado as direções (DL, DN e DT, respectivamente as direções de conformação, normal e transversal) indicam as superfícies analisadas da barra extrudada.

A microestrutura das bordas da seção transversal da AA 7108 difere daquela observada na região central da barra. Observando a Figura 3, é possível notar que os grãos mais próximos à matriz de extrusão são grosseiros em relação aos grãos adjacentes. Tal fenômeno, descrito na literatura como crescimento dos grãos

periféricos (*peripheral coarse grain – PCG*), é frequentemente observado em estudos com ligas de alumínio extrudadas a quente [4]. Um mecanismo proposto por Van Geertruyden [5] sugere que uma estrutura de grãos finos é inicialmente gerada por recristalização dinâmica e que, em seguida, ocorre o crescimento anormal dos grãos periféricos que recristalizaram de maneira dinâmica. É sabido que a combinação de elevada deformação com atrito, existente na região do material próxima da ferramenta de extrusão, pode contribuir com a ocorrência do PCG. Na região central da barra, o tamanho médio de grão é notavelmente maior, como também será mostrado adiante pelos mapas de EBSD.

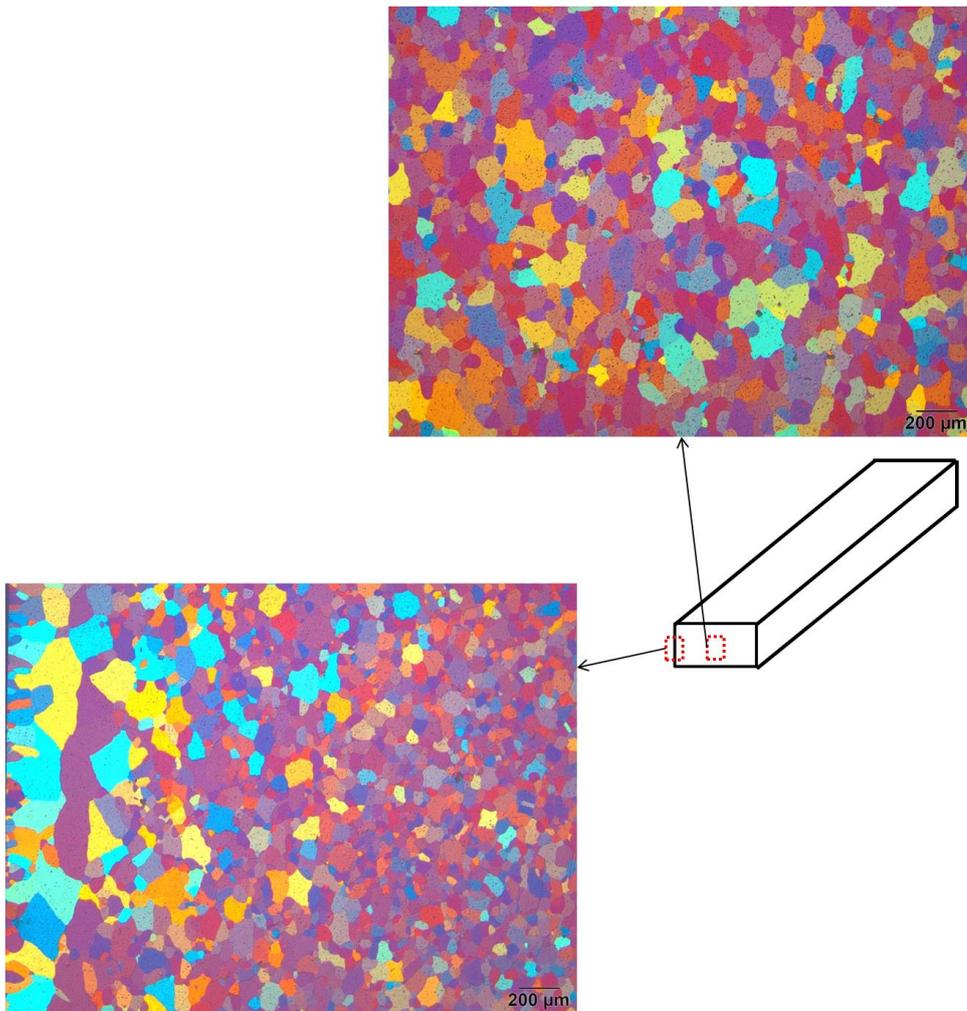


Figura 3- Micrografia obtida por microscopia óptica de luz polarizada da seção transversal da barra extrudada da AA 7108. As setas indicam, de maneira esquemática, as regiões aonde foram feitas as observações da seção transversal.

A Figura 4 mostra uma micrografia da AA 7108 obtida por microscopia eletrônica de varredura no modo elétrons retroespalhados. Foram encontradas apenas partículas de segunda fase, de aspecto facetado, cuja composição química foi estudada via espectroscopia de energia dispersiva (EDS). O resultado das análises pontuais também está indicado na Figura 4. É possível que as partículas indicadas sejam $Al_3(Zr,Ti)$ cuja presença já foi reportada em estudo anterior da AA 7108 [6].

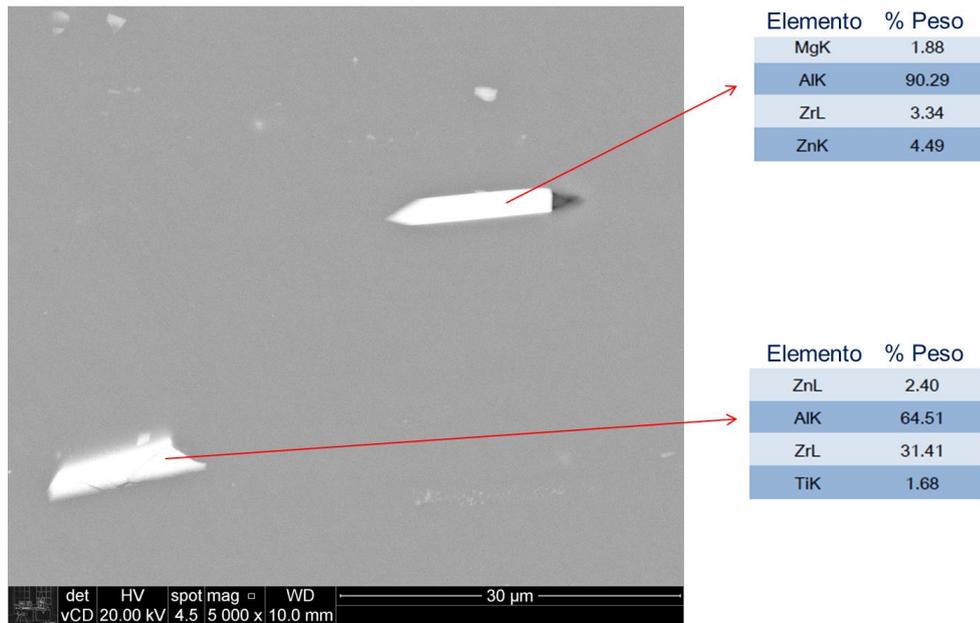


Figura 4 – Micrografia obtida por microscopia eletrônica de varredura (no modo elétrons retroespalhados) mostrando precipitados de segunda fase encontradas na microestrutura do material. As tabelas indicam o resultado da análise química pontual, via EDS, para as partículas observadas. (As duas partículas são da mesma fase; o resultado da superior analisou mais matriz do que o inferior)

A análise por mapeamento de microdureza Vickers, realizada na seção transversal da barra de AA 7108, não mostrou diferenças significativas entre centro e periferia. Em outras palavras, ao menos em termos de dureza, o produto extrudado apresentou boa homogeneidade ao longo da seção transversal. A dureza média (obtida pelo cálculo da média entre as medidas tomadas durante o ensaio) encontrada foi $84,3 \pm 5,8$ HV, uma dureza significativamente inferior (cerca de 55% menos) em relação aos 180 HV obtidos para a AA 7075 (T6) em outros estudos [7]

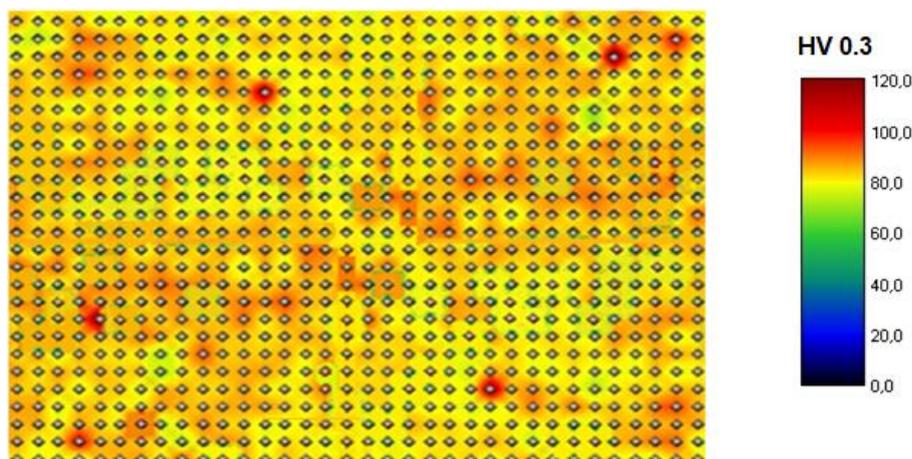


Figura 5 – Mapeamento de dureza Vickers realizado sobre a seção transversal da barra extrudada da AA 7108.

A Figura 6 mostra mapas de orientações obtidos via EBSD. As análises foram realizadas em duas regiões da superfície de extrusão: uma próxima à periferia e outra próxima ao centro. Como informado anteriormente, o tamanho médio dos grãos localizados no centro é significativamente maior em relação ao tamanho médio dos grãos na periferia. Nota-se um predomínio das cores avermelhadas para

ambos os casos. Isso significa que os planos cristalográficos da família $\{100\}$ tendem a estar alinhados com a superfície de extrusão.

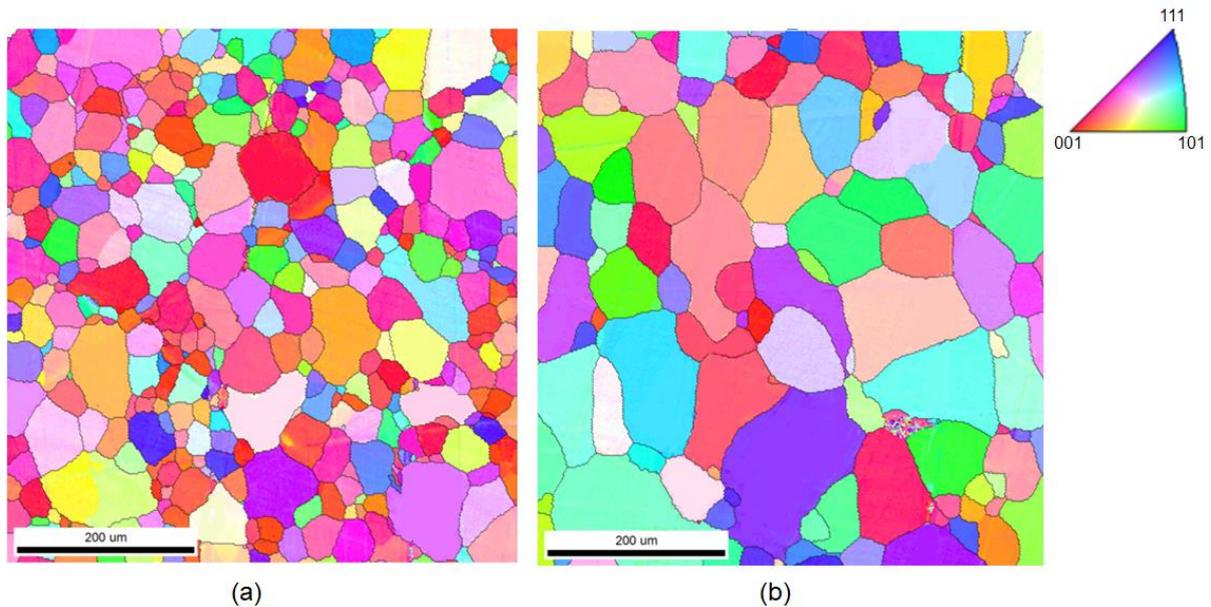


Figura 6 – Mapeamento de orientações (EBSD) da superfície de extrusão na (a) periferia e (b) centro da AA 7108.

Embora o mapeamento de orientações via EBSD permita a observação “grão a grão” (microtextura), tal técnica oferece parâmetros estatísticos mais pobres que a macrotextura, uma vez que a área analisada é bastante reduzida, podendo ser pouco representativa do material estudado. Resultados estatisticamente mais confiáveis podem ser obtidos via difratometria de raios X com o auxílio da função distribuição de orientação (FDO). Essa função expressa (de maneira quantitativa) a ocorrência de orientações determinadas em um espaço tridimensional denominado Espaço de Euler [8]. Um sistema proposto por Bunge [9] faz uso de três rotações consecutivas que são expressas pelos ângulos ϕ_1 , Φ e ϕ_2 . Tais rotações fazem com que o sistema de eixos associado à amostra macroscópica coincida com aquele associado ao cristal.

A Figura 7 mostra a FDO da superfície de extrusão da AA 7108 obtida pela análise via difratometria de raios X. Na região da superfície (SE) foi observada a presença da componente $\{001\} \langle 100 \rangle$ denominada cubo (com ângulos de Euler $\phi_1 = 45^\circ$, $\phi = 0$, $\phi_2 = 45^\circ$) com intensidade $f(g) = 10,3$.

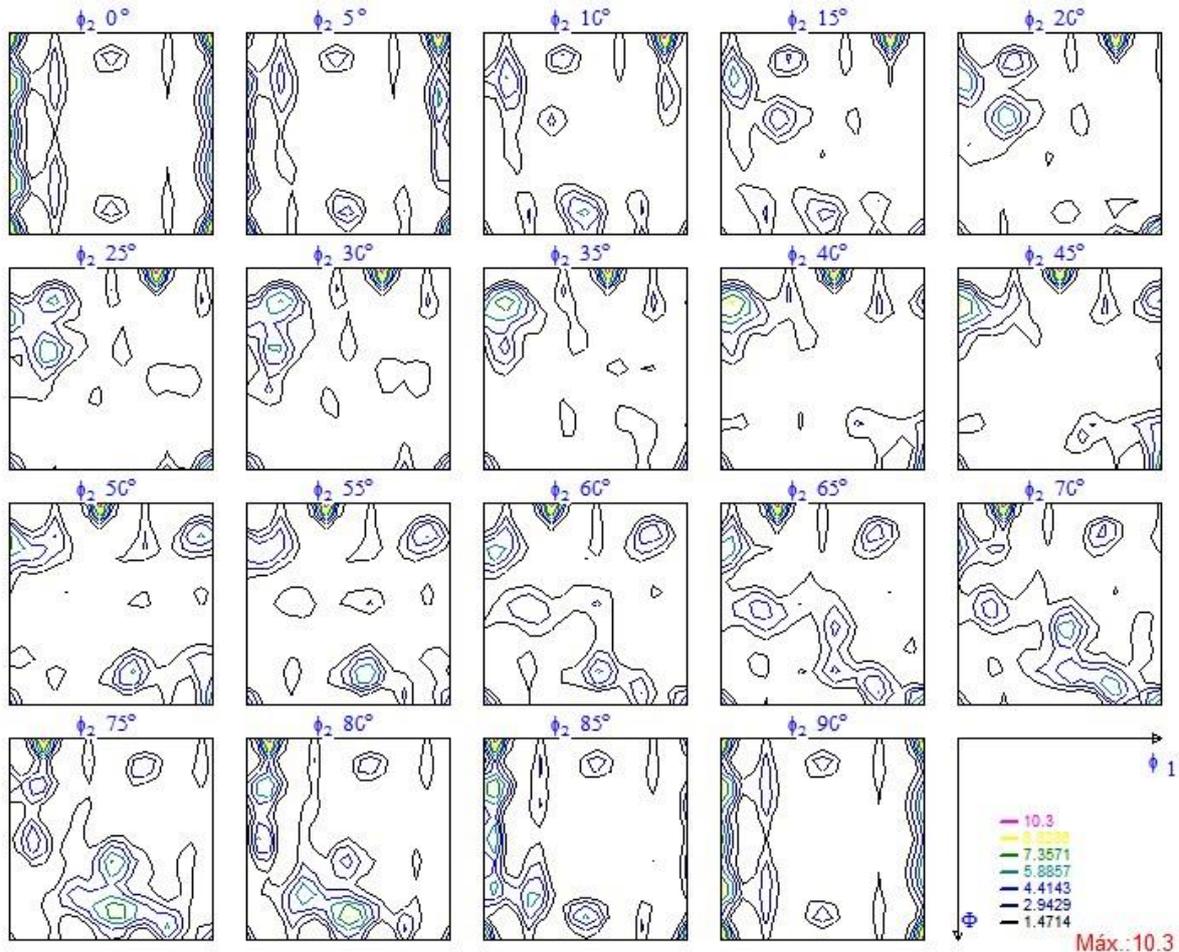


Figura 7– Função densidade de orientações (FDO) para a superfície de extrusão da barra de AA 7108

Na região da metade da espessura (representada nesse trabalho por $\frac{1}{2}$) observou-se a presença da componente cubo $\{001\} \langle 100 \rangle$ (com ângulos de Euler $\varphi_1 = 45^\circ$, $\phi = 0^\circ$, $\varphi_2 = 45^\circ$) de maior intensidade ($f(g) = 16,4$). Tal componente pode ser visualizada na FDO apresentada na Figura 8. Adicionalmente, uma componente do tipo Goss $\{011\} \langle 110 \rangle$ (com ângulos de Euler: $\varphi_1 = 90^\circ$, $\phi = 90^\circ$, $\varphi_2 = 45^\circ$) também pode ser observada. A presença dessa componente não é típica do fenômeno de recristalização. No entanto, a presença de tal componente já foi observada em outros trabalhos com ligas de alumínio [2] e pode ser atribuída às menores taxas de resfriamento que ocorrem no centro da barra (em relação à periferia) durante o processamento mecânico a quente [10].

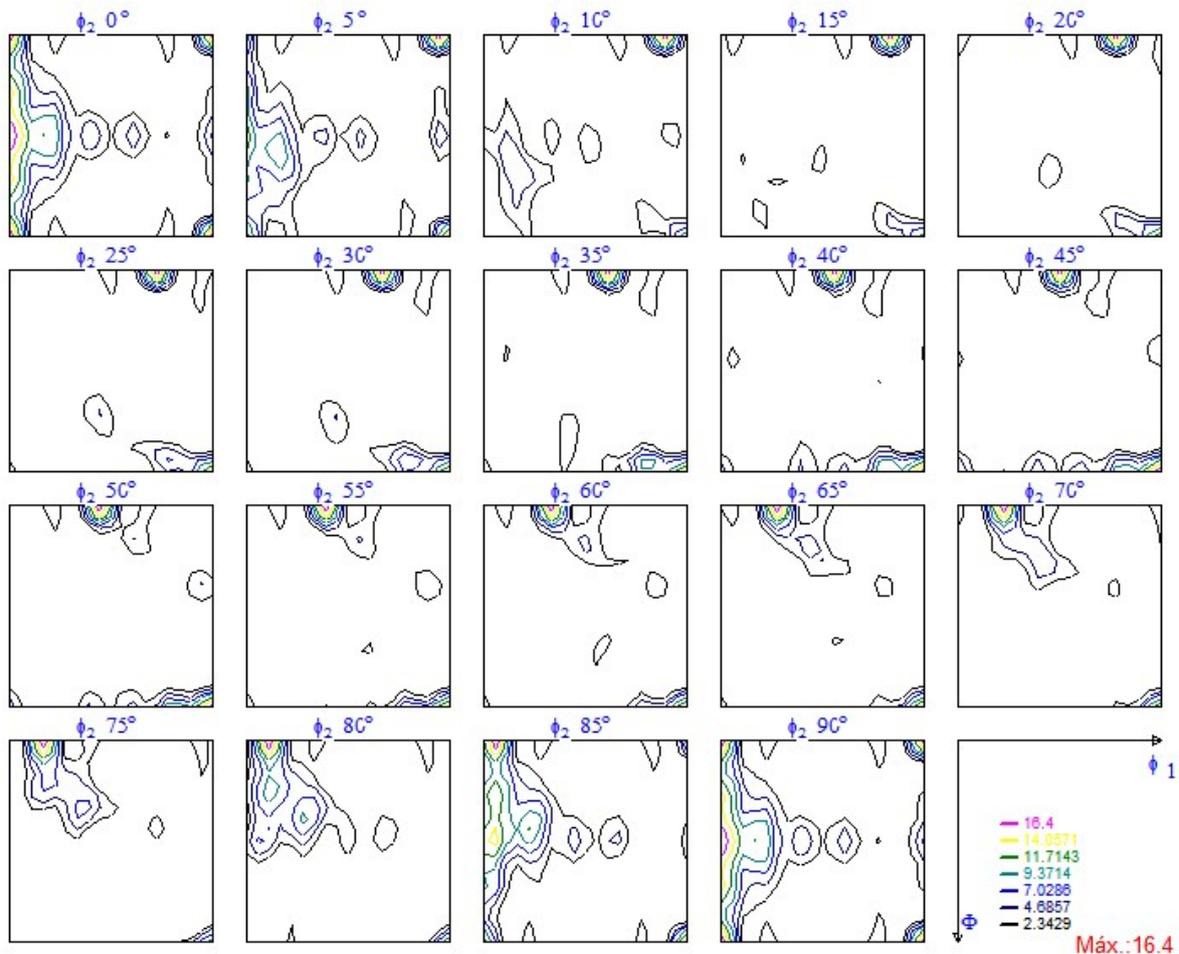


Figura 8 – Função densidade de orientações (FDO) da barra de AA 7108 na posição $\frac{1}{2}$

Na posição $\frac{1}{4}$, a função densidade de orientações (Figura 9) mostra um estado de transição entre as componentes encontradas na superfície de extrusão e na superfície $\frac{1}{2}$.

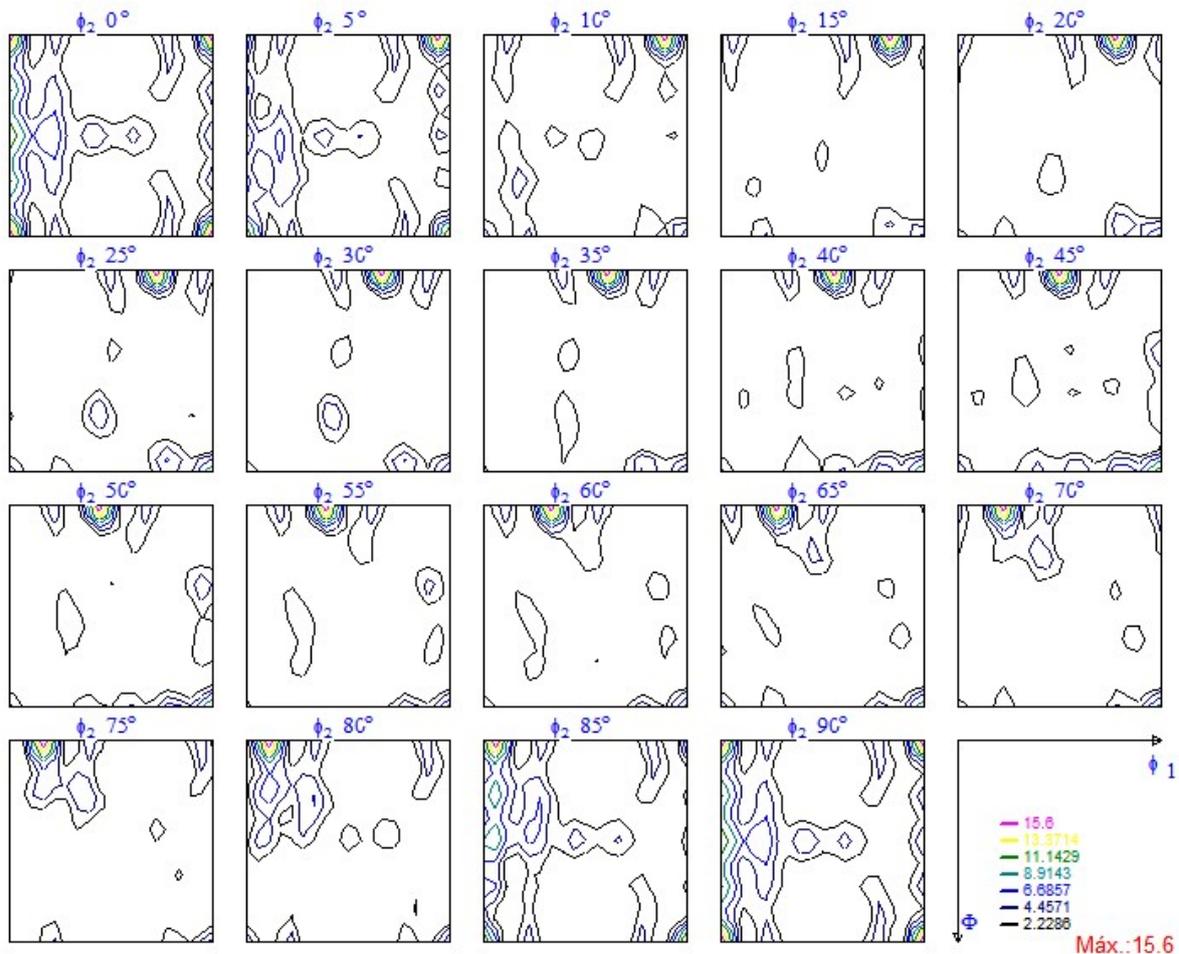


Figura 9 – Função densidade de orientações (FDO) da barra de AA 7108 na posição $\frac{1}{4}$

4 CONCLUSÕES

A microestrutura da barra de AA 7108 é composta de grãos recristalizados e aproximadamente equiaxiais, evidenciando a ocorrência de recristalização dinâmica para os parâmetros de extrusão adotados. O fenômeno de *PCG* (*peripheral coarse grain*) foi constatado mediante análise via microscopia óptica da periferia da seção transversal da barra. Já a análise via mapeamento de microdureza Vickers não mostrou diferenças significativas ao longo da seção transversal.

Em relação à textura cristalográfica, as FDO mostram a presença de componente do tipo Cubo na superfície de extrusão. Na posição denominada $\frac{1}{2}$, a intensidade relativa da componente cubo aumenta, além de surgirem outras componentes como a Goss. Tal ocorrência sugere que nas regiões centrais da barra, ocorrem graus de deformação e taxas de resfriamento consideravelmente diferentes em relação à periferia.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Os autores agradecem à Companhia Brasileira de Alumínio (CBA) pela ajuda na preparação metalográfica das amostras

REFERÊNCIAS

- 1- WANG, X. F. et al. The evolution of microstructure and texture during thermomechanical processing of Al-Mg-Si-Cu alloy. **Materials Science Forum**, v. 794–796, p. 1141–1146, 2014.
- 2 – PARK , J.K. Influence of Retrogression and Reaging Treatments on the Strength and Stress Corrosion Resistance of Aluminium Alloy 7075-T6. **Materials Science and Engineering: A**, v. 103, p.223 – 231, 1988
- 3 -GIANISELLE, F; FERNANDES, R. C.; PADILHA, A.F. Evolução Microestrutural Durante a Homogeneização da Liga de Alumínio AA 7108 , p. 217-226. In: **72nd ABM Annual Congress, São Paulo, 2017**
- 4- EIVANI, A. R.; ZHOU, J.; DUSZCZYK, J. Mechanism of the formation of peripheral coarse grain structure in hot extrusion of Al-4 . 5Zn-1Mg. **Philosophical Magazine**, v. 6435, p. 1–9, 2016.
- 5- VAN GEERTRUYDEN, W. H. et al. Evolution of Surface Recrystallization during Indirect Extrusion of 6xxx Aluminum Alloys. **Metallurgical and Materials Transactions: A**, v. 36, n. April, p. 1049–1056, 2005.
- 6- EIVANI, A. R. et al. An experimental and theoretical investigation of the formation of Zr-containing dispersoids in Al – 4 . 5Zn – 1Mg aluminum alloy. **Materials Science and Engineering: A**, v. 527, p. 2418–2430, 2010.
- 7 - SOUZA, S. H.; PADILHA, A.F. Recozimento da Liga de Alumínio AA 7075 após Laminação a frio. In: ABM WEEK, 72., 2017, São Paulo. Anais do Congresso Anual da ABM... São Paulo: 2017. p. 172-182. v. 72.
- 8- PADILHA, A. F.; SICILIANO F. Encruamento, recristalização, crescimento de grão e textura”. 3ªEd, 2005, São Paulo, Editora ABM.
- 9- BUNGE, H. J. Texture Analysis in Materials Science Mathematical Methods. 1982, Butterworths.
- 10 - MARTINS, J. D. E. P. Evolução da Microestrutura e da Textura Durante o Processamento de Chapas da Liga Al - Mn - Fe - Si (3003) Produzidas Por Lingotamento Contínuo: Um Estudo Comparativo com o Processo Semi-Contínuo. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2005.